

TRANSPOR ION Pb(II) MELALUI MEMBRAN KLOOROFORM DENGAN PENGEMBAN ION *p-t*-BUTILKALIKS[6]ARENA

A. Mena Mulya Raja^{1*}

¹*Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin*

Jl. Perintis Kemerdekaan Km.10 Tamalanrea, Makassar 90245

E-mail: amenamulyaraja1406@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian mengenai transpor ion Pb(II) melalui membran kloroform dengan pengemban ion *p-t*-butilkaliks[6]arena telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai optimum, pH fasa sumber, konsentrasi fasa sumber, waktu kontak dalam transpor ion Pb(II), serta mengetahui jumlah kadar ion Pb(II) yang dapat tertranspor. Pada penelitian ini dilakukan variasi pH fasa sumber yaitu pada pH 3, 4, 5, 6, dan 7, variasi konsentrasi fasa sumber dilakukan pada konsentrasi 1×10^{-5} M; 2×10^{-5} M; 3×10^{-5} M; 5×10^{-5} M; 8×10^{-5} M; 12×10^{-5} M; dan 18×10^{-5} M; serta variasi waktu kontak dilakukan pada waktu 2, 6, 12, 18 dan 24 jam. Proses transpor berlangsung dengan kecepatan pengadukan 150 rpm, temperatur $\pm 28^\circ\text{C}$ selama 24 jam. Analisis konsentrasi logam dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer serapan atom. Hasil penelitian memperlihatkan pH optimum pada pH 6, konsentrasi optimum 12×10^{-5} M, waktu kontak optimum 12 jam dan kadar ion Pb(II) yang dapat tertranspor pada kondisi optimum sebesar 40%.

Kata Kunci : transpor membran cair, *p-t*-butilkaliks[6]arena, logam berat Pb(II).

ABSTRACT

The research on transport of Pb(II) ion through chloroform membranes with *p*-tert-butylcalix[6]arene as ion carrier has been conducted. The aims of this research were to determine optimum pH of source phase, optimum concentration of source phase, optimum contact time of Pb(II) ion transport, and to determine the amount of Pb(II) ion of transportable levels. This research variation pH of source phase at pH 3, 4, 5, 6 and 7, variation concentration of source phase at 1×10^{-5} M; 2×10^{-5} M; 3×10^{-5} M; 5×10^{-5} M; 8×10^{-5} M; 12×10^{-5} M; and 18×10^{-5} M; and variation contact time at 2, 6, 12, 18, and 24 hours. The transport process run with a stirring speed of 150 rpm, temperature of $\pm 28^\circ\text{C}$ for 24 hours. Analysis concentration of metal using atomic absorption spectrophotometer. The result showed optimum pH at pH 6, optimum concentration at 12×10^{-5} M, optimum contact time at 12 hour and the amount of Pb(II) ion transported 40% at optimum condition.

Keywords: liquid membrane transport, *p*-tert-butylcalix[6]arene, heavy metal Pb(II)

PENDAHULUAN

Perkembangan dunia industri di Indonesia telah memberikan dampak positif bagi kehidupan manusia terutama dalam peningkatan kualitas hidup manusia dalam memenuhi kebutuhan sehari-hari. Selain dampak positif perkembangan industri juga menimbulkan dampak negatif salah satu diantaranya adalah pencemaran lingkungan. Hal ini terjadi karena produksi industri tidak terlepas dari produksi limbah yang pada akhirnya akan dibuang ke lingkungan. Pencemaran lingkungan yang paling banyak terjadi adalah pencemaran pada lingkungan perairan^[1].

Salah satu pencemaran yang menyebabkan rusaknya tatanan lingkungan hidup yaitu limbah yang mengandung logam berat. Pencemaran logam berat dapat ditemukan dalam lingkungan perairan berupa padatan yang disebut sedimen. Kontaminasi logam berat pada ekosistem perairan secara intensif berhubungan dengan pelepasan logam berat oleh limbah domestik, industri, dan aktivitas manusia lainnya^[1]. Kandungan berbahaya pada limbah berupa senyawa dan logam berat seperti (a) timbal (Pb), (b) perak (Ag), (c) air raksa (Hg), (d) krom (Cr) dan (e) kadmium (Cd).

Salah satu pencemaran logam berat paling berbahaya adalah pencemaran logam timbal (Pb). Hal ini karena pencemaran logam timbal di alam tidak dapat didegradasi atau dihancurkan dan disebut juga sebagai *non essential trace element* yang paling tinggi kadarnya sehingga sangat berbahaya jika terakumulasi pada tubuh dalam jumlah yang banyak. Pemanfaatan logam timbal sangat banyak dalam kehidupan sehari-hari. Beberapa contoh produk yang berbahan timbal diantaranya adalah baterai, kabel, aki, insulasi atap dan tembok, pipa air, cat tembok, dan zat aditif bahan bakar. Benda-benda tersebut selalu ada dalam aktivitas manusia setiap hari sehingga dapat dikatakan bahwa pencemaran logam timbal terjadi terus-menerus. Dalam menangani masalah pencemaran logam berat, beberapa metode telah dilakukan atau dikembangkan diantaranya: (a) metode presipitasi; (b) fukulasi; (c) penukar ion; (d) oksidasi-reduksi; (e) filtrasi dan (f) adsorpsi^[2], serta teknik transpor membran cair^[3].

Transpor membran cair merupakan salah satu metode yang dapat dikembangkan untuk pemisahan logam berat dari limbah cair^[4]. Teknik ini bertujuan untuk menurunkan konsentrasi ion logam dalam limbah sebelum dibuang ke lingkungan, sehingga sifat toksik dari limbah berkurang. Proses transpor membran cair memiliki kelebihan yaitu dapat diterapkan walaupun konsentrasi ion logamnya rendah, prosesnya berjalan secara bersinabungan dan menggunakan sedikit pelarut organik. Prinsip pemisahan metode ini, ion logam tertanspor dari fasa sumber ke fasa target yang difasilitasi oleh pengemban ion dalam membran^[5]. Faktor yang sangat menentukan efektivitas dalam metode ini adalah kesesuaian sifat pengemban ion dengan ion logam. Beberapa senyawa yang dapat digunakan sebagai pengemban ion adalah kelompok senyawa makrosiklik seperti *crown eter* atau senyawa- senyawa eter mahkota, *cavitands*, *cryptands*, *polyzamacrocycle*, *carcerands*^[5] dan kaliks[n]arena^[6,7].

Kaliks[n]arena merupakan senyawa makrosiklik yang potensial sebagai pengemban ion logam dalam transpor membran cair karena bentuk strukturnya menyerupai keranjang yang membuatnya lebih kuat dalam mengikat logam, memiliki ukuran gugus fungsi dan ukuran cincin yang bervariasi dan umumnya larut dalam pelarut organik^[6,7]. Kaliks[n]arena dengan gugus karboksilat merupakan ekstraktn yang efisien terhadap (a) ion logam alkali; (b) alkali tanah; (c) tanah jarang serta beberapa ion logam berat pada ekstraksi cair-cair^[3,8,9]. Kaliks[6]arena merupakan salah satu senyawa kaliks[n]arena dengan diameter rongga molekul sebesar 2,0-2,9 Å^[10] yang diduga dapat berperan sebagai pengemban ion logam dengan gugus OH sebagai penjerap ion, sehingga

Jurnal Hasil Penelitian

dapat membentuk kompleks dengan ion Pb(II) yang memiliki jari-jari ion sebesar 1,19 Å^[11]. Kesesuaian ukuran rongga molekul kaliks[6]arena dengan diameter ion logam merupakan salah satu faktor penentu keberhasilan senyawa kaliks[n]arena sebagai pengemban ion^[10].

Sehubungan dengan permasalahan tersebut, maka akan dilakukan pemisahan logam berat Pb(II) dengan metode transpor membran cair ruah menggunakan senyawa *p-t*-butilkaliks[6]arena sebagai pengemban ion. Efisiensi transpor dipengaruhi oleh (a) pH fasa sumber; (b) konsentrasi fasa sumber dan (c) waktu kontak^[3].

METODE PENELITIAN

Bahan Penelitian

Pb(NO₃)₂, HNO₃ 0,1 M, kloroform, *p-t*-butilkaliks[6]arena, dan akuades.

Alat Penelitian

Neraca analitik digital, *multistirer*, pengaduk magnet 1 cm, *AAS Bucientific 205*, sel transpor pipa gelas berbentuk U ($\Phi_{\text{dalam}} = 1,25$ cm, volume 30 mL), dan peralatan gelas yang umum dipakai dalam laboratorium.

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus-November 2020. Lokasi penelitian di Laboratorium Kimia Anorganik dan Kimia Analitik Fakultas Matematika dan Ilmu Pegetahuan Alam Universitas Hasanuddin, Makassar.

Prosedur Penelitian

Pembuatan Larutan Pengemban Ion

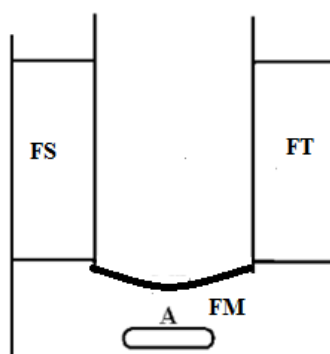
Larutan pengemban ion 3×10^{-5} M dibuat dengan cara melarutkan sebanyak 0,0029 g *p-t*-butilkaliks[6]arena ke dalam 100 mL pelarut kloroform^[3].

Pembuatan Larutan Timbal

Larutan induk Pb(II) $4,8309 \times 10^{-4}$ M dibuat dengan cara melarutkan 0,0159 g Pb(NO₃)₂ dan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL. Setelah itu ditambahkan akuades hingga tanda batas dan dihomogenkan. Larutan induk $4,8309 \times 10^{-4}$ M yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk membuat larutan dengan konsentrasi yang lebih rendah dengan cara mengencerkan larutan tersebut dengan pelarut yang sama sesuai dengan konsentrasi yang diinginkan^[3].

Proses Transpor

Fasa membran berupa senyawa *p-t*-butilkaliks[6]arena yang dilarutkan dalam kloroform dimasukkan sebanyak 6 mL ke dalam sel transpor yang sebelumnya sudah dimasukkan pengaduk magnet. Kemudian 5 mL fasa sumber berupa senyawa Pb(NO₃)₂ yang dilarutkan dalam akuades dimasukkan ke salah satu ujung sel serta 5 mL fasa target berupa senyawa HNO₃ yang dilarutkan dalam akuades dimasukkan pada ujung yang lain. Sistem diaduk dengan kecepatan 150 rpm. Proses transpor berlangsung pada suhu $\pm 28^{\circ}\text{C}$. Setelah proses transpor selesai, konsentrasi ion logam dianalisis dengan spektrofotometer serapan atom^[3]. Gambaran sel transpor membran cair terlihat pada Gambar 7 berupa pipa gelas berbentuk U yang berisi fasa membran pada bagian tengah yang terdapat pengaduk magnet, salah satu ujung tabung berisi fasa sumber serta salah satu ujung lainnya berisi fasa terget^[12].



Gambar 1. Gambaran alat sel membran cair : fasa sumber (FS), fasa membrane (FM), fasa penerima/target (FT), magnetik stirrer (A) ^[12].

Transpor dengan Variasi pH

Larutan induk Pb(II) $4,8309 \times 10^{-4}$ M diencerkan menjadi 3×10^{-5} M kemudian divariasikan pH: 3;4;5;6; dan 7 menggunakan HNO₃ 0,1 M. Dari deret larutan masing-masing dimasukkan 5 mL fasa sumber dimasukkan ke salah satu ujung sel serta 5 mL fasa target pada ujung yang lain. Sistem diaduk dengan kecepatan 150 rpm selama 24 jam. Proses transpor berlangsung pada suhu $\pm 28^{\circ}\text{C}$. Setelah proses transpor selesai, konsentrasi ion logam dianalisis dengan spektrofotometer serapan atom^[3].

Transpor dengan Variasi Konsentrasi

Larutan logam Pb(II) dengan pH optimum 6 yang diperoleh dari prosedur 3.4.3.1, masing-masing dimasukkan 5 mL fasa sumber dimasukkan ke salah satu ujung sel serta 5 mL fasa target pada ujung yang lain. Sistem diaduk dengan kecepatan 150 rpm selama 24 jam. Proses transpor berlangsung pada suhu $\pm 28^{\circ}\text{C}$ dengan variasi konsentrasi fasa sumber larutan logam 1×10^{-5} M; 2×10^{-5} M; 3×10^{-5} M; 5×10^{-5} M; 8×10^{-5} M; 12×10^{-5} M; dan 18×10^{-5} M. Setelah proses transpor selesai, konsentrasi ion logam dianalisis dengan spektrofotometer serapan atom^[3].

Transpor dengan Variasi Waktu

Larutan logam Pb(II) dengan pH optimum 6 dan konsentrasi optimum 12×10^{-5} M yang diperoleh dari prosedur 3.4.3.2, masing-masing dimasukkan 5 mL fasa sumber dimasukkan ke salah satu ujung sel serta 5 mL fasa target pada ujung yang lain. Proses transpor berlangsung pada suhu $\pm 28^{\circ}\text{C}$. Sistem diaduk dengan kecepatan 150 rpm. Variasi waktu transpor dilakukan selama: 2, 6, 12, 18 dan 24 jam. Setelah proses transpor selesai, konsentrasi ion logam Pb(II) dianalisis dengan spektrofotometer serapan atom^[3].

HASIL DAN PEMBAHASAN

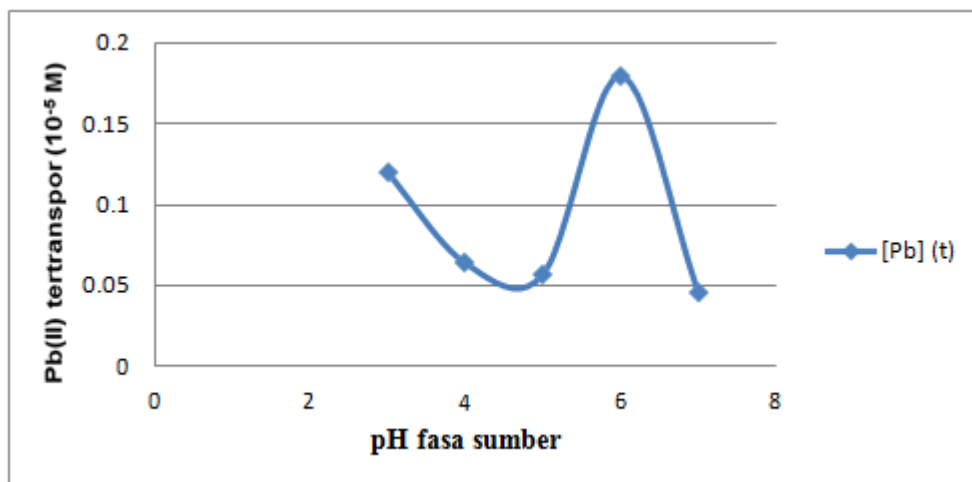
Pengaruh pH Fasa Sumber

Pengaruh pH terhadap fasa sumber yang dipelajari yaitu dengan memvariasikan pH fasa sumber. Disiapkan sederet contoh logam Pb(II) dengan pH: 3; 4; 5; 6 dan 7 dengan konsentrasi logam Pb(II) 3×10^{-5} M yang dibuat dari larutan induk logam Pb(II) $4,8309 \times 10^{-4}$ M dengan metode pengenceran serta pengaturan pH menggunakan HNO₃ 0,1 M. Data hasil percobaan pengaruh pH fasa sumber terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Transpor Ion Pb(II) Terhadap Variasi pH Fasa Sumber

pH	% Transpor	Cons (10^{-5} M)	Abs
3	4	0,12	0,0023
4	2,13	0,064	0,0010
5	1,9	0,057	0,0010
6	6	0,18	0,0033
7	1,53	0,046	0,0006

Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa pH fasa sumber berpengaruh terhadap transpor logam Pb(II), sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh pH fasa sumber terhadap transpor Pb^{2+} . Konsentrasi *p-t*-butilkaliks[6]arena 3×10^{-5} M dalam transpor, ion logam 3×10^{-5} M, kecepatan pengadukan 150 rpm selama 24 jam, fasa target = HNO_3 0,1 M, volume fasa sumber, fasa membran dan fasa target masing-masing 5,6,dan 5 mL, temperatur $\pm 28^\circ C$.

Gambar 2 menunjukkan bahwa pada pH 3-5 terjadi penurunan konsentrasi tertranspor. Kemudian pada pH 6 mengalami peningkatan dan mencapai titik optimumnya, serta pada pH 7 kembali mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena pada pH rendah yakni pH 3-5 terdapat banyak proton (H^+) yang memblokir $-OH$ pada ligan *p-t*-butilkaliks[6]arena dalam mengikat ion logam Pb sehingga menyebabkan konsentrasi tertranspor sedikit. Adapun konsentrasi tertranspor pada pH 3, 4 dan 5 berturut-turut sebesar $0,12 \times 10^{-5}$ M; $0,064 \times 10^{-5}$ M dan $0,057 \times 10^{-5}$ M dan dalam persen transpor berturut-turut sebesar 4%; 2,13% dan 1,9%. Kemudian pada pH 6 tercapai kondisi optimum yang memiliki konsentrasi tertranspor paling tinggi yaitu sebesar $0,18 \times 10^{-5}$ M dengan persen transpor 6% . Hal ini terjadi karena jumlah H^+ sudah berkurang dan tersedia banyak ion logam Pb. Pada kondisi ini spesi ion logam dan pengemban ion membentuk kompleks stabil paling tinggi. Pada pH 7 kembali mengalami penurunan karena jumlah ion logam Pb mulai berkurang akibat adanya reaksi dengan

Jurnal Hasil Penelitian

hidroksil membentuk $\text{Pb}(\text{OH})_2$ dengan konsentrasi tertransport sebesar $0,046 \times 10^{-5}$ M dengan persen transport 1,53%.

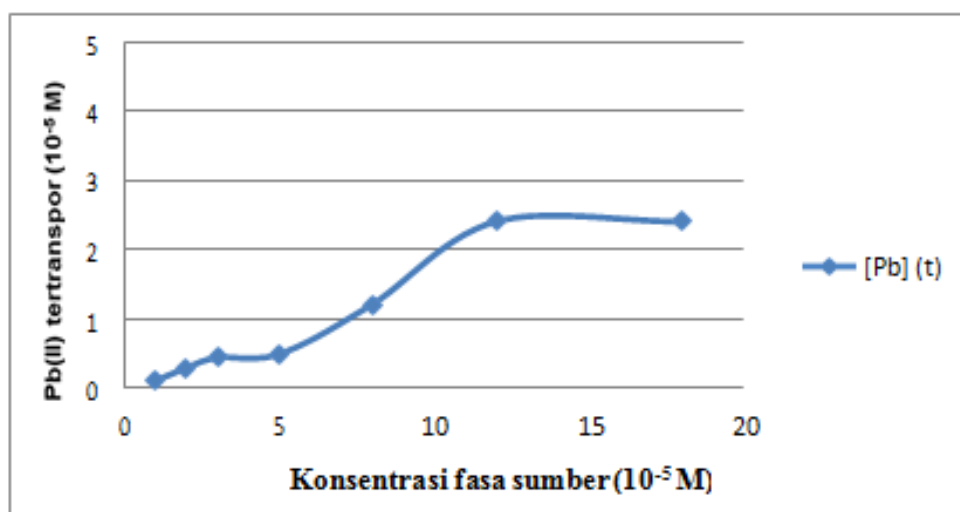
Pengaruh Konsentrasi Fasa Sumber

Pengaruh konsentrasi fasa sumber yaitu dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi fasa sumber ion logam $\text{Pb}(\text{II})$. Variasi larutan fasa sumber logam $\text{Pb}(\text{II})$ yang digunakan yaitu konsentrasi 1×10^{-5} M; 2×10^{-5} M; 3×10^{-5} M; 5×10^{-5} M; 8×10^{-5} M; 12×10^{-5} M dan 18×10^{-5} M. Deret larutan tersebut dibuat dari larutan induk logam $\text{Pb}(\text{II})$ $4,8309 \times 10^{-4}$ M dengan metode pengenceran dengan masing-masing pH 6 yang merupakan pH optimum yang diperoleh dari hasil 4.1. Data hasil percobaan pengaruh konsentrasi fasa sumber terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Transport Ion $\text{Pb}(\text{II})$ Terhadap Variasi Konsentrasi Fasa Sumber

Sampel (10^{-5} M)	% Transport	Cons (10^{-5} M)	Abs
1	9,6	0,096	0,0016
2	14	0,28	0,0053
3	14,3	0,43	0,0076
5	9,6	0,48	0,0086
8	15	1,2	0,0220
12	20	2,4	0,0204
18	13,33	2,4	0,0200

Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa konsentrasi fasa sumber berpengaruh terhadap transport logam $\text{Pb}(\text{II})$, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 9. Pengaruh konsentrasi fasa sumber terhadap transport Pb^{2+} . Konsentrasi p -

Jurnal Hasil Penelitian

t-butilkaliks[6]arena 3×10^{-5} M dalam transpor, konsentrasi ion logam bervariasi, kecepatan pengadukan 150 rpm selama 24 jam, fasa target = HNO₃ 0,1 M, volume fasa sumber, fasa membran dan fasa target masing-masing 5,6, dan 5 mL, temperatur $\pm 28^{\circ}\text{C}$

Gambar 9 menunjukkan bahwa transpor ion Pb(II) dengan pengemban ion *p-t*-butilkaliks[6]arena dipengaruhi oleh konsentrasi fasa sumber. Semakin besar konsentrasi fasa sumber, semakin banyak pula ion Pb(II) yang tertranspor. Ion Pb(II) tertranspor optimum pada konsentrasi 12×10^{-5} M dengan konsentrasi tertranspor sebesar $2,4 \times 10^{-5}$ M dengan persen transpor 20%. Berdasarkan gambar di atas dapat dijelaskan bahwa mulai dari konsentrasi 1×10^{-5} M hingga 8×10^{-5} M terus mengalami peningkatan dan optimum pada konsentrasi 12×10^{-5} M. Kemudian terjadi penurunan pada konsentrasi 18×10^{-5} M. Peningkatan konsentrasi ion logam yang digunakan menyebabkan meningkatnya jumlah ion logam yang tertranspor di fasa target. Sedangkan untuk konsentrasi logam di atas konsentrasi optimum menyebabkan konsentrasi tertranspor menurun. Hal ini dikarenakan pada konsentrasi 18×10^{-5} M jumlah ion logam yang ada dalam larutan tidak dapat ditampung lagi oleh pengemban ion yang justru menurun karena aktivitas ion dalam larutan semakin kecil^[13]. Dengan kata lain adanya gaya kohesi yaitu interaksi antar sesama molekul, sehingga yang terjadi bukan interaksi antara logam dengan ligan tetapi antar sesama ion logam. Selain itu, pada konsentrasi tinggi disufi molekul akan lambat karena banyaknya ion-ion logam yang saling bertumbukan.

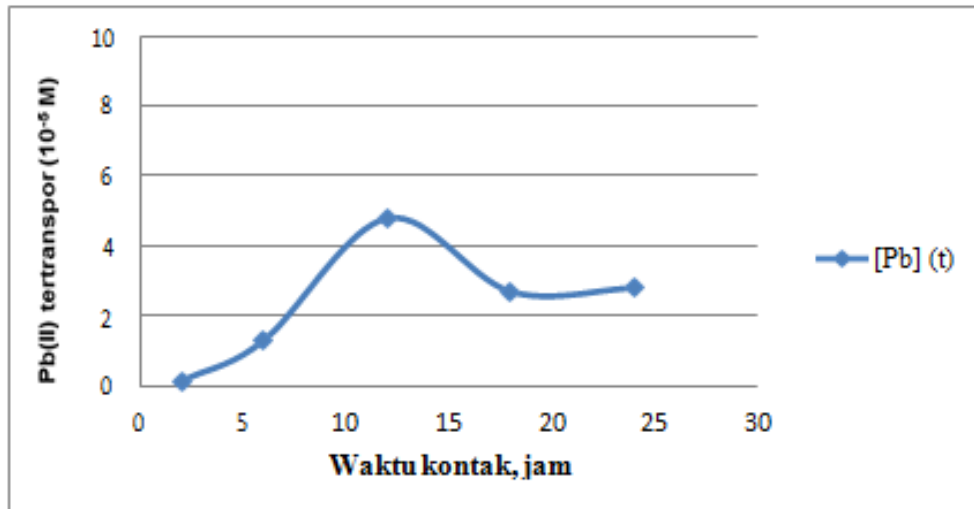
Pengaruh Waktu Kontak

Pengaruh waktu transpor yaitu dilakukan dengan memvariasikan waktu pengadukan. Variasi waktu yang dilakukan yaitu 2;6;12;18 dan 24 jam dengan kondisi pH optimum yaitu 6 dan konsentrasi optimum yaitu 12×10^{-5} M yang diperoleh dari hasil sebelumnya. Data hasil percobaan pengaruh waktu transpor terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Transpor Ion Pb(II) Terhadap Variasi Waktu Kontak

Sampel (jam)	% Transpor	Cons (10^{-5} M)	Abs
2	1,16	0,14	0,0010
6	10,83	1,3	0,0110
12	40	4,8	0,0396
18	22,5	2,7	0,0020
24	23,33	2,8	0,0410

Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa waktu kontak berpengaruh terhadap transpor logam Pb(II), sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh waktu transpor terhadap transpor Pb^{2+} . Konsentrasi *p-t*-butilkaliks[6]arena 3×10^{-5} M dalam transpor, ion logam 12×10^{-5} M, kecepatan pengadukan 150 rpm selama 24 jam, fasa target = HNO_3 0,1 M, volume fasa sumber, fasa membran dan fasa target masing-masing 5,6,dan 5 mL, temperatur $\pm 28^\circ C$.

Gambar 4 menunjukkan bahwa transpor $Pb(II)$ dengan pengemban ion *p-t*-butilkaliks[6]arena dipengaruhi oleh waktu kontak. Ion $Pb(II)$ tertransport optimum pada waktu 12 jam dengan konsentrasi tertransport sebesar $4,8 \times 10^{-5}$ M dengan persen transpor 40%. Semakin lama waktu transpor maka makin besar jumlah ion logam yang tertransport. Hal ini disebabkan karena semakin lama waktu kontrak antara larutan pengemban ion dengan larutan logam sehingga akan semakin banyak pula terbentuk kompleks antara ion logam dari fasa sumber dengan pengemban ion yang kemudian akan tertransport ke fasa target^[13]. Namun, dalam penelitian ini, $Pb(II)$ tertransport maksimum pada waktu transpor 12 jam dan mulai mengalami penurunan pada waktu 18 dan 24 jam. Hal ini dikarenakan interaksi antara ion logam dengan *p-t*-butilkaliks[6]arena mulai berkurang atau dengan kata lain telah tercapai titik jenuh, sehingga jumlah $Pb(II)$ yang tertransport semakin berkurang.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa besarnya transpor ion logam $Pb(II)$ sangat dipengaruhi oleh pH fasa sumber, konsentrasi fasa sumber dan waktu kontak. Pada penelitian ini, pH optimum transpor ion logam $Pb(II)$ yaitu pada pH 6 sebesar 6%, konsentrasi optimum 12×10^{-5} M sebesar 20% dan waktu kontak optimum 12 jam sebesar 40%. Sehingga pada kondisi optimum kadar yang tertransport sebesar 40%.

DAFTAR PUSTAKA

- ^[1]Budiastuti, P., Raharjo, M., Astorina, N., an Dewanti, Y., 2016, Analisis Pencemaran Logam Berat Timbal di Badan Sungai Babon Kecamatan Genuk Semarang, *Jurnal Kesehatan Masyarakat.*, **4**(5):2356-3346.
- ^[2]Roto, R., Indah, D.R., dan Kuncaka, A., 2015, Hydrotalsit Zn-Al-EDTA sebagai Adsorben untuk Polutan Ion $Pb(II)$ di Lingkungan, *Jurnal Manusia dan Lingkungan.*,

22(2):226-232.

- [3] Maming, Jumina, Siswanta, D., dan Sastrohamidjojo, H., 2007, Transpor Ion Cr^{3+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} , dan Ag^+ Melalui Membran Cair Ruah yang Mengandung Asam *p-t*-Butilkaliks[4]arena-tetrakarboksilat sebagai Pengemban Ion, *Indonesian Journal of Chemical*, **7**(1):172-179.
- [4] Mulder, M., 1996, *Basic Principles of Membrane Technology*, Kluwer Academic Publishers, London.
- [5] Lehn, J.M., 1997, Supramolecular Chemistry-Scope and Perspective. Molecules, Supermolecules, and Molecular Devices, *Angewandte Chemie International Edition in English* **27**: 89-112.
- [6] Perrin, R., dan Lamartine, R., 1993, *Pure & Applied Chemistry*, **65**(7): 1549-1559.
- [7] Gutsche, C.D., 1998b, *Calixarenes Revised*, The Royal Society of Chemistry (Series Editor: J. Fraser Stoddart, FSR), USA.
- [8] Soedarsono, J., Hagege, A., Burgard, M., Asfari, Z., dan Vicens, J., 1996, *Ber.Burrisenges Physical Chemistry*, **100**: 477-481.
- [9] Ohto, K., Murakami, E., Shinohara, T., Shiratsuchi, K., Inoue, K., dan Iwasaki, M., 1997, *Analitical Chimica Acta, Jurnal Analitical Chimica Acta*, **341**: 275-283.
- [10] Prabawati, S.Y., 2012, *Sintesis dan Penggunaan Poli-Propilikaliks[6]arena sebagai Adsorben serta Uji Aktivitasnya sebagai Antidotum Keracunan Logam Berat*, Disertasi Tidak Diterbitkan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [11] Jolly, W.L., 1991, *Modern Inorganic Chemistry*, 2nd ed, 235-241, 482-493, 592-597, McGraw-Hill, Inc, New York, 239.
- [12] Kazemi, S.Y., 2008, Membrane Transport of Pb(II) with a Cooperative Carrier Composed of Dibenzylidiaz-18-crown-6 and Palmitic Acid, *Journal of Chinese Chemical Society.*, **55**: 1101-1106.
- [13] Harimu, L., Matsjeh, S., Siswanta, D., dan Santosa, S.J., 2010, Pemisahan Ion Logam Berat Fe(III), Cr(III), Cu(II), Ni(II), Co(II) dan Pb(II) Menggunakan Pengemban Ion Poli(Asam Eugenil Oksiasetat) dengan Metode Transpor Membran Cair, *Indonesian Journal of Chemical*, **10**(1):69-74.