



Pemisahan Perak dari Limbah Fotorontgen dengan Teknik Membran Cair Berpendukung Menggunakan Pengemban Gabungan TBP dan D2EHPA

¹Yeti Kurniasih, ²Ahmadi, ³Baiq Asma Nufida

Prodi Pendidikan Kimia, FSTT, Universitas Pendidikan Mandalika, Jl. Pemuda No. 59A, Mataram, Indonesia 83125

Email: yetikurniasih@ikipmataram.ac.id

Article History

Received: April 2018

Revised: May 2018

Published: June 2018

Abstract

The photorontgen process produces waste that is harmful to the environment because it contains silver ions that are toxic to living organisms. The silver content in photorontgent waste is 2000 mg / L, while the permissible threshold value for silver in aquatic is 0.1 - 1.0 mg / L, so the disposal of photorontgent waste into the waters will be dangerous. However, silver metal has high economic value so that silver metal separation from x-ray waste is required, in addition to reducing the environmental burden due to silver metal pollution, it is also expected to reuse the silver metal economically. The technique of separation that can be used is a supported liquid membrane (Supported Liquid Membrane, SLM). This technique has the advantage that its separation process is relatively easy because the extraction and stripping process takes place in one stage, the carrying solution as extractant is more stable in the supporting membrane and the amount of extractant required is small. This research studies the effect of waste dilution factors on the efficiency separation of silver from photorontgen waste. Separation was carried out at the optimum SLM condition by using combined carrier compound TBP and D2EHPA with a ratio of 0.25: 0.75, total concentration of 1 M in kerosene and 0.1 M HNO₃ as stripping phase. Sample waste was diluted by a factor dilution 25, 50, 75 and 100 times. Measurement of metal content before and after separation is done with AAS. The results showed that the waste dilution factor influenced the efficiency of silver trasport through SLM. Percent of silver separation was obtained 21.33% in waste with 100 times dilution.

Keywords: *silver, photorontgen waste, supported liquid membrane*

Sejarah Artikel

Diterima: April 2018

Direvisi: Mei 2018

Dipublikasi: Juni 2018

Abstrak

Limbah cair fotorontgen akan berbahaya jika dibuang langsung ke lingkungan karena kandungan ion perak yang bersifat toksik. Kandungan perak pada limbah fotorontgen mencapai 2000 mg/L, sedangkan nilai ambang batas yang diperbolehkan untuk perak dalam perairan adalah 0,1 - 1,0 mg/L, sehingga pembuangan limbah fotorontgen ke perairan akan berbahaya. Namun di sisi lain, perak dalam bentuk logam murni bernilai ekonomis tinggi sehingga upaya pengambilan kembali perak dari limbah fotorontgen diperlukan, selain untuk mengurangi pencemaran logam perak di lingkungan, juga diharapkan logam perak tersebut dapat dimanfaatkan kembali secara ekonomis. Teknik pemisahan yang dapat digunakan adalah membran cair berpendukung (*Supported Liquid Membrane*, SLM). Teknik ini mempunyai kelebihan yaitu proses pemisahannya yang relatif mudah dikarenakan proses ekstraksi dan stripping terjadi dalam satu tahap, larutan pengemban sebagai ekstraktan lebih stabil dalam membran pendukung dan jumlah ekstraktan yang diperlukan kecil. Penelitian ini mempelajari pengaruh faktor pengenceran limbah terhadap efisiensi pemisahan perak dari limbah fotorontgen dengan SLM. Pemisahan dilakukan pada kondisi optimum SLM yang diperoleh yaitu menggunakan senyawa pengemban gabungan TBP dan D2EHPA dengan perbandingan 0,25:0,75, konsentrasi total pengemban 1 M dalam pelarut kerosen dan fasa penerima larutan HNO₃ 0,1 M.

Sampel limbah diencerkan dengan faktor pengenceran 25, 50, 75 dan 100 kali. Pengukuran kadar logam sebelum dan sesudah pemisahan dilakukan dengan AAS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor pengenceran limbah mempengaruhi efisiensi pemisahan perak dengan teknik SLM. Persen pemisahan perak diperoleh 21,33 % pada limbah dengan pengenceran 100 kali.

Kata kunci: perak, limbah fotorontgen, membran cair berpendukung

PENDAHULUAN

Fotorontgen merupakan salah satu bidang fotografi yang menghabiskan 45 % dari total konsumsi perak dalam bidang fotografi (Ramirez, 2011). Proses fotorontgen memanfaatkan sifat perak yang peka terhadap cahaya. Proses fotorontgen akan menghasilkan limbah cair yang mengandung logam perak yang berpotensi mencemari lingkungan. Limbah fotorontgen berasal dari cairan fixer yaitu larutan amonium atau natrium sulfat yang mengubah perak halida dari film klise menjadi perak tiosulfat yang larut dalam air (Orobite, 2012). Analisis pendahuluan terhadap limbah foto rontgen diperoleh kandungan perak dalam limbah lebih dari 2000 mg/L, sedangkan nilai ambang batas yang diperbolehkan untuk logam perak di perairan adalah 0,1 – 1,0 ppm (Modi, 2012). Kandungan Ag yang sangat tinggi pada limbah cair fotorontgen tersebut akan berbahaya jika dibuang langsung ke perairan tanpa proses pengolahan terlebih dahulu. Namun demikian logam perak juga merupakan logam berharga karena digunakan secara luas dalam bidang perhiasan, kedokteran gigi, fotografi, optik dan industri. Kebutuhan perak dunia meningkat 2 – 2,5 % setiap tahunnya. Kebutuhan perak dunia saat ini sebanyak 25 % diperoleh dari hasil daur ulang dan 75 % diperoleh dari pengolahan kembali limbah fotografi (Shankar, 2012). Oleh karena itu, upaya pemisahan dan pengambilan kembali logam perak dari limbah fotorontgen diperlukan, selain diharapkan untuk dapat mengurangi pencemaran lingkungan oleh logam berbahaya juga agar logam perak tersebut dapat dimanfaatkan kembali secara ekonomis.

Ada beberapa teknik yang biasa diterapkan untuk memperoleh kembali (recovery) perak dari limbah fotografi, diantaranya adalah penggantian logam, pengendapan kimia dan elektrolisis (Masebinu, 2014). Teknik pergantian logam didasarkan pada pertukaran logam perak dengan beberapa logam seperti Zn, Cu dan Fe sehingga logam perak akan terikat pada padatan pendukung. Metode ini tidak efektif karena akan meninggalkan ion logam lain dalam larutan dan masih memerlukan proses lanjutan untuk mengambil kembali logam perak dari padatan. Teknik pengendapan dilakukan dengan mengubah kompleks Ag menjadi endapan sulfida dengan menambahkan pereaksi pengendap natrium sulfida, namun proses ini dapat berbahaya karena melepaskan gas H₂S yang beracun. Metode elektrolisis mempunyai kelebihan yaitu prosesnya cepat dan sederhana, namun untuk menghasilkan endapan perak dengan kemurnian yang tinggi perlu dilakukan pemisahan terlebih dahulu. Selain logam perak, limbah fotorontgen juga mengandung logam lain seperti logam besi, natrium, natrium dan kalium (Othman, 2006). Dengan meningkatnya kebutuhan logam perak dalam berbagai bidang kehidupan, maka inovasi untuk mengembangkan teknik pemisahan dengan kinerja tinggi, ekonomis, aman dan efisien masih perlu dilakukan.

Teknik pemisahan yang dikembangkan dalam penelitian ini adalah teknik membran cair berpendukung. Teknik ini mempunyai kelebihan dibandingkan ekstraksi pelarut yaitu karena larutan pengemban sebagai ekstraktan lebih stabil dalam membran pendukung, biaya pengoperasiannya relatif murah karena jumlah ekstraktan yang diperlukan kecil, tidak menghasilkan produk kontaminan, tidak memerlukan fasa-fasa pemisahan karena proses ekstraksi dan stripping terjadi dalam satu tahap, selektif dan fleksibel (Kocherginsky, 2007). Beberapa penelitian tentang pemanfaatan SLM untuk pemisahan perak dan hasilnya menunjukkan bahwa transport perak maksimum diperoleh pada laju alir 50 ml/menit dengan senyawa pengemban DC18C6 0,05 M dalam toluen, fasa umpan 50 ppm Ag dalam HNO₃ 0,015 M dan fasa penerima Na₂S₂O₃ 0,08 M, dimana pada kondisi tersebut persen transpor

perak sebesar 94 % (Altin, 2010). Recovery perak dari limbah cair cuci cetak foto dilakukan oleh Djunaedi (2007) menggunakan membran cair berpendukung dengan senyawa pengembang D₂EHPA 1 M. Hasilnya menunjukkan bahwa transpor perak optimum diperoleh sebesar 96,44 % dengan pH fasa umpan 2,5 dan larutan penerima HCl. Recovery perak juga dilakukan terhadap limbah padat film radiografi menggunakan reaktor elektrokimia diperoleh persen recovery 99 % dengan konsentrasi perak yang tersisa pada limbah sebesar 1 ppm. Hasil tersebut dinilai efisien karena nilai ambang batas perak pada limbah adalah 5 ppm (Ramirez, 2011).

Keberhasilan proses pemisahan pada SLM dipengaruhi oleh komposisi fasa membran, komposisi fasa umpan dan fasa penerima. Optimasi terhadap pengaruh beberapa parameter di fasa umpan, fasa membrane dan fasa penerima telah dilakukan dan diperoleh hasil optimum pemisahan perak pada komposisi fasa membran berupa senyawa pengembang gabungan D₂EHPA dan TBP pada konsentrasi total 1 M dengan perbandingan 0,75 : 0,25, fasa penerima berupa larutan asam nitrat dengan konsentrasi 0,1 M dan fasa umpan larutan perak dengan konsentrasi 20 ppm. Pemisahan perak pada kondisi tersebut memberikan persen ekstraksi sebesar 91,89 % (Kurniasih, 2017). Dalam penelitian ini digunakan gabungan 2 pengembang yaitu asam di-2-etilheksil fosfat (D₂EHPA) yang merupakan penukar kation dan tributyl fosfat (TBP) yang merupakan pensolvasi. Penggunaan senyawa pengembang gabungan dapat memberikan efek sinergis yang akan meningkatkan laju transpor perak dan meningkatkan selektifitasnya. Efek sinergis dihasilkan apabila salah satu pengembang berupa asam seperti D₂EHPA yang akan menetralkan muatan positif ion logam dan pengembang lainnya berupa molekul netral seperti TBP yang dapat mensolvasi kompleks yang terbentuk. Pada penelitian ini dipelajari pengaruh pengenceran limbah terhadap efisiensi penerapan kondisi optimum SLM menggunakan senyawa pengembang gabungan TBP dan D₂EHPA untuk pemisahan perak dari limbah fotorontgen.

METODE

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah: seperangkat alat pemisahan SLM, Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) untuk menentukan persen transport logam perak, dan peralatan gelas lainnya yang biasa digunakan di laboratorium. Sedangkan bahan kimia utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah: larutan AgNO₃ sebagai standar perak, sebagai fasa membran adalah larutan asam di-2-etil heksil posfat (D₂EHPA) dan tributyl posfat (TBP), larutan HNO₃ sebagai fasa penerima, membran WHATMAN PTFE (politetrafluoroetilen) dengan ukuran pori 0,5 µm dan diameter 47 mm sebagai membran pendukung, dan kerosen sebagai pelarut fasa organik.

Preparasi Membran Cair Berpendukung

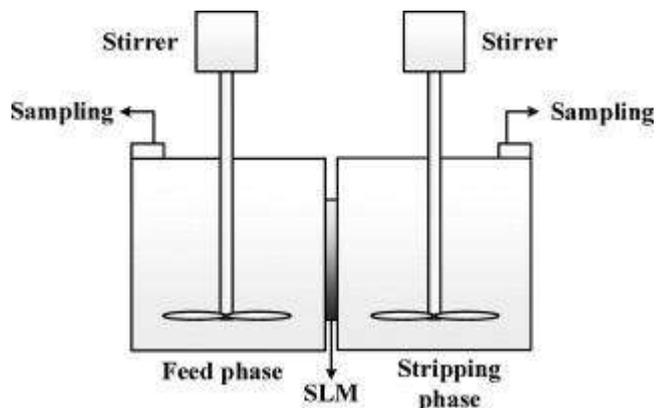
Membran cair dibuat dengan melarutkan gabungan senyawa pengembang D₂EHPA dan TBP dengan perbandingan 0,75 : 0,25 dengan konsentrasi total 1 M dalam pelarut kerosen. Selanjutnya membran pendukung PTFE direndam dalam larutan senyawa pengembang ini selama 2 jam.

Preparasi Limbah Fotorontgen

Limbah fotorontgen diambil dari salah satu rumah sakit di Mataram. Sebelum dilakukan pemisahan dengan teknik membran cair berpendukung, sampel limbah tersebut terlebih dahulu diukur pH-nya dengan pH meter dan dianalisis komposisinya dengan spektrofotometer serapan atom (AAS) untuk mengetahui kandungan Ag, Na dan K. Selanjutnya sampel diencerkan dengan faktor pengenceran yang divariasikan yaitu 25, 50, 75 dan 100 kali untuk mendapatkan pengenceran optimum pemisahan Ag. Sampel hasil pengenceran ini kemudian digunakan sebagai fasa umpan pada pemisahan dengan membran cair berpendukung.

Proses Pemisahan Perak dari Limbah Fotorontgen

Membran pendukung PTFE yang telah direndam selama 2 jam dalam larutan pengemban tadi diambil dan diletakkan beberapa saat di antara kertas saring untuk mengurangi kelebihan larutan senyawa pengemban, kemudian dipasang sedemikian rupa di antara fasa umpan dan fasa penerima pada alat pemisahan SLM. Sebagai fasa umpan adalah larutan limbah fotorontgen yang telah diencerkan dengan berbagai variasi faktor pengenceran dan sebagai fasa penerima adalah larutan HNO₃ dengan konsentrasi 1 M. Skema pemisahan perak dengan teknik SLM dapat ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Skema alat SLM

Selanjutnya dilakukan pengadukan dilakukan selama 300 menit dengan kecepatan 300 rpm. Setelah proses pemisahan, untuk mengetahui kandungan perak yang tersisa pada fasa umpan dan yang berpindah ke fasa penerima diukur dengan spektrofotometer serapan atom. Efisiensi pemisahan perak dari fasa umpan ke fasa penerima dihitung menggunakan rumus:

$$\% E = \frac{C_x}{C_o} \times 100 \%$$

Keterangan :

% E : persen transpor

C_o : konsentrasi Ag mula-mula di fasa umpan

C_x : konsentrasi Ag akhir di fasa penerima

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Komposisi Limbah Fotorontgen

Analisis kandungan logam Ag, Na dan K pada limbah fotorontgen dilakukan dengan spektrofotometer serapan atom dan diperoleh hasil seperti disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisis Limbah Fotorontgen

No.	Logam	Kadar (mg/L)
1	Ag	2.326
2	Na	458.355
3	K	371.790

Dari tabel 1 tersebut terlihat bahwa kadar logam Ag pada limbah fotorontgen jauh melebihi ambang batas yang diperbolehkan untuk limbah sebelum dibuang ke perairan yaitu 0,1-1,0 ppm. Kandungan logam perak yang tinggi pada limbah fotorontgen tersebut berasal dari film *klise* yang mengandung perak dalam bentuk perak halida yaitu AgBr. Untuk mendapatkan negatif film pada fotorontgen, tahapannya sama dengan fotografi yang juga memanfaatkan logam perak dalam bentuk halidanya. Saat disinari dengan sinar X, senyawa

perak halida yang terdapat pada film *klise* sangat peka terhadap cahaya akan tereduksi menjadi logam perak dan gas. Bagian yang tersinari berubah menjadi hitam karena terbentuk senyawa Ag_2O , sedangkan bagian yang tertutup tetap berbentuk senyawa halida perak. Untuk menghilangkan sisa perak bromida yang tidak terpapar cahaya, film dicelupkan ke larutan natrium tiosulfat atau ammonium tiosulfat (*acifix*). Perak klorida akan terlarut membentuk garam kompleks perak tiosulfat. Perak yang terlarut dalam bentuk garam perak kompleks inilah yang biasanya disebut limbah cair *fixer*. Tahap ini dikenal sebagai proses *fixing* atau fiksasi foto dan larutannya disebut sebagai *fixer* (Hadikawuryan, 2005).

Kandungan perak yang tinggi pada limbah fotorontgen akan membahayakan apabila dibuang ke lingkungan. Perak dalam bentuk unsurnya memang tidak beracun namun dalam bentuk senyawa garamnya banyak yang berbahaya. Perak dalam bentuk ionnya maupun dalam bentuk senyawanya yang larut di perairan tidak boleh melebihi 0,1 ppm, karena dapat mengakibatkan toksik bagi organisme yang hidup di perairan. Ion Ag^+ perak memiliki keaktifan biologis yang sangat tinggi yaitu dapat bereaksi dengan gugus aktif dari enzim serta gugus nitrogen dari DNA sehingga menghambat kinerja dan aktifitas sel. Senyawa – senyawa perak dapat diserap dalam sistem sirkulasi tubuh. Hasil reduksinya dapat terdeposit pada banyak jaringan tubuh sehingga mengakibatkan timbulnya pigmen berwarna abu kehitaman pada permukaan kulit.

Pemisahan Perak dari Limbah Fotorontgen

Pengambilan kembali perak dari limbah fotorontgen dilakukan pada kondisi optimum yang sudah diperoleh pada teknik SLM untuk pemisahan perak, yaitu pada komposisi fasa membran berupa senyawa pengemban gabungan D2EHPA dan TBP pada konsentrasi total 1 M dengan perbandingan 0,75 : 0,25, fasa penerima berupa larutan asam nitrat dengan konsentrasi 0,1 M dan fasa umpan larutan perak dengan konsentrasi 20 ppm, dimana pemisahan perak pada kondisi tersebut memberikan persen ekstraksi sebesar 91,89 %. Hasil pemisahan perak dari limbah fotorontgen pada kondisi tersebut diperoleh hasil seperti tersaji dalam Tabel 2.

Tabel 2. Persen Transpor Logam Ag, Na dan K dari Limbah Fotorontgen melalui Membran Cair Berpendukung

Pengenceran Limbah Fotorontgen	Kadar Logam pada Fasa Umpan sebelum pemisahan (ppm)			Kadar Logam pada Fasa Penerima setelah Pemisahan (ppm)			transpor logam (%)		
	Ag	Na	K	Ag	Na	K	Ag	Na	K
	25 kali	85,00	18.322,87	14.871	3,95	8.203,35	763,13	4,65	20,53
50 kali	42,02	9.161,43	7.435	3,60	4.101,67	953,92	8,57	25,66	44,77
75 kali	31,70	6.107,62	4.957	4,19	3.418,06	1.192,40	13,22	32,07	55,96
100 kali	23,26	4.580,72	3.717	4,96	4.272,58	1.490,50	21,33	40,09	93,27

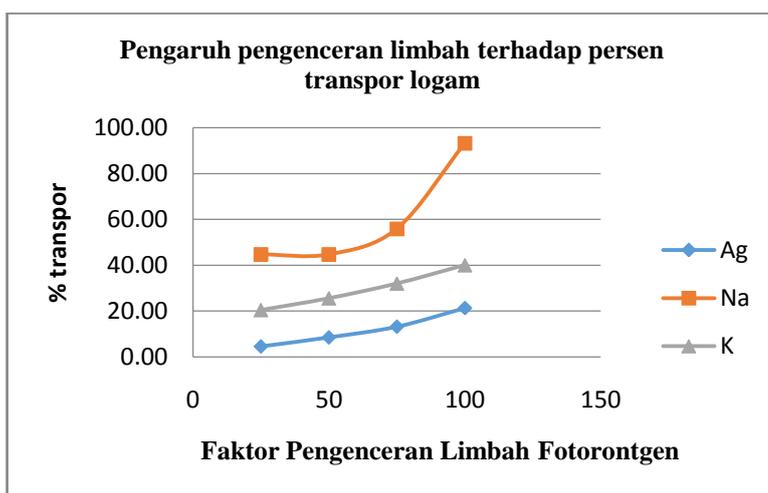
Dari Tabel 2 tersebut terlihat bahwa persen transpor perak yang dihasilkan pada pemisahan perak dari limbah fotorontgen sangat kecil dibandingkan persen transpor perak yang diperoleh saat optimasi menggunakan larutan Ag murni yaitu sebesar 91,89 %. Hal ini disebabkan karena kadar logam Na dan K yang terdapat dalam limbah sangat besar, dimana Na dan K juga berpotensi untuk terikat pada senyawa pengemban TBP dan D2EHPA dalam fasa membran sehingga ikut ditranspor ke fasa penerima. Selain itu, kemungkinan juga disebabkan karena perak dalam limbah foto *roentgen* berada dalam bentuk kompleks $[Ag(S_2O_3)_2]^{3-}$ dengan pH 5 dimana pada pH tersebut kompleks perak tiosulfat bersifat stabil sehingga sulit bereaksi dengan senyawa pengemban dalam fasa membran. Penguraian kompleks $[Ag(S_2O_3)_2]^{3-}$ ini dapat terjadi pada pH rendah yaitu pH 2,5 (Djunaidi, dkk 2007).

Pada pH rendah kompleks $[Ag(S_2O_3)_2]^{3-}$ dapat mengalami penguraian membentuk sulfur koloid dan sulfur oksida melalui persamaan reaksi berikut (Songkroah et al, dalam Djunaidi, dkk 2007) :



Pada pH rendah, ion Ag^+ dalam keadaan bebas akan semakin banyak jumlahnya karena hasil dari penguraian kompleks Ag-thiosulfat, sehingga pada pH rendah D2EHPA akan semakin mudah untuk mengkomplekskan ion Ag^+ dari limbah foto roentgen tersebut. Pada penelitian ini tidak dilakukan optimasi pH sampel limbah, dimana larutan limbah yang diekstraksi berada pada pH 5 sehingga ikatan kompleks Ag-tiosulfat dalam limbah ini sulit untuk diputuskan. Karena ikatan kompleks yang kuat, maka ion Ag^+ yang terekstraksi ke dalam fasa organik sangat sedikit.

Dari tabel 2 terlihat bahwa pengenceran sampel limbah sebelum dilakukan pemisahan dengan SLM mempengaruhi transport logam yang dihasilkan pada fasa penerima. Faktor pengenceran limbah menentukan konsentrasi awal logam pada fasa umpan. Semakin besar faktor pengenceran, konsentrasi logam dalam fasa umpan semakin kecil sehingga persen transpor logam ke fasa penerima menjadi lebih besar. Hubungan antara faktor pengenceran limbah terhadap transpor logam melalui SLM ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 2. Grafik hubungan antara faktor pengenceran limbah fotorontgen terhadap persen transpor logam

Pada faktor pengenceran yang semakin kecil berarti konsentrasi Ag dalam fasa umpan semakin besar, sedangkan konsentrasi total pengemban TBP dan D2EHPA dalam fasa membran maka jumlah ion Ag^+ yang dapat dipindahkan ke fasa penerima menjadi terbatas. Pada kondisi seperti ini, jumlah molekul senyawa pengemban telah mencapai titik jenuh dimana semua gugus aktif dari pengemban telah berikatan dengan ion Ag^+ sehingga meskipun konsentrasi ion logam diperbesar, hal ini tidak akan mempengaruhi jumlah ion logam yang terekstrak ke dalam fasa penerima.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa faktor pengenceran berpengaruh terhadap efisiensi pemisahan logam perak dari limbah fotorontgen dengan teknik membran cair berpendukung. Persen transpor perak yang dihasilkan pada penelitian ini 21,33 % pada pengenceran limbah fotorontgen 100 kali.

SARAN

Penelitian lanjutan untuk meningkatkan persen transpor dan selektifitas pemisahan perak perlu dilakukan dengan mempelajari variabel pengaruh penambahan senyawa pengompleks di fasa umpan yang berfungsi sebagai masking agent untuk logam Na dan K.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Dirjen Riset dan Pengembangan Kemenristek Dikti yang telah mendanai penelitian ini melalui Program Penelitian Program Terapan (PPT) Tahun 2017. Ucapan terimakasih juga ditujukan kepada semua pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini baik secara teknis maupun non teknis.

DAFTAR PUSTAKA

- Altin, Sureyya. Yilmaz Yildirim. Ahmet Altin. 2010. "Transport of Silver Ions Through a Flat-Sheet Supported Liquid Membrane". *Hydrometallurgy*. Volume 103 p. 144-149.
- Djunaedi, M.C., D.S. Widodo dan S. Anwar. 2007. "Recovery Perak dari Limbah Fotografi melalui Membran Cair Berpendukung dengan Senyawa Pembawa Asam Di-2-etil Heksil Posfat (D2EHPA)". *Reaktor* Vol. 11 No. 2.
- Hadikawuryan, D.S. 2005. "Pemisahan Logam Perak (I) Menggunakan Membran Cair Emulsi (ELM) dengan Pembawa Sinergi". *Universitas Diponegoro Semarang*.
- Kocherginsky, N.M. Qian Yang. Lalitha Seelam. 2007. "Recent advances in supported liquid membrane technology". *Separation and Purification Technology*. Volume 53 p 171–177.
- Kurniasih, Y. Baiq Asma Nufida. Ahmadi. Nova Kurnia. 2017. "Pengembangan Teknik Membran Cair Berpendukung untuk Pemisahan Perak dari Limbah". *Prosiding Seminar Nasional Kimia Unesa*.
- Masebinu, Samson O. And Edison Muzenda. 2014. "Review of Silver Recovery Techniques from Radiographic Effluent and X-ray Film Waste". *Proceedings of The World Congress on Engineering and Computer Science 2014*. Volume II.
- Modi, Ashish. Kishan Shukla. Jaimin Pandya. Kalpesh Parmar. 2012. "Extraction of Silver from Photographic Waste". *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. Volume 2. Issue 11. P. 599-606.
- Orubite – Okorosaye, K and Jack, I.R. 2012. "Estimation of silver content in some photographic wastes". *AMERICAN JOURNAL OF SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH*. Volume 3 No.6. p 390-394.
- Othman, Norasikin. Hanapi Mat. Masahiro Goto. 2006. "Separation of silver from photographic wastes by emulsion liquid membrane system". *Journal of Membrane Science*. Volume 282 p 171–177.
- Ramirez, P.A. V.E. Reyes. M.A. Veloz. 2011. "Silver Recovery from Radiographic Films Using an Electrochemical Reactor". *International Journal Electrochemistry Science*. Volume 6 p. 6151-6164.
- Shankar, S., S.V. More, R. Seeta Laxman. 2010. "Recovery of Silver from Waste X-ray Film by Alkaline Protease from *Conidiobolus coronatus*". *Katmandu University Journal of Science, Engineering and Technology*. Volume 6 No. 1. P. 60-69.