



## Pengambilan Kembali Logam Perak dari Limbah Cair Bekas Pencucian Foto Rontgen dengan Metode Elektrokimia

Tri Widayatno\* dan Pahlawani Novitasari

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Jalan A. Yani Tromol Pos I Pabelan Kartosuro Surakarta 57162 Indonesia

\*E-mail: [tri.widayatno@ums.ac.id](mailto:tri.widayatno@ums.ac.id)

### Abstract

*X-rays photography activities generate hazardous wastewater containing silver nitrate and silver bromide which are mainly from the washing stage. X-rays washing liquor after being used will eventually be discharged into the environment. This leads to pollution and contamination of surface water. The hazardous contaminants may cause environmental problems and health risk for human and wildlife. Exposure to such pollutants can cause an irritation and burning sensation in the skin and mucous membranes, pain in the mouth, diarrhea, vomiting, coma, and convulsion. It also causes a serious gastroenteritis which will be fatalistic case. So it is crucial to reduce the amount of silver contained in the wastewater and in the same time the silver can be recovered. This study aimed to reduce the pollutants and to recover the metal silver from the wastewater using an electrochemical method. Operating conditions of electrical potential and current would be optimised. The effects of various anode-cathode pairs, electrical potentials and currents were observed. The results show that electrochemical reduction of silver possibly occurs at 1.8 to 2.2 V indicated by a significant increase of cathodic electrical current in the polarisation curves. The optimal condition was achieved at a potential of 2.2 Volt within 10 minutes using an anode of copper plate and cathode of graphite rod that could reduce the amount of silver in the waste from 9.35 g/L to 1.56 g/L.*

**Keywords:** X-ray photography wastewater, electroplating, silver (Ag) recovery, electrodeposition

### Pendahuluan

Teknologi selalu berkembang tahun demi tahun hingga teknologi berevolusi menggantikan teknologi sebelumnya (Suyanto dan Bachtiar, 2011). Salah satu teknologi yang terus berkembang adalah fotografi dan radiografi. Rontgen merupakan alat potret yang menggunakan sinar X dapat menembus bagian-bagian dalam tubuh atau potret (memotretkan diri) pada alat (pesawat) elektronik yang dilengkapi dengan sinar X (KBBI). Sektor fotografi pada setiap tahunnya mengalokasikan sekitar 45% dari perak untuk aplikasi radiografi. Limbah cair yang dihasilkan akan sangat berbahaya jika langsung dibuang ke lingkungan setelah digunakan (Ramirez, dkk., 2011). Air limbah sisa pencucian foto rontgen tersebut masih mengandung logam perak terlarut, karena dalam prosesnya menggunakan cairan pencuci foto rontgen yang mengandung perak nitrat dan perak bromida (Aslan, dkk., 2011). Jika limbah cair tersebut langsung dibuang ke lingkungan akan menimbulkan pencemaran dan membahayakan kesehatan manusia. Jika terpapar pada air atau lingkungan yang terkontaminasi perak, manusia kan mengalami keracunan. Akibat dari keracunan terbut bisa menimbulkan gejala-gejala antara lain: timbulnya warna biru keabu-abuan pada mata, sekat rongga hidung, tenggorokan dan kulit, iritasi pada kulit, borok dan gangguan pencernaan, yang disebabkan oleh karena paparan yang berlebihan (*over exposure*) terhadap senyawa logam perak. Paparan yang berkepanjangan (*chronic exposure*) terhadap senyawa perak dapat menyebabkan timbulnya warna biru keabu-abuan pada kulit yang dikenal juga sebagai *argyria* atau *argyrosis* (Madhavan, dkk., 2015). Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah, batas kadar maksimum perak dalam limbah untuk dibuang ke lingkungan yang diperbolehkan adalah 0,5 mg/L. Sedangkan komposisi perak dalam limbah cair bekas pencucian foto rontgen pada umumnya berkisar antara 2500,00 mg/L sampai dengan 6200,50 mg/L. Proses pengembangan 1 kg film sinar-X menghasilkan limbah yang mengandung 14 sampai 17 gram perak (Masebinu dan Muzenda, 2014).

Berbagai metode teknologi telah digunakan untuk mengolah limbah yang mengandung perak tersebut. Bahkan kebutuhan perak di dunia yang dipasok dari proses daur ulang sebanyak 25% yang mana 75% nya didapatkan dari limbah fotografi. Metode pengolahan yang harusnya dipergunakan untuk masalah ini tidak hanya untuk mengolah limbah saja, tetapi juga dapat memperoleh kembali perak dari limbah rontgen secara efisien serta efektif untuk mengurangi waktu dan biaya (Modi, dkk., 2012). Perak dalam bentuk kompleks anionik tiosulfat  $[Ag_2(SO_3)_2]^{3-}$  dapat dipisahkan dari larutannya dengan cara elektrolisis, pergantian logam (*metallic replacement*), pengendapan, penukar





ion, membran cair emulsi (ELM), dan adsorpsi dengan kitin (Songkroah, dkk., 2003). Penelitian perolehan kembali logam perak dari limbah cair pencucian film studio dibandingkan dengan film x-ray telah dilakukan menggunakan metode SN Flake seperti yang telah dilakukan oleh Kuswati dkk., (2003). Namun dengan metode tersebut sisa perak yang masih ada dalam filtrat hasil percobaan ternyata masih cukup tinggi yaitu berkisar antara 1,59 mg/L sampai 22,90 mg/L, selain itu dapat timbul limbah sekunder yaitu berupa sisa-sisa pembakaran yang tertinggal dalam koi, juga adanya sisa Zn yang akan menimbulkan masalah baru dalam pengolahan limbahnya (Kuswati, dkk., 2003). Penelitian tersebut menyarankan agar menggunakan metode yang lebih ramah lingkungan, efisien dan efektif.

Salah satu metode yang teridentifikasi lebih ramah lingkungan adalah metode elektrokimia. Metode ini dapat digunakan untuk mengurangi kandungan perak dalam cairan limbah sekaligus dapat untuk mengambil kembali logam perak tersebut. Metode ini juga pernah digunakan untuk pengendapan logam mangan dan seng. Penelitian tersebut menyebutkan bahwa pengaruh waktu dan voltase dalam proses elektroplating berpengaruh terhadap pengendapan logam mangan dan seng, dan didapatkan kondisi optimum proses pengendapan logam dan seng pada voltase 3 Volt sampai 4,5 Volt dengan waktu optimumnya 150 menit (Buyang dan Asmaningrum, 2015). Untuk itu, metode elektrokimia akan digunakan untuk pengolahan limbah cair foto rontgen sehingga bisa mengurangi kadar perak dalam limbah sekaligus mengambil kembali logam peraknya..

Reaksi elektrokimia adalah reaksi yang melibatkan pelepasan dan penerimaan elektron atau disebut juga reaksi redoks. Metode elektrokimia banyak digunakan untuk mengolah limbah. Sel elektrokimia yaitu alat yang terdiri dari sepasang elektroda yang dicelupkan ke dalam suatu larutan dan dihubungkan ke konduktor logam pada rangkaian luar (Ahmad, 2011). Basis elektrokimia yang dipilih ialah elektroplating karena memiliki potensi untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dari penelitian sebelumnya dan lebih ramah lingkungan. Elektroplating termasuk ke dalam proses elektrolisa yang biasanya dilakukan dalam bejana sel elektrolisa dan berisi cairan elektrolit (Buyang dan Asmaningrum, 2015).

Tujuan dari penelitian ini ialah untuk mengurangi jumlah logam perak yang terdapat dalam air bekas pencucian foto rontgen sekaligus mengambil kembali logam peraknya. Tujuan tersebut dicapai dengan menganalisis pengaruh arus listrik dan voltase terhadap reaksi reduksi perak (percobaan polarisasi), sehingga bisa digunakan untuk menentukan kondisi optimal pengambilan kembali logam perak dalam air bekas pencucian foto rontgen dengan variabel waktu dan potensial listrik.

## Metode Penelitian

Penelitian dilakukan pada kondisi temperatur ruang di Laboratorium Teknik Kimia Universitas Muhammadiyah Surakarta. Perlengkapan alat dalam penelitian ini di antaranya: gelas kimia (*beaker glass*) yang dilengkapi dengan pasangan elektroda berupa grafit-lempengan tembaga dan gelas kimia yang dilengkapi pasangan elektroda grafit-grafit. Ukuran elektroda yaitu, tembaga 4 cm x 1cm yang dipakai sebagai katoda, sedangkan anoda berupa grafit dengan ukuran panjang 5,7 cm dan diameter 1,2 cm. Elektroda lain dipakai grafit-grafit dengan ukuran panjang 5,7 cm dan diameter 1,2 cm yang belaku sebagai katoda dan juga anoda. Selain itu diperlukan juga penyedia arus listrik yang didapat dari catu daya Sanfix SP3050, kemudian disambungkan dengan Multimeter Fluke 17B+ untuk memonitor arus yang mengalir. Alat lain yang dipakai adalah perlengkapan titrasi dan pH meter. Sedangkan limbah cair bekas pencucian foto rontgen diambil dari salah satu rumah sakit di Jawa Tengah (RSUD Sragen). Bahan-bahan kimia yang dipergunakan untuk pretreatment dan analisis sampel limbah, antara lain  $\text{HNO}_3$  6N dan KCNS 0,1N yang merupakan *grade* analitik (PA) didapatkan dari penyedia MERCK dan SIGMA. Rangkaian alat dalam percobaan elektroplating akan digambarkan pada skema Gambar 1.

Adapun langkah-langkah percobaan yang dilakukan adalah.

- Menentukan kadar logam perak dalam limbah cair bekas pencucian foto rontgen sebelum diberi perlakuan elektrokimia.

Cairan bekas pencucian foto rontgen sebanyak 60 ml dimasukkan dalam labu takar 100 ml ditambahkan dengan 2 ml  $\text{HNO}_3$  6N. Kemudian diencerkan dengan aquadest. Larutan diambil 5 ml dan ditambah 1 ml  $\text{HNO}_3$  6N. Lalu ditambahkan dengan 0,3 ml indikator ferry ammonium sulfat 40%. Larutan dititrasi dengan KCNS 0,1N sampai timbul warna merah.

- Persiapan bahan baku untuk proses elektroplating.

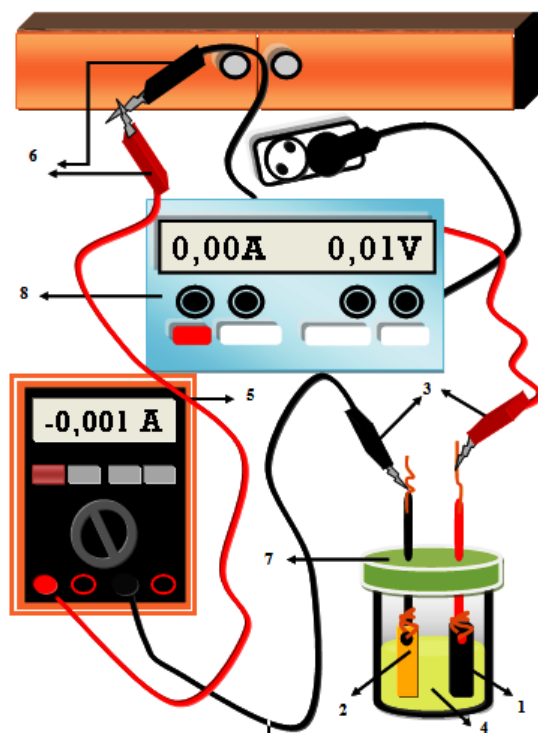
Melakukan pembersihan secara mekanik yaitu membersihkan dan menghaluskan spesimen tembaga dengan cara digosok menggunakan kertas amplas dilanjutkan secara kimia dengan mencelupkan spesimen tembaga yang sudah diampelas ke dalam larutan asam nitrat, kemudian spesimen tembaga dicelupka ke dalam aquades. Lalu menimbang elektroda yang digunakan sebelum dielektroplating dengan neraca analitik. Selanjutnya mengukur pH sampel limbah sebelum dielektroplating dengan pH meter, dan mengukur konduktivitas listrik sampel limbah sebelum dielektroplating dengan *conductivity meter*.

- Eksperimen polarisasi.

Percobaan ini bertujuan untuk karakterisasi elektrokimia limbah yang mengandung perak tersebut. Alat elektroplating dirangkai seperti pada Gambar 1, dengan anoda-katoda yaitu grafit-lempengan tembaga, kemudian mengatur voltase pada power supply dari 0 sampai 3 Volt untuk tiap kenaikan voltase 0,1 setiap



menit dicatat hasil arus yang terbaca pada alat multimeter, melakukan pengulangan percobaan sebanyak 3 kali. Langkah kerja di atas berlaku juga untuk anoda–katoda berupa grafit–grafit, kemudian membuat kurva polarisasinya dan memilih anoda–katoda yang menghasilkan hasil terbaik dan menentukan rentang kondisi optimum untuk elektroplating.



Keterangan:

1. Anoda
2. Katoda
3. Kabel listrik
4. Limbah cair bekas pencucian foto rontgen
5. Multimeter digital
6. Penjepit buaya
7. Penyangga dari sandal jepit
8. Power supply

**Gambar 1.** Rangkaian alat pengolahan limbah dengan elektroplating

d. Proses elektroplating (pengambilan kembali logam perak dalam limbah cair bekas pencucian foto rontgen).

Merangkai alat elektroplating seperti pada Gambar 1, (dipilih anoda–katoda berupa grafit–lempengan tembaga), kemudian melakukan elektroplating pada kondisi suhu ruangan dengan waktu plating 5, 10, dan 20 menit dengan voltase 1,8; 1,9; 2,0; 2,1; dan 2,2 Volt. Lalu mencatat hasil arus yang terbaca pada alat multimeter, selanjutnya melakukan pengujian hasil elektroplating dengan cara menimbang elektroda yang digunakan setelah dielektroplating dengan neraca analitik, kemudian mengukur pH sampel limbah setelah dielektroplating dengan pH meter, lalu mengukur hambatan listrik sampel limbah setelah dielektroplating dengan multimeter dan mengukur konduktivitas listrik sampel limbah setelah dielektroplating dengan conductivity meter.

- e. Menentukan kadar logam perak dalam limbah cair tersebut setelah diberi perlakuan elektrokimia. Cairan bekas pencucian foto rontgen sebanyak 60 ml dimasukkan dalam labu takar 100 ml ditambahkan dengan 2 ml  $\text{HNO}_3$  6N. Kemudian diencerkan dengan aquadest. Larutan diambil 5 ml dan ditambahkan 1 ml  $\text{HNO}_3$  6N. Lalu ditambahkan dengan 0,3 ml indikator ferry ammonium sulfat 40%. Larutan dititrasi dengan KCNS 0,1N sampai timbul warna merah.

## Hasil dan Pembahasan

Karakterisasi elektrokimia limbah keluaran aktivitas rontgen dengan percobaan polarisasi telah dilakukan dan dipublikasikan sebelumnya (Widayatno dkk, 2016). Hasil penelitian sebelumnya tersebut menunjukkan bahwa elektroda yang lebih baik untuk dipergunakan dalam proses elektroplating perak dari limbah tersebut adalah grafit (anoda) dan lempengan tembaga (katoda) dibandingkan dengan elektroda grafit–grafit. Rentang potensial listrik yang memungkinkan terjadinya proses electrodeposisi perak adalah 1,8 sampai dengan 2,2 Volt, yang ditunjukkan oleh kenaikan arus di katoda secara signifikan (Widayatno dkk, 2016). Adapun densitas arus elektroplating perak dari limbah untuk elektroda grafit–tembaga berada pada kisaran -5 sampai -22  $\text{mA/cm}^2$ . Oleh karena itu, untuk penelitian pengambilan kembali logam perak dengan elektroplating dipergunakan anoda grafit dan katoda lempengan tembaga pada rentang voltase antara -1,8 Volt sampai -2,2 Volt dan densitas arus pada kisaran -5 sampai -22  $\text{mA/cm}^2$ .

Percobaan elektroplating perak dari limbah tersebut telah dilakukan dengan cara potensiometri. Untuk menentukan kondisi operasi yang optimum, beberapa parameter yang diamati antara lain kandungan perak dalam limbah, pH, arus listrik, dan berat perak yang terambil.



Kandungan perak dalam limbah sebelum dan sesudah percobaan elektroplating diukur dengan analisis titrasi. Pengujian titrasi dilakukan dengan metode Argentometri Volhard. Apabila reaksi reduksi dalam elektroplating benar terjadi, maka akan menyebabkan kandungan logam perak dalam sampel akan berkurang pada saat setelah dilakukan proses elektroplating. Tabel 1 menyajikan hasil analisis titrasi yang menunjukkan banyaknya kadar perak sebelum dan juga sesudah dilakukan proses elektroplating. Perhitungan kandungan perak setelah elektroplating dengan titrasi dilakukan pada tiap-tiap sampel ketika telah selesai diberikan perlakuan elektroplating dengan menggunakan variabel yang berbeda. Variabel yang digunakan adalah waktu elektroplating yaitu 5, 10, dan 20 menit. Variabel lain yang dipakai dalam percobaan elektroplating adalah dengan voltase yaitu pada voltase 1,8; 1,9; 2,0; 2,1 dan juga 2,2 Volt.

Tabel 1 menjelaskan bahwa adanya perlakuan elektroplating dapat mempengaruhi kadar perak dalam sampel. Proses elektroplating dapat menurunkan kadar perak yang terkandung dalam sampel sesudah diberikan perlakuan elektroplating baik selama 5, 10, atau 20 menit, dan juga dengan menggunakan voltase 1,8 sampai dengan 2,2 Volt.

**Tabel 1.** Kandungan perak dalam sampel sebelum dan sesudah elektroplating.

No	Variabel		Kandungan perak sebelum (g/L)	Kandungan perak sesudah (g/L)
	Waktu (menit)	Tegangan (volt)		
1		1,8		3,595
2		1,9		2,635
3	5	2,0		2,157
4		2,1		2,120
5		2,2		1,556
6		1,8		2,995
7		1,9		2,517
8	10	2,0	Dilakukan hanya sekali saat sampel pertama saja, kandungan perak adalah 9,35 gram/liter	2,157
9		2,1		1,678
10		2,2		1,557
11		1,8		2,753
12		1,9		2,397
13	20	2,0		1,905
14		2,1		1,905
15		2,2		1,557

**Tabel 2.** pH larutan limbah sampel sebelum dan sesudah elektroplating pada berbagai variasi tegangan listrik.

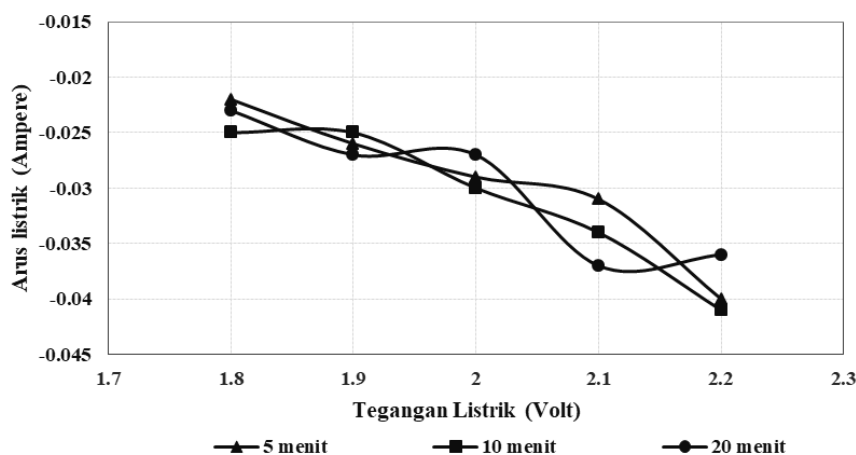
No	Tegangan Listrik (V)	pH Rata-rata	
		Sebelum	Sesudah
1	1,8	4,9	4,9
2	1,9	4,93	4,96
3	2,0	4,96	5
4	2,1	4,96	5
5	2,2	4,9	5

pH larutan limbah sampel sebelum dan sesudah diberi perlakuan elektroplating juga diamati. Hal ini untuk mengetahui pengaruh elektroplating terhadap nilai pH dalam sampel sebelum dan sesudah dilakukan perlakuan elektroplating. Hasil pengamatan dan pengukuran pH disajikan pada Tabel 2. Tabel 2 memberikan gambaran bahwa perlakuan elektroplating tidak terlalu memberikan pengaruh terhadap nilai pH dari sampel. pH sebelum



elektroplating tidak jauh berbeda dengan pH sampel sesudah dielektroplating, atau dapat dilihat dari penurunan harga pH sebelum dan sesudah elektroplating yang tidak terlalu signifikan.

Arus listrik yang mengalir pada percobaan elektroplating untuk tiap variabel berbeda antara tegangan listrik dan juga waktu elektroplating yang diterapkan dalam penelitian juga diamati dan dicatat. Arus listrik yang mengalir dalam percobaan elektroplating menunjukkan bahwa oleh multimeter menandakan bahwa reaksi reduksi dalam proses elektroplating mulai terjadi. Hasil arus yang terbentuk saat percobaan elektroplating akan ditunjukkan pada Gambar 2. Terlihat di Gambar 2, tegangan listrik mempengaruhi besarnya arus listrik pada proses elektroplating. Tegangan listrik yang semakin tinggi, menyebabkan arus listrik di katoda juga meningkat. Peningkatan ini menunjukkan bahwa reaksi reduksi terjadi lebih cepat. Arus yang besar menandakan reaksi elektroplating terjadi dengan lebih cepat dan kemungkinan akan menghasilkan perak yang menempel pada katoda juga semakin banyak.



**Gambar 2.** Arus listrik yang mengalir selama proses elektroplating perak dari limbah cair bekas pencucian foto rontgen pada berbagai variasi tegangan listrik dan waktu.

**Tabel 3.** Berat logam perak yang terdeposisi pada permukaan katoda

No	Variabel		Berat perak (gram)
	Waktu (menit)	Voltase (volt)	
1	5	1,8	0,014
2		1,9	0,010
3		2,0	0,011
4		2,1	0,011
5		2,2	0,010
6	10	1,8	0,013
7		1,9	0,016
8		2,0	0,023
9		2,1	0,011
10		2,2	0,037
11	20	1,8	0,012
12		1,9	0,019
13		2,0	0,032
14		2,1	0,009
15		2,2	0,029



Tabel 3 menunjukkan berat logam perak yang menempel pada katoda yang diamati dengan cara mengurangi hasil penimbangan berat katoda setelah dan sebelum proses elektroplating. Hal ini dilakukan sebab penentuan kondisi paling optimal dengan menggunakan arus yang terbentuk sebenarnya tidak terlalu baik karena arus yang sangat besar memang menandakan reaksi semakin cepat, akan tetapi kemungkinan juga dibarengi dengan reaksi lain seperti timbulnya gas  $H_2$ , yang akan menurunkan efisiensi arus listrik.

Tabel 3 menunjukkan bahwa berat perak yang paling besar dicapai pada voltase 2,2 Volt dengan waktu elektroplating 10 menit yaitu 0,037 gram. Apabila dihubungkan dengan hasil penentuan optimasi dilihat dari arus yang terbentuk, ternyata hasil yang paling optimal apabila ditinjau dari berat perak yang tertempel juga berada pada voltase 2,2 Volt selama 10 menit, hasil ini sama dengan yang tunjukkan oleh penentuan optimasi ditinjau dari arus yang terbentuk. Dengan menggunakan Hukum Faraday kita dapat memperoleh nilai arus teoritis untuk menghitung efisiensi arus hasil elektroplating dengan variabel yang paling optimal. Arus teoritis yang diperoleh adalah -0,051 Ampere dan dapatkan efisiensi arus pada voltase 2,2 Volt dengan waktu elektroplating 10 menit adalah 80,39%.

## Kesimpulan

Metode elektrokimia dapat digunakan untuk mengurangi kadar logam perak yang terdapat dalam limbah cair bekas pencucian foto rontgen sekaligus mengambil kembali perak tersebut. Voltase dan arus listrik dapat mempengaruhi banyaknya logam perak yang dapat diambil kembali dengan metode elektrokimia, semakin besar arus listrik yang dihasilkan, maka logam yang tertempel pada katoda juga akan semakin banyak. Kondisi paling optimal dalam penelitian pengambilan kembali logam perak dari limbah cair bekas pencucian foto rontgen adalah pada voltase 2,2 Volt dan selama 10 menit waktu elektroplating. Dikarenakan pada variabel tersebut menghasilkan nilai arus yang paling tinggi yaitu -0,041 Ampere dan berat logam yang tertempel pada katoda juga paling banyak yaitu 0,037 gram dengan efisiensi arus sebesar 80,39%.

## Daftar Pustaka

- Ahmad, M. A. 2011. Analisa Pengaruh Besar Tegangan Listrik Terhadap Ketebalan Pelapisan Chrom Pada Pelat Baja dengan Proses Elektroplating. Skripsi Sarjana Fakultas Teknik Universitas Hasanudin, Makasar.
- Aritonang, A.P., Riad, S., & Walfread T. 2014. Penentuan Konduktivitas Listrik dan Kajian Kualitas Air Sungai Siak Menggunakan Metode Jembatan Wheatstone. JOM FMIPA, Volume 1 No. 2
- Arslan, V., Ucurum, M., Vapur, H., & Bayat, O. 2011. Recovery of Silver from Waste Radiographic Films by Chemical Leaching. Asian Journal of Chemistry, 23 (1), 67-70.
- Buyang, Y., & Asmaningrum, H. P. 2015. Pengaruh Voltase dan Waktu Terhadap Pengendapan Logam Mangan dan Seng pada Lempeng Tembaga Menggunakan Metode Electroplating. Magistra, 2 (2), 226-236.
- Imaswati, S. 2016. Laporan Penelitian tidak dipublikasikan Pengambilan Kembali Logam Perak dari Limbah Cair Bekas Pencucian Foto Rontgen: Penentuan Voltase dan Arus Listrik. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Kamus Besar Bahasa Indonesia Online. KBBI.web.id. diakses pada 1 Januari 2016.
- Kuswati H, Handoyo D, & Kohar I. 2003. Perolehan Kembali Logam Perak dari Limbah Cair Pencucian Film Studio Dibanding Film X-ray dengan Menggunakan Metode SN Flake. Unitas, 11 (2), 46-56.
- Material Safety Data Sheet "Argentum Nitrite", MSDS.net diakses pada 4 Januari 2016.
- Madhavan A, Sudhakar S, & Balasubramani S. 2015. Radiographic Waste Management. World Journal of Pharmaceutical Research, 4 (9), 2050-2058.
- Masebinu SO, & Muzenda E. 2014. Review of Silver Recovery Techniques from Radiographic Effluent and X-ray Film Waste. Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science, 2, 22-24.
- Modi, A., Shukla, K., Pandya, J., & Parmar, K. 2012. Extraction of Silver from Photographic Waste. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 2(11), 599-606.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah. www.pelatihlingkungan.com. Diakses pada 5 Februari 2018.
- Ramirez PA, Reyes, VE, & Veloz MA. 2011. Silver Recovery from Radiographic Films Using an Electrochemical Reactor. Int.J. Electrochem, 6, 6151 -6164.
- Songkroah C, Nakbanpote C, & Thiravetyan, P. 2003. Recovery of Silver-Thiosulphate Complexes with Chittin. Process Biochemistry Journal, 39, 1553-1559.
- Suyanto, & Bachtiar S. 2011. Analisis Pembentukan Gambar dan Batas Toleransi Uji Kesesuaian pada Pesawat Sinar-X Diagnostik. Prosiding Seminar Penelitian dan Pengelolaan Perangkat Nuklir Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan, 157-163.
- Widayatno, T., Linggar T. Gupita, Senja Imaswati, dan Pahlawani Novitasari. Recovery logam perak dari limbah cair bekas pencucian foto rontgen: karakterisasi elektrokimia, Prosiding Simposium Nasional RAPI XV 2016, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.





## Lembar Tanya Jawab

**Moderator : Firman Kurniawansyah (ITS Surabaya)**  
**Notulen : Belinda Purboningrum (UPN "Veteran" Yogyakarta)**

1. Penanya : Hargono (Teknik Kimia UNDIP Semarang)  
Pertanyaan :
  - Penulisan arus, kenapa ada tanda positif dan negatif?
  - Apakah ada bahan lain selain perak yang dapat dihasilkan pada percobaan?Jawaban :
  - Kesepakatan/ konvensi tanda positif digunakan untuk lambang anoda sedangkan tanda negatif digunakan untuk lambang katoda
  - Kalau dilihat dari kurva polarisasi hanya ada 1 reaksi reduksi jadi tidak ada logam lain.
2. Penanya : Kartika (Teknik Kimia ITATS Surabaya)  
Pertanyaan : Apakah bisa dilakukan terhadap logam lain? Bagaimana kondisinya?  
Jawaban : Bisa, namun harus dilakukan karakterisasi dengan eksperimen polarisasi untuk menentukan kondisi operasi masing-masing logam.
3. Penanya : Firman Kurniawansyah (Teknik Kimia ITS Surabaya)  
Pertanyaan : Berapa persen perak yang dihasilkan?  
Jawaban : Untuk mengambil perak dengan elektroplating, dengan penambahan waktu semakin banyak yang didapatkan.
- Penanya : Ruli Aji (Teknik Kimia UPN "Veteran" Yogyakarta)  
Pertanyaan : Bagaimana kaitan konsumsi energi listrik dengan proses elektroplating?  
Jawaban : Penelitian dilakukan untuk meningkatkan efisiensi sehingga konsumsi

