

RECOVERY LOGAM PERAK DARI LIMBAH CAIR BEKAS PENCUCIAN FOTO RONTGEN: KARAKTERISASI ELEKTROKIMIA

Tri Widayatno^{1*}, Linggar T. Gupita², Senja Imaswati³, dan Pahlawani Novitasari⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417

*Email: tri.widayatno@ums.ac.id

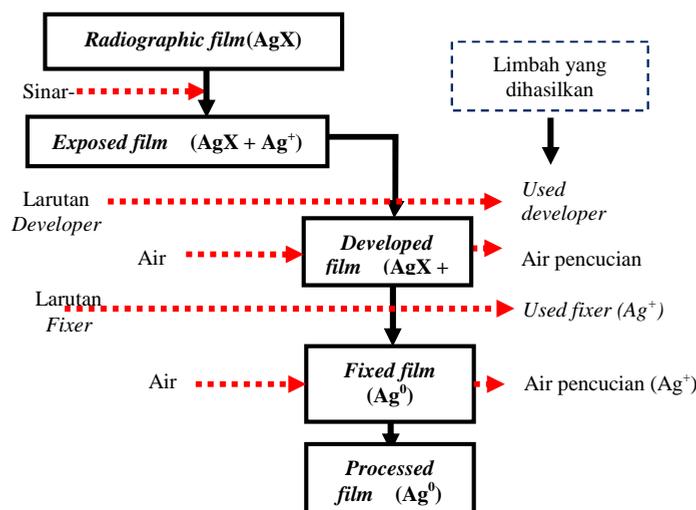
Abstrak

Pembuatan negatif film Rontgen di laboratorium instalasi Rontgen adalah Salah satu kegiatan rumah sakit yang menghasilkan limbah cair. Limbah ini mengandung berbagai senyawa kimia dengan kandungan utama adalah logam Ag (dalam bentuk kation Ag^+) yang dikategorikan sebagai limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). Metode pengolahan yang efektif dan efisien diperlukan untuk mengolah limbah tersebut sehingga dapat mengurangi dan mencegah pencemaran lingkungan yang berbahaya bagi kesehatan manusia. Metode elektrokimia dipilih dan digunakan untuk pengolahan limbah cair tersebut karena memiliki banyak keunggulan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kondisi operasi elektroplating limbah foto rontgen (densitas arus dan potensial/voltase) dengan menggunakan eksperimen polarisasi. Kurva Polarisasi yang didapatkan dari percobaan menunjukkan bahwa potensial/voltase untuk elektrodeposisi perak dari limbah cair foto rontgen berada pada interval $-1,8 - 2,5$ V. Densitas arus elektroplating perak dari limbah untuk elektroda grafit-tembaga berada pada kisaran -5 sampai -22 mA/cm^2 , sedangkan untuk elektroda grafit-grafit pada interval -3 mA/cm^2 sampai dengan -8 mA/cm^2 . Penggunaan elektroda grafit – tembaga menghasilkan densitas arus yang lebih besar dibanding elektroda grafit-grafit. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan elektroda grafit-tembaga lebih efektif dibanding elektroda grafit-grafit.

Kata kunci: Limbah Rontgen; recovery perak; elektroplating; elektrodeposisi

Pendahuluan

Salah satu kegiatan rumah sakit yang menghasilkan limbah cair adalah pembuatan negatif film Rontgen di laboratorium instalasi Rontgen. Proses pembuatan negatif foto rontgen melibatkan berbagai senyawa kimia yang digunakan sebagai penerima sinar, pencucian, katalis, pengawet, penahan, pengeras, dan pembilas (Gambar 1).



Gambar 1. Diagram proses dan limbah yang dihasilkan setiap proses pencucian film radiografi (Madhavan, dkk., 2015)

Perak digunakan dalam film foto karena sifat fotosensitifnya (Arslan, Ucurum, Vapur, & Bayat, 2011). Pada setiap tahunnya, dari sektor fotografi mengalokasikan sekitar 45% dari perak untuk aplikasi radiografi, yang umumnya langsung dibuang setelah digunakan (Ramirez, Reyes, & Veloz, 2011). Oleh karena itu limbahnya pun mengandung berbagai senyawa kimia dengan kandungan utama adalah logam Ag (dalam bentuk kation Ag^+). Berdasarkan kandungan tersebut limbah ini dikategorikan sebagai limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). Urutan toksisitas untuk logam Ag (Perak) adalah sebagai berikut: $Hg^{2+} > Cd^{2+} > Ag^+ > Ni^{2+} > Pb^{2+} > As^{3+} > Cr^{2+} > Sn^{2+} > Zn^{2+}$, (Darmono, 2001). Menurut Peraturan Pemerintah RI No. 85 Tahun 1999 tentang baku mutu TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) batas kadar maksimum perak yang diperbolehkan adalah 5,0 mg/L. Pada umumnya, limbah cair bekas pencucian foto Rontgen mengandung konsentrasi perak (Ag) berkisar antara 2500,00 mg/L sampai dengan 6200,50 mg/L. Limbah yang mengandung logam Ag tersebut kemungkinan besar langsung dibuang ke lingkungan tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu yang dapat mencemari lingkungan dan mengganggu kesehatan manusia. Oleh karena itu, metode pengolahan yang efektif dan efisien sangat dibutuhkan untuk mengolah limbah cair bekas pencucian foto Rontgen tersebut sehingga dapat mengurangi dan mencegah pencemaran lingkungan yang berbahaya bagi kesehatan manusia.

Berbagai metode telah digunakan untuk mengolah limbah tersebut dan juga untuk mendapatkan kembali Ag dari limbah fotografi dimana kebanyakan efektif pada batas konsentrasi Ag tertentu. Sebagai contoh, perak dalam bentuk kompleks anionik tiosulfat $[Ag(S_2O_3)_2]^{3-}$ dapat dipisahkan dari larutannya dengan cara elektrolisis, pergantian logam (*metallic replacement*), pengendapan, penukar ion, membran cair emulsi (ELM), dan adsorpsi dengan kitin (Songkroah, Nakbanpote, & Thiravetyan, 2003). Metode pemulihan perak dari limbah film foto rontgen dapat diklasifikasikan sebagai (Chem, 2003): (a) membakar film langsung, (b) oksidasi dari logam perak, dan (c) pengupasan lapisan gelatin perak. Kebutuhan perak dunia dipasok oleh daur ulang (25%) dan terutama diperoleh dari limbah fotografi (75%). Untuk alasan ini, metode dan teknologi yang digunakan tidak hanya sekedar untuk pengolahan limbah tetapi juga untuk memulihkan perak dari limbah rontgen yang efisien sehingga dapat mengurangi biaya dan waktu (Modi, Shukla, Pandya, & Parmar, 2012). Chem (2003) juga menyebutkan bahwa, untuk meminimalisir pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh limbah rontgen tersebut, kandungan perak (Ag) dapat diambil kembali dari limbah bekas pencucian foto rontgen karena perak tersebut mempunyai nilai yang ekonomis

Salah satu metode dalam pengolahan limbah ini dan dapat untuk memperoleh kembali logam perak dari limbah cair pencucian film studio dan film x-ray yaitu metode Sn Flake. Penelitian menggunakan metode ini telah dilakukan oleh Kuswati et al., (2003). Sn Flake dikategorikan sebagai metode yang tradisional karena menggunakan koi yaitu penggorengan dari tanah liat serta pembakarannya menggunakan tungku dengan kompor blower (Kuswati, dkk, 2003). Sn Flake adalah pereaksi bentuk lempengan padat yang warnanya kuning agak putih mengandung sulfur yang berfungsi mengendapkan perak yang terdapat didalam limbah sehingga menjadi endapan hitam. Lalu endapan tersebut dibakar sampai melarut dengan potongan seng dan dijernihkan menggunakan tawas dan boraks. Hasil dari kedua macam sampel limbah yang diteliti dengan menggunakan metode Sn Flake didapatkan perak hasil recovery sekitar 60 gram untuk setiap 20 liter limbah. Sedangkan didalam filtrat hasil recovery terdapat sisa perak yang masih cukup tinggi antara 1,59 mg/l sampai dengan 22,90 mg/l. Selain itu penelitian yang menggunakan metode Sn Flake ini juga menimbulkan limbah sekunder seperti sisa-sisa pembakaran dalam koi dan sisa-sisa Zn yang akan menimbulkan problem baru setelah pengolahan limbah tersebut. Maka dari itu disarankan untuk melanjutkan penelitian ini dengan metode yang lebih efektif dan efisien yang salah satunya adalah metode elektrokimia. Dengan metode yang lebih efektif dan efisien tersebut diharapkan tidak menimbulkan limbah sekunder dan lebih ramah lingkungan (Kuswati, dkk, 2003).

Metode elektrokimia juga pernah dipakai dalam pengolahan limbah ini dengan menggunakan teknik elektroplating atau elektrodeposisi. Penelitian menggunakan metode elektrodeposisi pernah dilakukan sebelumnya oleh Sufian dan Sarto (2009). Metode elektrokimia dipilih dan digunakan untuk pengolahan limbah cair tersebut dengan alasan (1) tidak menimbulkan efek samping limbah sekunder, (2) Perak yang terambil relatif murni, dapat dipisahkan dan dimanfaatkan kembali, (3) mudah pengoperasiannya, (4) berbiaya relatif murah, dan (5) beresiko rendah. Penelitian dilakukan dengan variasi pasangan elektroda (stainless steel-besi, aluminium-stainless steel, dan stainless steel-stainless steel) dan tegangan (3V, 6V, 9V, dan 12 Volt). Akan tetapi, penelitian tersebut belum secara sistematis dengan memanfaatkan teori fundamental elektrokimia. Padahal kondisi optimum proses elektrodeposisi dapat ditentukan jika karakteristik elektrokimia dari larutan limbah tersebut telah dipahami dengan benar berdasarkan prinsip-prinsip dasar elektrokimia.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk karakterisasi elektrokimia limbah cair bekas pencucian foto Rontgen menggunakan percobaan polarisasi. Hasil percobaan polarisasi yang berupa kurva polarisasi dapat digunakan untuk menentukan kondisi operasi yang optimum (densitas arus dan potensial/voltase) elektroplating limbah foto rontgen.

Teori

Limbah cair bekas pencucian foto Rontgen dikategorikan sebagai limbah B3. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 1995, yang dimaksud dengan limbah B3 adalah setiap limbah yang mengandung bahan berbahaya dan/ atau beracun yang karena sifat dan/ atau konsentrasinya dan/ atau jumlahnya, baik secara langsung dapat merusak / mencemarkan lingkungan hidup dan/ atau membahayakan kesehatan manusia (Prayitno & Sukosrono, 2006).

Perbedaan limbah yang mengandung Logam berat tersebut terletak dari pengaruh yang dihasilkan bila logam berat tersebut berikatan atau masuk ke dalam tubuh makhluk hidup. Berdasarkan karakteristiknya, logam berat mempunyai sifat-sifat (Prayitno & Sukosrono, 2006): beracun, tidak dapat dihancurkan oleh organisme hidup, dan dapat terakumulasi dalam tubuh organisme termasuk tubuh manusia baik secara langsung maupun tidak langsung.

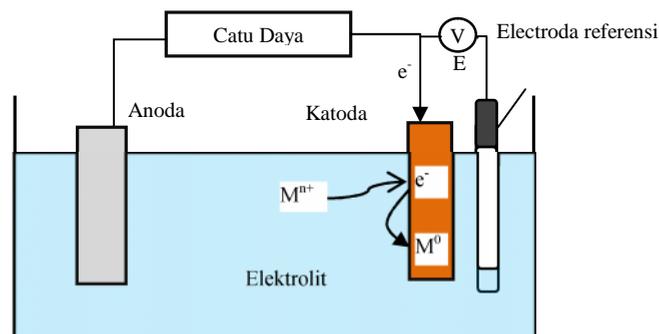
Pencemaran oleh limbah yang mengandung logam berat akan mengganggu kesehatan lingkungan dan kualitas hidup manusia disamping itu juga dapat merubah sistem kerja biologis. Air limbah yang mengandung logam berat baik dalam bentuk ion maupun senyawa, dapat bersifat toksik yang mempengaruhi lingkungan dan kesehatan makhluk hidup (Prayitno & Sukosrono, 2006).

Tingkat bahaya dari unsur-unsur kimia mempunyai 4 tingkatan, adalah (Prayitno & Sukosrono, 2006): (1) Unsur-unsur berdaya pencemar sangat tinggi meliputi: Ag, Cd, Hg, Sb, Cn, Fe, Ar, Zn, (2) Unsur-unsur berdaya pencemar sangat tinggi, yaitu: Ba, Ca, Bi, Mn, P, Ti, U, (3) Unsur-unsur berdaya pencemar menengah: Al, As, Cl, Co, F, B, Li, Na, N, dan (4) Unsur-unsur berdaya pencemar rendah, seperti Ga, La, I, Si, Nd, Sr, Ta, Zr. Terlihat bahwa limbah cair yang mengandung logam Ag mempunyai daya pencemar yang sangat tinggi.

Perak dari limbah jika masuk kedalam tubuh akan terakumulasi di berbagai organ dan menimbulkan pigmentasi kelabu, disebut *Argyria*. Pigmentasi tersebut bersifat permanen karena tubuh tidak dapat mengekskresikannya. Dalam bentuk debu, senyawa Ag dapat menimbulkan iritasi kulit, dan menghitamkan kulit. Bila terikat nitrat, Ag akan menjadi sangat korosif (Said, 2010).

Limbah pemrosesan Film Sinar-X dalam Radiografi menjadi salah satu sumber yang sangat baik untuk recovery perak. Sekitar 2 milyar radiografi per tahun di seluruh dunia berasal dari rontgen dada, mammograms dan CT scan. 94-98% dari sinar-X diambil dipakai dalam bidang medis yang memproduksi film kimia dan skrap fotografi sebagai penghasil limbahnya. Film radiografi yang digunakan dalam bidang medis adalah lembaran poliester yang dilapisi di kedua sisinya dengan bahan radioaktif yang peka cahaya. Pengembangan 1 kg film sinar-X menghasilkan limbah yang mengandung 14-17 g perak (Masebinu & Muzenda, 2014). Sedangkan dari sumber lain menyatakan bahwa langkah pengembangan film menghasilkan limbah fotografi yang dihasilkan dari penggunaan larutan *fixer* dan air bilasan yang mengandung 1000-10000 mg Ag/l, masing-masing dalam bentuk kompleks perak tiosulfat (Arslan dkk, 2011). Limbah film sinar-X mengandung 1,5-2% (w/w) perak hitam metalik yang dapat digunakan kembali. Sekitar 18-20% dari kebutuhan perak dunia dipasok dari daur ulang limbah (Parpalliar, et al., 2015).

Metode elektroplating adalah termasuk proses elektrokimia yang umumnya dilakukan dalam bejana sel elektrolisa dan berisi cairan elektrolit (Buyang & Asmaningrum, 2015). Elektrokimia adalah salah satu metode yang mengandung unsur reaksi kimia dan aliran listrik. Reaksi tersebut adalah reaksi yang melibatkan pelepasan dan penerimaan elektron atau reaksi redoks. Reaksi oksidasi yaitu reaksi yang disertai pelepasan elektron dan reaksi reduksi yaitu reaksi yang disertai penerimaan elektron. Sel elektrokimia yaitu alat yang terdiri dari sepasang elektroda yang dicelupkan kedalam suatu larutan dan dihubungkan ke konduktor logam pada rangkaian luar, seperti yang ditunjukkan Gambar 2 (Ahmad, 2011, Widayatno dkk, 2015).



Gambar 2. Rangkaian dasar sistem elektroplating (Widayatno dkk, 2015)

Reaksi pelapisan logam pada permukaan katoda dapat berlangsung karena potensial elektroda bergeser dari kondisi setimbangnya. Besar perbedaan potensial ini disebut *overpotential* (η). Jika listrik dari rangkaian luar dengan potensial tertentu di aplikasikan ke elektroda kerja (katoda), aliran arus listrik dari katoda ke anoda akan terjadi. Hal ini memicu terjadinya reaksi reduksi ion-ion logam (Mn^+) menjadi padatan logam yang melapisi permukaan

katoda. Reaksi reduksi ion logam (Mn^{+}) yang terjadi adalah sebagai berikut (Persamaan (1): (Paunovic dan Schlesinger, 1998)



Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses elektroplating yaitu (Marwati, Padmaningrum, & Marfuatun, 2009):

- Suhu: Suhu sangat penting untuk menyeleksi tepat tidaknya jalan reaksi dan melindungi pelapisan. Keseimbangan suhu ditentukan oleh beberapa faktor misalnya jarak anoda dan katoda serta arus yang digunakan.
- Kerapatan arus: kerapatan arus yang baik adalah arus yang tinggi pada saat arus yang diperlukan masuk. Berapapun nilai kerapatan arus akan mempengaruhi proses dan waktu untuk ketebalan lapisan tertentu. Menurut Hukum Faraday, jumlah arus listrik yang mengalir dari muatan (+) ke muatan (-) berbanding lurus dengan massa yang terbentuk atau tereduksi, Persamaan(2): (Basuki, W, & Sudibyo, 2009)

$$M = \frac{e I t}{96500} \quad (2)$$

Dengan: M = Massa yang terbentuk, e = Berat ekuivalen zat, In= Kuat arus (Ampere), t= Lama waktu elektrolisis (detik), dan 96500 merupakan tetapan Faraday.

- Voltase: Setiap logam mempunyai harga voltase tertentu untuk terjadinya reduksi di katoda. Besarnya voltase yang diberikan akan berpengaruh pula pada arus yang mengalir ke dalam larutan.
- Konsentrasi ion: Konsentrasi merupakan faktor yang mempengaruhi struktur depositnya. Naiknya konsentrasi logam akan meningkatkan aktivitas anion yang membantu mobilitas ion.
- Waktu: Waktu merupakan faktor yang mempengaruhi banyaknya logam yang mengendap di katoda. Secara umum semakin banyak waktu yang digunakan untuk proses berlangsungnya electroplating, maka akan semakin tebal lapisan pada katoda.

Hukum Faraday sangat erat kaitannya dengan efisiensi arus yang terjadi pada proses pelapisan secara elektroplating. Efisiensi arus merupakan perbandingan berat endapan secara teoritis dan dinyatakan dalam persen (%) (Basmal, 2012).

Hubungan antara voltase dalam elektrolit dan kuat arus listrik yang mengalir menurut Hukum Ohm ditunjukkan Persamaan (3) (Topayung, 2011):

$$I = \frac{V}{R} \quad (3)$$

Dengan: I= Kuat arus listrik (Ampere), V= Voltase (Volt), dan R= Tahanan listrik (Ohm). Besarnya listrik yang mengalir dinyatakan dengan Coulomb adalah (Persamaan 4): (Topayung, 2011)

$$Q = I . t \quad (4)$$

Michael Faraday pada tahun 1833 menetapkan hubungan antara kelistrikan dan ilmu kimia pada semua reaksi elektrokimia. Bunyi Hukum Faraday tersebut adalah (Topayung, 2011):

Hukum Faraday I: “Massa zat yang terjadi akibat reaksi kimia pada elektroda berbanding lurus dengan jumlah muatan listrik yang mengalir pada larutan elektrolit selama elektrolisis”. Seperti terlihat pada Persamaan (5).

$$m = \frac{BA I . t}{n F} \quad (5)$$

Dengan: m = massa (gram), F= Bilangan Faraday, I = Kuat arus listrik (Ampere), t= Waktu (detik), BA= Berat molekul unsur, dan n= Jumlah mol elektron yang terlibat dalam reaksi.

Hukum Faraday II: “Massa berbagai zat yang terjadi selama elektrolisis, berbanding lurus dengan berat ekuivalennya”.

Termodinamika reaksi elektrokimia menunjukkan bahwa proses elektrodeposisi logam dipengaruhi oleh pH, potensial elektroda, dan kesetimbangan. Diagram Pourbaix menunjukkan Efek dari pH dan potensial elektroda standar pada kesetimbangan. Diagram tersebut dapat digunakan untuk menentukan range pH elektrolit yang tepat agar reaksi elektrodeposisi logam dapat tercapai (Pourbaix, 1974).

Kinetika reaksi elektroplating dinyatakan sebagai hubungan antara *overpotential* elektroda () dan rapat arus (j). Persamaan yang umum dipakai adalah Persamaan Botler-Volmer (6) (Bard dan Faulkner, 2001).

$$j = j_0 \left[\exp \left(\frac{\alpha_A n F \eta}{RT} \right) - \exp \left(\frac{-\alpha_C n F \eta}{RT} \right) \right] \quad (6)$$

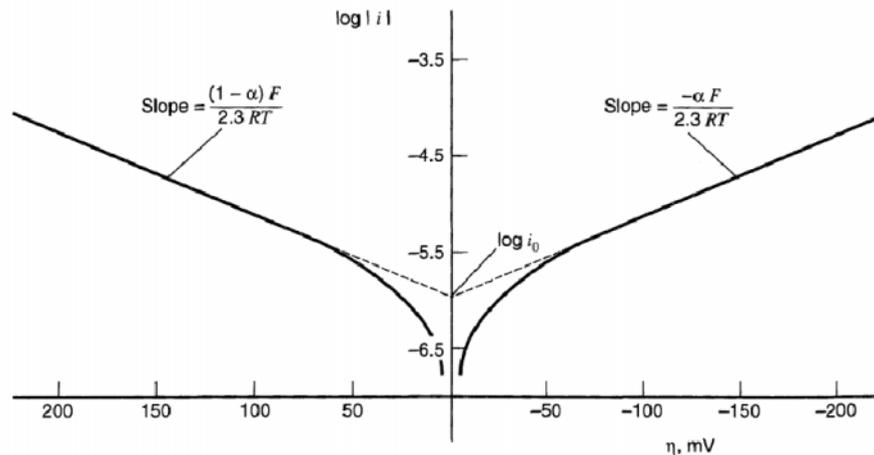
Dengan j = rapat arus (mA/cm²), j₀= exchange current density, = koefisien transfer muatan.

Persamaan Butler-Volmer (6) menunjukkan bahwa rapat arus dipengaruhi oleh beberapa parameter yaitu *overpotential*, koefisien *charge transfer*, suhu, dan *exchange current density*. Terkhusus, rapat arus akan naik jika *overpotential* naik, hal ini menandakan kecepatan reaksi elektrodeposisi juga meningkat (Bard dan Faulkner,

2001). Pada kondisi saat overpotensial sangat besar, Persamaan Tafel (7) bisa digunakan untuk menyederhanakan Persamaan Butler-Volmer (Bard dan Faulkner, 2001).

$$\eta = \frac{2.303RT}{-\alpha_c n F} \log j_0 - \frac{2.303RT}{-\alpha_c n F} \log j \quad (7)$$

Parameter dan variabel pada persamaan Tafel bisa dihitung dan ditentukan berdasarkan grafik di Gambar 3 berikut:



Gambar 3. Plot Tafel untuk kurva overpotensial – rapat arus anodis dan katodis pada reaksi $+ e - R$ dengan $\alpha = 0.5$, $T = 298$ K, and $j_0 = 10^{-6}$ A/cm² (Bard dan Faulkner, 2001).

Kinetika (kecepatan) reaksi reduksi dalam proses elektroplating ditunjukkan oleh rapat arus (j). Potensial dan rapat arus yang optimum untuk elektroplating perak dapat ditentukan jika kurva hubungan overpotensial dan rapat arus diketahui. Eksperimen polarisasi dapat dilakukan untuk mendapatkan kurva hubungan overpotensial dan rapat arus.

Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta. Untuk keperluan penelitian ini, limbah cairan bekas pencucian foto rontgen yang digunakan berasal dari salah satu rumah sakit di Surakarta. Bahan-bahan kimia yang digunakan untuk *pretreatment* dan analisis, semisal HNO₃ dan KCNS adalah grade analitik (PA) didapatkan dari *supplier* (MERCK atau SIGMA). Sel elektrokimia yang dipakai berupa gelas beaker dilengkapi pasangan elektroda berupa grafit-tembaga atau grafit grafit. Lempengan tembaga 4 cm x 1 cm dipakai sebagai katoda, dan anoda berupa grafit dengan ukuran panjang 5,7 cm dan diameter 1,2 cm. Variasi dilakukan pada penggunaan anoda – katoda nya, yaitu berupa grafit – lempengan tembaga dan grafit – grafit. Arus listrik DC disediakan oleh catu daya Sanfix SP3050 dibantu dengan Multimeter Fluke 17B⁺ untuk memonitor arus yang mengalir.

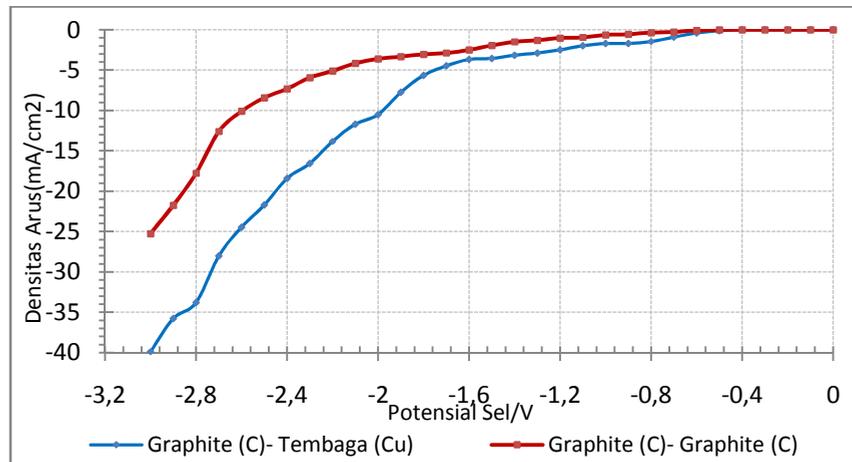
Setelah semua bahan disiapkan, langkah berikutnya adalah menentukan kadar logam Ag dalam larutan bekas pencucian foto rontgen dengan titrasi dan diverifikasi dengan spektrofotometer dan *conductivity meter*. Kadar yang dihasilkan dinyatakan sebagai konsentrasi awal sebelum pengolahan dengan metode elektrokimia. Penelitian dilanjutkan dengan melakukan percobaan polarisasi kondisi tunak (*steady state*) untuk larutan limbah diatas. Polarisasi dilakukan untuk mengetahui hubungan voltase dan densitas arus pada variasi pasangan elektroda. Kurva polarisasi juga dapat digunakan untuk menentukan apakah metode elektrokimia dapat digunakan untuk mengambil kembali perak dari larutan limbah atau tidak. Potensial sel dan rapat arus untuk proses recovery perak menggunakan elektroplating juga bisa ditentukan berdasar pada kurva polarisasi tersebut.

Percobaan polarisasi untuk Karakterisasi elektrokimia limbah dilakukan dengan mengatur voltase dari 0-3 volt dengan dimulai dari 0,1 V kemudian dinaikkan dengan selang 0,1 V sampai pada voltase 3 V. Arus listrik yang mengalir melalui sistem pada masing-masing voltase tersebut dicatat. Data yang terkumpul kemudian diplot sebagai grafik/kurva polarisasi.

Hasil dan Pembahasan

Konsentrasi larutan sampel limbah bekas pencucian foto rontgen sebelum diberi perlakuan elektroplating adalah sebesar 10,068 g/l. Sangat jauh lebih besar (2000 kali lipat) dibandingkan dengan kadar maksimum yang diperbolehkan untuk dibuang ke lingkungan sebesar 5 mg/l. Oleh karena itu pengolahan limbah ini sudah menjadi suatu keharusan.

Kurva polarisasi yang menunjukkan karakteristik limbah cair bekas pencucian foto Rontgen hasil dari percobaan disajikan pada Gambar 4



Gambar 4. Kurva Polarisisasi Limbah Cair Kegiatan foto rontgen yang menunjukkan karakteristik elektrokimia

Secara umum terlihat pada Gambar 4, arus listrik pada katoda mengalir sejak pada voltase/potensial sel yang rendah, akan tetapi pada potensial sel antara 0 dan -1,8 V tidak terlihat adanya hasil plating perak pada katoda. Reaksi reduksi perak dari limbah kegiatan foto Rontgen kemungkinan besar terjadi pada potensial antara -1,8 V dan -2,5 V ditandai dengan kenaikan rapat arus yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa limbah kegiatan foto Rontgen dapat diolah dengan metode elektrokimia.

Densitas arus elektroplating perak dari limbah untuk elektroda grafit-tembaga berada pada kisaran -5 sampai -22 mA/cm², sedangkan untuk elektroda grafit-grafit pada interval -3 mA/cm² sampai dengan -8 mA/cm². Penggunaan elektroda grafit – tembaga menghasilkan densitas arus yang lebih besar dibanding elektroda grafit-grafit. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan elektroda grafit-tembaga lebih efektif dibanding elektroda grafit-grafit. Oleh karena itu, untuk penelitian lanjutan recovery dengan proses elektroplating limbah cair bekas pencucian foto rontgen akan dipergunakan anoda grafit dan katoda lempengan tembaga pada rentang voltase antara -1,8 dan -2,5 volt dengan variasi waktu proses.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut: elektrokimia dapat digunakan sebagai metode recovery logam perak (Ag) dari limbah kegiatan foto Rontgen. Grafit dan tembaga dapat digunakan sebagai anoda dan katoda dalam proses tersebut. Potensial/voltase untuk reaksi reduksi logam perak adalah pada rentang voltase antara -1,8 volt dan -2,2 volt. Densitas arus elektroplating perak dari limbah tersebut pada elektroda grafit-tembaga berada pada kisaran -5 sampai -22 mA/cm², sedangkan untuk elektroda grafit-grafit pada interval -3 mA/cm² sampai dengan -8 mA/cm².

Daftar Pustaka

- Ahmad, M. A. (2011). Analisa Pengaruh Besar Tegangan Listrik Terhadap Ketebalan Pelapisan Chrom Pada Pelat Baja dengan Proses Elektroplating
- 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.
- Bard, A. J. and Faulkner, L. R., (2001) *Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications*, 2nd edition, 22 – 43, John Wiley and Sons, Inc.
- Basmal. (2012). Pengaruh Suhu Larutan Elektrolit dan Waktu Pelapisan Tembaga pada Plat Baja Lunak terhadap Nilai Ketebalan. *Politeknosains*, 11 (1), 87-98.
- Basuki, K. T., W, M. A., & Sudiby. (2009). Pengaruh pH dan Tegangan pada Pembuatan Serbuk Itrium dari Konsentrat Itrium Hasil Proses Pasir Senotim dengan Elektrolisis. *Seminar Nasional V*, 543-547.
- 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.
- Chem, T. J. (2003). A Novel Silver Recovery Method from Waste Photographic Films with NaOH Stripping. *J. Electrochem. Soc.*, 150, 127-133.
- Darmono, 2001. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran (Hubungan dengan Toksikologi Senyawa Logam)*. Jakarta: Universitas Indonesia Press

- 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.
- Madhavan, A., S, S., & Balasubramani, S. (2015). Radiographic Waste Management. *World Journal of Pharmaceutical Research*, 4 (9), 2050-2058.
- Marwati, S., Padmaningrum, R. T., & Marfuatun. (2009). Pemanfaatan Ion Logam Berat Tembaga (II), Timbal (II), dan Seng (II) dalam Limbah Cair Industri Electroplating untuk Pelapisan Logam Besi. *Jurnal Penelitian Saintek*, 14 (1), 17-40.
- Masebinu, S. O., & 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, 2(11), 599–606.
- Parpalliwar, J. P., Patil, P. S., Patil, I. D., & Deshannavar, U. B. (2015). Extraction of Silver from Waste X-ray Films Using Protease Enzyme. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*, 6(2) : 220-226.
- Paunovic, M. and Schlesinger, M., (1998) *Fundamentals of Electrochemical Fabrication*, John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Pourbaix, M., (1974), *Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solution*, 2nd English Edition, Houston Tech. National Association of Corrosion Engineering, p. 331-341.
- Prayitno, & Sukosrono. (2006). Sistem Reduktor Elektromagnetik untuk Penurunan Kadar Ag dalam Limbah Cair. *Prosiding PPI-PDIPTN*, 95-102.
- Ramirez, P. A., Reyes, V. E., & Veloz, M. A. (2011). Silver Recovery from Radiographic Films Using an Electrochemical Reactor. *Int.J. Electrochem*, 6, 6151-6164.
- Said, N. I. (2010). Metoda Penghilangan Logam Berat (As, Cd, Cr, Ag, Cu, Pb, Ni, dan Zn) di dalam Air Limbah Industri. 6(2): 136-148.
- Songkroah, C., Nakbanpote, C., & Thiravetyan, P. (2003). Recovery of Silver-Thiosulphate Complexes with Chitin. *Process Biochemistry Journal*, 39, 1553-1559.
- Sufian dan Sarto, 2009, *Pengolahan limbah cair rontgen dengan metode elektrodposisi*, Tesis S2 Magister Sistem Teknik UGM, Yogyakarta
- Topayung, D. (2011). Pengaruh Arus Listrik dan Waktu Proses Terhadap Ketebalan dan Massa Lapisan yang Terbentuk pada Proses Electroplating Pelat Baja. *Jurnal Ilmiah Sains*, 11 (1), 97-101.
- Widayatno, T., Hamid, Swasemba, I. A., dan Ghufuran, M. K., (2015). Karakterisasi Elektrokimia Larutan Elektrolit Rendah Sianida Untuk Electroplating Perak Dekoratif Ramah Lingkungan Ramah Lingkungan, *Prosiding Simposium Nasional RAPI XIV 2015 (c)*, 207–212.