

## MENINGKATKAN EFISIENSI PROSES ELEKTROPLATING PERAK DEKORATIF MENUJU UMKM YANG RAMAH LINGKUNGAN

Tri Widayatno<sup>1</sup> dan Hamid<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan 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

*Teknologi penyepuhan perak dekoratif konvensional yang digunakan dalam industri kecil dan menengah (UMKM) terindikasi masih kurang ramah lingkungan dan tidak sustainable. Beberapa permasalahan yang dihadapi UMKM yaitu: (a) efisiensi proses rendah, (b) kualitas produk rendah, (c) frekuensi penggantian elektrolit tinggi, (d) limbah cair banyak, dan (e) kurang ekonomis. Tulisan ini merupakan analisis dan evaluasi terhadap proses penyepuhan perak yang dilakukan oleh pengrajin UMKM. Tujuan penulisan untuk memberikan solusi terhadap permasalahan terutama dalam meningkatkan efisiensi proses dan kualitas produk. Hasil evaluasi dan analisis dibandingkan dengan teori fundamental elektrokimia hasil kajian pustaka yang meliputi buku teks dan artikel jurnal. Teori fundamental elektrokimia dan prinsip-prinsip dasarnya dapat diaplikasikan untuk mencapai proses penyepuhan perak yang efisien serta ramah lingkungan. Hasil kajian dan pengamatan menunjukkan bahwa masih banyak praktik penyepuhan perak yang belum mengikuti prinsip dasar elektrokimia yang menyebabkan proses kurang efisien dan ekonomis. Pengelolaan limbah yang kurang baik dan penggunaan sianida menjadi penyebab proses tidak ramah lingkungan. Sebagai kesimpulan dan saran, berdasar prinsip dasar elektrokimia, efisiensi proses penyepuhan perak dapat ditingkatkan dengan memperbaiki geometri reaktor/sel diantaranya luas anoda dibuat lebih besar dari luas katoda, jarak benda kerja dengan anoda diupayakan tetap dan seragam. Adapun proses yang ramah lingkungan bisa diupayakan dengan mengurangi konsentrasi sianida dan atau bahkan menghilangkan penggunaan sianida*

**Kata kunci:** *penyepuhan; perak; elektroplating; elektrodeposisi; perak dekoratif*

### Pendahuluan

Perkembangan yang sangat pesat pada industri pelapisan logam baik yang bertujuan untuk dekoratif maupun peningkatan ketahanan terhadap korosi terjadi di Indonesia (Ade Mawadah, 2008). Tujuan dari penggunaan logam-logam pelapis seperti perak, nikel, dan krom adalah untuk meningkatkan kualitas permukaan dan ketahanan terhadap korosi. Hal itu diperlukan karena logam – logam yang digunakan dalam industri dan rumah tangga (besi, tembaga, kuningan) pada umumnya memiliki sifat mudah teroksidasi oleh udara luar (Ade Mawadah, 2008; Edi Istiyono, 2008). Pelapisan kerajinan dari tembaga dengan logam perak untuk perhiasan imitasi merupakan salah satu industri pelapisan logam yang cukup populer. Di berbagai wilayah di Indonesia terdapat UMKM-UMKM yang menjalankan industri pelapisan perak ini dan tersebar di sentra-sentra industri kerajinan perhiasan imitasi.

Kecamatan Kota gede, Yogyakarta adalah salah satu daerah yang memiliki sentra industri kerajinan perhiasan perak. Tidak kurang dari 30 industri kecil pelapisan perak ada di wilayah ini. Koperasi Perajin Perak dan Perunggu Yogyakarta (KP3Y) wadah dari 24 diantara UMKM tersebut. UMKM di Kotagede tersebut tergolong industri kecil masih menggunakan teknologi sederhana dan konvensional yang didapat secara turun temurun. Teknologi yang digunakan oleh UMKM dalam proses pelapisan perak dekoratif/kerajinan adalah metode penyepuhan atau elektroplating (Edi Istiyono, 2008).

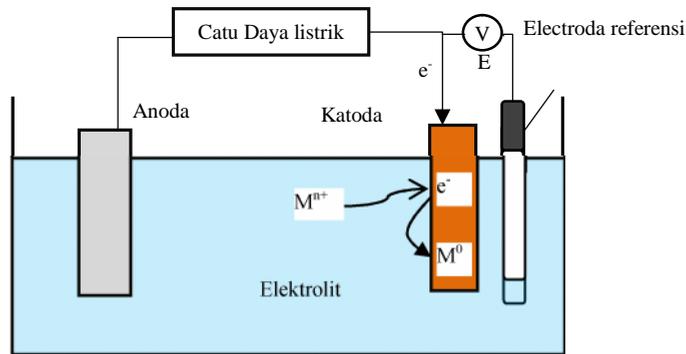
Teknologi sederhana dan konvensional yang dipakai oleh UMKM tersebut berimplikasi pada berbagai persoalan (Edi Istiyono, 2008). Beberapa permasalahan yang timbul adalah sebagai berikut: (a) proses tidak efisien (Lies Susilaning Sri, Hastuti, 2012), (b) Kualitas produk yang rendah (Edi Istiyono, 2008), (c) Penggantian larutan elektrolit setiap 2 minggu (Edi Istiyono, 2008), (d) menimbulkan limbah dalam jumlah banyak (Lies Susilaning Sri, Hastuti, 2012), dan (e) kurang ekonomis (Edi Istiyono, 2008; Lies Susilaning Sri, Hastuti, 2012).

Merujuk kepada berbagai permasalahan di atas, evaluasi dan analisis terhadap proses elektroplating yang dilakukan oleh Pengrajin UMKM sangat krusial untuk dilakukan. Analisis dan evaluasi proses dilakukan dengan pengamatan langsung terhadap aktivitas penyepuhan perak oleh Pengrajin UMKM. Hasil pengamatan selanjutnya

dibandingkan dengan teori fundamental dan prinsip-prinsip kajian pustaka yang relevan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif pemecahan masalah-masalah tersebut didasarkan pada teori dasar dan prinsip-prinsip fundamental elektrokimia. Dengan harapan proses elektroplating/penyepuhan perak yang dilakukan oleh pengrajin UMKM nantinya bisa lebih efisien dan ramah lingkungan.

**Teori**

**Elektroplating:** Proses elektroplating/elektrodeposisi atau juga dikenal dengan penyepuhan adalah terjadinya reaksi reduksi ion logam terlarut ( $Ag^+$ ) di dalam elektrolit di permukaan elektroda (benda kerja/katoda) sehingga logam tersebut mengendap di permukaannya. Sistem elektroplating terdiri dari catu daya, larutan elektrolit, katoda, anoda, dan jika diperlukan ada tambahan elektroda referensi. Supaya reaksi berjalan, elektroda dihubungkan ke catu daya (power supply) kemudian dimasukkan ke dalam elektrolit di dalam reaktor/sel elektrokimia (Gambar 2). Elektroda referensi digunakan untuk mengukur potensial elektroda (Paunovic, M. and Schlesinger, M., 1998).

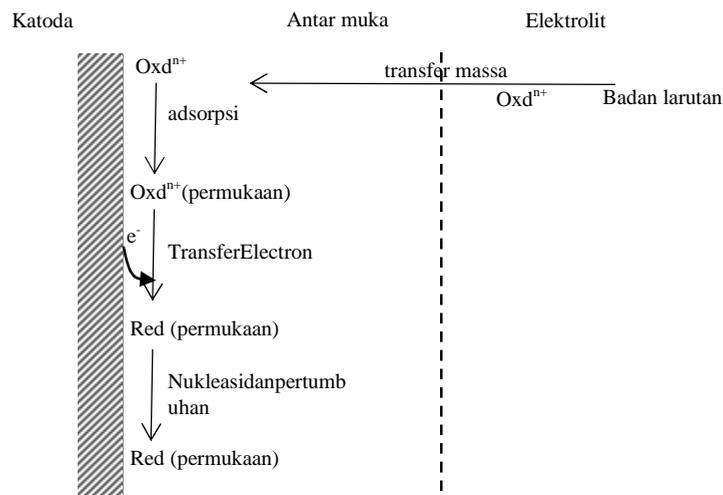


Gambar 1 Rangkaian standar sistem elektroplating (Widayatno, Tri dkk, 2015)

Reaksi reduksi pada permukaan katoda dapat berlangsung karena pergeseran potensial elektroda dari kondisi setimbangnya disebabkan karena dorongan potensial listrik (potential driving force) dari catu daya. Perbedaan potensial ini disebut overpotential ( ). Pada saat elektroda disambungkan ke catu daya, arus listrik akan mengalir dari katoda ke anoda. Kemudian, reaksi reduksi akan terjadi pada ion-ion logam misalnya  $L^{n+}$  menjadi logam padat yang mengendap pada permukaan katoda. Reaksi reduksi ion logam menjadi padatan logam adalah: (Paunovic, M. and Schlesinger, M., 1998):



Mekanisme proses elektrodeposisi atau elektroplating disajikan dalam Gambar 2 (Walsh, F. C. and Herron, M. E., 1991).



Gambar 2 Mekanisme proses elektroplating

Berdasar Gambar 2, proses elektroplating sangat dipengaruhi oleh (1) geometri sel elektrokimia, (2) pH dan konduktivitas larutan elektrolit dan konduktivitas elektroda, (3) kinetika reaksi elektrokimia di permukaan elektroda, dan (4) transfer masa ion-ion yang bereaksi (Widayatno, Tri, 2016). Sehingga supaya proses electroplating dapat berjalan dengan baik, keempat faktor tersebut harus diperhitungkan dan dicari yang paling optimum.

**Kinetika Reaksi Elektrokimia:** Overpotensial ( $\eta$ ) sebagai gaya pendorong (*driving force*) untuk keberlangsungan reaksi reduksi dapat dihitung dengan persamaan berikut (Bard, A. J. and Faulkner, L. R., 2001):

$$\eta = E - E_e \tag{3}$$

Dengan  $E$  adalah potensial elektroda aktual.

Persamaan Botler-Volmer menyatakan pengaruh overpotensial ( $\eta$ ) terhadap rapat arus ( $j$ ) dalam proses elektroplating (Bard, A. J. and Faulkner, L. R., 2001).

$$j = j_0 \left[ \exp\left(\frac{\alpha_A n F \eta}{RT}\right) - \exp\left(\frac{-\alpha_C n F \eta}{RT}\right) \right] \tag{4}$$

Dengan  $j_0$  = exchange current density,  $j$  = densitas arus (mA/cm<sup>2</sup>),  $\alpha$  = koefisien transfer.

Jika overpotensial sangat besar, persamaan Botler-Volmer bisa sederhanakan menjadi *Tafel Plot* (5) (Bard, A. J. and Faulkner, L. R., 2001).

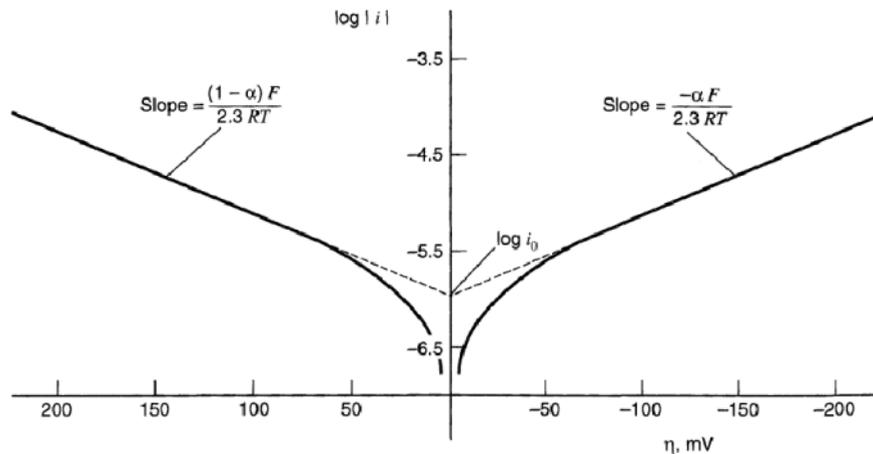
$$j = j_0 \left[ -\exp\left(\frac{-\alpha_C n F \eta}{RT}\right) \right] \tag{5}$$

$$\ln \left| \frac{j}{j_0} \right| = -\frac{\alpha_C n F}{RT} \eta \tag{6}$$

$$\eta = \frac{RT}{-\alpha_C n F} \ln j_0 - \frac{RT}{-\alpha_C n F} \ln j \tag{7}$$

$$\eta = \frac{2.303 RT}{-\alpha_C n F} \log j_0 - \frac{2.303 RT}{-\alpha_C n F} \log j \tag{8}$$

Persamaan Tafel bisa dinyatakan dengan grafik di Gambar 3 untuk menentukan parameter-parameter elektrokimia yang berpengaruh sebagai berikut:



Gambar 3 *Tafel Plot* untuk kurva overpotensial – rapat arus pada anoda dan katoda untuk reaksi  $\text{R} + e^- \rightarrow \text{R}^-$  jika  $\alpha = 0.5, T = 298$  K, and  $j_0 = 10^{-6}$  A/cm<sup>2</sup> (Bard, A. J. and Faulkner, L. R., 2001).

Kinetika kecepatan reaksi reduksi dalam proses elektroplating ditunjukkan oleh parameter rapat arus ( $j$ ). Kondisi operasi yang optimum untuk elektroplating perak yang berupa potensial dan rapat arus dapat ditentukan jika hubungan overpotensial dan rapat arus diketahui melalui kurva polarisasi.

**Termodinamika Reaksi Elektrokimia:** Reaksi elektroplating berdasar prinsip termodinamika dipengaruhi oleh potensial standar ( $E_0$ ) yang berhubungan dengan pH dalam kesetimbangan termodinamika. Potensial standar adalah potensial sebuah reaksi yang terjadi di elektroda yang ditentukan pada keadaan standar dan pada kondisi setimbang. Sebagai acuan pengukuran potensial standar digunakan elektroda hidrogen standar [9].

Potensial elektroda pada kondisi yang tidak standar dapat ditentukan sebagai potensial setimbang ( $E_e$ ) menggunakan persamaan Nernst's (2) (Bard, A. J. and Faulkner, L. R., 2001)

$$E_e = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln \left( \frac{a_{Oxd}}{a_{Red}} \right) \quad (2)$$

Dengan  $E_e$  = potensial setimbang,  $E^0$  = potensial standar elektroda,  $R$  = konstanta gas umum,  $T$  = suhu sistem (K),  $n$  = jumlah elektron yang ditransfer,  $F$  = Konstanta Faraday,  $a_{Oxd}$  = aktivitas pereaksi ion logam,  $a_{Red}$  = aktivitas produk (logam).

Diagram Pourbaix menunjukkan efek pH dan potensial elektroda standar terhadap termodinamika kesetimbangan reaksi. Range pH elektrolit yang sesuai dapat ditentukan dengan menggunakan diagram tersebut untuk mencapai reaksi elektrodposisi logam yang diinginkan (Pourbaix, M., 1974).

**Elektroplating Perak:** Elektrodposisi perak dekoratif pada umumnya dilakukan untuk mendapatkan lapisan perak yang tampak gemerlap (*bright*) dan menarik pada perhiasan imitasi. Pada umumnya, komposisi elektrolit yang digunakan secara komersial masih berbasis sianida seperti disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Komposisi larutan elektrolit dan kondisi operasi untuk electroplating perak dekoratif (Schlesinger, M. and Paunovic, M., 2010; Chicago Metal Finishers Institute, 2002)

No	Komponen	Konsentrasi (g/l)
1	Ag (logam)	20 – 45
2	AgCN	31 – 55
3	KCN (total)	50 – 80
4	KCN (bebas)	35 – 50
5	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	15 – 90
6	Densitas Arus (A/dm <sup>2</sup> )	0,5 – 1,5/1,5 - 3
7	Voltase (V)	4 – 6
8	Temperatur (°C)	20 - 28
9	Anoda	Perak murni

Kualitas lapisan perak hasil elektroplating terlihat dari morfologi dan ketebalan lapisan yang seragam. Hal ini sangat dipengaruhi oleh distribusi rapat arus listrik (Widayatno, 2016). Ketebalan lapisan perak tidak akan seragam jika densitas arus tidak terdistribusi dengan baik. Oleh karena itu, desain sebuah system elektroplating sangat penting supaya rapat arus dapat terdistribusi dengan baik sehingga ketebalan yang seragam dapat dicapai (Widayatno, 2016). Hal ini juga menjanjikan proses yang berbiaya murah dan sangat efisien. Salah satu faktor penting untuk mencapai distribusi arus yang seragam adalah geometri sel elektroplating, yang juga termasuk penempatan dan jarak antara anoda dan katoda (Widayatno, 2016; Widayatno and Roy, 2014).

### Metodologi Penelitian

Penelitian yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi proses elektroplating perak dekoratif menuju UMKM yang ramah lingkungan ini dilakukan dalam beberapa tahap.

1. Penelitian *in situ* dilakukan langsung di tempat pengrajin menggunakan alat dan proses penyepuhan perak yang digunakan oleh pengrajin tradisional saat ini. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh data tentang kondisi operasi elektroplating seperti voltase dan arus listrik yang digunakan. Reaktor atau sel elektrokimia yang digunakan juga diamati, termasuk bentuk geometri, luas elektroda, jarak elektroda, dan posisi atau penempatan elektroda yang dapat menghasilkan produk yang diinginkan. Observasi juga dilakukan terhadap komposisi dan konsentrasi larutan elektrolit yang digunakan serta seberapa sering penambahan dan penggantian elektrolitnya.

2. Tahap berikutnya adalah mengkaji teori dasar dan fundamental elektrokimia. Kajian ini dilakukan melalui buku-buku teks standar di bidang elektrokimia. Tujuan dari tahap ini adalah mengumpulkan data dan informasi berkaitan dengan prinsip-prinsip dan konsep dasar proses elektroplating yang efisien dan yang dapat digunakan untuk menyelesaikan persoalan yang ditemui pada tahap 1. Informasi yang dibutuhkan diantaranya komposisi dan konsentrasi larutan elektrolit, komposisi dan konsentrasi elektrolit, kondisi operasi voltase dan arus listrik yang digunakan.

3. Kajian berikutnya dilakukan terhadap artikel-artikel jurnal nasional dan internasional yang menyajikan hasil penelitian proses penyepuhan perak. Tahap ini bertujuan untuk menggali informasi dan rekomendasi dari para peneliti berdasarkan hasil temuan mereka. Informasi dan rekomendasi dapat berupa komposisi dan konsentrasi elektrolit, kondisi operasi yang optimum, geometri reaktor yang efektif dan efisien.

4. Kesimpulan dan saran bisa ditarik dari hasil kajian dari tahap 1-3, sehingga proses penyepuhan perak pada industri kecil dapat ditingkatkan.

### Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian di tempat pengrajin menunjukkan bahwa proses penyepuhan yang dilakukan oleh pengrajin tradisional dan konvensional hanya bisa dijalankan dalam larutan elektrolit yang tidak diketahui secara pasti konsentrasinya dan dengan arus dan tegangan listrik yang tidak terkontrol dengan baik. Parameter yang digunakan

untuk menentukan proses berjalan dengan baik hanya perasaan saja. Sehingga secara kebetulan produk yang dihasilkan bisa baik tetapi terkadang hasilnya tidak sesuai harapan. Jika tidak sesuai harapan, proses electroplating harus dimulai dari awal. Penentuan kondisi operasi proses hanya didasarkan pertimbangan asal produk dapat diperoleh. Pertimbangan dalam memilih kondisi operasi tidak memperhitungkan prinsip-prinsip dasar elektrokimia yang efisien dan optimum.

Reaktor/sel elektrokimia tempat dilakukannya proses elektroplating juga masih sederhana. Reaktor belum didesain secara baik dengan mempertimbangkan geometri yang optimum. Padahal geometri reaktor sangat menentukan kualitas hasil sepuhan dan efisiensi proses.

Disamping itu, proses elektroplating konvensional yang dipakai pengrajin UMKM saat ini masih menggunakan larutan elektrolit berbasis sianida. Kandungan sianida didalam elektrolit jika terbuang ke lingkungan akan sangat berbahaya. Hal ini disebabkan oleh sianida yang merupakan bahan sangat beracun jika mencemari lingkungan dan akan membahayakan kehidupan manusia .

Hasil penelitian *in situ* dan pengamatan terhadap proses penyepuhan yang dilakukan oleh pengrajin saat ini disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengamatan proses penyepuhan perak oleh UMKM saat ini

No	Parameter	Hasil/ keterangan
1	Voltase	30 V (dibuat tetap)
2	Arus listrik	Tidak diketahui/tidak dimonitor
3	Geometri	Sederhana (Gambar 1)
4	Luas elektroda	katoda lebih besar dari Anoda
5	Jarak Elektroda	Berubah-ubah, digerakkan operator
6	Posisi elektroda	Berubah-ubah, digerakkan operator
7	Jenis elektroda	Anoda: stainless steel, Katoda: benda kerja (tembaga)
8	Komposisi Larutan	Awal pembuatan sesuai standar, setelahnya tidak diketahui, dengan kandungan sianida tinggi
9	Konsentrasi	Awal pembuatan sesuai standar, setelahnya tidak diketahui dengan kandungan sianida tinggi
10	Penggantian/penambahan larutan	Berdasar perasaan operator
11	Metode	Potensiostatik

Tabel 2 menunjukkan bahwa proses elektroplating perak oleh UMKM dilakukan dengan cara *potentiostatic*. Proses dijalankan dengan menggunakan voltase tertentu (30 V) dan dijaga tetap. Sedangkan arus listrik yang dialirkan tidak dikontrol dan tidak pula dimonitor. Reaktor dibuat dari peralatan sederhana seperti boks plastik atau ember. Seperti terlihat pada Gambar 4



Gambar 4.Reaktor/Sel elektrokimia penyepuhan perak oleh UMKM

Gambar 4 menunjukkan bahwa reaktor yang digunakan cukup sederhana.Hal ini berimplikasi pada penempatan dan jarak elektroda yang berubah ubah.Adapun elektroda yang digunakan adalah stainless steel sebagai anoda dan benda kerja (tembaga) sebagai katoda. Luas permukaan benda kerja biasanya lebih besar dari luas permukaan anoda yang dipakai.Adapun proses elektroplating perak dekoratif yang direkomendasikan berdasar kajian literatur dapat diringkas dalam Tabel 3.

Dengan membandingkan Tabel 2 dan 3, proses elektroplating yang dilakukan oleh UMKM saat ini masih memiliki banyak ruang untuk perbaikan. Proses tradisional konvensional sedikit demi sedikit harus ditingkatkan dan disesuaikan dengan prinsip-prinsip fundamental proses elektrokimia adalah geometri sel, ukuran anoda, proses

galvanostatis, jarak elektroda, posisi elektroda, komposisi dan konsentrasi elektrolit. Dengan begitu proses akan lebih efisien untuk menggapai UMKM perak dekoratif lebih ramah lingkungan.

Tabel 3. Proses penyepuhan perak hasil penelusuran literatur

No	Parameter	Hasil/ keterangan
1	Voltase	4 – 6V
2	Arus listrik/densitas arus listrik	0,5 – 1,5 atau 1,5 – 3 A/dm <sup>2</sup>
3	Geometri	Mempertimbangkan distribusi arus yang merata
4	Luas elektroda	Luas permukaan anoda harus lebih besar dari katoda
5	Jarak Elektroda	Relatif tetap
6	Posisi elektroda	Relatif tetap
7	Jenis elektroda	Anoda: perak murni, Katoda: benda kerja (tembaga berlapis nikel)
8	Komposisi Larutan	Sesuai standar dan senantiasa dimonitor
9	Konsentrasi	sesuai standar, dan dimonitor
10	Penggantian/penambahan larutan	Berdasar perhitungan yang cermat
11	Metode	Galvanostatis

### Kesimpulan

Efisiensi Proses elektroplating perak dekoratif bisa ditingkatkan dengan melalui evaluasi dan analisis menyeluruh terhadap praktik yang dilakukan oleh para pengrajin. Hal-hal yang harus disesuaikan dengan prinsip-prinsip fundamental proses elektrokimia adalah geometri sel, ukuran anoda, proses galvanostatis, jarak elektroda, posisi elektroda, komposisi dan konsentrasi elektrolit.

### Daftar Pustaka

- Ade Mawadah, (2008), Desain Sistem Elektrodeposisi untuk Sumber Radioaktif, Skripsi, Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta. diakses online di <http://repository.uinjkt.ac.id/dspace/bitstream/123456789/15695/2/ADE%20MAWADAH-FST.pdf>
- Bard, A. J. and Faulkner, L. R., (2001) *Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications*, 2nd edition, 22 – 43, John Wiley and Sons, Inc.
- Chicago Metal Finishers Institute, 2002, *Non-Cyanide Silver As a Substitute For Cyanide Processes*, WMRC Reports, The Illinois Waste Management and Research Center
- Edi Istiyono, R Yosi Aprian Sari, dan Banu Setyo Adi, 2008, *Pengelolaan Limbah Industri Penyepuhan Logam Perak*, Inoteks, Volume 12 No. 2. Diakses online (27/04/2014) dengan alamat website: [http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/132048515/6\\_Inoteks\\_Elektroplating.pdf](http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/132048515/6_Inoteks_Elektroplating.pdf)
- Lies Susilaning Sri, Hastuti (2012) *Kajian Penerapan Produksi Bersih Di Ukm Pelapisan Emas/ Perak Untuk Perhiasan Imitasi*. In: Seminar Nasional Teknik Kimia Soebardjo Brotohardjono IX "Pengelolaan Sumber Daya Alam Ramah Lingkungan Berbasis Efisiensi Energi, 21 Juni 2012, Surabaya. Diakses online (27/04/2014) di <http://eprints.upnjatim.ac.id/4147/1/C3.pdf>
- 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.
- Schlesinger, M. and Paunovic, M., (2010), *Modern Electroplating*, 5th Edition, p. 131-138, Electrochemical Society Series, John Wiley and Sons, Inc. New York
- Walsh, F. C. and Herron, M. E., (1991), *Electrocrystallization and electrochemical control of crystal growth: fundamental considerations and electrodeposition of metals*, J. Phys. D: Appl. Phys. 24 217
- Widayatno, Tri, (2016), *Modelling and Simulation of Current Distribution of Nickel Electrodeposition from Low Electrolyte Concentration at A Narrow Interelectrode Gap*, ARPN JEAS Vol. 11 No. 8 Pp. 5183
- Widayatno, T. and S. Roy, (2011), *Electrodeposition of Nickel Pattern without Photolithography of Substrates*, Proceeding of GPE2011 - 3rd International Congress on Green Process Engineering, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Widayatno, T. and Sudipta Roy, (2014), *Nickel Electrodeposition using Enface*, Journal of Applied Electrochemistry, DOI 10.1007/s10800-014-0686-y. Diakses online (27/04/2014) di <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10800-014-0686-y#page-1>