

KARAKTERISASI ELEKTROKIMIA LARUTAN ELEKTROLIT RENDAH SIANIDA UNTUK ELEKTROPLATING PERAK DEKORATIF RAMAH LINGKUNGAN

Tri Widayatno¹, Hamid², Ibnu Ari Swasemba³, dan Miftah Khairi Zufon⁴

^{1,2,3,4}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

Pelapisan perak dekoratif dengan proses elektroplating pada umumnya dilakukan oleh industri kecil dan rumah tangga, sehingga teknologi yang digunakan bersifat tradisional dan konvensional. Permasalahan yang timbul diantaranya adalah: (a) efisiensi rendah, (b) produk tidak cukup berkualitas, (c) penggunaan banyakelektrolit (d) limbah mengandung sianida, dan (e) mahal. Kondisi operasi optimum sudah banyak diteliti berbagai penelitian, tetapi belum didasarkan pada teori fundamental elektrokimia, dan belum mempertimbangkan berbagai kemungkinan larutan elektrolit ramah lingkungan dan optimasi kondisi operasi serta modifikasi geometri reaktor. Untuk itu pengembangan elektrolit dengan komposisi sederhana dengan toksisitas rendah yang menghasilkan produk sepuhan yang berkualitas sangat diperlukan. Salah satu alternatif larutan elektrolit yang bisa dikembangkan adalah larutan elektrolit dengan konsentrasi sianida rendah atau bahkan tanpa sianida. Makalah ini menyajikan hasil karakterisasi larutan elektrolit rendah sianida secara sistematis berdasar teori fundamental elektrokimi menggunakan eksperimen polarisasi kondisi tunak (steady state). Penelitian dilakukan dengan sel elektrokimia dua elektroda dan larutan elektrolit dengan komposisi rasio mol AgNO₃ dan HCN dari 1:2,6 sampai dengan 1:28,8. Kurva hubungan potensial – rapat arus didapatkan dengan mengatur dan menetapkan potensial sel dari 0 – 3 V, sedangkan arus listrik yang terbaca dicatat. Karakterisasi ini bertujuan untuk mengetahui apakah larutan yang dibuat tersebut mempunyai kemampuan untuk digunakan dalam elektroplating perak. Kurva polarisasi hasil percobaan menunjukkan bahwa elektrolit perak dengan sianida rendah cukup potensial untuk digunakan dalam plating perak. Adapun voltase/potensial dan rapat arus untuk plating perak berturut-turut adalah

Kata kunci: dekoratif; elektrokimia; voltase.

Pendahuluan

Industri pelapisan logam baik yang bertujuan untuk dekorasi maupun ketahanan terhadap korosi berkembang cukup pesat di Indonesia. Logam-logam yang digunakan dalam industri dan rumah tangga (besi, tembaga, kuningan) memiliki sifat mudah teroksidasi oleh udara luar sehingga biasanya dilapisi dengan logam lain (perak, nikel, chrome) untuk meningkatkan mutu permukaan dan ketahanan terhadap korosi. Salah satu industri pelapisan logam yang cukup populer adalah pelapisan tembaga dengan logam perak untuk perhiasan imitasi. Industri pelapisan perak dilakukan oleh UKM-UKM yang tersebar di sentra-sentra industri kerajinan perhiasan imitasi di berbagai wilayah di Indonesia.

Salah satu contoh sentra industri kerajinan perhiasan perak terdapat di kecamatan Kota gede, Yogyakarta yang memiliki 30 industri kecil pelapisan perak. 24 diantara industri tersebut tergabung dalam Koperasi Perajin Perak dan Perunggu Yogyakarta (KP3Y). Industri yang ada tergolong sebagai usaha kecil dan menengah, sehingga teknologi yang digunakan masih bersifat konvensional dan sederhana yang didapat secara turun temurun. Proses pelapisan perak dalam industri tersebut menggunakan metode penyepuhan atau elektroplating.

Karena teknologi elektroplating yang digunakan masih bersifat konvensional dan sederhana, proses biasanya dijalankan dalam larutan elektrolit dengan konsentrasi tertentu (kadang tidak diketahui) dan dengan arus dan tegangan listrik tertentu. Pertimbangan utama kondisi operasi proses hanya didasarkan pada asal produk yang didapatkan. Pemilihan kondisi operasi kurang memperhitungkan kondisi proses yang optimum dan efisien. Hal ini dapat menimbulkan beberapa permasalahan diantaranya: (a) proses kurang efisien, (b) Produk yang dihasilkan kurang berkualitas, (c) Setiap 2 minggu larutan elektrolit harus diganti, (d) menimbulkan banyak limbah, dan (e) biaya operasi mahal.

Usaha-usaha penelitian untuk menentukan kondisi operasi yang optimal bagi proses penyepuhan perak telah dilakukan, akan tetapi belum mempertimbangkan teori fundamental elektrokimia yang menjadi dasar proses

penyepuhan. Kalaupun sudah mempertimbangkan teori fundamental elektrokimia, tetapi belum dilakukan secara detail terhadap berbagai kemungkinan larutan elektrolit yang digunakan serta modifikasi reaktor yang dipakai.

Krishnan dkk (2000) telah melakukan penelitian dengan menggunakan beberapa alternatif elektrolit dengan variasi konsentrasi perak dan sianida yang rendah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan larutan elektrolit yang lebih ramah lingkungan (mengurangi polusi senyawa sianida) dan proses yang murah. Penelitian dilakukan dengan menggunakan katoda berupa lempeng tembaga dan anoda berupa lempeng perak murni pada suhu lingkungan (303 K). Hasil penelitian menyarankan bahwa konsentrasi perak cyanida:potassium cyanida (g/l) adalah 5:25 dan 15:50 dengan rapat arus $0.25 - 0.75 \text{ A/dm}^2$. Kondisi ini menghasilkan plating perak dekoratif yang kualitas penampakan dapat diterima. Akan tetapi dalam penelitian ini belum mempertimbangkan teori fundamental elektrokimia dalam menentukan rapat arus dan potensial yang digunakan.

Begitu pula pada tahun 2004, Tanty Yosipa melakukan penelitian parsial mengenai pengaruh rapat arus terhadap kualitas pelapisan endapan perak pada logam tembaga. Penentuan rapat arus yang digunakan juga belum sistematis dan tidak mempertimbangkan teori dasar elektrokimia. Dalam penelitian ini disimpulkan bahwa rapat massa yang optimum adalah 0.915 mA/cm^2 .

Siah dkk (2004) melakukan penelitian fundamental mengenai pengaruh konsentrasi perak sianida dan potassium sianida dalam elektroplating perak. Penelitian ini menyimpulkan bahwa kondisi optimum dicapai pada konsentrasi perak sianida sebesar 80 g/l dan rapat arus $1 - 2 \text{ A/dm}^2$. Pada penelitian ini terlihat juga belum sistematis dalam penentuan rapat arus yang digunakan.

Saitou (2010) melakukan penelitian elektropalting perak dengan menggunakan larutan elektrolit dengan toksisitas rendah. Levelling agent yang digunakan adalah Antimony Potassium Tartrate (APT). Komposisi elektrolit yang digunakan adalah (g/l): AgNO_3 , 25.5; $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, 72; KSCN , 146; $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 59.3; $\text{C}_8\text{H}_4\text{K}_2\text{O}_{12}\text{Sb}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (APT), 5, 10 and 15; K_2CO_3 , 31.3. Terlihat bahwa komposisi larutan elektrolit cukup kompleks. Penelitian ini menunjukkan efek dari APT yang terlihat hanya pada range potensial katoda yang sangat kecil yang menghasilkan sepuhan dengan penampakan yang mengkilap.

Upaya – upaya sudah dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan yang timbul dalam proses penyepuhan perak yaitu dengan menerapkan prinsip teknologi bersih, akan tetapi belum menyentuh teori fundamental elektrokimia untuk meningkatkan efisiensi proses penyepuhan. Peningkatan efisiensi proses sangat penting jika ingin benar-benar mengurangi penggunaan bahan baku dan mengurangi limbah yang dihasilkan. Dengan kondisi larutan elektrolit yang sesuai dan kondisi operasi yang optimum, maka produktivitas dan efisiensi proses dapat ditingkatkan, dan dengan sendirinya limbah dan pemakaian bahan baku bisa berkurang. Disamping itu, nilai ekonomis dari industri pelapisan perak juga akan meningkat.

Kualitas produk penyepuhan untuk perhiasan sejauh ini belum diinvestigasi secara sistematis. Investigasi terhadap kualitas produk penyepuhan adalah sangat penting dilakukan karena salah satu indikator proses penyepuhan yang baik adalah produk yang berkualitas. Semakin baik kualitasnya, keawetan dan nilai jual produk tersebut akan meningkat. Parameter untuk mengukur kualitas produk diantaranya adalah permukaan yang halus, adhesivitas, keseragaman ketebalan, dan porositas sepuhan, serta morfologi permukaan.

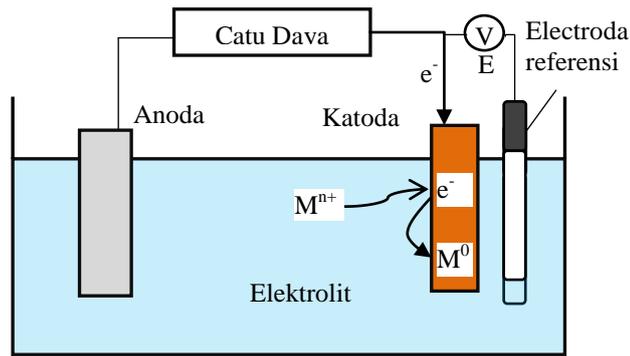
Pemilihan kondisi operasi dan parameter-parameter elektrokimia untuk menjalankan plating perak juga sangat signifikan pengaruhnya terhadap efisiensi dan kualitas produk. Untuk itu penelitian yang berdasarkan teori fundamental elektrokimia yang bertujuan menentukan kondisi operasi yang optimum melalui eksperimen polarisasi sangat diperlukan. Artikel ini menyajikan hasil penelitian dan percobaan polarisasi elektrokimia terhadap elektrolit perak dengan kandungan sianida rendah yang memiliki potensi untuk digunakan dalam plating perak yang lebih ramah lingkungan.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menentukan kondisi operasi penyepuhan logam perak yang optimum dan efisien serta mendapatkan produk yang berkualitas. Hal tersebut bisa dicapai berdasarkan teori fundamental proses penyepuhan yang meliputi sifat-sifat elektrokimia logam perak dalam larutan elektrolit serta teori distribusi arus dalam proses elektroplating. Dengan menggunakan eksperimen polarisasi terhadap larutan elektrolit untuk mendapatkan grafik potensial – rapat arus, beberapa sasaran yang hendak dicapai adalah:

1. Mengembangkan larutan elektrolit dengan komposisi dan konsentrasi yang sesuai dan sederhana dengan kadar toksisitas rendah
2. Menentukan konsentrasi larutan elektrolit yang optimal
3. Menentukan interval potensial listrik untuk elektrodeposisi perak melalui eksperimen polarisasi
4. Menentukan rapat arus untuk elektrodeposisi perak yang optimal dari kurva polarisasi

Teori

Proses penyepuhan atau juga dikenal dengan elektroplating/elektrodeposisi adalah proses yang melibatkan reaksi reduksi dari logam terlarut di dalam larutan elektrolit yang berlangsung di permukaan elektroda (katoda). Elektroplating biasanya dilakukan dalam sistem yang terdiri dari katoda, anoda, elektroda referensi, dan larutan elektrolit. Elektroda dihubungkan ke catu daya (*power supply*) kemudian dimasukkan ke dalam elektrolit di dalam sel elektrokimia (Gambar 1). Untuk mengukur potensial elektroda diperlukan elektroda referensi.

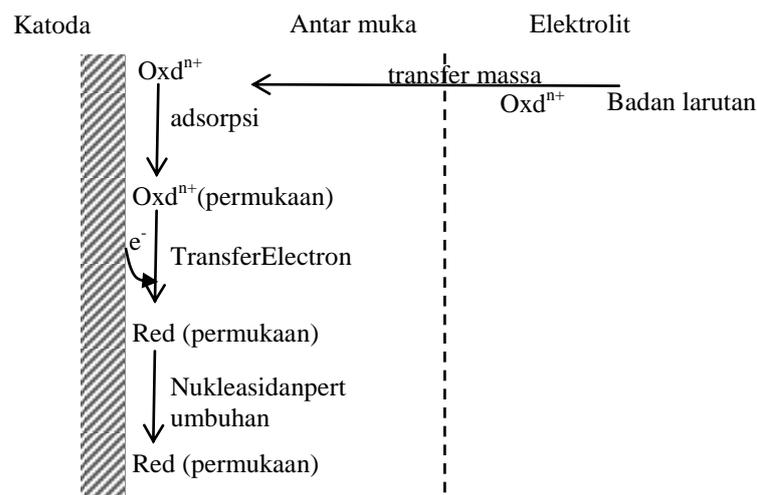


Gambar 1. Rangkaian standar sistem elektroplating

Pengendapan logam pada permukaan katoda dipicu oleh pergeseran potensial elektroda dari kondisi setimbangnya. Perbedaan potensial ini dikenal sebagai overpotential (η). Sebagai contoh, jika muatan listrik negatif di aplikasikan ke elektroda kerja (katoda), arus listrik akan mengalir dari katoda ke anoda. Sehingga reaksi reduksi akan terjadi pada ion-ion logam misalnya Mn^{n+} menjadi padatan logam yang mengendap pada permukaan katoda. Adapun reaksi reduksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Proses *electroplating* atau elektrodeposisi terjadi melalui mekanisme yang tergambar dalam Gambar 2



Gambar 2. Mekanisme proses elektroplating

Termodinamika reaksi elektrokimia

Parameter penting yang berpengaruh secara termodinamika terhadap reaksi elektroplating adalah potensial standar (E^0) dan hubungannya dengan pH dan kesetimbangan termodinamika. Potensial standar didefinisikan sebagai potensial tiap reaksi yang terjadi di elektroda yang diukur pada keadaan standar dan pada kondisi setimbang. Potensial standar biasanya diukur dengan mengacu pada elektroda hidrogen standar.

Pada kondisi yang menyimpang dari standar, potensial elektroda dinyatakan dengan menggunakan potensial setimbang (E_e) dan bisa ditentukan dengan persamaan Nernst's.

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

Dengan E_e = potensial sel elektroplating, E^0 potensial standar elektroda, R = konstanta gas umum, T = suhu sistem (K), n = jumlah elektron yang terlibat dalam reaksi reduksi, F = Konstanta Faraday, a_{Oxd} = aktivitas reaktan (ion logam), a_{Red} = aktivitas senyawa produk (logam).

Secara termodinamika, efek dari pH dan potensial elektroda standar pada kesetimbangan biasanya dinyatakan dengan diagram Pourbaix. Dengan menggunakan diagram tersebut range pH elektrolit yang tepat dapat ditentukan agar reaksi elektrodeposisi logam dapat tercapai.

Kinetika reaksi elektrokimia

Pergeseran potensial elektroda dari kondisi setimbangnya yang disebut overpotensial (η) merupakan gaya pendorong (*driving force*) berlangsungnya reaksi reduksi. Overpotensial dinyatakan dalam persamaan berikut:

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

Dengan E adalah potensial elektroda yang digunakan dalam proses. Hubungan overpotensial (η) dan rapat arus (j) dalam proses elektroplating dinyatakan dengan persamaan Botler-Volmer.

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

Dengan j = rapat arus (mA/cm²), j_0 = exchange current density, α = koefisien transfer muatan. Pada kondisi di mana overpotensial sangat besar, persamaan bisa dinyatakan dengan *Tafel Plot*.

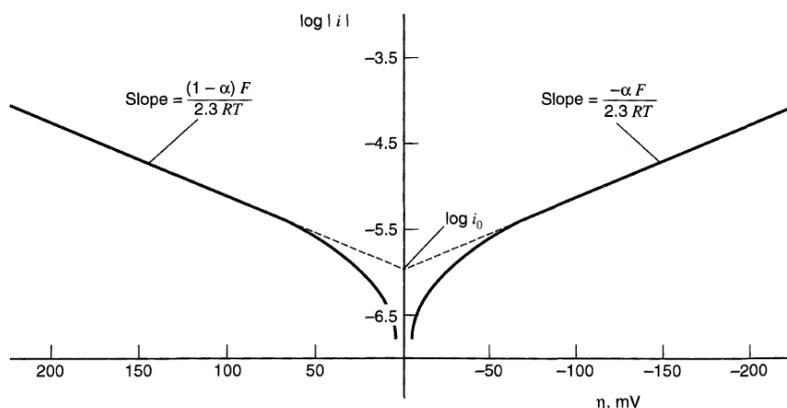
$$j = j_0 \left[-\exp\left(\frac{-\alpha_C n F \eta}{RT}\right) \right] \tag{5}$$

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

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

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

Parameter dan variabel pada persamaan Tafel bisa ditentukan dengan menggunakan grafik di Gambar 3 berikut:



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

Rapat arus (j) menunjukkan kinetika (kecepatan) reaksi reduksi dalam sistem elektroplating. Dengan mengetahui hubungan overpotensial dan rapat arus, interval potensial dan rapat arus yang optimum untuk elektroplating perak dapat ditentukan. Grafik hubungan overpotensial dan rapat arus didapat dengan melakukan eksperimen polarisasi.

Metodologi

Formulasi larutan elektrolit pada proses penyepuhan merupakan langkah yang sangat menentukan kualitas produk sepuhan. Untuk keperluan penyepuhan dekoratif, kualitas endapan perak terbaik didapat dari larutan elektrolit dengan konsentrasi perak yang lebih rendah. Larutan elektrolit untuk proses penyepuhan perak pada umumnya dibuat dengan komposisi utama AgCN dengan konsentrasi 31 – 55 g/l Larutan juga dilengkapi dengan KCN 50 – 80 g/l dan beberapa tambahan bahan kimia lainnya. Pada tahun 1996 Sanches dkk menyatakan komposisi elektrolit sebagai berikut AgCN 0.0185 M, K4P2O7 0.3027 M, dan KCN 0.1228 M.

Dikarenakan sifat senyawa sianida yang beracun, telah diupayakan untuk mengurangi konsentrasi senyawa sianida atau mengganti komposisi larutan elektrolit perak dengan tanpa senyawa sianida. Akan tetapi larutan elektrolit tanpa senyawa sianida diketahui kurang stabil dan hasil platingnya kurang berkualitas dalam hal penampakannya.

Bahan-bahan kimia yang digunakan untuk membuat larutan elektrolit: AgNO₃ dan KCN dengan *grade* analitik (PA) didapatkan dari supplier (MERCK atau SIGMA) di dalam air distilat murni. Konsentrasi dan komposisi larutan elektrolit yang dikembangkan dan diteliti tersaji pada Tabel 1.

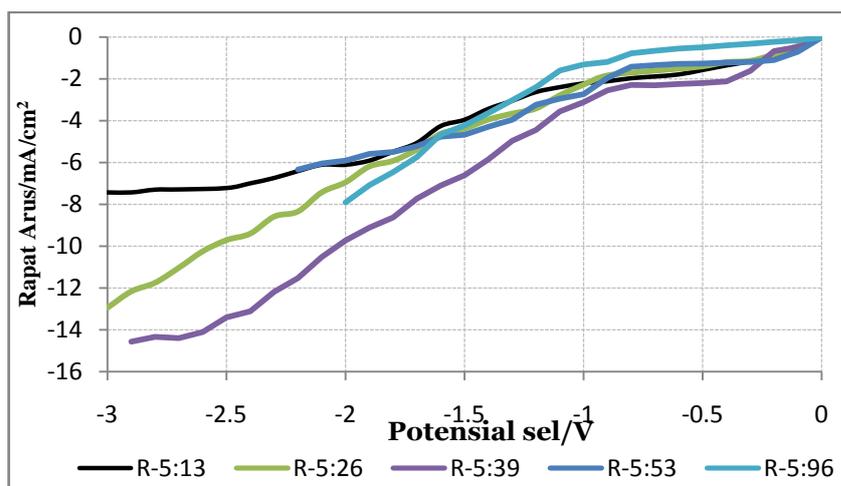
Tabel 1. Komposisi larutan elektrolite yang akan dipakai

No.	Konsentrasi AgNO ₃ (M)	Konsentrasi KCN	Ratio
1	0,059	0,460	5:39
2	0,059	0,306	5:26
3	0,059	0.153	5:13
4	0,029	0,306	5:53
5	0,016	0,306	5:96

Setelah larutan elektrolit disiapkan, percobaan polarisasi kondisi tunak (*steady state*) dilakukan untuk masing-masing larutan elektrolit di atas.Percobaan dilakukan untuk mengetahui hubungan voltase dan densitas arus.Kurva polarisasi juga dapat digunakan untuk menentukan apakah larutan tersebut dapat digunakan untuk plating perak atau tidak.Potensial sel dan rapat arus untuk elektroplating perak juga bisa ditentukan dengan kurva polarisasi tersebut.

Hasil dan Pembahasan

Kurva polarisasi untuk larutan elektrolit perak dengan berbagai komposisi dan konsentrasi hasil percobaan disajikan pada Gambar 4.Secara umum terlihat bahwa arus pada katoda mengalir sejak pada voltase/potensial sel yang rendah, akan tetapi pada potensial sel antara 0 – 2 V tidak terlihat adanya hasil plating perak pada benda kerja. Reaksi reduksi perak kemungkinan besar terjadi pada potensial antara -2.0 V dan -3.0 V ditandai dengan kenaikan rapat arus yang signifikan sampai terlihat rapat arus yang konstan (sebagai *limiting current*).



Gambar 4. Kurva Polarisasi Kondisi Tunak untuk larutan perak dengan berbagai Rasio komposisi AgNO₃:KCN

Gambar 4 juga menunjukkan bahwa rasio mol AgNO₃:KCN sangat berpengaruh terhadap kurva polarisasi. Terlihat bahwa semakin rendah rasio AgNO₃ terhadap KCN, rapat arus listrik pada katoda semakin meningkat sampai pada rasio 5:39. Rasio di bawah itu (5:53 dan 5:96), menyebabkan rapat arus katoda kembali menurun. Hal ini boleh jadi berkaitan dengan pembentukan molekul kompleks AgNO₃ dan KCN. Sehingga dapat diambil kesimpulan sementara bahwa rasio mol AgNO₃:KCN yang optimum adalah 5:39. Sedangkan besarnya rapat arus listrik untuk plating perak dari larutan dengan rasio mol AgNO₃:KCN 5:39 kemungkinan sebesar -10.0 sampai dengan -14.0 mA/cm².

Kesimpulan

Dari hasil dan pembahasan pada penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Larutan elektrolit terbuat dari AgNO₃ dan KCN dengan konsentrasi rendah sangat memungkinkan digunakan untuk proses elektroplating perak.
2. Pada penelitian ini Rasio mol AgNO₃:KCN yang optimum adalah 5:39.
3. Reaksi reduksi perak kemungkinan besar terjadi pada potensial antara -2.0 V dan -3.0 V.
4. besarnya rapat arus listrik untuk plating perak dari larutan dengan rasio mol AgNO₃:KCN 5:39 kemungkinan sebesar -10.0 sampai dengan -14.0 mA/cm².

Ucapan Terima Kasih

Tim penulis menghaturkan ucapan terimakasih kepada: DP2M Dikti yang telah mendanai penelitian ini, Rektor UMS dan Dekan Fakultas Teknik beserta jajarannya yang telah mengizinkan Kami turut berpartisipasi dalam Penelitian skema Hibah Bersaing, Ketua LPPMUMS beserta stafnya yang selalu membantu tim Peneliti dalam sisi administratif penelitian, Laboran Laboratorium Teknik Kimia UMS (Ibu Hartini, ST) yang telah membantu kelancaran pelaksanaan penelitian ini.

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>
- Edi Istiyono, R Yosi Aprian Sari, dan Banu Setyo Adi., (2008), “*Pengelolaan Limbah Industri Penyepuhan Logam Perak*”, Inoteks, Vol. 12 (2). Diakses online (27/04/2014) dengan alamat website: 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*”, Seminar Nasional Teknik Kimia Soebardjo Brotohardjono IX “*Pengelolaan Sumber Daya Alam Ramah Lingkungan Berbasis Efisiensi Energi*”, Surabaya. Diakses online (27/04/2014) di <http://eprints.upnjatim.ac.id/4147/1/C3.pdf>
- Tanty Yosipa., (2004), “*Pengaruh rapat arus terhadap kualitas pelapisan endapan perak pada lempeng tembaga*”, Undergraduate thesis, FMIPA UNDIP. Diakses online (27/04/2014) di <http://eprints.undip.ac.id/30978/>
- Krishnan, R. M., et. Al., (2000), “*Electrodeposition Of Silver From Low Concentrated Cyanide Electrolytes*”, *Bulletin of Electrochemistly* Vol. 16 (3), pp 136-139. Diakses online (27/04/2014) di <http://cecri.csircentral.net/964/1/17-2000.pdf>
- Siah, C. H. et. al, (2004), *Fundamentals Studies of Electro-Silver Plating Process*, Proceedings of the 18th Symposium of Malaysian Chemical Engineers, diakses online (27/04/2014) di [http://eprints.usm.my/8179/1/Fundamentals_Studies_of_Electro-Silver_Plating_Process_\(PPKKimia\).pdf](http://eprints.usm.my/8179/1/Fundamentals_Studies_of_Electro-Silver_Plating_Process_(PPKKimia).pdf)
- Paunovic, M. and Schlesinger, M., (1998) “*Fundamentals of Electrochemical Fabrication*”, John Wiley & 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
- Bard, A. J. and Faulkner, L. R., (2001), “*Electrochemical Methods*”, *Fundamentals and Applications, 2nd edition*, John Wiley and Sons, Inc, pp. 22-43
- Pourbaix, M., (1974), “*Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solution, 2nd English Edition*”, *Houston Tech. National Association of Corrosion Engineering*, pp. 331-341.
- 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>
- Schlesinger, M. and Paunovic, M., (2010), “*Modern Electroplating*”, 5th Edition, Electrochemical Society Series, John Wiley and Sons, Inc. New York, pp. 131-138
- Saitou, M., (2010), “*A study on the surface roughness of electrodeposited silver thin films using a confocal laser scanning microscope Microscopy*”, *Science, Technology, Applications and Education*