

Al-Kimia

Pengaruh Karaginan dari Rumput Laut Merah (*Eucheuma cottonii*) Asal Provinsi Aceh sebagai Edible Coating terhadap Ketahanan Buah

Reni Silvia Nasution, Husnawati Yahya, Muhammad Ridwan Harahap

Synthesis of Cellulose Acetate-Polystyrene Membrane Composites from Pineapple Peel Wastes for Methylene Blue Removal

Irvan Maulana Firdaus, Febiyanto Febiyanto, Try Fitriany, Lely Zikri Zulhidayah, Dyah Ayu Septiarini, Oto Dwi Wibowo

Potensi Instrumen FTIR dan GC-MS dalam Mengkarakterisasi dan Membedakan Gelatin Lemak Ayam, Itik dan Babi)

St Chadijah, Maswati Baharuddin, Firnanelty Firnanelty

Kajian Kinetika Pengaruh Lama Penyimpanan Terhadap Kadar Vitamin C Pada Buah Apel Malang (*Malus Sylvestris*)

Anjar Purba Asmara, Hanik Khuriana Amungkasi

Studi In Silico: Prediksi Potensi 6-shogaol dalam *Zingiber officinale* sebagai Inhibitor JNK

Sri Sulystyaningsih Natalia Daeng Tiring, Yohanes Bare, Andri Maulidi, Mansur S, Fitra Arya Dwi Nugraha

Development of Novel Alumina by Solid-State Reaction for ⁹⁹Mo/^{99m}Tc Adsorbent Material

Miftakul Munir, Enny Lestari, Hambali Hambali, Kadarisman Kadarisman, Marlina Marlina

Identifikasi Komponen Minyak Atsiri Daging Buah Pala (*Myristica Fragrans* Houtt.) Asal Pulau Lemukutan dan Uji Aktivitas Antiinflamasi Menggunakan Metode Stabilisasi Membran RBCs (Red Blood Cells)

Guntur Guntur, Harlia Harlia, Ajuk Sapar

Extraction, Isolation, Characterisation and Antioxidant Activity Assay of Catechin Gambir (*Uncaria gambir* (Hunter). Roxb)

Edin Ningsih, Sri Rahayuningsih

Synthesis and Characterization of UiO-66 as a Paracetamol Absorption Material

Fery Eko Pujiono, Try Ana Mulyati

Pengaruh Konsentrasi Tembaga dan Rapat Arus terhadap Morfologi Endapan Elektrodeposisi Tembaga

Soleh Wahyudi, Syoni Soepriyanto, Mohammad Zaki Mubarak, Sutarno Sutarno

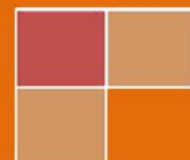
Gum Benzoin (*Styrax benzoin*) as Antibacterial against *Staphylococcus aureus*

Asih Gayatri, Eti Rohaeti, Irmanida Batubara

Jurusan Kimia UIN Alauddin Makassar

p-ISSN: 2302-2736

e-ISSN: 2549-9335



Al-Kimia

EDITOR IN CHIEF

Sjamsiah

MANAGING EDITOR

Ummi Zahra

REVIEWER

Suminar Setiati Achmadi

Irmanida Batubara

Sri Sugiarti

Muharram

Philiphi De Rosari

Ajuk Sapar

Asri Saleh

Muhammad Qaddafi

St .Chadijah

Aisyah

Asriani Ilyas

SECTION EDITOR

Rani Maharani

Iin Novianty

Firnelty

Chusnul Khatimah

Satriani

PUBLISHER

Department of Chemistry

Faculty of Science and Technology

Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar

Jl. H. M. Yasin Limpo No. 36 Gowa South Sulawesi Indonesia

E -mail: al-kimia@uin-alauddin.ac.id

Al-Kimia

TABLE OF CONTENT

Pengaruh Karaginan dari Rumput Laut Merah (<i>Eucheuma cottonii</i>) Asal Provinsi Aceh sebagai Edible Coating terhadap Ketahanan Buah Reni Silvia Nasution, Husnawati Yahya, Muhammad Ridwan Harahap	100-112
Synthesis of Cellulose Acetate-Polystyrene Membrane Composites from Pineapple Peel Wastes for Methylene Blue Removal Irvan Maulana Firdaus, Febiyanto Febiyanto, Try Fitriany, Lely Zikri Zulhidayah, Dyah Ayu Septiarini, Oto Dwi Wibowo	112-125
Potensi Instrumen FTIR dan GC-MS dalam Mengkarakterisasi dan Membedakan Gelatin Lemak Ayam, Itik dan Babi) St Chadijah, Maswati Baharuddin, Firnanelty Firnanelty	126-135
Kajian Kinetika Pengaruh Lama Penyimpanan Terhadap Kadar Vitamin C Pada Buah Apel Malang (<i>Malus Sylvestris</i>) Anjar Purba Asmara, Hanik Khuriana Amungkasi	136-146
Studi In Silico: Prediksi Potensi 6-shogaol dalam <i>Zingiber officinale</i> sebagai Inhibitor JNK Sri Sulystyaningsih Natalia Daeng Tiring, Yohanes Bare, Andri Maulidi, Mansur S, Fitra Arya Dwi Nugraha	147-153
Development of Novel Alumina by Solid-State Reaction for ⁹⁹ Mo/ ^{99m} Tc Adsorbent Material Miftakul Munir, Enny Lestari, Hambali Hambali, Kadarisman Kadarisman, Marlina Marlin	154-164
Identifikasi Komponen Minyak Atsiri Daging Buah Pala (<i>Myristica Fraghans</i> Houtt.) Asal Pulau Lemukutan dan Uji Aktivitas Antiinflamasi Menggunakan Metode Stabilisasi Membran RBCs (Red Blood Cells) Guntur Guntur, Harlia Harlia, Ajuk Sapar	165-176
Extraction, Isolation, Characterisation and Antioxidant Activity Assay of Catechin Gambir (<i>Uncaria gambir</i> (Hunter). Roxb) Edin Ningsih, Sri Rahayuningsih	177-188
Synthesis and Characterization of UiO-66 as a Paracetamol Absorption Material Fery Eko Pujiono, Try Ana Mulyati	189-197
Pengaruh Konsentrasi Tembaga dan Rapat Arus terhadap Morfologi Endapan Elektrodeposisi Tembaga Soleh Wahyudi, Syoni Soepriyanto, Mohammad Zaki Mubarak, Sutarno Sutarno	198-207
Gum Benzoin (<i>Styrax benzoin</i>) as Antibacterial against <i>Staphylococcus aureus</i> Asih Gayatri, Eti Rohaeti, Irmanida Batubara	208-217

Pengaruh Konsentrasi Tembaga dan Rapat Arus terhadap Morfologi Endapan Elektrodeposisi Tembaga

Soleh Wahyudi^{1,*}, Syoni Soepriyanto², M. Zaki Mubarak², Sutarno²

¹Program Studi Metalurgi, Institut Teknologi Sains Bandung.

²Program Studi Teknik Metalurgi, Institut Teknologi Bandung.

*Email: solehwahyudi@yahoo.com

Received: April,14,2019 /Accepted:December,29,2019

doi: 10.24252/al-kimia.v7i2.7818

Abstract: Copper deposits have been obtained by the electrolysis method using copper sulfate and sulfuric acid. The effect of copper concentration and current density on the surface morphology of copper deposits and current efficiency have been studied. The variation of copper concentration is 0.04 M and 0.8 M and the variation of current density is 2-8 A/dm². The copper deposits will be photographed macro, weighed and characterized by Scanning Electron Microscope (SEM) to determine the surface morphology of deposits and Energy-Dispersive X-ray spectroscopy (EDX) to determine the chemical composition of deposits. The surface morphology of copper deposits in the form of compact and without nodules was reached at copper concentration is 0.8 M and the current density is 2 A/dm² with the average of current efficiency is 96%.

Keywords: Electrodeposition, copper, morphology, compact, current efficiency

1. PENDAHULUAN

Elektrodeposisi tembaga adalah pelapisan tembaga dengan menggunakan metoda elektrolisis. Proses elektrodeposisi tembaga yang menghasilkan endapan tembaga dalam bentuk plat dikenal dengan sebutan elektroplating tembaga. Lapisan tembaga dapat dihasilkan dari beberapa jenis larutan elektrolit, yaitu larutan tembaga sianida, pirofosfat, sulfat dan fluoborat (Sato & Barauskas, 1995). Larutan tembaga sulfat, dibandingkan dengan jenis larutan tembaga lainnya, memiliki efisiensi arus yang lebih tinggi, mampu menghasilkan lapisan yang tebal, lebih ramah lingkungan, lebih mudah dikendalikan (Dini & Snyder, 2010), dan dapat digunakan untuk underplate produk manufaktur yang akan diplating nikel – khrom, *through hole* PCB (*Printed Circuit Board*), plating pada permukaan plastik ABS, electrorefining, dan electroforming (Watkowski, 2008).

Elektrodeposisi tembaga untuk aplikasi underplate produk manufaktur yang akan diplating nikel – khrom, *through hole* PCB, plating pada permukaan plastik ABS mensyaratkan permukaan lapisan tembaganya memiliki morfologi yang *compact* dan tidak ada nodul (Dini & Snyder, 2010). Beberapa faktor yang mempengaruhi morfologi permukaan lapisan tembaga adalah kondisi operasional proses dan bahan additif yang digunakan. Kondisi operasional proses meliputi konsentrasi tembaga, konsentrasi sulfat, rapat arus, temperatur, waktu dan konsentrasi pengotor dalam larutan elektrolitnya. Sedangkan pada bahan additif,

faktor yang mempengaruhi morfologi permukaan adalah jenis dan konsentrasi bahan aditif (Dini & Snyder, 2010).

Terdapat 2 kategori bentuk endapan dari proses elektrodeposisi yang dihasilkan, yaitu *compact* dan serbuk. Kedua kategori tersebut diidentifikasi berdasarkan data uji elektrokimia menggunakan potensiostat yang mengukur variasi overpotensial terhadap rapat arus pada permukaan katodik (benda kerja). Dari hasil uji tersebut dapat diketahui bahwa lapisan tembaga yang *compact* dapat diperoleh jika proses elektrodeposisi dilakukan pada kondisi overpotensial dan rapat arus yang rendah dimana rapat arus yang diterapkan lebih rendah dari rapat arus limit difusi (Paunovic, 2010; Popov & Pavlovic, 1993; Mubarak et al., 2017).

Dalam penelitian ini, akan diteliti pengaruh konsentrasi tembaga dan rapat arus terhadap morfologi permukaan lapisan elektrodeposisi tembaga. Kriteria keberhasilannya adalah dihasilkannya lapisan tembaga yang *compact* dan tanpa nodul. Selain itu, akan ditampilkan juga efisiensi arus elektrodeposisi pada variasi konsentrasi tembaga dan rapat arus sebagai bahan analisis yang dikorelasikan dengan morfologi permukaan lapisan tembaganya.

2. METODE

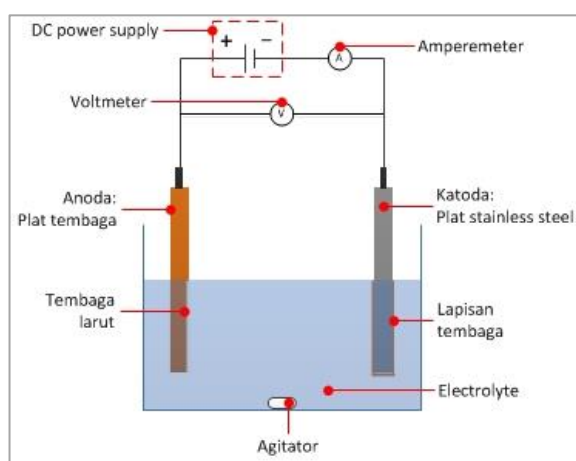
Larutan elektrolit untuk elektrodeposisi tembaga menggunakan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dengan variasi konsentrasi tembaga 0,04 M dan 0,8 M dan larutan H_2SO_4 dengan konsentrasi 1 M. Larutan elektrolit ditempatkan ke dalam gelas beaker dengan dua elektroda, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Total volume larutan elektrolit adalah 250 ml. Elektroda anoda menggunakan plat logam stainless steel dengan area yang terendam larutan elektrolit adalah P 25 mm x L 20 mm dan elektroda katoda menggunakan plat tembaga (99,99% Cu). Proses elektrodeposisi tembaga dilakukan dengan menggunakan catu daya DC dan dioperasikan pada suhu ruangan ($27 \pm 1^\circ\text{C}$) dengan diaduk. Parameter rapat arus divariasikan pada 2; 2,67; 4 dan 8 A/dm^2 . Durasi proses elektrodeposisi tembaga berlangsung selama 15 menit. Resume kondisi percobaan tercantum pada Tabel 1.

Tahapan proses elektrodeposisi dimulai dengan membersihkan permukaan katoda dalam larutan metal cleaner lalu dibilas dengan air bersih. Kemudian, katoda diaktivasi dalam larutan pickling lalu dibilas dengan air bersih lagi. Setelah itu katoda siap untuk diproses elektrodeposisi. Setelah selesai proses, katoda kembali dibilas dengan air bersih lalu dikeringkan dengan alat pengering (*hair dryer*).

Endapan tembaga yang dihasilkan kemudian difoto makro menggunakan kamera digital dan ditimbang beratnya. Morfologi permukaan endapan tembaga direkam menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan diuji komposisinya dengan menggunakan *Energy-Dispersive X-ray spectroscopy* (EDX). Karakterisasi endapan tembaga dengan SEM dan EDX menggunakan perangkat JEOL Model JED 2300.



(a)



(b)

Gambar 1. (a) Skema dan (b) Instalasi sel elektrodeposisi tembaga.

Tabel 1. Resume kondisi percobaan elektrodeposisi tembaga.

Rapat Arus (A/dm ²)	[Cu] (M)	[H ₂ SO ₄] (M)	[H ₂ SO ₄] (M)	[H ₂ SO ₄] (M)
2	0,04	1	RT	15
2,67	0,04	1	RT	15
4	0,04	1	RT	15
8	0,04	1	RT	15
2	0,8	1	RT	15
2,67	0,8	1	RT	15
4	0,8	1	RT	15
8	0,8	1	RT	15

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

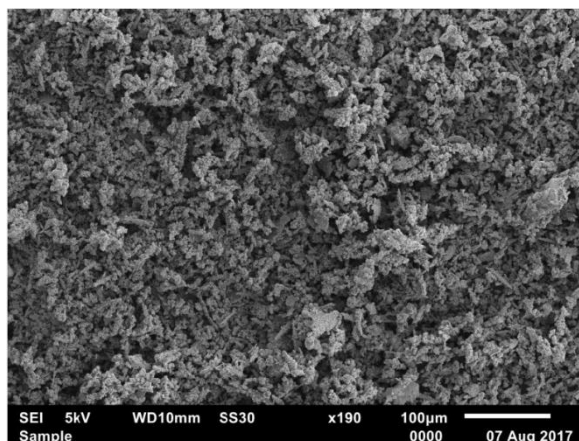
Pengaruh Konsentrasi Tembaga

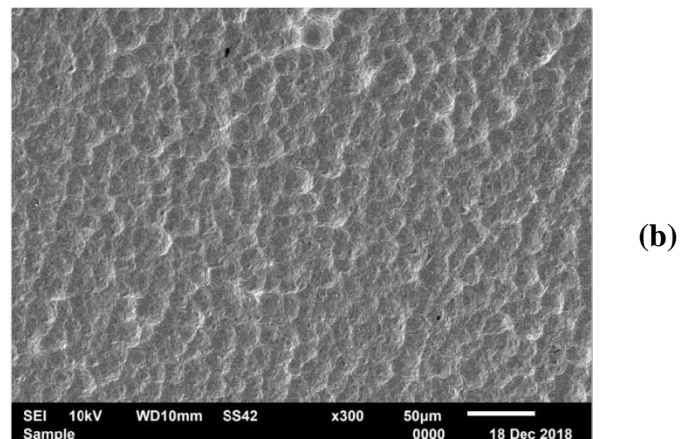
Hasil foto makro endapan tembaga pada variasi konsentrasi tembaga ditunjukkan pada Gambar 2. Sedangkan hasil SEMnya ditunjukkan pada Gambar 3. Gambar 2 menunjukkan bahwa pada konsentrasi tembaga 0,04 M diperoleh endapan tembaga berbentuk serbuk sedangkan pada konsentrasi 0,8 M diperoleh endapan tembaga yang *compact*. Berdasarkan Gambar 3, morfologi permukaan endapan tembaga pada konsentrasi tembaga 0,04 M memiliki struktur butiran bulat yang memadat dimana terdapat batas butir di antara butirannya.

Kondisi tersebut di atas terjadi karena besarnya rapat arus limit difusi pada permukaan katoda semakin besar dengan meningkatnya konsentrasi tembaga dalam elektrolit (Popov & Pavlovic, 1993; Mubarok et al., 2017). Dengan demikian saat konsentrasi tembaga 0,04 M maka rapat arus limit difusi menjadi rendah sehingga pada kondisi proses berada pada rapat arus 2 A/dm^2 maka rapat arus tersebut telah melebihi nilai rapat arus difusinya sehingga terbentuklah endapan tembaga yang berupa serbuk. Sedangkan saat konsentrasi tembaga 0,8 M maka rapat arus limit difusi menjadi tinggi sehingga pada kondisi proses berada pada rapat arus 2 A/dm^2 maka rapat arus tersebut belum melampaui nilai rapat arus difusinya sehingga endapan tembaga yang terbentuk berupa *compact*.



Gambar 2. Foto makro endapan tembaga pada variasi konsentrasi Cu (a) 0,04 M dan (b) 0,8 M serta pada rapat arus 2 A/dm^2 .



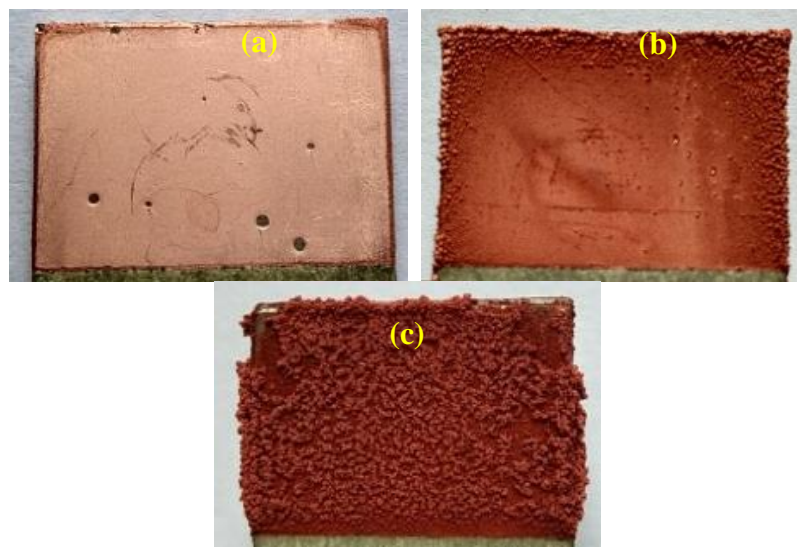


Gambar 3. Foto SEM endapan tembaga pada variasi konsentrasi Cu (a) 0,04 M dan (b) 0,8 M serta pada rapat arus 2 A/dm².

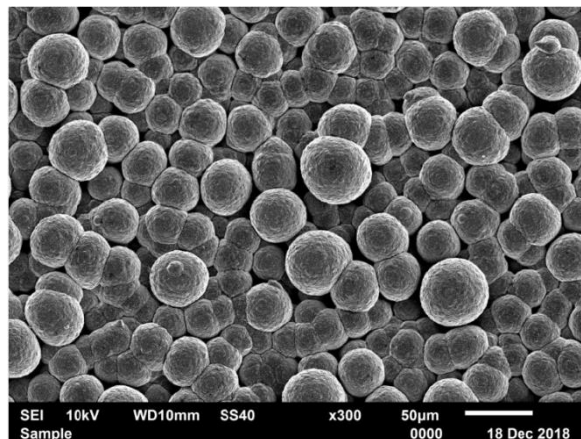
Serbuk tembaga yang dihasilkan memiliki struktur dendritik. Kondisi tersebut sesuai dengan penelitian Popov (Popov & Pavlovic, 1993). Kondisi proses dengan konsentrasi tembaga yang rendah dapat diterapkan untuk menghasilkan material serbuk tembaga dengan metode elektrolisis.

Pengaruh Rapat Arus

Hasil foto makro elektrodeposisi tembaga pada variasi rapat arus ditunjukkan pada Gambar 4. Sedangkan hasil SEMnya ditunjukkan pada Gambar 5. Gambar 4 menunjukkan bahwa semakin meningkat rapat arus akan diperoleh endapan tembaga yang makin kasar. Makrostruktur yang kasar diakibatkan adanya nodul. Detail nodul endapan tembaga dapat dilihat foto SEM pada Gambar 5. Pada Gambar 5 terlihat pada tiap-tiap nodul terdapat nodul yang *compact* dan terdapat pula nodul yang ada lapisan runcing di permukaannya.



Gambar 4. Foto makro endapan tembaga pada variasi rapat arus (a) 2, (b) 4 dan (c) 8 A/dm² serta pada kondisi konsentrasi Cu 0,8 M.

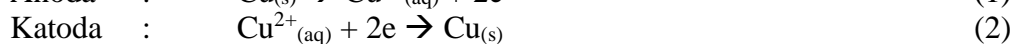
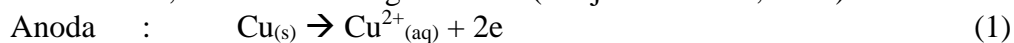


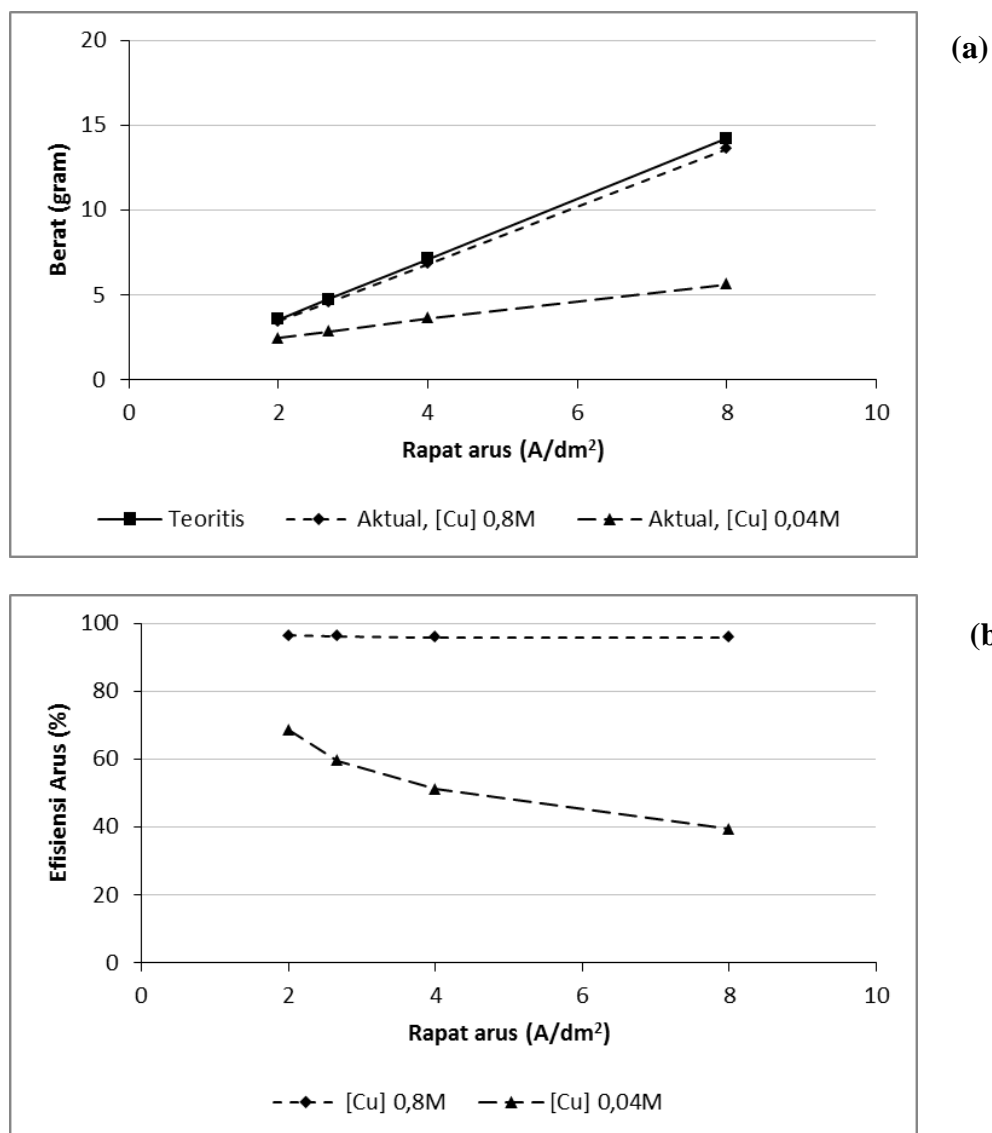
Gambar 5. Foto SEM lapisan elektrodeposisi tembaga pada variasi rapat arus 4 A/dm² dan konsentrasi Cu 0,8 M.

Kondisi nodul yang ada lapisan runcing di permukaannya tersebut berpotensi membentuk lapisan berstruktur dendritik jika waktu prosesnya diperlama. (Dini & Snyder, 2010). Kondisi tersebut tidak diharapkan keberadaannya pada produk manufaktur yang dielektroplating. Dengan demikian, rapat arus yang rendah dapat diterapkan agar diperoleh lapisan tembaga yang memiliki morfologi yang compact dan tidak ada nodul.

Efisiensi Arus

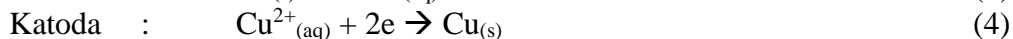
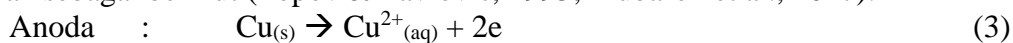
Berat lapisan tembaga yang diperoleh pada tiap variasi konsentrasi tembaga dan rapat arus ditampilkan pada Gambar 6(a). Berat lapisan tersebut kemudian disebut sebagai berat aktual. Berat teoritis yang ditampilkan pada Gambar 6(a) berasal dari perhitungan menggunakan persamaan *Faraday*. Berdasarkan Gambar 6(a) menunjukkan ada peningkatan berat endapan tembaga yang diperoleh seiring dengan meningkatnya rapat arus. Namun, pada konsentrasi tembaga 0,04 M menunjukkan perolehan yang lebih rendah dibandingkan pada konsentrasi tembaga 0,8 M. Berdasarkan pengamatan saat proses elektrodeposisi berlangsung, kondisi reaksi sel di permukaan anoda dan katoda pada konsentrasi Cu 0,04 M berbeda dengan pada konsentrasi Cu 0,8 M. Reaksi sel di permukaan anoda dan katoda pada konsentrasi Cu 0,8 M adalah sebagai berikut (Grujicic & Pesic, 2002):





Gambar 6. Grafik hubungan antara rapat arus dengan (a) berat lapisan tembaga, (b) efisiensi arus.

Sedangkan reaksi sel di permukaan anoda dan katoda pada konsentrasi Cu 0,04 M adalah sebagai berikut (Popov & Pavlovic, 1993; Mubarak et al., 2017):



Berdasarkan adanya reaksi (4) dan (5) di permukaan katoda pada konsentrasi Cu 0,04 M menunjukkan adanya dua reaksi yaitu reaksi terbentuknya endapan tembaga dan reaksi terbentuknya gas hidrogen. Kondisi tersebut mengakibatkan tidak semua arus DC yang dialirkan digunakan untuk membentuk endapan tembaga tapi juga digunakan untuk membentuk gas hidrogen. Akibatnya berat endapan

tembaga pada konsentrasi Cu 0,04 M menjadi lebih rendah dibandingkan pada konsentrasi Cu 0,8 M (Popov & Pavlovic, 1993; Mubarak et al., 2017).

Berat aktual lapisan tembaga selanjutnya digunakan untuk menentukan besarnya efisiensi arus elektrodeposisi tembaga. Penentuan efisiensi arus menggunakan persamaan sebagai berikut:

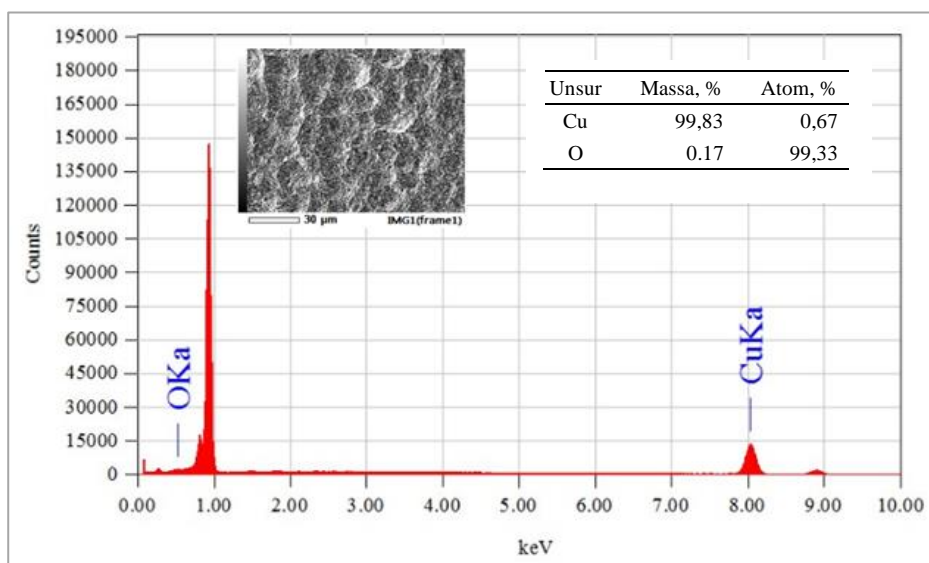
$$\eta = \frac{w_{act} \times z \times F}{M \times I \times t} \times 100\% \quad (1)$$

dimana η adalah efisiensi arus (%), w_{act} adalah berat lapisan tembaga (gram), M adalah berat atom tembaga ($63,54 \text{ gr mol}^{-1}$), z adalah valensi ion tembaga (2), F adalah bilangan Faraday (96500 C mol^{-1}), I adalah arus DC (Ampere) dan t adalah waktu proses (detik).

Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan (1) diperoleh hasil efisiensi arus seperti ditampilkan pada gambar 6(b). Berdasarkan Gambar 6(b) terlihat bahwa pada konsentrasi Cu 0,8 M diperoleh rata-rata efisiensi arus mencapai 96% sedangkan pada konsentrasi Cu 0,04 M menunjukkan efisiensi arus yang lebih rendah. Efisiensi arus pada konsentrasi Cu 0,04 M cenderung makin menurun seiring dengan meningkatnya rapat arus, mulai dari 68% pada rapat arus 2 A/dm^2 dan terus menurun hingga 39% pada rapat arus 8 A/dm^2 . Penurunan efisiensi arus pada konsentrasi Cu 0,04 M disebabkan tidak semua arus yang mengalir digunakan untuk membentuk endapan tembaga tapi juga digunakan untuk membentuk gas hidrogen seperti ditunjukkan pada reaksi (4) dan (5). Semakin besar rapat arus akan semakin meningkatkan terbentuknya gas hidrogen sehingga peluang untuk membentuk endapan tembaga makin berkurang (Popov & Pavlovic, 1993; Mubarak et al., 2017).

Komposisi Endapan Tembaga

Komposisi endapan tembaga diukur melalui pengujian EDX. Hasil EDX endapan tembaga yang berbentuk *compact* ditampilkan pada Gambar 7. Berdasarkan hasil uji EDX diketahui tingkat kemurnian tembaganya sangat tinggi hingga mencapai 99,83%. Adanya unsur oksigen dalam hasil uji tersebut dikarenakan endapan tembaga telah mengalami oksidasi selama penyimpanan menunggu saat pengujian tiba.



Gambar 7. Komposisi lapisan tembaga berbentuk compact.

Kondisi tersebut berbeda dengan hasil uji EDX terhadap endapan tembaga yang berbentuk serbuk. Serbuk tembaga memiliki komposisi 97,81% atom Cu dan 2,19% atom O (Nekouei, 2013). Tingginya komposisi oksigen pada endapan serbuk tembaga karena serbuk tembaga memiliki luas permukaan lebih besar dibandingkan endapan tembaga compact (Nekouei, 2013).

4. PENUTUP

Berdasarkan penelitian elektrodeposisi tembaga yang telah dilakukan, maka kesimpulannya adalah endapan tembaga dapat diperoleh dengan menggunakan metode elektrolisis. Endapan tembaga berbentuk *compact* dan tanpa nodul diperoleh pada konsentrasi Cu 0,8 M dan berbentuk serbuk pada konsentrasi Cu 0,04 M. Pada konsentrasi Cu 0,8 M, dengan semakin meningkatnya rapat arus, endapan tembaga yang dihasilkan akan terbentuk nodul dan akan semakin kasar. Efisiensi arus pada konsentrasi 0,8 M mencapai rata-rata 96% sedangkan pada konsentrasi Cu 0,04 M efisiensi arusnya lebih rendah mulai dari 68% hingga 39%.

Kondisi terbaik agar diperoleh endapan tembaga berbentuk *compact*, tidak ada nodul pada lapisannya dan memiliki efisiensi arus yang lebih tinggi adalah pada konsentrasi Cu 0,8 M dan rapat arus 2 A/dm².

DAFTAR PUSTAKA

Sato, A. & Barauskas, R. (1995). Copper plating. *Metal Finishing*, 93 (1), Supplement 1 : 223-234.

- Dini, J. W. & Snyder, D. D. (2010). Chapter 2: Electrodeposition of Copper. *Modern Electroplating*, edisi 5, John Wiley & Sons, Inc., Canada : 33-78.
- Watkowski, J. (2008). Chapter 29: Electroplating. *Printed Circuits Handbook*, edisi 6, Mc. Graw Hill Handbook : 29.1-29.31.
- Paunovic, M., Schlesinger, M. & Snyder, D. D. (2010). Chapter 1: Fundamental Consideration. *Modern Electroplating*, edisi 5, John Wiley & Sons, Inc., Canada : 1-32.
- Popov, K. I. & Pavlovic, M. G. (1993). *Modern Aspects of Electrochemistry*, Plenum Press, New York : 299-391.
- Mubarok, M. Z., Aji, L. N. & Wahyudi, S. (2017). Sintesis Serbuk Tembaga Dengan Metode Elektrolisis: Studi Perilaku Elektrokimia Dan Karakterisasi Serbuk. *Prosiding SENAMM X 2017* : 623-632.
- Grujicic, D. & Pesic, B. (2002). Electrodeposition of copper: the nucleation mechanisms. *Electrochimica Acta*, 47 (18) : 2901-2912.
- Nekouei, R. K., Rashchi, F. & Amadeh, A. A. (2013). Using design of experiments in synthesis of ultra-fine copper particles by electrolysis. *Powder Technology*, 237 : 165–171.