



# PENGARUH KONSENTRASI TEMBAGA DAN RAPAT ARUS TERHADAP MORFOLOGI ENDAPAN ELEKTRODEPOSISI TEMBAGA

<http://jurnal.universitaskebangsaan.ac.id/index.php/ensains>  
Email: [ensains@universitaskebangsaan.ac.id](mailto:ensains@universitaskebangsaan.ac.id) / [ensainsjournal@gmail.com](mailto:ensainsjournal@gmail.com)

ENSAINS: Vol. 2 Nomor. 3 September 2019

Soleh Wahyudi<sup>1</sup>, Syoni Soepriyanto<sup>2</sup>, M. Zaki Mubarok<sup>2</sup>, Sutarno<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Teknik Metalurgi, Institut Teknologi dan Sains Bandung, Bekasi, 17530

<sup>2</sup>Teknik Metalurgi, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 40132

<sup>3</sup>Teknik Metalurgi, Universitas Jenderal Achmad Yani, Bandung, 40285

E-mail: [solehwahyudi@yahoo.com](mailto:solehwahyudi@yahoo.com)

**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/dm<sup>2</sup>. 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/dm<sup>2</sup> with the average of current efficiency is 96%.*

**Keyword:** *Electrodeposition, copper, morphology, compact, current efficiency*

**Abstrak:** Endapan tembaga telah dihasilkan dengan metode elektrolisis menggunakan bahan tembaga sulfat dan asam sulfat. Penelitian ini mempelajari pengaruh konsentrasi tembaga dan rapat arus terhadap morfologi permukaan endapan tembaga dan efisiensi arus. Variasi konsentrasi tembaga adalah 0,04 M dan 0,8 M sedangkan variasi rapat arus adalah 2-8 A/dm<sup>2</sup>. Endapan tembaga yang dihasilkan akan difoto makro, ditimbang berat lapisannya dan diuji karakteristiknya dengan Scanning Electron Microscope (SEM) untuk mengetahui detail morfologi permukaan endapan dan Energy-Dispersive X-ray spectroscopy (EDX) untuk mengetahui komposisi kimia endapan. Morfologi permukaan endapan tembaga berbentuk compact dan tanpa nodul tercapai pada kondisi konsentrasi Cu 0,8 M dan rapat arus 2 A/dm<sup>2</sup> dengan efisiensi arus mencapai rata-rata 96%.

**Kata Kunci:** Elektrodeposisi, tembaga, morfologi, compact, efisiensi arus

## 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 additif (Dini & Snyder, 2010).

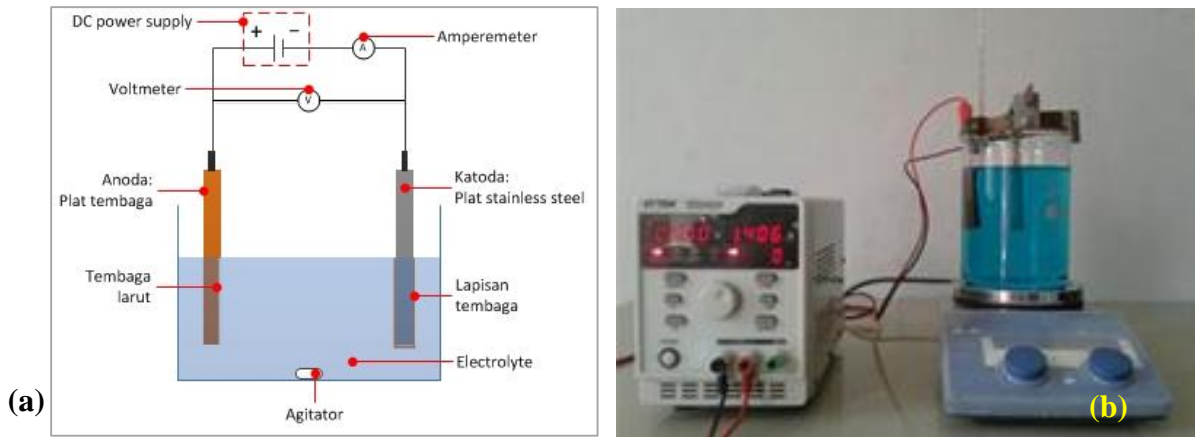
Terdapat 2 kategori bentuk endapan dari proses elektrodeposisi yang dihasilkan, yaitu *compact* dan serbuk. Kedua kategori tersebut diidentifikasi berdasarkan data uji elektrokimia menggunakan potensiostat yang mengukur variasi overpotensial terhadap rapat arus pada permukaan katodik (benda kerja). Dari 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; Mubarok 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.

**METODOLOGI PENELITIAN**

Larutan elektrolit untuk elektrodeposisi tembaga menggunakan  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  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 ( $27 \pm 1^\circ C$ ) 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.



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

**Tabel 1.** Kondisi percobaan elektrodeposisi tembaga.

Rapat Arus ( $A/dm^2$ )	[Cu] (M)	[ $H_2SO_4$ ] (M)
2	0,04	1
2,67	0,04	1
4	0,04	1
8	0,04	1
2	0,8	1
2,67	0,8	1
4	0,8	1
8	0,8	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.

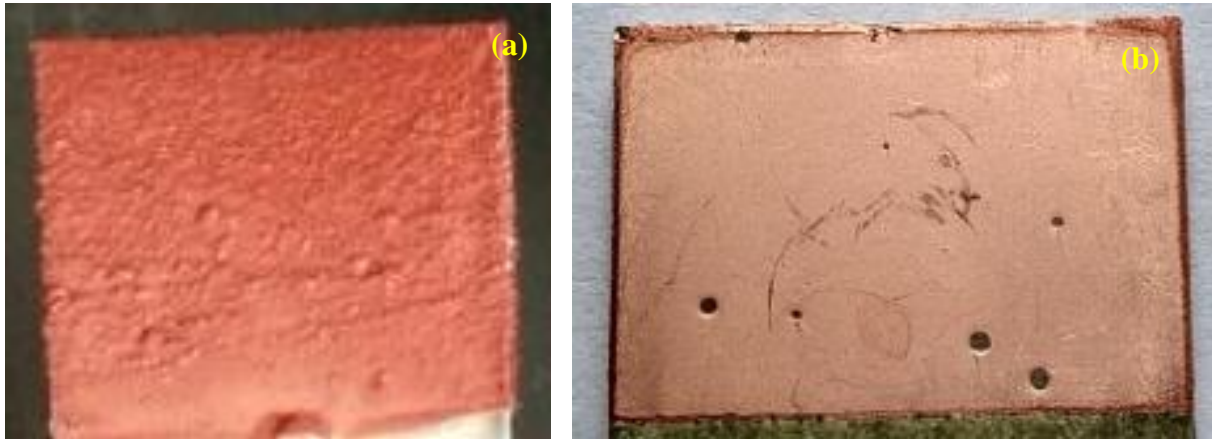
**HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

**Pengaruh Konsentrasi Tembaga**

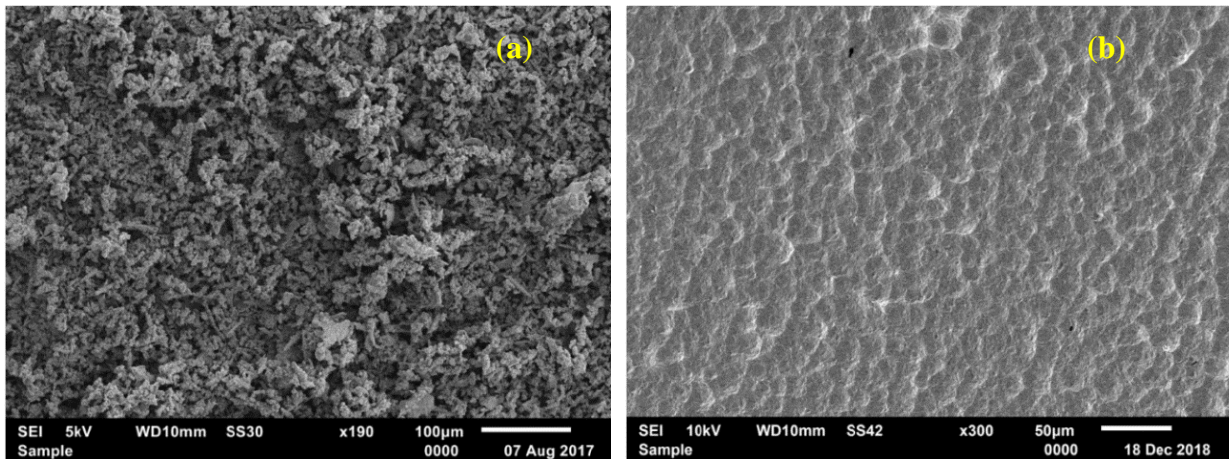
Hasil foto makro endapan tembaga pada variasi konsentrasi tembaga ditunjukkan pada Gambar 2. Sedangkan hasil SEMnya ditunjukkan pada Gambar 3. Gambar 2 menunjukkan bahwa pada konsentrasi tembaga 0,04 M diperoleh endapan tembaga berbentuk serbuk sedangkan pada konsentrasi 0,8 M diperoleh endapan tembaga 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; Mubarak 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<sup>2</sup> 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<sup>2</sup>.

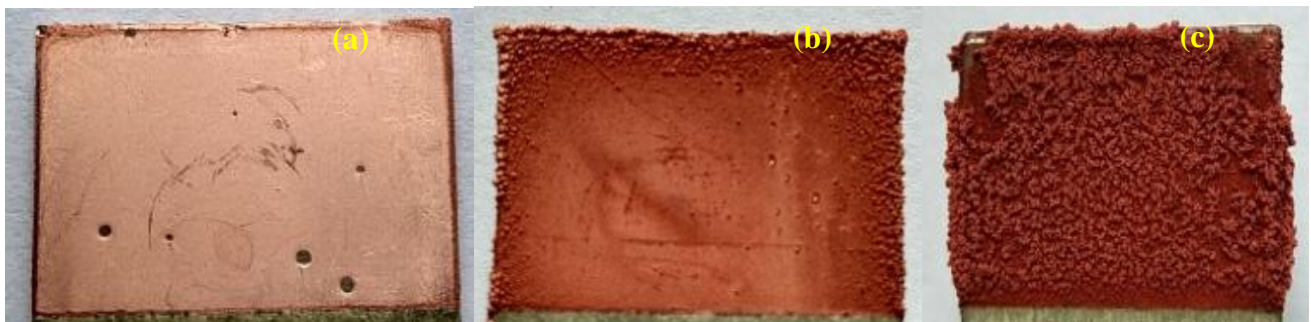


**Gambar 3.** Foto SEM endapan tembaga pada variasi konsentrasi Cu (a) 0,04 M dan (b) 0,8 M serta pada rapat arus 2 A/dm<sup>2</sup>.

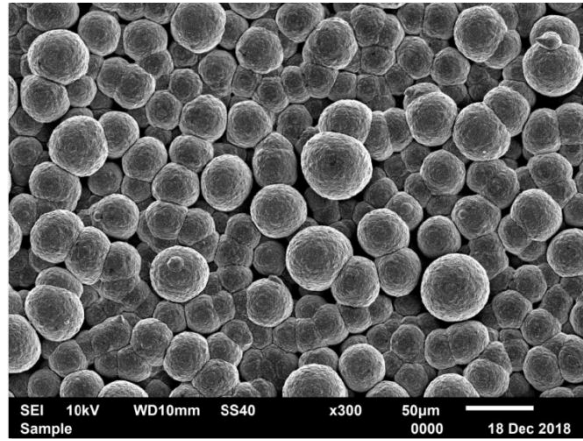
Serbuk tembaga yang dihasilkan memiliki struktur dendritik. Kondisi tersebut sesuai dengan penelitian Popov (Popov & Pavlovic, 1993). Kondisi proses dengan konsentrasi tembaga yang rendah dapat diterapkan untuk menghasilkan material serbuk tembaga dengan metode elektrolisis.

### Pengaruh Rapat Arus

Hasil foto makro elektrodposisi 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/dm<sup>2</sup> serta pada kondisi konsentrasi Cu 0,8 M.

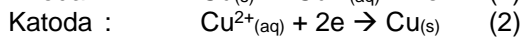
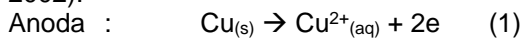


**Gambar 5.** Foto SEM lapisan elektrodeposisi tembaga pada variasi rapat arus 4 A/dm<sup>2</sup> dan konsentrasi Cu 0,8 M.

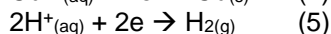
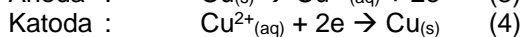
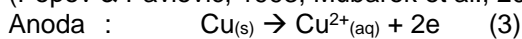
Kondisi nodul yang ada lapisan runcing di permukaannya tersebut berpotensi membentuk lapisan berstruktur dendritik jika waktu prosesnya diperlama. (Dini & Snyder, 2010). Kondisi tersebut tidak diharapkan keberadaannya pada produk manufaktur yang dielektroplating. Dengan demikian, rapat arus yang rendah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

### Efisiensi Arus

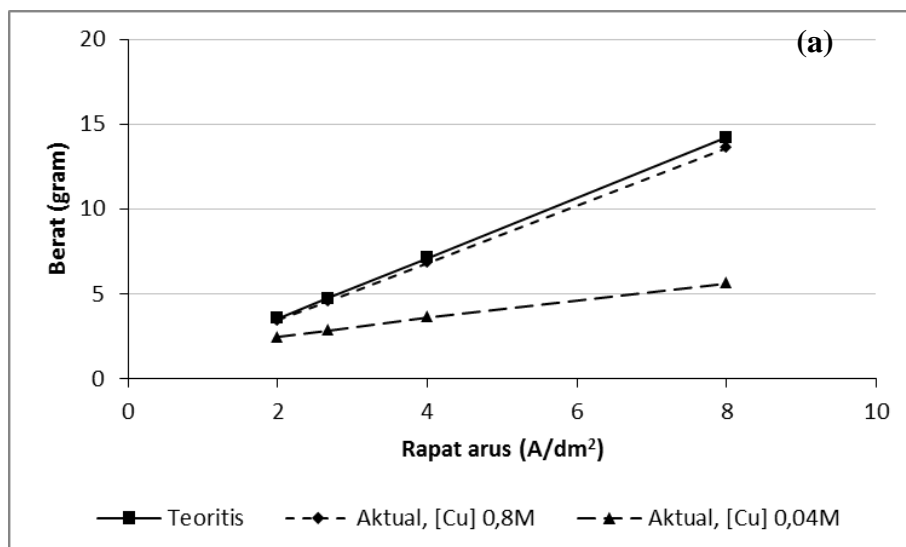
Berat lapisan tembaga yang diperoleh pada tiap variasi konsentrasi tembaga dan rapat arus ditampilkan pada Gambar 6(a). Berat lapisan tersebut kemudian disebut sebagai berat aktual. Berat teoritis yang ditampilkan pada Gambar 6(a) berasal dari perhitungan menggunakan persamaan *Faraday*. Berdasarkan 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):

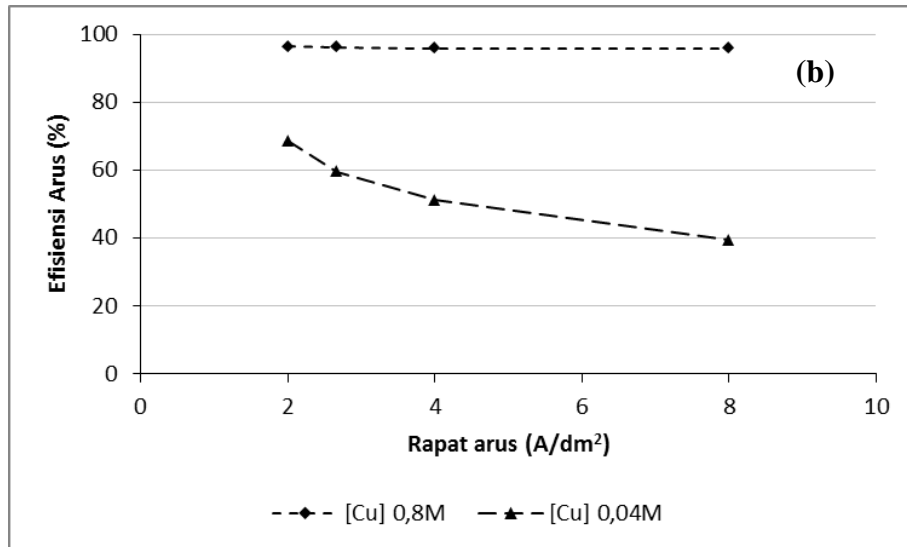


Sedangkan reaksi sel di permukaan anoda dan katoda pada konsentrasi Cu 0,04 M adalah sebagai berikut (Popov & Pavlovic, 1993; Mubarak et al., 2017):



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).





**Gambar 6.** Grafik hubungan antara rapat arus dengan (a) berat lapisan tembaga, (b) efisiensi arus. Berat aktual lapisan tembaga selanjutnya digunakan untuk menentukan besarnya efisiensi arus elektrodeposisi tembaga. Penentuan efisiensi arus menggunakan persamaan sebagai berikut:

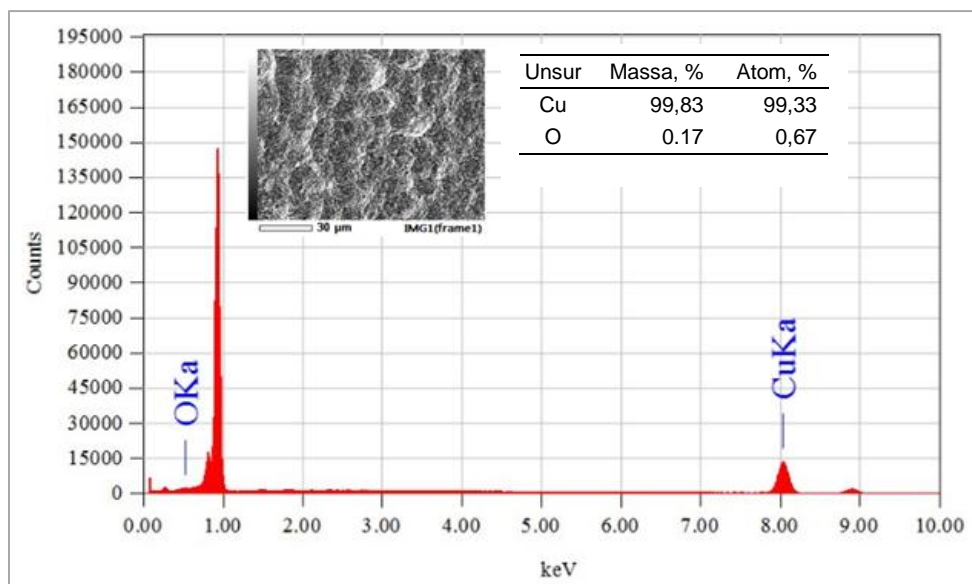
$$\eta = \frac{w_{act} \times z \times F}{M \times I \times t} \times 100\% \quad (1)$$

dimana  $\eta$  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 ( $96500 \text{ C mol}^{-1}$ ),  $I$  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<sup>2</sup> dan terus menurun hingga 39% pada rapat arus 8 A/dm<sup>2</sup>. 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).

## KESIMPULAN

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/dm<sup>2</sup>.

## DAFTAR PUSTAKA

- Dini, J. W. dan Snyder, D. D. (2010). Chapter 2: Electrodeposition of Copper. *Modern Electroplating*, edisi 5, John Wiley & Sons, Inc., Canada : 33-78.
- Grujicic, D. dan Pesic, B. (2002). Electrodeposition of copper: the nucleation mechanisms. *Electrochimica Acta*, 47 (18) : 2901-2912.
- Mubarok, M. Z., Aji, L. N. dan Wahyudi, S. (2017). Sintesis Serbuk Tembaga Dengan Metode Elektrolisis: Studi Perilaku Elektrokimia Dan Karakterisasi Serbuk. *Prosiding SENAMM X 2017* : 623-632.
- Nekouei, R. K., Rashchi, F. dan Amadeh, A. A. (2013). Using design of experiments in synthesis of ultra-fine copper particles by electrolysis. *Powder Technology*, 237 : 165–171.
- Paunovic, M., Schlesinger, M. dan Snyder, D. D. (2010). Chapter 1: Fundamental Consideration. *Modern Electroplating*, edisi 5, John Wiley & Sons, Inc., Canada : 1-32.
- Popov, K. I. dan Pavlovic, M. G. (1993). *Modern Aspects of Electrochemistry*, Plenum Press, New York : 299-391.
- Sato, A. dan Barauskas, R. (1995). Copper plating. *Metal Finishing*, 93 (1), Supplement 1 : 223-234.
- Watkowski, J. (2008). Chapter 29: Electroplating. *Printed Circuits Handbook*, edisi 6, Mc. Graw Hill Handbook : 29.1-29.31.