

PEMBUATAN SERBUK TEMBAGA BERUKURAN DI BAWAH 1 MIKRON DENGAN METODE ELEKTROLISIS

Damisih^{*)}, Riastuti Fidyansih, Retna Deca Pravitasari, Agustanhakri,
Lia Aprilia, Henny Purwati

Pusat Teknologi Material, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)
Gedung 224 Kawasan Puspiptek, Tangerang Selatan, Banten 15314

^{*)} Email: damisih@bppt.go.id

Abstrak

Serbuk tembaga murni banyak dipergunakan untuk berbagai aplikasi karena memiliki sifat konduktifitas listrik dan termal yang sangat baik. Pada penelitian ini, dilakukan pembuatan serbuk tembaga dari plat tembaga dengan kemurnian Cu sebesar 99.9% menggunakan metode elektrolisis. Elektroda plat tembaga berukuran 8 x 15 cm dipergunakan sebagai anoda dan plat *stainless steel* 316 sebagai katoda. Proses elektrolisis menggunakan larutan CuSO_4 dan H_2SO_4 sebagai elektrolit. Dengan variasi arus listrik, didapatkan semakin banyak serbuk tembaga yang terdeposisi dengan semakin tingginya arus listrik yang diberikan. Kuat arus divariasikan antara 5 sampai dengan 30 Ampere untuk waktu deposisi selama 10 menit. Terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara berat teoritis hasil perhitungan dengan berat aktual dari hasil eksperimen. Hal ini kemungkinan disebabkan karena kurang efisiennya proses elektrolisis yang dilakukan. Efisiensi arus yang diperoleh hanya berkisar antara 49-63%. Serbuk tembaga hasil elektrolisis kemudian dilakukan karakterisasi dengan XRF (*X-Ray Fluorescence*) untuk mengetahui tingkat kemurnian dan PSA (*Particle Size Analyzer*) untuk mengetahui ukuran partikel. Dari hasil pengujian XRF, didapatkan kemurnian serbuk rata-rata sebesar 88.52%. Sedangkan hasil uji PSA menunjukkan bahwa ukuran rata-rata serbuk tembaga yang didapatkan adalah sebesar 0.851 μm .

Keywords: *electrolysis, copper powder, current density, efficiency, particle size, purity*

1. Pendahuluan

Serbuk tembaga banyak dipergunakan untuk berbagai aplikasi karena memiliki sifat konduktifitas elektrik dan termal yang sangat baik [1,2]. Penggunaan serbuk tembaga ini baik dalam bentuk tembaga murni maupun dipadu dengan logam lainnya. Dalam bentuk murni, serbuk tembaga banyak diaplikasikan dalam bidang elektronika dan kelistrikan misalnya untuk baterai, sensor kimia, semikonduktor dan *fuel cell*. Dipadukan dengan logam lainnya seperti timah, seng dan nikel, tembaga dalam bentuk serbuk dipergunakan untuk komponen struktural dan material friksional [2]. Contoh lainnya penggunaan serbuk tembaga yaitu untuk aplikasi non-struktural seperti *brazing, soldering, plating* serta berbagai aplikasi di bidang medis dan kimia.

Pembuatan serbuk tembaga dapat dilakukan dengan beberapa metode antara lain atomisasi, reduksi oksida tembaga, hidrometalurgi dan elektrolisis [3]. Dari berbagai metode pembuatan tersebut, dapat diperoleh serbuk dengan karakteristik yang berbeda. Serbuk tembaga yang dihasilkan dari proses elektrolisis memiliki karakteristik utama yaitu memiliki kadar kemurnian yang tinggi. Hal ini sangat sesuai untuk aplikasi di bidang elektronika yang memerlukan konduktifitas elektrik dan termal yang tinggi. Selain itu,

keuntungan lainnya dari metode elektrolisis ini antara lain serbuk tembaga yang dihasilkan memiliki luas permukaan spesifik yang besar, *green strength* tinggi, kadar oksigen rendah serta kompresibilitas yang baik. Sedangkan keuntungan dari segi proses, elektrolisis dinilai cukup sederhana, konsumsi energi yang rendah dan lebih sedikit polusi lingkungan yang dihasilkan [2]. Walaupun elektrolisis memiliki berbagai keunggulan, tetapi metode ini juga memiliki beberapa kesulitan dalam prosesnya pengerjaannya. Elektrolisis sangat rentan terhadap kontaminan yang dapat menghambat pembentukan dan deposisi serbuk.

Untuk mendapatkan serbuk tembaga, reaksi elektrolisis memerlukan densitas arus yang besar atau overpotensial yang tinggi pada larutan dengan konsentrasi ion Cu^{2+} yang rendah dan keasaman tinggi [4]. Pada kondisi ini, akan mendorong terjadinya polarisasi konsentrasi ion Cu^{2+} akan menyebabkan reaksi sekunder yaitu berupa evolusi hidrogen dan efisiensi arus yang rendah. Di sisi lain, ukuran serbuk tembaga dapat direduksi menjadi lebih kecil dengan meningkatkan densitas arus listrik.

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi baik sifat-sifat kimia dan fisik maupun morfologi serbuk tembaga yang dihasilkan dari proses elektrolisis. Faktor-faktor tersebut antara lain

overvoltase, kecepatan pelepasan hidrogen, rapat arus, konsentrasi ion tembaga, konsentrasi asam, temperatur, kecepatan *drift* elektrolit, material dan jarak elektroda [3]. Salah satu variabel yang sangat berpengaruh dalam elektrolisis adalah medium yang dipergunakan. Pada proses elektrolisis untuk mendapatkan serbuk tembaga, medium yang umumnya banyak dipergunakan adalah larutan sulfat [3].

Di Indonesia, sejauh ini belum dijumpai adanya industri yang bergerak di bidang pembuatan serbuk tembaga. Di sisi lain, penggunaan serbuk tembaga semakin meningkat seiring dengan perkembangan teknologi. Oleh karena itu, perlu dikembangkan pembuatan serbuk tembaga dengan metode yang lebih mudah dan murah, yaitu dengan elektrolisis.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari proses elektrolisis tembaga terutama adalah parameter arus dan karakteristik serbuk tembaga yang dihasilkan.

2. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, dilakukan pembuatan serbuk tembaga dengan proses elektrolisis. Beberapa bahan yang diperlukan antara lain: plat tembaga berukuran 8 x 15 cm sebagai anoda, plat *stainless steel* 316 berukuran 8 x 15 cm sebagai katoda, serbuk CuSO_4 , larutan H_2SO_4 pekat dan akuades. Sedangkan peralatan yang digunakan yaitu *power supply* dan oven. Plat tembaga yang digunakan sebagai anoda memiliki kemurnian sebesar 99.9%. Untuk memastikan kemurnian plat tembaga ini, telah dilakukan pengujian komposisi kimia dengan menggunakan *Optical Emission Spectrometer* (OES, *Foundry Master Pro*).

Sebelum dipergunakan sebagai anoda dan katoda, dilakukan proses preparasi plat tembaga dan *stainless steel* terlebih dahulu. Plat diampelas dengan menggunakan kertas amplas dari SiC. Setelah itu plat dicelupkan ke dalam larutan aseton selama 10 menit untuk menghilangkan minyak, lemak dan kotoran yang menempel pada permukaan. Untuk menghilangkan oksida-oksida pada permukaan, plat lalu dicelupkan ke dalam larutan H_2SO_4 encer selama 5 menit. Setelah itu dibilas dengan akuades.

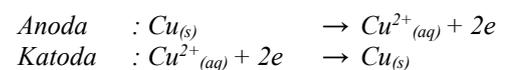
Pertama, dilakukan pembuatan larutan CuSO_4 dengan cara melarutkan 25 gram serbuk CuSO_4 dan 62,5 mL larutan H_2SO_4 pekat ke dalam 1 Liter akuades. Kemudian larutan CuSO_4 tersebut ditempatkan dalam gelas beker dan dipergunakan sebagai elektrolit. Untuk katoda, pada ujung plat *stainless steel* 316 disambungkan dengan *power supply*. Demikian halnya dengan anoda, *power supply* dihubungkan pada ujung plat tembaga. Dilakukan proses elektrolisis dengan menyalakan *power supply* dan mengatur arus listrik. Variasi arus listrik yang diberikan yaitu sebesar 5; 7.5; 8; 10; 12 dan 30 Ampere dengan waktu elektrolisis selama

10 menit. Serbuk tembaga yang menempel pada katoda diserut, kemudian dikeringkan dan ditimbang. Pengeringan serbuk dilakukan pada oven dengan suhu 50°C selama 10 menit.

Serbuk tembaga hasil elektrolisis kemudian dilakukan karakterisasi dengan menggunakan dengan *X-Ray Fluorescence* (XRF, *Thermo Scientific*) untuk mengetahui tingkat kemurniannya. Selain itu, serbuk juga dianalisis dengan *Particle Size Analyzer* (PSA, *Malvern Instrument*) untuk mengetahui ukuran partikel.

3. Hasil dan Pembahasan

Serbuk tembaga hasil elektrolisis dikeringkan terlebih dahulu lalu ditimbang. Untuk mengetahui efisiensi dari proses elektrolisis yang dilakukan, maka dilakukan perhitungan secara teoritis dengan menggunakan Hukum Faraday. Dalam hukum tersebut dinyatakan bahwa jumlah berat (massa) zat yang dihasilkan atau diendapkan pada elektroda sebanding dengan jumlah muatan listrik (Coulomb) yang dialirkan melalui larutan elektrolit [5]. Pada anoda, logam Cu akan teroksidasi menjadi ion Cu^{2+} yang kemudian akan bergerak menuju ke katoda. Ion-ion Cu^{2+} ini kemudian akan tereduksi lalu mengendap pada plat katoda. Berikut ini reaksi kimia yang terjadi pada anoda dan katoda:



Secara teoritis, berat endapan hasil elektrolisis dapat dihitung dengan persamaan yang mengacu pada Hukum Faraday sebagai berikut:

$$W = \frac{e \cdot I \cdot t}{F} \quad (1)$$

Karena $e = Ar/n$, maka persamaan di atas dapat dirumuskan kembali menjadi sebagai berikut:

$$W = \frac{Ar \cdot I \cdot t}{n \cdot F} \quad (2)$$

dimana:

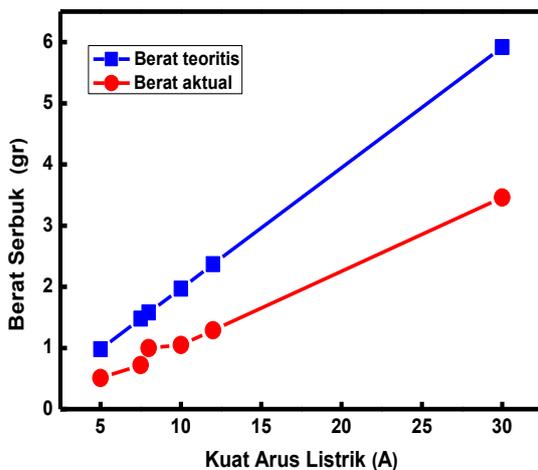
- W = berat endapan teoritis (gram)
- e = berat ekuivalen (gram)
- I = kuat arus listrik (Ampere)
- t = waktu elektrolisis (detik)
- F = bilangan Faraday (96.500)
- Ar = massa atom relatif
- n = jumlah muatan/valensi

Hasil perhitungan secara teoritis dan berat aktual endapan serbuk tembaga setelah ditimbang dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Perhitungan berat teoritis dan berat aktual endapan serbuk tembaga hasil elektrolisis.

No	Kuat Arus (A)	Waktu (s)	Berat Teoritis (gr)	Berat Aktual (gr)
1	5	600	0.98	0.51
2	7.5	600	1.48	0.72
3	8	600	1.58	1
4	10	600	1.97	1.05
5	12	600	2.37	1.29
6	30	600	5.92	3.46

Sedangkan jika diplot dalam suatu grafik, maka didapatkan hasil seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik kuat arus versus berat serbuk yang dihasilkan pada proses elektrolisis

Dari Tabel 1 di atas, dapat dilihat bahwa berat serbuk tembaga yang dihasilkan sebanding dengan kuat arus listrik. Semakin tinggi kuat arus yang diberikan, maka semakin banyak pula serbuk tembaga yang dihasilkan. Endapan serbuk terbanyak didapatkan dari arus 30 Ampere yaitu sebesar 3.46 gram. Akan tetapi, berat aktual serbuk tembaga terlihat tidak linier seperti yang terlihat pada grafik di Gambar 1. Menurut Hukum Faraday, hubungan antara berat endapan dengan kuat arus listrik yang diberikan berbanding lurus dan bersifat linier. Selain itu, berat endapan secara aktual juga tidak tepat sesuai bahkan berbeda cukup jauh dari berat endapan berdasarkan perhitungan secara teoritis. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa hal, dan yang paling utama karena rendahnya efisiensi arus pada proses elektrolisis [6]. Persentase efisiensi arus dapat diperoleh dari hasil berat endapan serbuk tembaga aktual dibagi dengan berat endapan secara teoritis melalui perhitungan [2].

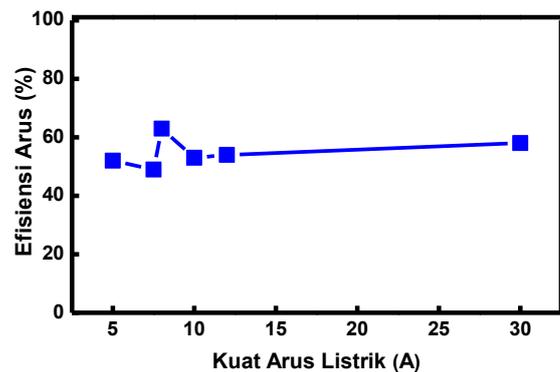
$$\%Efisiensi = \frac{\text{berat aktual}}{\text{berat teoritis}} \times 100\% \quad (2)$$

Adapun perhitungan persentase efisiensi arus berdasarkan Persamaan 2 di atas dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Perhitungan efisiensi proses elektrolisis

No	Kuat Arus (A)	Berat Teoritis (gr)	Berat Aktual (gr)	Efisiensi (%)
1	5	0.98	0.51	52
2	7.5	1.48	0.72	49
3	8	1.58	1	63
4	10	1.97	1.05	53
5	12	2.37	1.29	54
6	30	5.92	3.46	58

Setelah dilakukan perhitungan seperti terlihat pada Tabel 2 di atas, didapatkan nilai efisiensi proses elektrolisis yang memang relatif rendah. Efisiensi arus listrik hanya berkisar antara 49-63%. Dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh G. Orhan, efisiensi elektrolisis tembaga rata-rata yang diperoleh sebesar 70.6-100%, tergantung pada konsentrasi ion Cu dan rapat arus [7]. Plot grafik kuat arus berbanding efisiensi dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Grafik kuat arus versus efisiensi arus proses elektrolisis

Secara teoritis, efisiensi arus akan semakin menurun seiring dengan semakin besarnya arus listrik yang digunakan [8]. Akan tetapi berdasarkan data di atas, efisiensi tidak menunjukkan kecenderungan tertentu apakah meningkat atau menurun seiring dengan semakin tingginya kuat arus listrik. Efisiensi tertinggi yaitu 63% diperoleh pada kuat arus sebesar 8 Ampere. Dan sebaliknya, efisiensi arus paling rendah terjadi pada saat diberikan arus listrik 7.5 Ampere. Penggunaan arus listrik yang kecil (<1 Ampere) akan lebih menunjukkan kesesuaian dengan Hukum Faraday. Dalam penelitian kali ini, arus yang digunakan jauh lebih besar dari 1 Ampere sehingga kemungkinan terjadi penyimpangan terhadap Hukum Faraday juga jauh lebih besar.

Efisiensi arus yang rendah dapat disebabkan oleh terjadinya reaksi samping yaitu terbentuknya gas hidrogen pada katoda atau terbentuknya gas oksigen di anoda [6-8]. Hal ini terjadi karena adanya penguraian air yang terdapat dalam larutan elektrolit. Penurunan efisiensi arus juga berkaitan erat dengan densitas atau rapat arus yang digunakan. Rapat arus merupakan arus per satuan luas permukaan elektroda dan biasanya dinyatakan dalam satuan Ampere/cm². Dibandingkan dengan luas permukaan anoda yang kecil, penggunaan rapat arus yang besar menjadi tidak seimbang. Oleh karenanya arus akan bergerak dengan sangat cepat sehingga reaksi reduksi pada katoda juga berlangsung dengan sangat cepat. Perhitungan rapat arus pada penelitian kali ini dapat dilihat pada Tabel 3. Seperti yang terlihat pada tabel tersebut, rapat arus meningkat seiring dengan semakin besarnya kuat arus yang diberikan. Sedangkan luas elektroda bernilai konstan karena tetap digunakan elektroda yang sama.

Tabel 3. Rapat arus listrik proses elektrolisis

No	Kuat Arus (A)	Luas Elektroda (cm ²)	Rapat Arus (A/cm ²)
1	5	120	0.042
2	7.5	120	0.063
3	8	120	0.067
4	10	120	0.083
5	12	120	0.100
6	30	120	0.250

Beberapa faktor yang diketahui berpengaruh terhadap efisiensi arus listrik pada proses elektrolisis menurut Mazloomi antara lain: kualitas elektrolit, temperatur, tekanan, resistansi elektrolit, jenis material elektroda, material separator dan voltase yang diberikan [6]. Oleh karena itu, dalam penelitian ini masih diperlukan optimasi lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi proses elektrolisis. Optimasi yang diperlukan terkait dengan pengaturan dan kontrol terhadap beberapa faktor yang telah disebutkan di atas.

Untuk mengetahui kemurnian dari serbuk tembaga hasil elektrolisis, maka dilakukan karakterisasi dengan menggunakan XRF (*X-Ray Fluorescence*). Karakterisasi ini dilakukan terhadap sampel dengan arus listrik sebesar 30 Ampere dimana diperoleh endapan paling banyak dan paling bagus dilihat secara fisik. Hasil karakterisasi dengan XRF yang dilakukan secara triplo dapat dilihat pada Tabel 4. Sedangkan rata-rata kemurnian Cu dari serbuk yang dihasilkan adalah sebesar 88.52% seperti yang terlihat pada Tabel 5. Nilai ini tergolong relatif rendah dan belum sesuai dengan yang diharapkan. Walaupun sebagai anoda, telah digunakan plat tembaga kemurnian tinggi dengan kadar Cu sebesar 99.9%.

Tabel 4. Hasil pengujian XRF serbuk tembaga yang diperoleh dari proses elektrolisis

Unsur	Kemurnian (%)		
	Titik 1	Titik 2	Titik 3
Cd	0.095	0.103	0.105
Pd	0.033	0.044	0.032
Ag	0.240	0.250	0.233
Bal	12.277	9.480	11.081
Zr	0.003	-	-
Cu	87.189	89.945	88.436
Fe	0.071	0.063	0.058

Tabel 5. Kemurnian rata-rata serbuk tembaga yang diperoleh dari proses elektrolisis

Unsur	Kemurnian (%)			Rata-Rata (%)
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	
Cu	87.189	89.945	88.436	88.52

Selain itu, dari hasil karakterisasi XRF pada Tabel 4 di atas, dapat dilihat adanya unsur-unsur pengotor (*impurity*) seperti Cd, Pd, Ag, Zr dan Fe pada serbuk tembaga. Hal ini dapat terjadi karena tidak dilakukan proses pencucian dan penanganan yang sesuai setelah proses elektrolisis. Pengotor bisa berasal dari plat tembaga sebagai anoda, plat *stainless steel* sebagai katoda atau dari larutan elektrolit yang digunakan. Oleh karena itu, dalam proses elektrolisis sangat penting untuk mengontrol kemurnian elektroda yang digunakan, kualitas larutan elektrolit serta perlakuan terhadap serbuk setelah proses elektrolisis.

Hasil pengujian dengan PSA (*Particle Size Analyzer*) untuk mengetahui ukuran partikel serbuk tembaga dapat dilihat pada Tabel 6. Dari hasil pengujian, diperoleh rata-rata ukuran partikel serbuk tembaga adalah sebesar 851.73 nm atau sekitar 0.851 µm, berarti di bawah 1 mikron. Akan tetapi, hasil dari ketiga pengujian tersebut terlihat berbeda-beda satu sama lain dengan selisih yang cukup signifikan. Pada tes pengukuran pertama, ukuran partikel serbuk sebesar 877.9 nm. Lalu tes pengukuran kedua, didapatkan angka ukuran partikel sebesar 990.9 nm. Sedangkan pada pengukuran ketiga, nilainya cukup jauh yaitu 686.4 nm. Kemungkinan serbuk tembaga yang dihasilkan beraglomerasi. Atau dikarenakan faktor bentuk yang tidak homogen, misalnya berbentuk dendrit, globular maupun seperti bunga kol. Untuk mengkonfirmasi bentuk partikel serbuk, perlu dilakukan pengamatan lebih lanjut dengan SEM.

Tabel 6. Hasil pengukuran serbuk tembaga dengan menggunakan PSA (*Particle Size Analyzer*)

Tes I (nm)	Tes II (nm)	Tes III (nm)	Rata-Rata (nm)
877.9	990.9	686.4	851.73

Ukuran serbuk logam yang dihasilkan dari proses elektrolisis sangat dipengaruhi oleh kecepatan nukleasi sampai ke tahap pertumbuhan dari nuklei itu sendiri [2]. Apabila kecepatan nukleasi lebih besar daripada tahap pertumbuhan serbuk, maka akan terbentuk lebih banyak kristal nuklei. Oleh karenanya, diperoleh serbuk dengan ukuran yang relatif lebih halus. Terdapat dua tahapan dalam deposisi pada proses elektrolisis, yaitu nukleasi dan pertumbuhan (*growth*). Untuk itu, kunci utama untuk mengubah ukuran partikel serbuk adalah dengan mengatur kecepatan nukleasi dan pertumbuhan kristal.

Dibandingkan dengan hasil penelitian oleh R.K. Nekouei et al. [2], dimana ukuran partikel serbuk dari proses elektrolisis sebesar $0.68 \mu\text{m}$, ukuran partikel yang didapatkan dalam penelitian ini masih sedikit lebih besar. Beberapa *range* ukuran serbuk tembaga hasil elektrolisis yang lain: ukuran serbuk $12.9\text{-}19.2 \mu\text{m}$ dengan variasi rapat arus $0.2\text{-}0.6 \text{ A/cm}^2$ dilaporkan oleh Wang Ming-yong et al. [4], ukuran $0.5\text{-}5 \mu\text{m}$ dengan berbagai variasi parameter elektrolisis [3] dan ukuran $0.1\text{-}1.96 \mu\text{m}$ dengan variasi konsentrasi penambahan zat aditif [9] juga dilaporkan oleh R.K. Nekouei et al. Jika dilakukan optimasi dan kontrol yang lebih ketat terhadap parameter-parameter yang digunakan dalam elektrolisis, maka sangat berpotensi untuk mendapatkan ukuran serbuk yang lebih halus bahkan dalam skala nanometer (*nano powder*). Disebutkan bahwa untuk mereduksi ukuran serbuk tembaga pada proses elektrolisis, metode yang efisien untuk meningkatkan overpotensial katodik yaitu dengan meningkatkan rapat arus [1]. Selain itu, dengan meningkatnya overpotensial atau rapat arus, maka akan membentuk serbuk yang lebih terdispersi.

Semakin kecilnya ukuran partikel serbuk akan meningkatkan luas permukaan spesifiknya. Dan dengan peningkatan luas permukaan spesifik, maka densitas serbuk juga akan menurun. Beberapa karakteristik serbuk logam yang penting antara lain luas permukaan spesifik, densitas, distribusi dan ukuran partikel serta *flowability*. Serbuk tembaga dengan ukuran partikel lebih halus, luas permukaan yang besar dan densitas yang kecil tentunya lebih banyak diharapkan [7,9].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Jumlah serbuk tembaga yang dihasilkan sebanding dengan kuat arus yang diberikan pada proses elektrolisis, sesuai dengan Hukum Faraday. Endapan serbuk terbanyak didapatkan dari arus 30 Ampere yaitu sebesar 3.46 gram.

- 2) Terdapat perbedaan antara berat teoritis dengan berat aktual dikarenakan efisiensi arus yang rendah, yaitu hanya berkisar antara 49-63%.
- 3) Kemurnian Cu dari serbuk yang dihasilkan adalah sebesar 88.52%
- 4) Nilai rata-rata ukuran partikel serbuk tembaga yang dihasilkan dengan elektrolisis pada penelitian ini yaitu sebesar 851.73 nm .
- 5) Masih diperlukan optimasi dan kontrol terhadap parameter-parameter proses elektrolisis untuk mendapatkan serbuk tembaga sesuai dengan karakteristik yang diharapkan.

Daftar Acuan

- [1] N.D. Nikolić, G. Branković, M.G. Pavlović, Correlate between morphology of powder particles obtained by the different regimes of electrolysis and the quantity of evolved hydrogen, *Powder Technology* 221 (2012), p. 271–277.
- [2] R. K. Nekouei, F. Rashchi, A.A. Amadeh, Using design of experiments in synthesis of ultra-fine copper particles by electrolysis, *Powder Technology* 237 (2013), p. 165–171.
- [3] R. K. Nekouei, F. Rashchi, A.A. Amadeh, Copper nanopowder synthesis by electrolysis method in nitrate and sulfate solutions, *Powder Technology* 250 (2013), p. 91-96.
- [4] W. Ming-yong, W. Zhi, G. Zhan-cheng, Preparation of electrolytic copper powders with high current efficiency enhanced by super gravity field and its mechanism, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 20 (2010), p. 1154-1160.
- [5] N. V. Suryanarayana, *Utilisation of Electric Power: Including Electric Drives and Electric Traction*, first. ed. New Delhi, New Age Publisher (2005), p. 118-120.
- [6] K. Mazloomi, N. Sulaiman, H. Moayedi, Electrical Efficiency of Electrolytic Hydrogen Production (Review), *Int. J. Electrochem. Sci.*, 7 (2012), p. 3314 – 3326.
- [7] G. Orhan, G. Hapçı, Effect of electrolysis parameters on the morphologies of copper powder obtained in a rotating cylinder electrode cell, *Powder Technology* 201 (2010), p. 57–63.
- [8] S. Sopiah, Analisis Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Proses Elektrolisis Larutan CuSO_4 Sebagai Bahan Kajian Dalam Pembuatan Modul Praktikum dan Pembelajaran Elektronik, Tesis, Program Magister Kimia, 2008, Institut Teknologi Bandung.
- [9] R.K. Nekouie, F. Rashchi, N. N. Joda, Effect of organic additives on synthesis of copper nano powders by pulsing electrolysis, *Powder Technology* 237 (2013), p. 554–561.

