



Pengaruh dari Konsentrasi Elektrolit Tembaga Asetat-Asam Asetat dan Temperatur terhadap Efisiensi Arus pada Elektrodeposisi Baja Karbon Rendah dengan Tembaga

[Effect of Electrolyte Concentration of Copper Acetic-Acetic Acid and Temperature on Current Efficiency in Electrodeposition of Low Carbon Steel with Copper]

Widya Yeni Rawati✉, Warsono, Sri Widarti

*Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Bandung
Jln. Gegerkalong Hilir Desa Ciwaruga, Kecamatan Parongpong, Kabupaten Bandung Barat*

Abstract. One example of an electrolysis practicum module at the Chemistry Laboratory is the plating of copper on low carbon steel metal with cyanide as the electrolyte. This cyanide electrolyte is commonly known as Zonax Copper. Due to the dangerous cyanide content, a replacement electrolyte that is safe, cheap, and easy to obtain for student practicum scales is sought. The purpose of this study was to determine the optimum temperature and composition of copper acetate-acetic acid as indicated by the largest current efficiency value. The composition of Cu-Acetate/Acetic Acid varied 0.2/0.4; 0.4/0.6; 0.6/1.2; 0.8/1.6, and 1/2 gram/250 mL. The coating process was carried out at temperatures of 30, 40, 45, 50, and 60°C with an electrodeposition time of 10 minutes. The results show that the highest current efficiency was found in the composition $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cu}/\text{CH}_3\text{COOH}$ 1gram/ 2 ml, temperature 45°C by 93%. The effect of temperature on current efficiency is in the form of a second order polynomial with a correlation of research results >90%. The average maximum temperature is 42.68°C and the largest current efficiency is 96% at a concentration of $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cu}/\text{CH}_3\text{COOH}$ 0.6 gr/1.2 ml. The current efficiency is directly proportional to the logarithmic concentration at temperatures of 30, 40, 45, and 50°C.

Keywords: *Copper acetate, electrodeposition, electrolysis*

Abstrak. Salah satu contoh modul praktikum elektrolisis di Laboratorium Kimia adalah pelapisan tembaga pada logam baja karbon rendah dengan sianida sebagai elektrolit. Elektrolit sianida ini biasa dikenal dengan nama Zonax Copper. Karena kandungan sianida yang berbahaya maka dicari elektrolit pengganti yang aman, murah dan mudah diperoleh untuk skala praktikum mahasiswa. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui temperatur dan komposisi optimum dari tembaga asetat-asam asetat yang ditunjukkan dengan nilai efisiensi arus terbesar. Komposisi Cu-Asetat/Asam Asetat divariasikan 0,2/0,4; 0,4/0,6; 0,6/1,2; 0,8/1,6, dan 1/2 gram/250 mL. Proses pelapisan dilakukan pada temperatur 30, 40, 45, 50, dan 60°C dengan waktu elektrodeposisi selama 10 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi arus terbesar pada komposisi $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cu}/\text{CH}_3\text{COOH}$ 1gram/ 2ml, temperatur 45°C sebesar 93%. Pengaruh temperatur terhadap efisiensi arus berupa polinom orde dua dengan korelasi hasil penelitian >90%. Temperatur maksimum rata-rata adalah 42,68°C dan efisiensi arus terbesar 96% pada konsentrasi $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cu}/\text{CH}_3\text{COOH}$ 0,6 gr/1,2 ml. Efisiensi arus berbanding lurus dengan logaritmik konsentrasi pada temperatur 30, 40, 45, dan 50°C.

Kata kunci: *Tembaga asetat, elektrodeposisi, elektrolisis*

Diterima: 16 September 2022, Disetujui: 23 November 2022

Sitasi: Rawati, W.Y., Warsono., dan Widarti, S. (2022). Pengaruh dari Konsentrasi Elektrolit Tembaga Asetat-Asam Asetat dan Temperatur terhadap Efisiensi Arus pada Elektrodeposisi Baja Karbon Rendah dengan Tembaga. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 8(3): 222-229.

✉ Corresponding author

E-mail: widya.yeni@polban.ac.id

<https://doi.org/10.22487/kovalen.2022.v8.i3.16023>



LATAR BELAKANG

Pelapisan logam adalah salah satu metode dalam ilmu kimia yang sudah lama diaplikasikan di dunia industri. Pelapisan logam atau yang lebih dikenal dengan elektroplating atau elektrodposisi ini dijadikan sebagai salah satu modul yang dipraktekkan di Jurusan Teknik Konversi Energi dan Teknik Mesin di Politeknik Negeri Bandung. Elektrodposisi adalah proses pelapisan logam pada suatu material (Mittal et al., 2021). Proses ini menggunakan arus listrik dari sumber arus untuk mengurangi jumlah kation logam dalam larutan yang dijadikan sebagai pelapis logam (Chen et al., 2013). Pada praktikum, logam baja karbon rendah dilapisi oleh tembaga menggunakan elektrolit tertentu. Melalui percobaan tersebut mahasiswa dapat menghitung nilai efisiensi arus. Efisiensi arus didefinisikan sebagai banyaknya deposit nyata dibandingkan dengan deposit yang terbentuk secara teoritis (Arts et al., 2021).

Elektrolit yang digunakan selama ini adalah larutan *Zonax Copper* berupa campuran elektrolit tembaga-sianida yang umum digunakan di Indonesia. Komposisi dari bak sianida yaitu campuran tembaga sianida, kalium sianida, natrium sianida, natrium hidroksida, dan kalium natrium tartrat (Faust, 2015). Tembaga sianida sebagai sumber ion Cu^{2+} bersifat tidak larut dalam air sehingga ditambahkan KCN atau NaCN untuk mengikat ion Cu^{2+} membentuk kompleks yang larut dalam air (Yli-Pentti, 2014). Natrium hidroksida pemberi suasana basa dan garam kalium natrium tartrat sebagai agen pengompleks. Bak alkalin sianida menghasilkan kualitas lapisan yang baik dan tanpa retak (de Almeida et al., 2016).

Setiap jenis senyawa sianida di Indonesia termasuk komoditas yang tidak

diperjualbelikan dengan bebas yang diatur dalam Permendag No 75/MDag/Per/10/2014 (BPK, 2014). Menurut MSDS (*material safety data sheet*), limbah sianida harus ditangani dengan khusus. Sianida sangat fatal bila tertelan, kontak dengan kulit ataupun terhirup, dan menyebabkan kerusakan organ melalui eksposur yang lama atau berulang (Merck, 2021). Berdasarkan alasan-alasan tersebut, maka sangat diperlukan elektrolit pengganti sianida pada modul pelapisan logam yang mudah diperoleh, ramah lingkungan dan aman digunakan.

Elektrodposisi tembaga dapat dilakukan dengan dua tipe elektrolit, yaitu asam (floroborat dan sulfat) dan basa (sianida dan larutan bebas sianida) (Ramírez et al., 2022). Beberapa tahun terakhir, telah banyak perkembangan dalam penelitian untuk mencari pengganti sianida diantaranya klorida, amina-ammonia, sorbitol, floroborat, piroposfat, EDTA, sitrat, tartrate, ethylendiamina, trietanolamin, dan glisin (SEAKR, 2017). Berbagai jenis elektrolit tersebut tentunya memiliki kelebihan dan kekurangan.

Sebagai elektrolit kuat, asam sulfat merupakan elektrolit yang paling mudah digunakan. Namun, bak asam sulfat tidak dapat digunakan langsung untuk pelapisan tembaga pada baja karena pelekatan dan struktur lapisan pertamanya tidak terlalu bagus untuk membentuk ketebalan yang padat pada lapisan selanjutnya (Ibrahim & Bakdash, 2015).

Tidak menutup kemungkinan bahwa elektrolit lemah seperti asam asetat pun dapat digunakan dalam pelapisan tembaga. Beberapa penelitian elektrodposisi tembaga berbasis elektrolit asetat telah dilakukan dengan tembaga asetat, natrium asetat, dan asam metansulfonat (SEAKR, 2017). Senyawa

tembaga oksida pun dapat dielektrodeposisi dengan elektrolit tembaga asetat (Mezine *et al.*, 2018). Pada penelitian elektrodeposisi tembaga sulfat dengan asam asetat menunjukkan kondisi terbaik menghasilkan efisiensi arus sebesar 94,5%. Berdasarkan penelitian ini diperoleh hasil pelapisan yang cemerlang pada komposisi asam asetat-tembaga sulfat 50 g/L dan 100 g/L dan temperatur proses sebesar 50°C (Purwanto *et al.*, 2017). Penelitian lainnya telah berhasil dianalisis secara kristalografi, hasil pelapisan tembaga menggunakan bak asam asetat menghasilkan lapisan yang halus, mulus dan menempel (SEAKR, 2017).

Elektrolit generasi terbaru berbasis asetat menggunakan kombinasi 1-etil-3-metilimidazolium asetat dan tembaga asetat pada elektrodeposisi tembaga. Efisiensi arus yang dihasilkan sebesar 65% untuk konsentrasi Cu sebesar 60 gram/L pada temperatur 100°C, tapi nilai efisiensi arusnya turun menjadi 35% saat konsentrasi Cu nya bertambah menjadi 80 gram/L (Maciej *et al.*, 2021a).

Elektrodeposisi menggunakan elektrolit berbasis asetat telah berhasil dilakukan dan menghasilkan efisiensi arus yang baik, sehingga dilakukan penelitian menggunakan elektrolit tembaga asetat dan asam asetat. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan temperatur dan komposisi $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cu}/\text{CH}_3\text{COOH}$ optimal serta hubungan antara efisiensi arus dengan temperatur dan konsentrasi.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan adalah $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cu}$ grade pro-analisis Merck, CH_3COOH glasial grade pro-analisis Merck.

Elektroda logam tembaga dan baja karbon rendah berukuran 4 x 6,2 cm dengan ketebalan berturut-turut 2 dan 1 mm. Alat yang digunakan berupa bak elektrolisis, *rectifier* GW-Instek GPR-1840HD, *hotplate* IKA C-Mag HS-7, mikroskop metalurgi Olympus BX51M.

Prosedur Penelitian

Persiapan Elektroda

Sebelum proses pelapisan, logam baja karbon rendah dicelupkan ke dalam larutan NaOH 2 M kemudian HCl 2 M, masing-masing selama 5 menit, kemudian dibilas dengan aquadest, dikeringkan dan ditimbang.

Proses Elektrodeposisi

Elektrolit $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cu}/\text{CH}_3\text{COOH}$ dibuat dengan komposisi sesuai pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cu}/\text{CH}_3\text{COOH}$

Kode	$(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cu}$ (g)	CH_3COOH (mL)	V total (mL) (Aq)
K1	0,2	0,4	250
K2	0,4	0,8	250
K3	0,6	1,2	250
K4	0,8	1,6	250
K5	1,0	2,0	250

Di dalam bak berisi elektrolit, dicelupkan logam baja karbon rendah (katoda) dan tembaga (anoda) keduanya dihubungkan dengan *rectifier* dengan arus sebesar 0,03 A. Proses elektrodeposisi dilakukan pada temperatur 30, 40, 45, 50 dan 60°C (Purwanto *et al.*, 2017) dan waktu proses pelapisan selama 10 menit disesuaikan dengan waktu praktikum. Berat logam sebelum dan sesudah percobaan ditimbang. Efisiensi arus didapat dengan membandingkan berat endapan yang diperoleh dengan berat teori (SEAKR, 2017). Berat teori dihitung dengan Persamaan 1.

$$W = \frac{i \times t \times BE}{F} \dots\dots\dots(1)$$

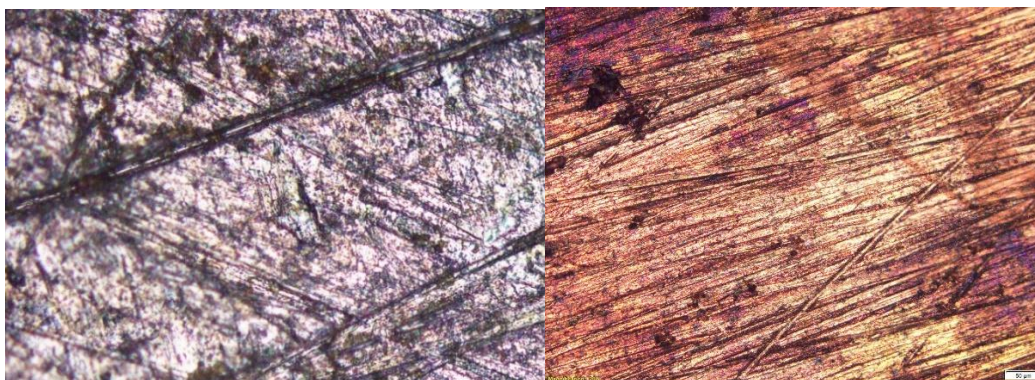
Keterangan

- W = massa zat yang dihasilkan (gram)
- i = Arus (Ampere)
- t = waktu (detik)
- BE = Berat Ekuivalen
- F = tetapan Faraday yaitu 96.500 Coulomb/mol

HASIL DAN PEMBAHASAN

Logam baja karbon rendah hasil pelapisan menghasilkan berbagai tekstur, mulai dari yang halus, kasar, menempel dengan kuat, dan hingga yang mudah lepas. Variasi warna yang dihasilkan mulai dari kuning kecoklatan,

mendekati warna asli tembaga sampai warna coklat gelap. Gambar 1 adalah citra hasil pembesaran 20x permukaan logam baja karbon rendah dengan menggunakan mikroskop metalurgi *Olympus BX51M* sebelum dan sesudah pelapisan. Pada permukaan logam dasar terdapat garis-garis hal ini disebabkan permukaan logam tidak halus dan rata. Penghalusan logam secara mekanik diperlukan, sehingga dihasilkan permukaan pra pelapisan yang mulus, halus dan rata. Logam hasil pelapisan menghasilkan warna tembaga yaitu coklat kekuningan.



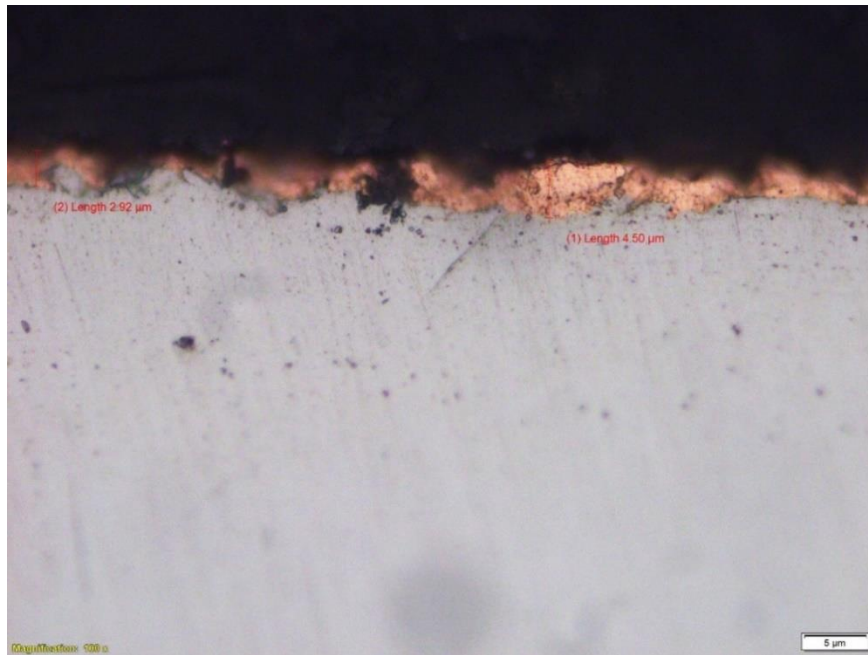
Gambar 1. Sebelum pelapisan (kiri), setelah pelapisan (kanan)

Gambar 2 adalah citra hasil pembesaran 100x dari aplikasi *Olympus BX51M* yang menunjukkan ketebalan lapisan Cu. Untuk mengukur ketebalan, plat katoda dibelah dan dicetak pada bahan bakelit yang berwarna hitam. Tampak pada gambar lapisan hitam adalah bahan bakelit, lapisan yang berwarna coklat kekuningan adalah lapisan tembaga. Ketebalan yang dihasilkan bervariasi mulai dari 2,92 µm hingga 4,50 µm. Perbedaan ketebalan dikarenakan permukaan dasar logam tidak rata sehingga lapisan Cu tidak menempel dengan ketebalan yang sama.

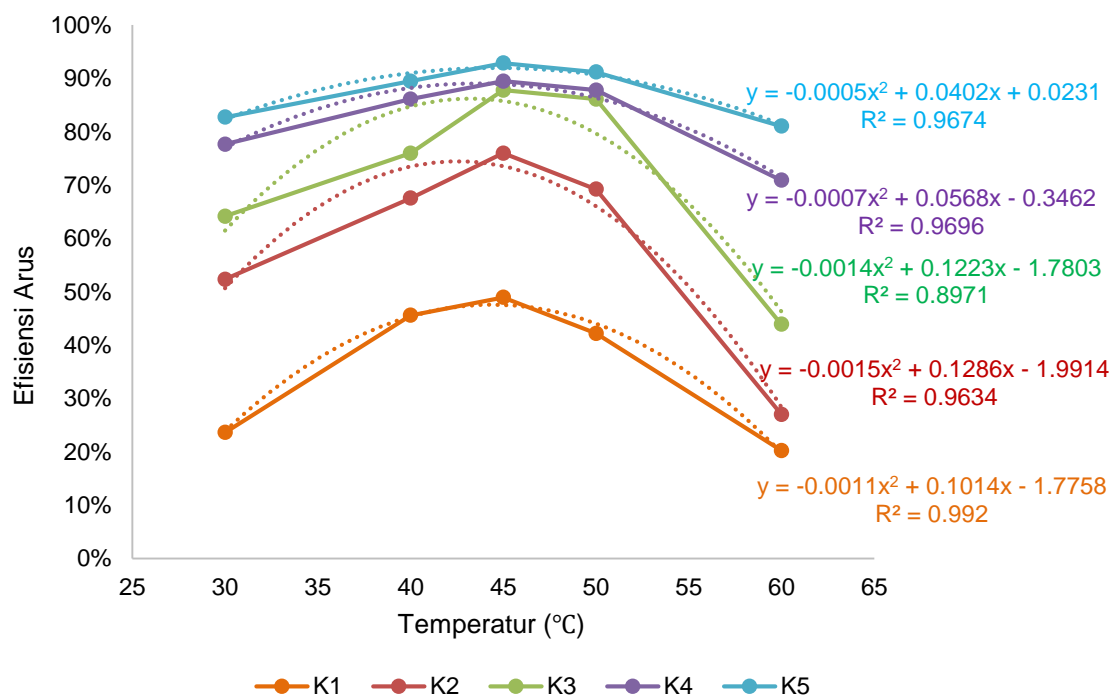
Hasil elektrodposisi pada berbagai konsentrasi dan temperatur, diperoleh nilai efisiensi arus seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai efisiensi arus pada berbagai konsentrasi

Konsentrasi	Efisiensi Arus (%)				
	30°C	40°C	45°C	50°C	60°C
K1	24	46	49	42	20
K2	52	68	76	69	27
K3	64	76	88	86	44
K4	78	86	89	88	71
K5	83	89	93	91	81



Gambar 2. Hasil pengukuran ketebalan pada sampel K5, temperatur 45°C (satuan μm)



Gambar 3. Kurva temperatur terhadap efisiensi arus pada waktu 10 menit

Gambar 3 adalah kurva hubungan temperatur terhadap efisiensi arus. Nilai efisiensi arus maksimum disetiap konsentrasi selalu pada temperatur 45°C. Nilai efisiensi arus tertinggi diantara semua konsentrasi yaitu pada konsentrasi K5 sebesar 93%. Pada setiap

konsentrasi nilai efisiensi arus mengalami kenaikan dari temperatur 30 ke 40 kemudian puncaknya di 45°C dan penurunan pada temperatur 50 hingga di posisi terendah pada 60°C. Pola kenaikan dan penurunan efisiensi arus ini terjadi pada semua konsentrasi. Secara

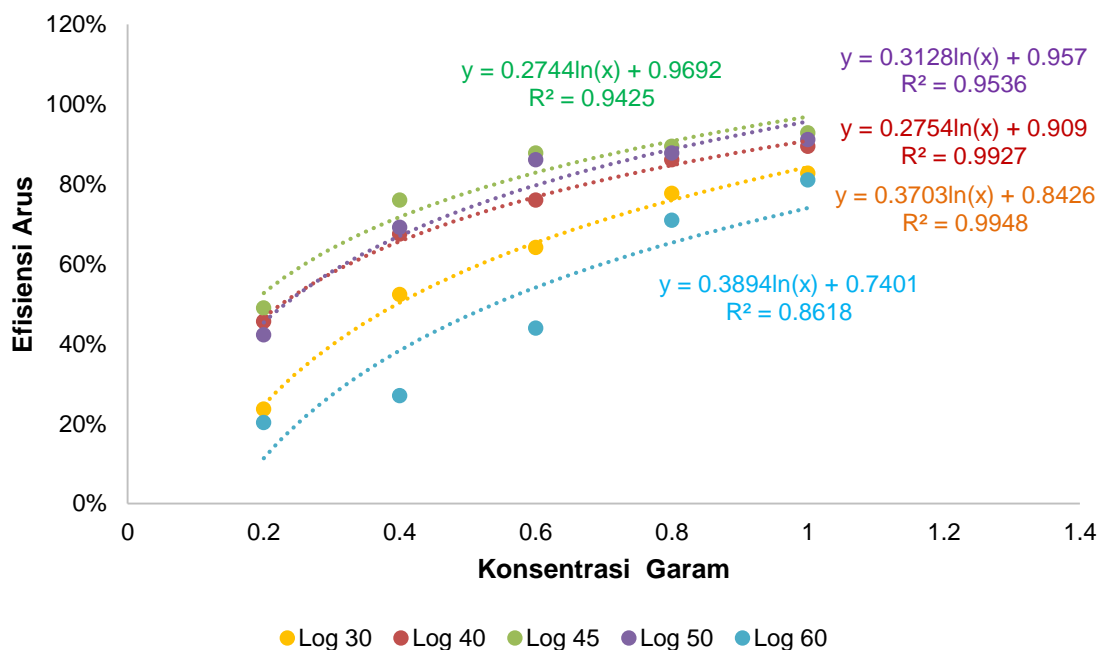
umum temperatur mempengaruhi efisiensi arus. Sebagian larutan elektrolit mengalami kenaikan efisiensi arus sejalan dengan naiknya temperatur, sebagian lainnya menunjukkan temperatur optimum (Lambert, 2006). Sebagaimana yang terjadi pada larutan elektrolit tembaga asetat-asam asetat yang menunjukkan temperatur optimum. Hal ini terjadi karena semakin tinggi temperatur, ion yang tereduksi pada katoda bukan hanya ion Cu^{2+} tetapi juga ion hidrogen (Qiao et al., 2013). Akibatnya Cu yang menempel semakin sedikit sehingga nilai efisiensi arus juga akan semakin menurun.

Kurva pada Gambar 3 ini berbentuk kurva polinom berderajat dua (efisiensi arus = $aT^2 + bT + c$) dengan nilai koefisien relasi (R^2) pada setiap konsentrasi $\geq 90\%$. Berdasarkan persamaan garis tersebut dapat ditentukan temperatur dan efisiensi arus maksimum.

Sehingga hasil percobaan dan perhitungan bisa dibandingkan. Dari percobaan, temperatur maksimum pada setiap konsentrasi adalah $45^\circ C$. Efisiensi arus maksimum sebesar 93% pada konsentrasi K5, sedangkan dari hasil perhitungan, tampak pada Tabel 3 temperatur pada setiap konsentrasi berbeda-beda. Temperatur rata-rata sebesar $42,68^\circ C$ mendekati hasil percobaan yaitu $45^\circ C$. Nilai efisiensi arus perhitungan tertinggi diperoleh pada konsentrasi K3 sebesar 96% .

Tabel 3. Temperatur dan efisiensi arus (EA) maksimum dari persamaan garis

Konsentrasi	Temperatur maksimum ($^\circ C$)	EA (%)
K5	40,20	83
K4	40,57	81
K3	43,68	96
K2	42,87	76
K1	46,09	56



Gambar 4. Kurva konsentrasi terhadap efisiensi arus pada waktu 10 menit

Gambar 4 memperlihatkan pengaruh konsentrasi terhadap efisiensi arus pada berbagai temperatur. Hubungan efisiensi arus

dengan konsentrasi adalah logaritmik dengan faktor korelasi $\geq 94\%$. Faktor korelasi makin berkurang dengan bertambahnya temperatur,

dan nilai faktor korelasi pada temperatur 60°C < 0,9. Pada temperatur yang lebih tinggi hubungan antara konsentrasi dengan efisiensi arus diduga tidak sama dengan temperatur lebih rendah.

Penambahan konsentrasi garam logam dalam elektrolit akan menaikkan nilai efisiensi arus (Maciej *et al.*, 2021b). Pada temperatur tetap, semakin besar konsentrasi akan semakin tinggi nilai efisiensinya. Semakin besar konsentrasi (CH₃COO)₂Cu/CH₃COOH akan semakin banyak jumlah sumber ion Cu²⁺ yang tereduksi dan menempel di katoda sehingga efisiensi arus yang dihasilkan semakin besar.

KESIMPULAN

Nilai efisiensi arus tertinggi berdasarkan percobaan pada konsentrasi (CH₃COO)₂Cu /CH₃COOH 1gram/2 ml pada temperatur 45°C sebesar 93%. Hubungan temperatur terhadap efisiensi arus berupa polinom orde dua dengan korelasi hasil penelitian > 90%.

Temperatur maksimum rata-rata pada berbagai konsentrasi adalah 42,68°C dan efisiensi arus terbesar adalah 96% pada konsentrasi (CH₃COO)₂Cu /CH₃COOH 0,6 gram/1,2 mL. Hubungan efisiensi arus berbanding lurus dengan logaritmik konsentrasi pada temperatur 30, 40, 45, dan 50°C. Rekomendasi terbaik untuk dijadikan acuan praktikum adalah dari hasil perhitungan pada konsentrasi 0,6 gram/1,2 mL yang menghasilkan nilai efisiensi terbesar yaitu 96%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kepada pihak P3M Politeknik Negeri Bandung atas skema Penelitian Tenaga Kependidikan Fungsional (PTKF) untuk tenaga Pranata Laboratorium Pendidikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arts, A., de Groot, M. T., & van der Schaaf, J. (2021). Current efficiency and mass transfer effects in electrochemical oxidation of C1 and C2 carboxylic acids on boron doped diamond electrodes. *Chemical Engineering Journal Advances*, 6, 100093. <https://doi.org/10.1016/J.CEJA.2021.100093>
- BPK. (2014). *Perubahan Kedua atas Peraturan Menteri Perdagangan Nomor 44/M-DAG/PER/9/2009 Tentang Pengadaan, Distribusi dan Pengawasan Bahan Berbahaya*. BPK RI. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/129147/permendag-no-75m-dagper102014-tahun-2014>, diakses 5 September 2022.
- Chen, X. B., Easton, M. A., Birbilis, N., Yang, H. Y., & Abbott, T. B. (2013). Corrosion-resistant electrochemical plating of magnesium (Mg) alloys. *Corrosion Prevention of Magnesium Alloys, A Volume in Woodhead Publishing Series in Metals and Surface Engineering*, 315–346. <https://doi.org/10.1533/9780857098962.3315>
- de Almeida, M. R. H., Barbano, E. P., Zacarin, M. G., de Brito, M. M., Tulio, P. C., & Carlos, I. A. (2016). Electrodeposition of CuZn films from free-of-cyanide alkaline baths containing EDTA as complexing agent. *Surface and Coatings Technology*, 287, 103–112. <https://doi.org/10.1016/J.SURFCOAT.2015.12.079>
- Faust, C. (2015). *The Study of Copper Anodes in Acid and Cyanide Plating Baths*. Pfonline. <https://www.pfonline.com/articles/the-study-of-copper-anodes-in-acid-and-cyanide-plating-baths>, diakses 5 September 2022.
- Ibrahim, M. A. M., & Bakdash, R. S. (2015). New non-cyanide acidic copper electroplating bath based on glutamate complexing agent. *Surface and Coatings*

- Technology*, 282, 139–148.
<https://doi.org/10.1016/J.SURFCOAT.2015.10.024>
- Lambert, S. (2006). The influence of temperature on the efficiency of electroplating from various ionic liquids. *Circuit World*, 32(4), 36–41.
<https://doi.org/10.1108/03056120610683612/FULL/PDF>
- Maciej, A., Łatanik, N., Sowa, M., Matuła, I., & Simka, W. (2021a). Electrodeposition of copper and brass coatings with olive-like structure. *Materials*, 14(7).
<https://doi.org/10.3390/MA14071762>
- Maciej, A., Łatanik, N., Sowa, M., Matuła, I., & Simka, W. (2021b). Electrodeposition of Copper and Brass Coatings with Olive-Like Structure. *Materials*, 14(7), 1762.
<https://doi.org/10.3390/ma14071762>
- Merck. (2021). *Safety Data Sheet for Sodium cyanide 106437e*. MerckMillipore.
https://www.merckmillipore.com/ID/id/product/msds/MDA_CHEM-106437?ReferrerURL=https%3A%2F%2Fwww.bing.com%2F, diakses 5 September 2022.
- Mezine, Z., Kadri, A., Hamadou, L., Benbrahim, N., & Chaouchi, A. (2018). Electrodeposition of copper oxides (Cu_xO_y) from acetate bath. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 817, 36–47.
<https://doi.org/10.1016/J.JELECHEM.2018.03.055>
- Mittal, M., Sardar, S., & Jana, A. (2021). Nanofabrication techniques for semiconductor chemical sensors. *Handbook of Nanomaterials for Sensing Applications*, 119–137.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820783-3.00023-3>
- Purwanto, P., Rukiyawati, S., & Purbasari, A. (2017). Elektroplating Tembaga pada Baja Menggunakan Elektrolit Asam Lemah. *Reaktor*, 3(1), 22–25.
- Qiao, X., Li, H., Zhao, W., & Li, D. (2013). Effects of deposition temperature on electrodeposition of zinc–nickel alloy coatings. *Electrochimica Acta*, 89, 771–777.
<https://doi.org/10.1016/J.ELECTACTA.2012.11.006>
- Ramírez, C., Bozzini, B., & Calderón, J. A. (2022). Electrodeposition of copper from triethanolamine as a complexing agent in alkaline solution. *Electrochimica Acta*, 425, 140654.
<https://doi.org/10.1016/J.ELECTACTA.2022.140654>
- SEAKR, R. (2017). Microstructure and crystallographic characteristics of nanocrystalline copper prepared from acetate solutions by electrodeposition technique. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 27(6), 1423–1430.
[https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(17\)60164-X](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(17)60164-X)
- Yli-Pentti, A. (2014). Electroplating and Electroless Plating. *Comprehensive Materials Processing*, 4, 277–306.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-096532-1.00413-1>