



INTEGRA-STEM JOURNAL

Integrative Research in Science, Technology, Engineering and Mathematics

Laman : <https://ejurnal.almarkazibkl.org/index.php/isi>

ANALISIS VARIASI SUHU DAN ARUS PADA ELEKTROPLATING CU DENGAN ANODA AL PADA LARUTAN NI DAN AGNO₃ MENGGUNAKAN METODE POTENSIOSTATIK

Nindya Indah Kusumawardani^{1,*}, Aris Setiawan¹

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Jl. Prof. Dr. Soemantri Brodjonegoro, No. 1, Gedong Meneng, Bandar Lampung, 35154, Indonesia

* e-mail : nindyaindah.wardani@eng.unila.ac.id

Received : 27-11-2025, Accepted : 07-12-2025

Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pengaruh suhu dan arus listrik dalam proses pelapisan aluminium (Al) pada logam tembaga (Cu) menggunakan elektrolit berbasis nikel (Ni) dan perak (AgNO_3) melalui metode potensiostatik. Analisis difokuskan pada kestabilan arus, perubahan tegangan, serta mutu lapisan logam yang terbentuk pada permukaan katoda. Proses *elektroplating* dijalankan pada dua kondisi suhu, yaitu suhu ruang dan 40°C , dengan variasi arus potensiostatik antara 0–0,2 A. Larutan elektrolit yang digunakan terdiri atas NiSO_4 , NiCl_2 , dan H_3BO_3 untuk pelapisan nikel, serta AgNO_3 dan KCN untuk pelapisan perak. Temuan penelitian menunjukkan bahwa suhu memberikan pengaruh signifikan terhadap kecepatan deposisi dan keseragaman lapisan; kenaikan suhu hingga 40°C mampu meningkatkan kinetika reaksi dan menghasilkan permukaan yang lebih halus. Variasi arus listrik juga berdampak pada ketebalan dan kualitas lapisan, di mana arus yang lebih besar mempercepat proses deposisi tetapi dapat menimbulkan ketidakteraturan morfologi. Metode potensiostatik terbukti memberikan pengendalian proses yang baik, sehingga efektif digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara parameter listrik dan kualitas lapisan logam yang terbentuk.

Kata Kunci: Elektroplating; Potensiostatik; Deposisi; Konduktivitas; Elektrolit

Abstract

This study investigates the effects of temperature and electric current on the aluminum (Al) elektroplating process onto copper (Cu) substrates using nickel- (Ni) and silver-based (AgNO_3) electrolyte systems under potentiostatic control. The analysis emphasizes current stability, voltage response, and the structural quality of the deposited metal layer on the cathode surface. Elektroplating was performed at two temperature conditions—ambient temperature and 40°C —with applied potentiostatic currents ranging from 0 to 0.2 A. The nickel electrolyte consisted of NiSO_4 , NiCl_2 , and H_3BO_3 , while AgNO_3 and KCN served as the components of the silver electrolyte. The findings reveal that temperature exerts a significant influence on the deposition rate and uniformity of the coating; elevating the temperature to 40°C enhances reaction kinetics and yields a smoother and more homogeneous surface. Variations in electric current further affect the thickness and morphological quality of the deposit, where higher current intensities accelerate deposition but may induce surface irregularities. Overall, the potentiostatic technique demonstrated reliable control over the electrochemical deposition process, making it an effective approach for assessing the relationship between electrical parameters and the quality of the resulting metallic coating.

Keywords: Elektroplating; Potentiostatic; Deposition; Conductivity; Electrolyte

1. PENDAHULUAN

Logam merupakan material yang banyak digunakan di berbagai sektor industri, termasuk industri skala rumah tangga. Namun, salah satu kendala utama dalam pemanfaatan logam adalah terjadinya korosi [1]. Korosi merupakan kerusakan atau degradasi dari material akibat reaksi reduksi oksidasi (redoks) antara bahan dengan berbagai zat yang ada di lingkungan sehingga menghasilkan senyawa yang tidak diinginkan [2]. Proses ini terjadi secara spontan dan alamiah, serta menjadi salah satu penyebab utama degradasi material pada struktur logam. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa faktor lingkungan seperti kelembaban udara dan kandungan oksigen berperan penting dalam mempercepat laju korosi, terutama pada kondisi dengan kehadiran ion klorida dari garam laut yang bersifat agresif terhadap logam [3]. Karena itu, banyak penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan metode pencegahan korosi yang efektif — salah satunya melalui perlakuan permukaan (*surface treatment*), dengan melapisi logam menggunakan logam lain lewat proses *elektroplating*. Dalam proses ini, logam pelapis diendapkan menggunakan arus listrik dalam larutan elektrolit, sehingga terbentuk lapisan pelindung yang meningkatkan ketahanan terhadap korosi [4]. Pelapisan tembaga berbasis komposit, misalnya, mampu meningkatkan ketahanan korosi dan memberikan sifat antimikroba pada permukaan logam [5]. Sementara itu, pelapisan perak terbukti mampu memperbaiki ketahanan korosi dan stabilitas kimia lapisan pada berbagai jenis substrat logam [6].

Proses *elektroplating* modern juga terus dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi pelapisan serta ketahanan terhadap degradasi kimia, yang menunjukkan peran penting parameter seperti kerapatan arus dan waktu pelapisan dalam menentukan kualitas hasil akhir [7]. Walaupun korosi tidak dapat dicegah sepenuhnya, laju korosi dapat diperlambat dengan menerapkan teknologi pelapisan, seperti anodisasi dan lapisan nano berbasis oksida, yang mampu menurunkan tingkat korosi lebih dari 70% dibandingkan logam tanpa perlakuan [8]. Selain metode pelapisan, penggunaan paduan logam tahan karat (*stainless steel* dan *aluminium alloy*) dengan tambahan unsur kromium dan nikel juga terbukti efektif dalam meningkatkan ketahanan terhadap korosi karena pembentukan lapisan pasif yang stabil di permukaan logam [9].

Hasil berbagai penelitian sebelumnya menegaskan bahwa proses *elektroplating* sangat dipengaruhi oleh faktor arus, waktu, dan kondisi elektrolit, sehingga menjadi landasan penting dalam mengevaluasi pengaruh suhu dan arus pada pelapisan Ni dan Ag pada substrat Cu. Penelitian oleh [10] melaporkan bahwa peningkatan rapat arus dan waktu *elektroplating* pada pelapisan nikel menyebabkan pertambahan massa dan ketebalan lapisan yang signifikan, dengan perubahan morfologi yang menunjukkan pertumbuhan kristal yang lebih rapat seiring meningkatnya arus atikah. Studi lain oleh Rosidah, dkk [11] menemukan bahwa pelapisan nikel pada aluminium dipengaruhi oleh karakteristik elektrolit dan kontrol parameter deposisi, yang menentukan homogenitas lapisan serta orientasi kristal nikel, sehingga parameter tersebut krusial saat digunakan pada substrat tembaga sebelum pelapisan perak. Selain itu, penelitian oleh Putri,dkk [12]menunjukkan bahwa variasi arus dan jenis lapisan (Ni dan Cr) pada baja karbon memengaruhi sifat fisik dan kimia permukaan, termasuk ketebalan dan kehalusan lapisan, menegaskan bahwa pengaturan arus serta kondisi elektrokimia sangat berpengaruh terhadap kualitas hasil pelapisan logam.

Pengendalian korosi pada logam tembaga (Cu) merupakan isu krusial dalam berbagai aplikasi industri, sehingga dibutuhkan metode perlindungan permukaan yang mampu meningkatkan stabilitas material. Salah satu pendekatan yang banyak dikaji adalah pelapisan logam berbasis proses elektrokimia. Teknik potensiostatik dipertimbangkan sebagai metode yang unggul karena dapat menghasilkan deposit yang lebih homogen dan terkontrol, khususnya ketika menggunakan elektrolit nikel (Ni) dan perak (AgNO_3) yang memiliki karakteristik ketahanan korosi yang baik. Parameter suhu dan arus listrik selama proses deposisi diketahui berperan signifikan dalam menentukan morfologi, ketebalan, serta kualitas lapisan yang terbentuk. Dengan demikian, penelitian mengenai pengaruh suhu dan arus listrik pada pelapisan Al menggunakan elektrolit Ni dan AgNO_3 terhadap substrat Cu melalui metode potensiostatik menjadi penting untuk memperoleh kondisi optimum yang mampu meningkatkan performa dan ketahanan korosi permukaan tembaga.

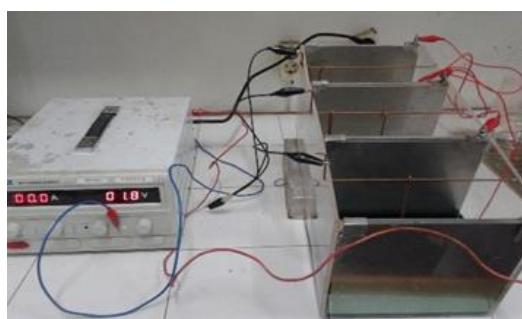
2. METODE PENELITIAN

2.1. Material dan Bahan

Penelitian ini menggunakan berbagai bahan kimia, antara lain aquades, elektroda aluminium dan tembaga, NiSO_4 , NiCl_2 , H_3BO_3 , AgNO_3 , KCN, serta HNO_3 . Peralatan yang digunakan meliputi neraca digital, gelas beaker, botol kaca, cawan petri, corong, pipet tetes, kompor listrik, *magnetic stirrer*, multimeter, *power supply*, karet, kertas saring, pipet volume, dan corong pemisah. Tahap pertama adalah pembuatan larutan nikel. Nikel sulfat, nikel klorida, dan asam borat ditimbang masing-masing sebanyak 87,5 g, 15 g, dan 11,25 g, kemudian dimasukkan ke dalam gelas beaker dan dilarutkan dengan 250 mL aquades. Larutan dipanaskan sambil diaduk menggunakan pemanas elektrik dan *magnetic stirrer* hingga seluruh komponen terlarut sempurna, lalu dipindahkan ke dalam labu ukur 250 mL. Selanjutnya, larutan perak disiapkan dengan menimbang AgNO_3 dan KCN sesuai perbandingan molar 5:39, yaitu 2,5 g dan 7,488 g. Kedua bahan dilarutkan dalam 250 mL aquades dan dipanaskan sambil diaduk hingga homogen. Setelah tercampur sempurna, larutan disimpan dalam labu ukur 250 mL untuk tahap analisis berikutnya.

2.2. Metode

Proses pelapisan nikel diawali dengan tahap perlakuan pendahuluan pada sampel tembaga. Lembaran tembaga dipotong dengan ukuran $2 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$, kemudian seluruh permukaannya dibersihkan menggunakan amplas hingga bebas dari kotoran dan oksida. Sampel yang telah diampas selanjutnya direndam dalam larutan campuran asam nitrat dan air dengan perbandingan 1:1 untuk memastikan permukaan benar-benar bersih secara kimiawi. Setelah proses pencucian selesai dan reaksi pembersihan dianggap optimal, sampel dibilas kembali dengan aquades untuk menghilangkan sisa larutan asam. Tahap berikutnya adalah proses pelapisan nikel menggunakan metode *elektroplating*. Sistem rangkaian disusun secara paralel dengan aluminium digunakan sebagai anoda (kutub positif) dan tembaga sebagai katoda (kutub negatif). Kedua elektroda ditempatkan dalam gelas beaker yang berisi larutan elektrolit nikel. Perangkat kemudian dihubungkan ke *power supply*, sementara katoda disambungkan ke multimeter untuk memonitor arus selama proses berlangsung. *Power supply* diatur pada arus 0,2 A dan proses pelapisan dijalankan selama 5 menit. Setelah waktu pelapisan tercapai, *power supply* dimatikan dan katoda dikeluarkan dari larutan untuk dianalisis lebih lanjut. Proses pelapisan aluminium (Al) pada logam tembaga (Cu) menggunakan elektrolit Ni-AgNO_3 ditampilkan pada Gambar 1 berikut,



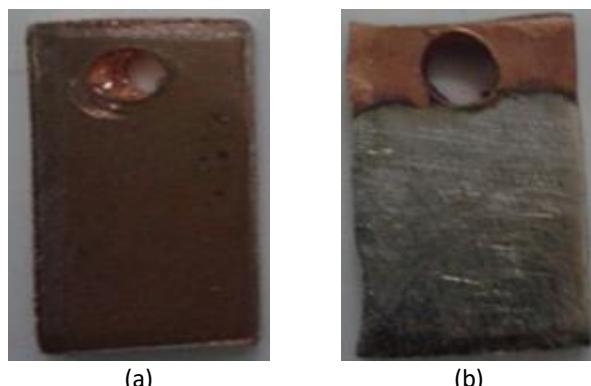
Gambar 1. Proses pelapisan aluminium (Al) pada logam tembaga (Cu)

Analisis kualitas produk *elektroplating* dilakukan melalui beberapa tahapan untuk mengevaluasi karakteristik pelapisan pada tembaga dan aluminium. Proses pelapisan perak dilakukan dengan menempatkan potongan tembaga sebagai katoda dan aluminium sebagai anoda dalam larutan elektrolit perak, sehingga memungkinkan terjadinya deposisi logam secara merata sepanjang permukaan katoda. Selanjutnya, analisis tegangan dilakukan dengan mencatat perubahan nilai tegangan dalam kisaran 0–3 V dengan interval pencatatan setiap 0,1 V selama proses

elektroplating berlangsung. Selain itu, evaluasi tegangan juga dilakukan pada kondisi suhu terkontrol, yaitu pada 40 °C, dengan prosedur pencatatan yang sama untuk mengamati pengaruh temperatur terhadap kestabilan dan kualitas proses pelapisan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pelapisan perak dilakukan dalam dua kondisi, yaitu pada suhu ruang dan pada suhu terkontrol sebesar 40 °C. Pada pelapisan perak pada suhu ruang, sistem *elektroplating* disusun menggunakan rangkaian paralel dengan aluminium sebagai anoda dan tembaga sebagai katoda. Kedua elektroda ditempatkan dalam gelas beaker berisi larutan elektrolit perak, kemudian rangkaian dihubungkan ke *power supply* dan katoda disambungkan ke multimeter untuk pemantauan arus. *Power supply* diatur pada arus 0,1 A dengan rentang tegangan 0–3 V, dan perubahan yang terjadi selama proses dicatat setiap menit. Setelah proses berlangsung sesuai interval pengamatan, *power supply* dimatikan dan katoda dikeluarkan dari larutan. Pada kondisi kedua, pelapisan perak dilakukan pada suhu 40 °C. Rangkaian *elektroplating* disusun dengan konfigurasi identik seperti pada proses sebelumnya. Wadah berisi air dipersiapkan sebagai media sirkulasi panas untuk menjaga suhu larutan elektrolit tetap stabil pada 40 °C selama proses berlangsung. Setelah sistem mencapai suhu yang ditentukan, elektroda dihubungkan ke *power supply* dan multimeter. Arus diatur pada 0,1 A dengan rentang tegangan 0–3 V, kemudian perubahan yang terjadi pada elektroda dicatat setiap menit. Setelah periode pelapisan selesai, *power supply* dimatikan dan katoda diambil untuk analisis lebih lanjut. Hasil logam tembaga sebelum dan sesudah di proses dengan *elektroplating* menggunakan Aluminium pada Gambar 2,



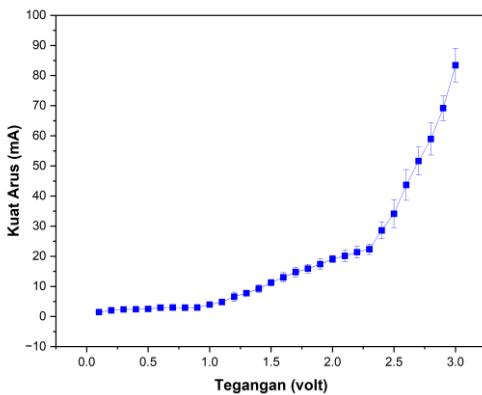
Gambar 2. Logam tembaga a). Sebelum dilakukan pelapisan; (b) setelah dilakukan pelapisan aluminium

3.1. Pengaruh Kuat Arus terhadap Tegangan pada Logam Tembaga Terlapis Nickel

Pada kuat arus 0,2 A, tegangan yang dihasilkan selama proses pelapisan nikel pada tembaga relatif konstan. Kondisi ini mengindikasikan bahwa proses elektrodepositi berlangsung stabil, resistansi elektrolit tidak berubah signifikan, serta laju perpindahan ion menuju katoda terjaga. Proses pelapisan diperkirakan menghasilkan lapisan nikel yang seragam, halus, dan berkualitas.

3.2. Pengaruh Ampere terhadap Perubahan Logam Tembaga Terlapis Nickel dan Perak

Grafik kuat arus–tegangan menunjukkan bahwa arus meningkat perlahan pada tegangan rendah, kemudian naik tajam setelah melewati potensial ambang reduksi ion logam, yang menandakan mulai terjadinya deposisi signifikan pada katoda, sesuai karakteristik *elektroplating* yang dilaporkan dalam studi pelapisan nikel dan logam lainnya. Pada tegangan sekitar 2,5 V, misalnya, arus rata-rata mencapai ≈ 40 mA dengan standar deviasi ≈ 2 mA, menunjukkan bahwa tiga pengulangan pengukuran memiliki konsistensi yang baik; kecilnya deviasi menandakan stabilitas proses dan homogenitas reduksi ion. Fenomena kenaikan arus yang tajam ini sejalan dengan peningkatan tegangan dan rapat arus yang berpengaruh terhadap laju pertumbuhan dan kualitas lapisan *elektroplating* [13]. Grafik pengaruh kuat arus terhadap perubahan logam Tembaga Terlapis Nickel dan Perak ditampilkan pada Gambar 3 berikut.

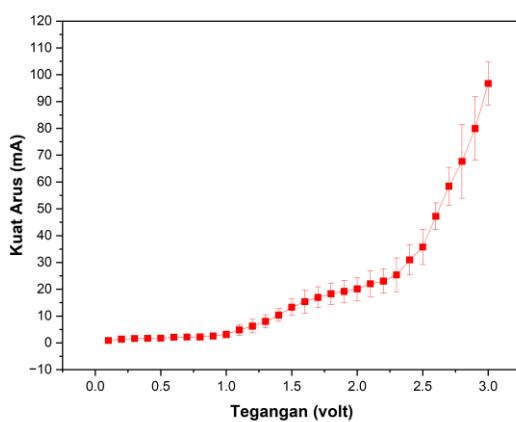


Gambar 3. Grafik Pengaruh Kuat Arus Terhadap Perubahan Logam Tembaga Terlapis Nickel dan Perak

Peningkatan arus dengan tegangan ini mencerminkan laju deposisi ion yang makin intens artinya, pada tegangan tinggi, jumlah ion logam yang direduksi dan menempel pada substrat lebih banyak per satuan waktu, yang sesuai dengan temuan literatur bahwa rapat arus (*current density*) dan tegangan secara langsung memengaruhi ketebalan dan laju pertumbuhan lapisan *elektroplating* [10].

3.3. Pengaruh Kuat Arus terhadap Perubahan Logam Tembaga Terlapis Nickel dan Perak pada Suhu 40°C

Grafik hubungan tegangan–arus menunjukkan karakteristik non-linier, di mana arus relatif kecil dan stabil pada rentang tegangan rendah (0–1,5 V), kemudian meningkat tajam setelah melewati tegangan ambang sekitar >2 V. Pola ini menggambarkan perilaku khas material semikonduktor atau sistem dengan batas energi tertentu, di mana proses konduksi mulai meningkat secara eksponensial setelah barrier potensial terlewati. Fenomena tersebut sejalan dengan laporan penelitian karakterisasi bahan semikonduktor dan modul elektronik modern, yang menunjukkan pola forward conduction serupa pada kurva I–V ketika pembawa muatan memperoleh energi cukup untuk mengatasi hambatan internal material [14]. Grafik pengaruh kuat arus terhadap perubahan logam pada suhu 40°C ditunjukkan pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Pengaruh Kuat Arus Terhadap Perubahan Logam pada Suhu 40°C

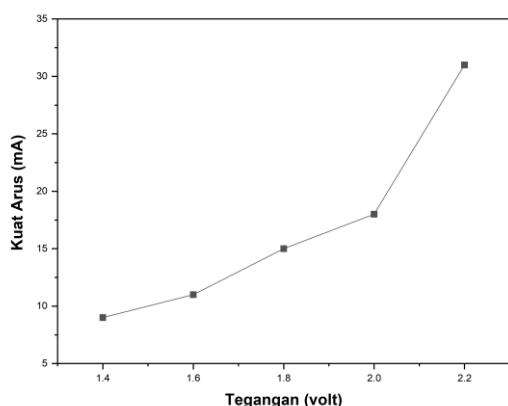
Adanya error bar sebagai representasi deviasi standar dari tiga pengulangan menunjukkan tingkat konsistensi dan reliabilitas data pengukuran. Deviasi standar yang relatif kecil pada tegangan rendah mengindikasikan stabilitas sistem dan minimnya fluktuasi instrumen, sementara peningkatan deviasi pada tegangan tinggi menunjukkan adanya variabilitas konduksi,

kemungkinan akibat pemanasan lokal atau ketidakstabilan kontak elektroda. Penggunaan triplicate measurement dan pelaporan variabilitas sangat direkomendasikan dalam analisis karakteristik I–V karena berpengaruh langsung terhadap akurasi estimasi parameter listrik perangkat, sebagaimana ditegaskan dalam studi evaluasi performa perangkat berbasis semikonduktor dan fotovoltaik [6].

Peningkatan suhu pada proses elektrodepositi, termasuk pada pelapisan Al pada Cu dengan elektrolit Ni–AgNO₃ menggunakan metode potensiostatik, terbukti mempercepat dinamika deposisi melalui peningkatan laju transport dan difusi ion. [15] melaporkan bahwa efisiensi arus bertambah seiring naiknya suhu larutan karena ion berdifusi lebih cepat, menunjukkan bahwa temperatur tinggi mempercepat pergerakan ion menuju elektroda. Hal ini sejalan dengan temuan [16] yang mengindikasikan bahwa kenaikan suhu mempercepat mobilitas ion dan menurunkan polarisasi konsentrasi, sehingga hambatan larutan berkurang dan proses elektrokimia berlangsung lebih optimal. Selain itu, [17] menegaskan bahwa perubahan suhu memodifikasi mobilitas ion serta sifat lapisan ganda listrik pada antarmuka, yang berarti suhu dan arus tinggi tidak hanya mempercepat pembentukan lapisan, tetapi juga meningkatkan peluang terjadinya reaksi samping akibat intensifikasi aktivitas elektrokimia di permukaan Cu. Oleh karena itu, pengaturan suhu menjadi aspek penting untuk mengontrol kecepatan deposisi Al, kualitas lapisan, dan kestabilan proses potensiostatik secara keseluruhan.

3.4. Potensiostatik Perubahan Logam Tembaga Terlapis Nikel dan Perak

Proses *elektroplating* di mana logam dasar (misalnya tembaga) dilapisi dengan lapisan nikel—dan/atau perak—sering menunjukkan perubahan morfologi dan karakteristik listrik setelah pelapisan. Sebagai contoh, penelitian terhadap pelapisan nikel pada substrat paduan tembaga menunjukkan bahwa parameter *elektroplating* (seperti suhu elektrolit, rapat arus, dan waktu plating) secara signifikan mempengaruhi struktur kristal, morfologi permukaan, serta perilaku korosi dan kekerasan lapisan. Hal ini menunjukkan bahwa bila proses potensiostatik digunakan untuk manipulasi lapisan logam (Cu → Ni → Ag), perubahan potensial akan mempengaruhi densitas dan homogenitas lapisan, yang pada gilirannya dapat mengubah konduktivitas, adhesi, dan stabilitas elektro-kimia permukaan [18]. Grafik potensiostatik perubahan logam terhadap terlapis nikel dan perak ditunjukkan pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Potensiostatik Perubahan Logam Terhadap Terlapis Nikel dan Perak

Pelapisan nikel pada substrat tembaga (atau baja/ logam dasar) melalui proses *elektroplating* secara signifikan dapat meningkatkan stabilitas elektroda dan ketahanan korosi pada logam dasar. Sebagaimana dilaporkan dalam studi [19], pelapisan Cu–Ni pada baja karbon rendah menurunkan laju korosi secara drastis, dari 7,6 mmpy pada logam dasar menjadi ~0,36 mmpy setelah pelapisan selama 25 menit. Ini menunjukkan bahwa lapisan nikel yang padat dan homogen bertindak sebagai penghalang korosi yang efektif, mendukung konduktivitas yang lebih

stabil dan umur layanan yang lebih panjang. Selain itu, parameter *elektroplating* seperti waktu, arus/tegangan, jarak elektroda, dan konsentrasi elektrolit perlu dikontrol dengan cermat, karena variasi parameter tersebut dapat mempengaruhi homogenitas, densitas, ketebalan lapisan, dan sifat konduksi/adhesi lapisan akhir [11].

Secara keseluruhan, grafik menunjukkan transisi dari kontrol kinetika aktivasi (tegangan rendah) menuju kontrol transport massa dan reaksi samping (tegangan tinggi), yang merupakan ciri khas sistem potensiostatik pada proses elektrodepositi logam. Pola data ini sejalan dengan pemahaman elektrokimia modern yang menyatakan bahwa arus akan meningkat tajam ketika tegangan cukup tinggi untuk mengatasi hambatan kinetik dan mempercepat migrasi ion melalui larutan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan keempat grafik yang dianalisis, dapat disimpulkan bahwa peningkatan tegangan secara konsisten menghasilkan kenaikan arus pada seluruh kondisi pengujian. Variasi suhu menunjukkan bahwa kinerja sistem elektrokimia menjadi lebih responsif pada temperatur lebih tinggi, ditunjukkan oleh kurva arus-tegangan yang semakin curam. Metode potensiostatik juga terbukti memberikan sensitivitas yang baik terhadap perubahan tegangan. Secara keseluruhan, seluruh grafik menegaskan bahwa arus berbanding lurus dengan tegangan dan sangat dipengaruhi oleh kondisi operasi.

Untuk penelitian selanjutnya disarankan memperluas rentang kondisi operasi—mengukur pada beberapa suhu (mis. 20, 30, 40, 50 °C) dan densitas arus yang lebih variatif—serta membandingkan teknik potensiostatik/galvanostatik dengan pulse plating untuk melihat pengaruhnya pada morfologi dan efisiensi deposisi. Lengkapi pengukuran listrik dengan karakterisasi fisik dan kimia lapisan (SEM, EDX, XRD), serta analisis elektrokimia (EIS) untuk memisahkan kontribusi resistansi dan transport massa. Uji ketahanan praktis (korosi, adhesion) dan variasi parameter larutan (pH, konsentrasi ion, aditif) juga penting.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Natasya, M. E. Khairafah, M. S. Br Sembiring, and L. N. Hutabarat, "Corrosion Factors on Nail," *Indones. J. Chem. Sci. Technol. IJCST*, vol. 5, no. 1, p. 47, Mar. 2022, doi: 10.24114/ijcst.v5i1.33159.
- [2] A. Ramandika, F. L. Sanjaya, S. S. Budi, and E. Supriyanto, "Pengaruh Lapisan Coating Zinc Cromate Terhadap Korosi Baja SS400 Plat Kapal Menggunakan Alat Uji Salt Spray Test Type GT-7004L," *Nozzle J. Mech. Eng.*, vol. 11, no. 2, July 2022, doi: 10.30591/nozzle.v11i2.5862.
- [3] B. D'Souza, A. Leong, Q. Yang, and J. Zhang, "Corrosion behavior of boronized nickel-based alloys in the molten chloride Salt," *Corros. Sci.*, vol. 182, p. 109285, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.corsci.2021.109285.
- [4] F. Amadika, M. Setyawan, and E. Yohanes, "Optimasi *Elektroplating* Nikel Pada Baja Karbon Rendah Terhadap Ketahanan Korosi Menggunakan Metode Immersion Corrosion Test Dengan Cairan NaCl 3,5%," vol. 2, 2021.
- [5] M. Bugajska *et al.*, "Antipathogenic electroless copper-titania composite coatings: tailoring the plating process toward better corrosion resistance," *Arch. Civ. Mech. Eng.*, vol. 25, no. 7–8, p. 309, Nov. 2025, doi: 10.1007/s43452-025-01362-9.
- [6] B. Yang *et al.*, "The Corrosion Behavior of Different Silver Plating Layers as Electrical Contact Materials in Sulfur-Containing Environments," *Coatings*, vol. 13, no. 10, p. 1796, Oct. 2023, doi: 10.3390/coatings13101796.
- [7] S. Sangeetha, N. Sakthieswaran, and O. Ganesh Babu, "Effect of steel fibre on fracture toughness of concrete," *Mater. Today Proc.*, vol. 37, pp. 1036–1040, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.06.289.

- [8] H. Sopha *et al.*, "White and black anodic TiO₂ nanotubes: Comparison of biological effects in A549 and SH-SY5Y cells," *Surf. Coat. Technol.*, vol. 462, p. 129504, June 2023, doi: 10.1016/j.surfcoat.2023.129504.
- [9] Q. Liu *et al.*, "Facile flameless combustion synthesis of high-performance boron-doped LiMn₂O₄ cathode with a truncated octahedra," *J. Alloys Compd.*, vol. 874, p. 159912, Sept. 2021, doi: 10.1016/j.jallcom.2021.159912.
- [10] Atikah Ayu Janitra and Trio Setiyawan, "Pengaruh Waktu dan Rapat Arus dalam Elektroplating Nikel pada Logam ST-37," *J. Sains Dan Teknol.*, vol. 2, no. 1, pp. 138–144, June 2023, doi: 10.58169/saintek.v2i1.141.
- [11] A. A. Rosidah, V. A. Setyowati, and M. Choir, "Effect of Current and Coating Time on the Layer Thickness and Corrosion Rate of Electroplated AISI 1045," *SPECTA J. Technol.*, vol. 5, no. 1, pp. 99–104, Mar. 2021, doi: 10.35718/specta.v5i1.337.
- [12] Z. Zha Oktaviana Dela Putri, K. Kardiman, and R. Hanfi, "Pelapisan Baja Karbon Jis S50c Menggunakan Metode Elektroplating: Variasi Pelapisan Nickel (NI) dan Chrom (CR) Terhadap Sifat Fisik dan Sifat Kimia," *J. Indones. Sos. Teknol.*, vol. 2, no. 6, pp. 1056–1083, June 2021, doi: 10.36418/jist.v2i6.179.
- [13] M. B. Nur Rahman, B. Riyanta, and D. Agusman, "Pengaruh Temperatur dan Arus Listrik Proses Pelapisan Krom Pada Plastik ABS Dengan Metode Elektroplating," *JMPM J. Mater. Dan Proses Manufaktur*, vol. 4, no. 1, 2020, doi: 10.18196/jmpm.4154.
- [14] F. Schipani, D. R. Miller, M. A. Ponce, C. M. Aldao, S. A. Akbar, and P. A. Morris, "Electrical Characterization of Semiconductor Oxide-Based Gas Sensors Using Impedance Spectroscopy: A Review," *Rev. Adv. Sci. Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 86–105, Mar. 2016, doi: 10.1166/rase.2016.1109.
- [15] S. H. Bae, S. Oue, Y. Taninouchi, I. Son, and H. Nakano, "Effect of Solution Temperature on Electrodeposition Behavior of Zn–Ni Alloy from Alkaline Zincate Solution," *ISIJ Int.*, vol. 62, no. 7, pp. 1522–1531, July 2022, doi: 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2022-076.
- [16] J. Yuan, B. Dai, X. Cui, and P. Li, "The effects of electrodeposition temperature on morphology and corrosion resistance of calcium phosphorus coatings on magnesium alloy: comparative experimental and molecular dynamics simulation studies," *RSC Adv.*, vol. 13, no. 48, pp. 34145–34156, 2023, doi: 10.1039/D3RA04162J.
- [17] J. D. Costa *et al.*, "Effects of Current Density and Bath Temperature on the Morphological and Anticorrosive Properties of Zn-Ni Alloys," *Metals*, vol. 13, no. 11, p. 1808, Oct. 2023, doi: 10.3390/met13111808.
- [18] F. B. Susetyo, M. C. Fajrah, and B. Soegijono, "Effect of Electrolyte Temperature on Properties of Nickel Film Coated onto Copper Alloy Fabricated by Elektroplating," *E-J. Surf. Sci. Nanotechnol.*, vol. 18, no. 0, pp. 223–230, June 2020, doi: 10.1380/ejssnt.2020.223.
- [19] Syamsuir, "Pelapisan Tembaga Nikel Pada Baja Dan Pengaruhnya Terhadap Laju Korosi," *J. Konversi Energi Dan Manufaktur*, vol. 7, no. 2, pp. 96–104, July 2022, doi: 10.21009/JKEM.7.2.4.



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY).