

Efektivitas penambahan aditif sintetik dan aditif alami pada elektrodeposisi nikel: sebuah telaah pustaka

Muhammad Adli Afif, Muhamad Alvin Reagen, Khafit Wiradimafan dan Morina Adfa*

Didaftarkan: [28 Desember 2024] Direvisi: [29 Desember 2024] Terbit: [31 Desember 2024]

ABSTRAK: Proses elektrodeposisi nikel merupakan reaksi elektrokimia yang melibatkan elektron yang disuplai oleh sumber arus searah. Reaksi terjadi pada permukaan elektroda. Ion-ion nikel dalam larutan akan tereduksi membentuk lapisan logam nikel di katoda, sedangkan di anoda akan terjadi reaksi oksidasi. Pengaruh aditif sebagai agen pereduksi selain memberikan pengaruh pada mikrostruktur deposit dapat meningkatkan jumlah arus sehingga dapat mempercepat terbentuknya deposit dan memberikan lapisan yang lebih tebal dan kilau. Salah satu aditif sintetik adalah natrium lauril sulfat/sodium lauril sulfat, *saccharin*, *cetiltrimetilamonium bromida*, *coumarin* dan beberapa aditif alami antara lain. Ekstrak daun semanggi, ekstrak daun ketapang, ekstrak batang bakau, ekstrak buah kakao, dan *brightener* alami *Daphne gnidium* L.

PENDAHULUAN

Kebutuhan penggunaan baja semakin meningkat untuk digunakan atau dimanfaatkan oleh manusia, karena logam mempunyai kelebihan dibandingkan material yang lain yaitu mudah disambung/ dilas, memiliki harga konduktivitas listrik yang tinggi, konduktivitas panas tinggi dan dapat dihaluskan sehingga berkilau permukaannya. Namun baja memiliki kekurangan yaitu, sangat reaktif, mudah berkarat dan mudah terkorosi. Sehingga, mengakibatkan kerugian ekonomi. Korosi merupakan masalah yang paling utama menyerang baja. Korosi terjadi secara alami yang akan terus terjadi tanpa henti dengan seiring material tersebut mengalami kontak langsung dengan lingkungannya [1].

Agar baja tidak mudah rusak yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan maupun korosi, maka perlu dilapisi menggunakan logam lain. Salah satu proses yang termasuk pelapisan dalam mencegah korosi adalah dengan menggunakan metode elektrodeposisi. Elektrodeposisi merupakan proses pengendapan suatu zat dengan menggunakan arus listrik searah (DC)[2]. Secara umum elektrodeposisi menggunakan prinsip elektrolisis dengan menggunakan larutan elektrolit sebagai tempat terjadinya perpindahan ion [3].

Elektrodeposisi adalah proses pelapisan permukaan dengan menggunakan listrik yang digunakan untuk melindungi material dari korosi [4]. Elektrodeposisi adalah penerapan pelapisan logam pada permukaan konduktif atau logam melalui proses elektrokimia. Elektrodeposisi adalah suatu proses pelapisan atau pengendapan pada katoda dengan cara merendam anoda dan katoda ke dalam bak elektrolitik yang dihubungkan dengan suplay listrik searah [5].

Pada proses elektrodeposisi logam nikel banyak digunakan sebagai bahan rekayasa yang berfungsi sebagai matriks logam, yaitu lapisan tipis matriks logam sintetik yang mengandung partikel penguat terdispersi, seringkali memiliki banyak sifat khusus seperti kekerasan, daya tahan pada suhu tinggi, ketahanan terhadap gesekan dan korosi.

Resistensi, sifat ini tergantung pada morfologi dan partikel pengisi (penguat) pada lapisan komposit [6].

Nikel umumnya dielektrodeposisi dari elektrolit sulfat atau sulfamat dengan atau tanpa aditif, dan juga dari larutan elektrolit yang mengandung nikel sulfat, nikel klorida, dan asam borat. Namun, rendaman pelapisan tidak hanya mengandung prekursor logam yang akan dilapisi tetapi juga bahan tambahan, seperti sakarin, gliserol, manitol, sorbitol, dan formaldehid [7-8]. Telah diketahui bahwa bahan tambahan aditif dimasukkan dalam jumlah kecil ke dalam larutan elektrodeposisi mempengaruhi pertumbuhan kristal deposit, kecepatan terbentuknya deposit dan morfologi serta mikrostruktur deposit. Pengaruh aditif sebagai agen pereduksi selain memberikan pengaruh pada mikrostruktur deposit dapat meningkatkan jumlah arus sehingga dapat mempercepat terbentuknya deposit dan memberikan lapisan yang lebih tebal dan kilau. Bahan aditif ini akan mengadsorpsi ion-ion logam secara fisik dan kimiawi pada permukaan elektroda membentuk lapisan deposit sehingga merubah potensial deposisi [9]. Ada banyak aditif yang bisa digunakan, ada aditif sintetik dan organik. Aditif sintetik lebih berbahaya karena termasuk senyawa kimia serta relatif lebih mahal Sedangkan aditif organik bisa didapatkan dari alam dan relatif lebih murah dan mudah diaplikasikan [10]. Hasil telaah ini diharapkan dapat memberikan perbandingan pengaruh penggunaan zat aditif sintetik dengan zat aditif alami dalam proses elektrodeposisi nikel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

• Aditif sintetik

Pada penelitian elektrodeposisi nikel dengan penggunaan aditif sintetik *Saccharin* dan *2-butyne-1,4-diol* merupakan aditif yang termasuk dalam kelas *brightener*. Umumnya *Saccharin* dan *2-butyne-1,4-diol* digunakan berpasangan. Sinergi keduanya dapat menghaluskan butir, meningkatkan *brightness* juga meningkatkan kekerasan deposit. *Saccharin* dapat teradsorpsi, menghalangi difusi permukaan *adatom* dan dapat menurunkan tegangan dalam deposit akibat *2-butyne-1,4-diol* serta mereduksi ukuran butir bahkan sampai tingkat nanometer [11]. Hasil SEM morfologi deposit nikel yang mengandung aditif *saccharin* dan *2-butyne-1,4-diol* dapat dilihat pada penambahan natrium lauril sulfat 0,08 g/L + *saccharin* : *2-butyne-1,4-diol* (0,5:0,05) g/L, natrium lauril sulfat 0,08 g/L + *saccharin* : *2-butyne-1,4-diol* (1,0:0,1)g/L natrium lauril sulfat 0,08 g/L + *saccharin* : *2-butyne-1,4-diol* (1,5:0,15)g/L dan natrium lauril sulfat 0,08 g/L + *saccharin* : *2-butyne-1,4-diol* (2,0:0,2)g/L. Pengaruh dari *saccharin* dan *2-butyne-1,4-diol* menghasilkan ukuran butir deposit sedemikian halus (+ 10 nm). *Saccharin* mengandung sulfur dan *2-butyne-1,4-diol* mengandung karbon, keduanya ikut terdepositkan (*codeposition*) pada deposit nikel dan berperan sebagai *solid solution strengthener* tetapi dapat menyebabkan *intergranular embrittlement*. *Embrittlement* terjadi karena pembentukan lapisan getas nikel sulfida pada batas butir. Namun demikian, berdasarkan hasil EDS hanya menunjukkan adanya karbon selain unsur nikel sebagai unsur yang dominan [12].

Selain itu ada aditif sintetik natrium lauril sulfat (SLS) yang mempunyai efek pada efisiensi arus katoda (CE), morfologi permukaan, orientasi kristalografi dan perilaku polarisasi katoda baja tahan karat selama elektroplating nikel dari larutan sulfat asam. Hasilnya menunjukkan bahwa SLS tidak memiliki efek signifikan pada efisiensi arus katoda. Namun, perubahan nyata dalam morfologi permukaan dan kualitas endapan [13]. Pada penelitian lainnya pengaruh konsentrasi SLS terhadap perilaku elektrodposisi paduan NiCo dari rendaman sulfamat diselidiki. Ditemukan bahwa kualitas permukaan sampel yang dielektrodposisi dengan SLS menghasilkan permukaan yang halus, mengkilap, seperti cermin tanpa lubang kecil. Konsentrasi SLS hingga 1 g/L menghasilkan kekasaran permukaan rata-rata minimum dalam kisaran 11-15 nm. Pada peningkatan konsentrasi SLS lebih lanjut, kekasaran permukaan rata-rata meningkat menjadi sekitar 30-40 nm [14].

Sedangkan pada penelitian pengaruh aditif sintetik lainnya yaitu surfaktan *cetiltrimetilamonium bromida* (CTAB) [5]. Peningkatan konsentrasi surfaktan (CTAB) mengakibatkan distorsi kisi matriks Ni. Ketahanan aus lapisan meningkat dengan meningkatnya kandungan surfaktan (CTAB) hingga 300 mg/L dalam elektrolit, tetapi di luar konsentrasi ini, ketahanan aus menurun. Lapisan nanokomposit Ni-SiC yang diendapkan bersama menunjukkan koefisien gesekan yang lebih tinggi dan ketahanan aus yang lebih baik dibandingkan dengan film Ni yang diendapkan, yang dapat dikaitkan dengan penggabungan partikel SiC berukuran nano di dalam deposit. Partikel nano ini sangat meningkatkan kekerasan lapisan komposit melalui mekanisme penguatan penghalusan butiran dan penguatan dispersi [15]. Salah satu aditif sintetik lainnya adalah *coumarin* pada penelitian tentang perilaku aditif perata *coumarin* dalam deposisi nikel dari larutan tipe Watt telah menunjukkan bahwa *coumarin* mengurangi efisiensi arus untuk deposisi nikel. Efisiensi saat ini untuk evolusi hidrogen meningkat, *coumarin* mendorong evolusi dari beberapa titik pada elektroda [16].

Penelitian lainnya menggunakan aditif komersial yaitu *sodium methanesulfonate* dan *octane-1-sulfonic acid sodium salt aditif carrier, 1,4-butylene diol* dan *ethylene sulfonic acid* sebagai *brightener*. Pada larutan elektrolit tanpa *brightener* dan carier permukaan planar dari struktur kristal nikel terlihat jelas, menunjukkan orientasi permukaan acak yang menunjukkan pertumbuhan tiga dimensi. Kelompok ini menunjukkan kekasaran permukaan yang tinggi berkisar antara 60-270 nm. Pada larutan elektrolit dengan *brightener* dan tanpa carier muncul kristal seperti jarum. Kelompok ini menunjukkan kekasaran menengah, berkisar antara 50 hingga 140 nm. Sedangkan pada larutan elektrolit dengan tanpa *brightener* dan menggunakan carier pelapisan yang lebih halus, di mana permukaan kristal tidak terlihat jelas, yang menunjukkan adanya pertumbuhan dua dimensi. Pada percobaan ini, semua sampel dilapisi dengan penambahan carier. Sampel yang dilapisi pada percobaan ini menunjukkan kekasaran antara 3,0 dan 60 nm, kekasaran terendah diantara semua uji coba, pengamatan ini menguatkan temuan bahwa penambahan carier meningkatkan penurunan kekasaran morfologi [17].

• Aditif alami

Pada penelitian elektrodeposisi nikel dengan menggunakan penambahan aditif alami yaitu penambahan ekstrak daun semanggi merah yang mengandung isoflavone yang mana adsorpsi aditif isoflavon pada elektroda berfungsi sebagai penghambat evolusi hidrogen [18], membantu mengurangi pembentukan gas hidrogen selama elektrodeposisi. Pada penelitian ini didapatkan karakteristik permukaan pelapis Ni tanpa penambahan ekstrak daun semanggi merah menunjukkan struktur seperti lumpur yang terdiri dari butiran besar disertai lubang kecil berukuran $1,5 \mu\text{m}$. Morfologi permukaan endapan nikel yang tidak baik dapat dikaitkan dengan evolusi gas hidrogen secara bersamaan, sebagaimana dibuktikan oleh analisis kurva polarisasi katoda. Proses evolusi hidrogen mengakibatkan penurunan efisiensi endapan secara keseluruhan sedangkan penambahan $60 \mu\text{L}$ dan $100 \mu\text{L}$ ekstrak daun semanggi merah ke lapisan nikel menghasilkan peningkatan signifikan pada morfologi permukaan. Ukuran deposit yang lebih besar yang diamati adalah $0,9 \mu\text{m}$ dan $0,8 \mu\text{m}$ untuk sampel yang sesuai, sedangkan Ni yang dilapisi dalam bak tanpa aditif apa pun menunjukkan ukuran butiran yang lebih besar yaitu $1,5 \mu\text{m}$. Lapisan tersebut menunjukkan peningkatan kehalusan, kerapatan, dan rata, dengan kristal yang selaras dan terdistribusi secara merata di seluruh permukaan katode. Penambahan ekstrak daun semanggi yang paling efektif adalah dengan konsentrasi optimal $100 \mu\text{L}$ menunjukkan peningkatan yang lebih diinginkan dalam karakterisasi endapan Ni, termasuk morfologi permukaan dan kualitas ketahanan mekanis dan korosi. Kehadiran ekstrak daun semanggi merah dalam bak elektrodeposisi Ni menghasilkan lapisan Ni yang berbutir halus, kekasaran berkurang, lebih padat, dan memiliki kekerasan mikro yang lebih tinggi karena penghambatan ion Ni dalam proses elektrodeposisi sebagaimana dikonfirmasi oleh studi kekerasan mikro SEM dan AFM. Spektrum XRD menunjukkan bahwa ekstrak daun semanggi merah tidak memiliki efek pada struktur mikro kristal lapisan Ni yang diendapkan secara elektrodeposisi. Menurut perhitungan DFT, lokasi optimal untuk penyerapan aditif RCLE yang efisien pada substrat Cu selama elektrodeposisi Ni adalah gugus fungsi, atom oksigen, dan elektron π [19].

Penelitian lainnya elektrodeposisi nikel dengan penambahan aditif alami lainnya adalah dengan penambahan ekstrak daun ketapang yang mengandung unsur flavonoid, saponin, triterpen, diterpen, senyawa fenolik, dan tanin. Didapatkan lapisan tanpa penambahan ekstrak daun ketapang terlihat cukup halus dan merata. Permukaan baja yang dilapisi dengan penambahan $0,5\%$ inhibitor ekstrak daun ketapang membentuk lapisan yang cukup halus, tidak terdapat penumpukan material maupun endapan inhibitor pada permukaan lapisan, namun beberapa bagian permukaan tidak seluruhnya terlapisi. Lapisan dengan penambahan inhibitor ekstrak daun ketapang sebesar 1% lapisan yang terbentuk menutupi secara merata di seluruh permukaan dengan butir yang lebih halus, dan tidak terdapat endapan inhibitor pada lapisan. Permukaan baja dengan penambahan ekstrak daun ketapang sebesar $1,5\%$ pada bagian tertentu dari permukaan baja lapisan yang terbentuk kurang halus namun seluruh permukaan baja sudah terlapisi oleh inhibitor, hal ini disebabkan karena saat proses elektrodeposisi larutan dengan elektrolit yang terlalu

pekat akan menimbulkan gelembung di permukaan baja, gelembung tersebut ketika dikeringkan di udara menyebabkan endapan inhibitor pada permukaan. Sedangkan permukaan baja dengan penambahan inhibitor 2% saat proses elektrodeposisi berlangsung terbentuk endapan di seluruh permukaan, yang menyebabkan lapisan yang terbentuk tidak merata pada baja karena konsentrasi inhibitor yang diberikan terlalu tinggi [20].

Penggunaan aditif alami lainnya adalah ekstrak batang bakau sebagai inhibitor korosi baja komersil dengan metode elektrodeposisi nikel, dimana batang bakau mengandung senyawa tanin [21]. Konsentrasi ekstrak batang bakau juga berpengaruh terhadap perubahan arus berbanding lurus dengan konsentrasi inhibitor, semakin tinggi konsentrasi inhibitor pada larutan elektrolit arus yang dihasilkan juga semakin besar. Penambahan konsentrasi inhibitor dapat meningkatkan jumlah arus sehingga dapat mempercepat terbentuknya lapisan anti korosi dan akan memberikan lapisan yang lebih tebal. Sedangkan pada morfologi permukaan hasil elektrodeposisi nikel, morfologi permukaan baja tanpa inhibitor tampak mengalami korosi, karena pada permukaan terbentuk endapan korosi. Baja yang ditambah inhibitor dengan konsentrasi 1% mengalami pengendapan korosi pada beberapa permukaannya setelah direndam dalam media korosif. Baja dengan penambahan inhibitor sebanyak 2% permukaannya terlihat masih rata, tidak mengalami pengikisan, serta tidak terjadi pengendapan korosi setelah direndam dalam media korosif [22].

Penelitian lainnya melakukan elektrodeposisi lapisan nikel di atas substrat baja dengan tambahan inhibitor korosi dari ekstrak kulit buah kakao. Kulit buah kakao mengandung polifenol, seperti tanin, yang memiliki sifat antioksidan dan bersifat korosi. Senyawa ini dapat membentuk lapisan pelindung pada permukaan logam yang diendapkan, mencegah atau mengurangi reaksi elektrokimia yang menyebabkan korosi. Pada nikel tanpa penambahan inhibitor kulit buah kakao lapisan terlihat retakan yang cukup besar dan mudah terkelupas. Retakan lapisan tersebut memudahkan air atau bahan pelarut terperangkap [23]. Hal ini akan menyebabkan lapisan lebih mudah terkorosi.

Elektrodeposisi larutan NiSO_4 menggunakan inhibitor ekstrak kulit buah kakao 1% selama 25 menit. Tampak bahwa lapisan permukaan yang dihasilkan lebih halus dari pada tanpa penambahan ekstrak buah kakao dengan demikian ekstrak kulit buah kakao mempengaruhi permukaan lapisan nikel. Pada penambahan inhibitor ekstrak kulit buah kakao 2%. Permukaan lapisan banyak ditutupi oleh lapisan berbentuk putih, yang diduga sebagai pengaruh penambahan ekstrak kulit buah kakao yang berlebih, sehingga menutupi lapisan nikel itu sendiri. Hal ini juga terlihat saat terjadinya proses elektrodeposisi, dimana larutan tersebut agak keruh. Dari peristiwa ini dapat disimpulkan bahwa penambahan ekstrak kulit buah kakao yang berlebihan juga tidak bagus untuk sintesis lapisan nikel dengan metode elektrodeposisi [1].

Penggunaan aditif alami lainnya ada pada penelitian efek dari *brightener* alami *Daphne gnidium* L. terhadap kualitas electroplating nikel, *Daphne gnidium* L. (DGL), tanaman yang dikenal sebagai sumber yang kaya akan polifenol, kelas antioksidan yang terjadi secara alami, peran DGL sebagai penghambat reaksi reduksi ion Ni^{2+} dapat dikaitkan dengan

senyawa kimia yang ada dalam tanaman ini, terutama *coumarin* [24]. Pada penelitian ini dilakukan penambahan bubuk daun *Daphne gnidium* L. (DGLP) dan ekstrak daun *Daphne gnidium* L. (DGLE) ke dalam rendaman Watts, untuk berperan sebagai *brightener*. Berdasarkan hasil penelitian ini pengaruh DGLP dan DGLE terhadap elektrodeposisi nikel dibandingkan dengan dua *brightener* sintetis yaitu gliserol dan formaldehid. Studi voltametri menunjukkan bahwa DGLP dan DGLE memiliki efek penghambatan terhadap reaksi pembentukan nikel elektrolitik, hal ini disebabkan oleh adanya beberapa polifenol, terutama *coumarin* dalam DGL. Evaluasi kecerahan dan morfologi menunjukkan bahwa DGLP bertanggung jawab atas keseragaman dan kilau nikel yang diendapkan secara elektro jika dibanding dengan nikel yang diendapkan dengan formaldehida suatu pencerah sintetis yang terkenal. Menggunakan DGLP lebih ekonomis dan lebih sedikit memakan waktu dari pada menggunakan DGLE karena proses ekstraksi DGLE lebih mahal dan melibatkan pelarut beracun seperti metanol [25].

KESIMPULAN

Aditif sintetis cenderung lebih efektif dibandingkan dengan aditif alami. Seperti, kontrol kristalisasi atau kilau yang dihasilkan kurang optimal dibandingkan dengan aditif sintetis. Selain itu, aditif alami lebih sulit dikontrol secara presisi untuk mendapatkan hasil yang konsisten. Sedangkan aditif sintetis seperti *Brighteners*, *Levelers*, dan *Wetting agents* sintetis mampu memberikan kilau yang konsisten, permukaan yang rata, dan deposisi yang stabil. Aditif sintetis sangat efektif dalam menciptakan lapisan nikel yang halus, bebas cacat, dan tahan korosi namun aditif sintetis memiliki harga produksi yang lebih mahal dibandingkan aditif alami yang bisa ditemui di alam, dan dampak terhadap lingkungan yang berpotensi mencemari air dan tanah jika dibuang sembarangan.

PROSEDUR PENELITIAN

Telaah pustaka ini melalui beberapa tahapan yaitu (1) mengumpulkan berbagai pustaka dalam bahasa Indonesia dan/atau Melayu terkait dengan penambahan aditif pada *electroplating* nikel baik yang berbasis sumber daya alam ataupun sintetis, (2) pemilahan pustaka-pustaka penting terkait dengan topik yang telah ditentukan, (3) menelaah isi dari pustaka-pustaka pilihan tersebut untuk mendapatkan gambaran perkembangan terkini terkait dengan penggunaan aditif pada *electroplating* baik dari sisi kelebihan, kekurangan maupun prospek yang mungkin dapat dikembangkan pada masa yang akan datang.

DEKLARASI

Para Penulis tidak memiliki konflik dalam hal penulisan dan pendanaan.

PERSANTUNAN

MAA sangat berterima kasih kepada Program Studi Magister (S2) Kimia FMIPA Universitas Bengkulu dalam rangka menempuh pendidikan magister pada bidang ilmu Kimia, dan para penulis berterima kasih atas pendanaan yang diberikan oleh Bapak Prof. Dr Sal Prima Yudha S, S.Si., M.Si melalui skema Penelitian Tesis Magister. Telaah pustaka ini juga menjadi bagian dari luaran tambahan yang diperoleh dari kegiatan penelitian tersebut.

INFORMASI TENTANG PENULIS

Penulis Rujukan:

Morina Adfa

Laboratorium Kimia Organik

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Bengkulu

Pusat Riset Produk Bahan Alam dan Material Fungsional Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Bengkulu

Para Penulis

Muhammad Adli Afif

Program Studi Magister (S2) Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Bengkulu; jalan W.R. Supratman, Kandang Limun, Kota Bengkulu

Muhammad Alvin Reagen

Laboratorium Kimia Anorganik Fisik

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Bengkulu

Khafit Wiradimafan

Laboratorium Kimia Organik

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Bengkulu

PUSTAKA

1. Yetri, Y.; Mahaputri, S.A.; Dahlan, D. Sintesa lapisan Nikel (Ni) pada permukaan baja dengan metode elektrodposisi dengan penambahan inhibitor ekstrak kulit buah kakao (*Theobroma cacao*). *Jurnal Integrasi*. **2019**, 11(2): 86–90. DOI: 10.30871/ji.v5i2.1653
2. El-Kashlan, H.M. Kinetic study of the effect of benzoic acid derivatives on copper electrodeposition. *American Journal of Applied Science*. **2008**, 5(3):234–41. DOI: 10.3844/ajassp.2008.234.241
3. Dahmani, K.; Galai, M.; Elhasnaoui, A.; Temmar, B.; El Hessni, A.; Cherkaoui M. Environmental cinnamon extracts effect on electrodeposition of copper in an acidic bath. *Portugaliae Electrochimica Acta*. **2018**, 36(2): 119–31. DOI: 10.4152/pea.201802119

4. Marwati, S. Pengaruh agen pereduksi dalam proses elektrodeposisi terhadap kualitas deposit Cu dan Ag. *Prosiding seminar nasional penelitian, pendidikan dan penerapan MIPA, Fakultas MIPA*. **2013**.
5. Mohammadi, S.H.; Apoorva, M.A.; Ravishankar, R. Effect of surfactants on the electrodeposited nickel composite coatings. *International Journal of Technical Research and Applications*. **2015**, 3(4): 398–406.
6. Ermadiana, Y.; Budi, E.; Sugihartono I. Pengaruh variasi konsentrasi sodium dodecyl sulfate ($C_{12}H_{25}NaSO_4$) terhadap morfologi permukaan pada pembentukan lapisan tipis komposit Ni-TiAlN dengan metode elektrodeposisi. *Prosiding Seminar Nasional Fisika*. **2017**, 6. DOI: 10.21009/03.SNF2017
7. Oliveira, E.M.; Finazzi, G.A.; Carlos, I.A. Influence of glycerol, mannitol and sorbitol on electrodeposition of nickel from a Watts bath and on the nickel film morphology. *Surface and Coating Technologi*. **2006**, 22(200): (20–21. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2005.09.013
8. Rudnik, E.; Wojnicki, M.; Włoch, G. Effect of gluconate addition on the electrodeposition of nickel from acidic baths. *Surface and Coating Technologi*. **2012**, 25(207): 375–88. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2012.07.027
9. Widiatmoko, P.; Nurdin, I. Pengaruh krom pada elektrodeposisi nikel dari larutan nikel-krom. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*. **2011**, 10(2): 54. DOI: 10.5614/jtki.2011.10.2.2
10. Loto, C.A.; Olofinjana, A.; Loto, R.T. Effect of *Manihot esculenta* C. leaf extract additive on the zinc electroplating on mild steel in acid chloride solution. *International Journal of Electrochemical Science*. **2014**, 9(7): 3746–3759. DOI: 10.1016/S1452-3981(23)08047-1
11. Kim, S.H.; Sohn, H.J.; Joo, Y.C.; Kim, Y.W.; Yim, T.H.; Lee, H.Y. et al. Effect of saccharin addition on the microstructure of electrodeposited Fe-36 wt.% Ni alloy. *Surface and Coating Technologi*. **2005**, 1(1):43–8. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2004.11.035
12. Idamayanti, D. Kajian pengaruh aditif terhadap pembentukan nano deposit nikel pada elektroplating baja karbon rendah. *Seminar Nasional Teknologi Manufaktur*. **2014**.
13. Mohanty, U.S.; Tripathy, B.C.; Das, S.C.; Singh, P.; Misra, V.N. Effect of sodium lauryl sulphate (SLS) on nickel electrowinning from acidic sulphate solutions. *Hydrometallurgy*. **2009**, 100(1–2): 60–4. DOI: 10.1016/j.hydromet.2009.10.003
14. Mescheder, U.; Siddiqui, Z.A. Characterization of influence of sodium lauryl sulfate on the surface quality of electrodeposited nickel-cobalt alloy from sulfamate bath. *Faculty of Mechanical and Medical Engineering, Hochschule Furtwangen University*. **2015**.
15. Kiliç, F.; Gül, H.; Aslan, S.; Alp, A.; Akbulut, H. Effect of CTAB concentration in the electrolyte on the tribological properties of nanoparticle SiC reinforced Ni metal matrix composite (MMC) coatings produced by electrodeposition. *Colloids and Surfaces A: Physicochem and Engineering Aspects*. **2013**, 419: 53–60. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2012.11.048
16. Rogers, G.T.; Taylor, K.J. The effects of coumarin on the electrodeposition of nickel. *Electrochimica Acta*. **1963**, 8(2): 887–904. DOI: 10.1016/0013-4686(62)87045-5
17. Schmitz, E.P.S.; Quinaia, S.P.; Garcia, J.R.; De Andrade, C.K.; Lopes, M.C. Influence of commercial organic additives on the nickel electroplating. *International Journal of Electrochemical Science*. **2016**, 11: 983–997. DOI: 10.1016/S1452-3981(23)15899-8
18. Juma, J.A. The effect of organic additives in electrodeposition of Co from deep eutectic solvents. *Arabian Journal of Chemistry*. **2021**, 14(4): 3–9. DOI: 10.1016/j.arabjc.2021.103036
19. Omar, I.M.A.; Al-Fakih, A.M. Effect of red clover (*Trifolium pratense* L.) aqueous extract as an additive on nickel electrodeposition: Experimental and theoretical study. *Arabian Journal of Chemistry*. **2024**, 17(4): 1–15. DOI: 10.1016/j.arabjc.2024.105680
20. Hakimin, A.Z.; Dahlan, D. Sintesis lapisan antikorosi menggunakan ekstrak daun ketapang (*Terminalia catappa* L.) sebagai inhibitor korosi pada baja. *Jurnal Fisika Unand*. **2021**, 10(2):170–6. DOI: 10.25077/jfu.10.2.170-176.2021
21. Lubis, M.F.; Dahlan, D. Sintesis lapisan antikorosi menggunakan tanin dari kulit batang bakau sebagai inhibitor. *Jurnal Fisika Unand*. **2020**, 9(2):277–83. DOI: 10.25077/jfu.9.2.277-283.2020

22. Aini, T.M.; Dahlan, D. Ekstrak kulit batang bakau sebagai inhibitor korosi baja komersil. *Jurnal Fisika Unand*. **2021**, 10(2):156–62. DOI: 10.25077/jfu.10.2.156-162.2021
23. Yatiman, P. Penggunaan inhibitor organik untuk pengendalian korosi logam dan paduan logam. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta*. **2009**, 134–142.
24. Deiana, M.; Rosa, A.; Casu, V.; Cottiglia, F.; Bonsignore, L.; Dessi, M.A. Chemical composition and antioxidant activity of extracts from *Daphne gnidium* L. *Journal of The American Oil Chemists' Society*. **2003**, 80(1):65–70. DOI: 10.1007/s11746-003-0652-x
25. Belbah, H.; Amira-Guebailia, H.; Affoune, A.M.; Djaghout, I.; Houache, O.; Al-Kindi, M.A. Effect of a natural brightener, *Daphne gnidium* L. on the quality of nickel electroplating from watts bath. *Journal of New Materials for Electrochemical Systems*. **2016**, 19: 97–102. DOI: 10.14447/jnmes.v19i2.336