

Studi Pustaka - Penggunaan Zat Aditif Sintetik dan Ekstrak Tumbuhan dalam Elektrodeposisi Seng

Jimmy Askhan, Muhamad Alvin Reagen, Avidlyandi, dan Salprima Yudha S*

Didaftarkan: [27 Desember 2024]

Direvisi: [30 Desember 2024]

Terbit: [31 Desember 2024]

ABSTRAK: Elektrodeposisi atau elektroplating merupakan proses pelapisan logam secara kimiawi yang didukung dengan bantuan arus listrik dalam rangka memodifikasi struktur permukaan, yang bermuara pada perbaikan permukaan logam dan meningkatkan penampilan serta kinerjanya. Dalam rangka memperoleh hasil pelapisan seng yang optimal, perlu disertai pengendalian pertumbuhan kristal serta distribusi ion seng terhadap substrat untuk menghasilkan lapisan deposisi seng yang halus, merata dan terdeposisi dengan baik. Penambahan zat aditif sintetik maupun ekstrak tanaman menjadi alternatif dalam mencapai tujuan tersebut. Dua kelompok material tersebut memiliki efektivitas masing-masing dalam menghasilkan morfologi permukaan yang lebih halus, meningkatkan kilap, dan struktur kristal yang merata.

PENDAHULUAN

Metode elektrodeposisi atau elektroplating adalah proses elektrokimia yang diterapkan untuk modifikasi struktur permukaan, yang dapat memperbaiki permukaan logam yang rusak dan meningkatkan penampilan dan kinerjanya [1]. Elektrodeposisi atau pelapisan bisa dilakukan dengan menggunakan larutan elektrolit kromium, tembaga, seng, nikel dan lainnya. Hal ini dilakukan untuk memberikan lapisan sehingga bisa mengurangi kontak antara logam utama (*yang dilapisi*) dengan lingkungannya. Proses pelapisan pada suatu material menggunakan metode elektrodeposisi adalah salah satu solusi yang tepat untuk mencegah korosi dan memperbaiki lapisan permukaan logam [2].

Pada proses elektrodeposisi sering juga digunakan penambahan zat aditif pada larutan elektrolit. Zat aditif tersebut berperan untuk mempengaruhi pertumbuhan kristal logam selama proses elektrodeposisi, sehingga permukaan yang dihasilkan lebih halus, cerah, dan mengkilap. Terdapat banyak macam zat aditif yang digunakan dalam proses elektrodeposisi, baik itu sintetik maupun menggunakan ekstrak dari bahan alam. Zat sintetik diantaranya NP16 (polioksietilen nonil fenil eter), OCBA (ortho-kloro benzil aldehida) dan S40 (polioksietilen lauril amina) dan lain-lain, sedangkan ekstrak tumbuhan yang pernah dilakukan kajian adalah seperti *Pyracantha coccinea* (Bunga berduri merah) [3], *Urtica dioica* (jelatan) [4], *Saccharum officinarum* (Tanaman Tebu) [5], *Nicotiana tabacum* (Tembakau) [6], *Ananas comosus* (Nanas) [7], *Allium cepa* (Bawang merah) [8], *Punica granatum* (Buah delima) [9], *Zingiber officinale* (Jahe) [9], *Taxus baccata* (Tanaman yew) [10], *Apium graveolens* [11]. Ekstrak bahan alam dapat digunakan sebagai zat aditif

dikarenakan mengandung senyawa-senyawa antioksidan yang memiliki sifat kimia dan fisik yang sesuai dalam mempengaruhi kualitas pelapisan logam yang dihasilkan, selain itu bahan alam juga dapat mempengaruhi sifat elektrokimia dari larutan elektrolit sebagai pengubah densitas arus dan tegangan deposisi [12]. Hasil telaah ini diharapkan dapat memberikan gambaran efektifitas penggunaan zat aditif sintetik dan ekstrak tumbuhan dalam proses elektrodposisi seng pada permukaan logam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

ZAT ADITIF SINTETIK

Pada elektrodposisi seng, telah banyak penelitian yang dilakukan dalam pelapisan logam. Seng atau Zinc (simbol Zn) berfungsi meningkatkan kualitas dari logam yang dilapisi menjadi lebih halus dan bagus. Beberapa zat sintetik pada proses elektrodposisi adalah NP16 (*polyoxyethylene nonyl phenyl ether*), OCBA (*o-chloro benzyl aldehyde*), S40 (*polyoxyethylene lauryl amine*), CTAB (*Cetyl trimethyl ammonium bromide*), SH (*Salicylaldehyde*), AA (*Acetic acid*) dan VV (*valine and veratraldehyde*).

Efek penambahan pada kualitas morfologi serta bentuk permukaan lapisan dengan penambahan aditif sintetik NP16, OCBA dan SP40 telah dikaji secara mendalam. Penggunaan NP16 1,5% menghasilkan morfologi yang menggumpal, menghasilkan morfologi yang tidak halus dan terdapat partikel-partikel besar yang terlihat. Kemudian kajian lebih lanjut menggunakan campuran zat aditif NP16 1,5% dan S40 0,2% menghasilkan perbaikan yang cukup signifikan dengan menunjukkan hasil morfologi lebih halus, rata, tidak terlihat partikel besar atau kecil. Hasil yang lebih baik ditunjukkan dengan penambahan aditif berupa campuran NP16 1,5% dan 0,15% OCBA yang menghasilkan morfologi yang relatif lebih halus, meskipun partikel kecil masih terlihat di permukaannya. Hasil yang menarik lainnya bahwa didapatkan hasil morfologi yang lebih halus dengan penambahan tiga zat aditif yang berbeda secara bersamaan, yaitu NP16 1,5%, OCBA 0,15% dan S40 0,2%. Campuran aditif ini pada proses elektroplating seng menghasilkan morfologi sangat halus, partikelnya sangat kecil berukuran 10-20 nm. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi dari berbagai zat aditif dapat meningkatkan kualitas deposisi menjadi semakin baik [13].

Selain itu, penambahan zat aditif juga dapat menggunakan larutan 1-ethyl-3-methylimidazolium trifluoromethylsulfonate. Hasil riset tersebut menunjukkan bahwa sebelum digunakan aditif pada proses elektroplating seng, lapisan yang dihasilkan kasar dan terdapat granula-granula besar dan kristal yang tidak beraturan. Namun, setelah dilakukan penambahan larutan 1-ethyl-3-methylimidazolium trifluoromethylsulfonate, terjadi perubahan yang cukup signifikan, yaitu permukaan lapisan yang semula kasar dan bergranula, menjadi lebih halus, kristal yang mengecil dan seragam [14].

Dalam riset lain, penambahan zat aditif yang beragam pada electroplating seng, diantaranya menggunakan zat aditif CTAB (*Cetyltrimethylammonium bromide*), SH (*Salicylaldehyde*), AA (*Acetic acid*). Pada awalnya, percobaan elektrodposisi Zn dilakukan tanpa menggunakan zat aditif, terbentuk permukaan pori yang berbentuk heksagonal tipis yang tidak beraturan. Setelah dilakukan penambahan zat aditif CTAB dengan konsentrasi 0,0038 M menghasilkan butiran kecil yang berbentuk kristal jarum dengan ukuran yang

seragam. Lebih jauh lagi, menggunakan penambahan aditif campuran CTAB + SH menghasilkan permukaan logam yang berpori dan semi terang, berbentuk jarum yang lebih besar dari sebelumnya. Selain itu, jika dilakukan penambahan aditif SH + AA, hasil elektroplating seng menghasilkan permukaan dengan bentuk heksagonal yang tersusun longgar yang sejajar lurus dengan permukaan lapisan. Hal menarik yang ditemukan adalah saat menggunakan semua zat aditif dalam bentuk campuran CTAB, SH dan AA, hasil pelapisan menunjukkan permukaan yang lebih sempurna didukung ukuran butiran yang sangat kecil berukuran 21 nm dan terlihat seragam [15].

Kajian lain terkait penggunaan CTAB juga dapat dikombinasikan dengan zat aditif lainnya agar memaksimalkan efisiensi aditifnya. Salah satunya dapat dikombinasikan dengan *ethyl vanilin* (EV) dalam proses elektrodposisi seng. Hasil morfologi yang didapatkan juga sangat bagus, permukaan dengan pori yang tertutup, merata dan hanya terdapat butiran halus pada permukaan pelapisan [16]. CTAB juga dapat dikombinasikan dengan *benzoic acid* (BA) dan *2-bromo-3-chloro-5, 5-dimethylcyclohex-2-enone* (BCD) [17].

Selain itu, kombinasi CTAB dan VV (*valine and veratraldehyde*) sebagai zat aditif untuk memperbaiki lapisan menjadi lebih cerah dan permukaan yang lebih halus. Elektrodposisi tanpa menggunakan aditif kombinasi tersebut menunjukkan permukaan tumpukan yang berbentuk heksagonal yang sejajar dengan elektroda. Di sisi lain, penambahan CTAB menghasilkan permukaan yang berbentuk kristal jarum dengan ukuran yang seragam. Hal menarik ditemukan saat setelah itu dilakukan penambahan campuran aditif sintetik CTAB dan VV pada konsentrasi yang bervariasi. Penambahan campuran aditif tersebut menghasilkan permukaan yang halus, ukuran butiran yang semakin kecil. Analisis ini menunjukkan adanya pengaruh gabungan bahan pada pemurnian atau penghalusan permukaan deposit yang terbentuk. Rasionalisasi terhadap banyaknya studi terkait dengan penggunaan CTAB sebagai aditif adalah bahwa karena CTAB mampu menurunkan tegangan permukaan karena sifatnya sebagai surfaktan kationik. Surfaktan ini memiliki struktur kimia yang unik, terdiri dari dua bagian, yaitu bagian hidrofilik (yang menyukai air) dan bagian hidrofobik (yang menolak air). Kedua bagian ini akan berorientasi di permukaan air. Pada bagian hidrofobik, terdapat rantai hidrokarbon yang terdiri dari 16 atom karbon, yang juga dikenal dengan nama *cetyl group* atau *hexadecyl group* ($C_{16}H_{33}-$), yang cenderung menghindari air. Sebaliknya, bagian hidrofilik terdiri dari grup *trimethyl ammonium* ($N^+(CH_3)_3$), yang bermuatan positif dan mudah larut dalam air, berinteraksi dengan molekul air karena sifatnya yang hidrofilik [18].

Kajian lebih lanjut menunjukkan penggunaan kombinasi aditif antara *polyethylene glycol* (PEG) dan *syringaldehyde* (SGA) [19] yang menghasilkan deposit yang bagus pula. Selain itu aditif komersil seperti *Eldiem carrier*, *Eldiem Booster* dan *Bright Enhancer* juga pernah dilakukan dalam proses elektrodposisi seng, dengan menggunakan perbandingan rasio 5:2:1 [20]. Selain itu juga telah dilakukan variasi konsentrasi yang menghasilkan morfologi terbaik dengan dengan *carier* 3.13 *booster* 3.75 *bright enhancer* 0.63. Hasil yang didapat sangat mengkilap [21]. Zat aditif lain yang sangat umum digunakan dalam dunia industri seperti *Envirozin conditioner* (CA1) dan *Envirozin 100 initial Brightener* (CA2) juga telah dikaji dalam beberapa penelitian. Penggunaan kedua aditif ini juga sangat efektif jika

digabungkan secara bersamaan menghasilkan deposit yang lebih maksimal dibandingkan hanya menggunakan satu aditif saja [22][23]. *Dextrin* dan *Thiourea* juga merupakan zat yang dapat digunakan sebagai aditif pada proses elektrodposisi *zinc*, waktu yang digunakan 15-18 menit dengan konsentrasi 2-8% dengan kombinasi zat aditif ini dapat menghasilkan deposit yang sangat halus, dengan permukaan yang rata serta bentuk kristal yang seragam [24].

Adapun penggunaan zat aditif lainnya yaitu menggunakan gelatin dan *3,4,5-trimethoxy benzaldehyde* dengan *curent density* $2\text{A}/\text{dm}^2$, zat aditif ini juga efektif untuk digunakan dalam proses elektrodposisi seng (Zn). Pada pengamatan awal deposisi tanpa menggunakan aditif menghasilkan kristal yang tidak seragam dan menghasilkan endapan yang berbeda-beda serta ukuran kristal yang besar. Namun setelah ditambahkan zat aditif gelatin masih belum menghasilkan produk dengan perbedaan yang signifikan. Demikian juga jika hanya ditambahkan dengan aditif *3,4,5-Trimethoxy benzaldehyde* saja menghasilkan kristal yang cukup seragam dan menunjukkan perubahan signifikan. Hasil terbaik jika proses elektrodposisi dilakukan dengan penambahan *3,4,5-Trimethoxy benzaldehyde* dan gelatin secara bersamaan, yang menghasilkan deposisi yang halus, kristal yang seragam dan permukaan yang cerah dan mengkilap [25]. Selain itu, riset lain juga melakukan penambahan zat aditif sintetik dengan menggunakan kumarin [26][27]. Zat kumarin sebagai aditif digunakan dengan *curren density* $4\text{A}/\text{dm}^2$. Langkah awal, elektrodposisi seng dilakukan tanpa menggunakan aditif yang menghasilkan permukaan yang kasar. Namun hasil sebaliknya diperoleh setelah elektrodposisi dilakukan dengan menggunakan aditif kumarin. Permukaan yang dihasilkan menunjukkan adanya distribusi partikel secara efisien, disertai ukuran butiran yang lebih halus serta bentuk kristal yang merata. Hasil ini menunjukkan kumarin terbukti dapat digunakan sebagai aditif untuk memberikan permukaan yang lebih halus dan merata [26].

Branched polyethyleneamine (BPEI) juga dapat digunakan sebagai aditif dalam electroplating seng. Hasil riset tersebut menunjukkan bahwa sebelum dilakukan penambahan aditif, permukaan dari lapisan masih terdapat retakan, permukaan yang halus, kristal berbentuk heksagonal. Hasil yang berbeda diperoleh setelah dilakukan elektrodposisi dengan menggunakan penambahan zat aditif BPEI (konsentrasi 300 ppm, current density $13,5\text{ mA}/\text{cm}^2 - 110\text{ mA}/\text{cm}^2$). Permukaan menjadi lebih halus, merata, dan kristal kecil yang seragam [28][29]. Selain itu, larutan *polyquaternium-2* (NCZA) dan *sodium propargyl sulfonate* (NCZB) juga dapat digunakan sebagai aditif untuk menghasilkan morfologi yang sangat halus pada hasil proses elektrodposisi seng [30].

Dalam elektrodposisi seng dapat juga digunakan pelarut eutektik seperti *nicotinic acid* (NA), *boric acid* (BA), dan *benzequinone* (BQ). Sebelum perlakuan penambahan aditif, permukaan lapisan sangat tidak rata dan granula yang sangat besar, setelah itu dilakukan penambahan zat aditif secara terpisah NA 0,05 M, BA 0,2 M, dan BQ 0,03 M, deposit yang dihasilkan dari ketiga zat aditif tersebut mengalami perubahan yang signifikan dari yang sebelumnya, membuat lapisan menjadi halus dan lebih rata [31].

Pada riset lain, penambahan zat aditif larutan polar pada proses elektrodposisi seng juga telah dilakukan pengkajian, yaitu *acetonitrile*, *ethylene diamine* dan *ammonia*, proses

elektrodeposisi dilakukan pada suhu 50°C dan *current density* 2,5 mA/cm² dengan waktu perendaman selama 30 menit. Penampakan permukaan terbaik diperoleh saat proses elektrodeposisi yang dilakukan menggunakan larutan *acetonitrile*. Penampakan tersebut didukung dengan ukuran kristal yang lebih kecil dan seragam. Di sisi lain, zat aditif dengan *ethylene-diamin* dan *ammonia* menghasilkan permukaan dengan kristal yang cukup besar dan tidak merata. Larutan polar dapat digunakan dapat mencerahkan karena kemampuannya menghambat adsorpsi klorida di permukaan elektroda serta dapat membentuk endapan amorf [32].

Penggunaan tambahan zat aditif tidak selalu menghasilkan morfologi yang lebih baik dibandingkan tanpa menggunakan aditif. Hal ini ditunjukkan oleh perilaku aditif sintetik seperti MgO/MnO₂. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa penambahan aditif pada proses elektrodeposisi yang dipengaruhi oleh konsentrasi. Saat konsentrasi 6 g/L MgO-MnO₂ dan konsentrasi 12 g/L MgO-MnO₂ menghasilkan deposisi yang baik dengan permukaan yang homogen, lebih halus dan ukuran partikel yang kecil. Namun, pada konsentrasi 18 g/L MgO-MnO₂, hasil elektrodeposisi menunjukkan adanya cacat deposisi, kristal yang tidak seragam [33].

Dalam analisis elektrodeposisi yang menggunakan zat aditif sintetik, tentunya menghasilkan hasil elektrodeposisi yang berbeda-beda, dari hasil telaah pustaka tentang pemanfaatan zat sintetik, hasil elektrodeposisi dapat dipengaruhi oleh konsentrasi elektrolit yang digunakan, kekuatan arus atau *current density*, suhu atau temperatur, konsentrasi aditif, jenis aditif, waktu elektrodeposisi, serta jenis substrat, maka dari itu perlu dilakukan telaah lebih lanjut dalam hal faktor hasil elektrodeposisi untuk menghasilkan hasil elektrodeposisi yang maksimal.

ADITIF – EKSTRAK TUMBUHAN

Selain menggunakan bahan zat aditif sintetik dalam proses elektroplating yang, dapat juga digunakan bahan aditif dari ekstrak tumbuhan sebagai bahan tambahan. Ekstrak *Pyracantha coccinea* M. Roem atau yang biasa disebut tanaman duri api merah, ditemukan berpengaruh terhadap morfologi lapisan elektrodeposisi yang. Hasil pengamatan pada morfologi elektrodeposisi yang tanpa penambahan zat aditif tersebut menunjukkan adanya morfologi dengan kristal dendritik yang tidak merata, partikel kasar dan halus. Jika dibandingkan dengan hasil elektrodeposisi yang dipengaruhi ekstrak tanaman duri api merah terlihat morfologi yang bergranula yang sangat halus dalam bentuk kristal kembang kol, bentuknya rata, padat dan mengkilap [3]. Ekstrak *Urtica dioica* L. (Jelatan), telah dimanfaatkan proses elektrodeposisi yang dengan hasil deposit yang sangat halus dan merata, sangat direkomendasikan sebagai aditif alternatif pengganti zat aditif sintetik [4]. *Saccharum officinarum* atau ekstrak tanaman tebu juga dapat digunakan sebagai zat aditif alami untuk meningkatkan kualitas morfologi dari elektrodeposisi yang. Jika elektrodeposisi dilakukan tanpa menggunakan ekstrak tumbuhan tersebut, menghasilkan elektrodeposisi yang kasar. Namun, setelah ditambahkan ekstrak tanaman tebu, menghasilkan morfologi yang cukup merata, struktur kristal yang tertutup, namun masih terdapat granula yang dihasilkan pada pengamatannya. Pada tebu dan tembakau terdapat sukrosa, sukrosa dapat

berperan dalam elektrodposisi seng karena akan membentuk ion kompleks dengan Zn dalam larutan elektrolit. Hal inilah yang membuat sukrosa dapat membantu mengatur konsentrasi ion seng yang untuk proses elektrodposisi. Berdasarkan hal tersebut, maka sukrosa dapat membantu untuk mencegah terjadinya deposisi yang terlalu cepat di area tertentu [5]. Kajian dalam riset lain melaporkan bahwa *Nicotiana tobaccum* (Tembakau) [6][7][34] juga dapat digunakan sebagai zat tambahan aditif.

Selain itu, ekstrak bawang merah (*Allium cepa*) telah dimanfaatkan, pelapisan ini dilakukan pada baja lunak dan dilakukan pengamatan menggunakan *scanning electron microscope* (SEM). Morfologi hasil elektrodposisi tanpa menggunakan ekstrak wabawangh merah, terlihat kasar dan tidak beraturan. Saat elektrodposisi menggunakan penambahan ekstrak bawang merah, morfologi yang dihasilkan tidak berpori, halus dan rata, serta padat [8]. Ekstrak lainnya seperti *Ananas comosus* (Nanas) [35], *Punica granatum* (Buah delima) [9] dan *Taxxus baccata* (Tanaman Yew) [10] juga telah dapat digunakan sebagai aditif dalam proses elektrodposisi dan hasil yang didapatkan menunjukkan hasil yang serupa seperti ekstrak lainnya. Selain itu, tanaman rempah lain juga dapat digunakan sebagai zat aditif alternatif dalam proses elektrodposisi seng seperti *Zingiber officinale* (Jahe) [9], *Apium graveolens* L. (Daun seledri) [11]. Secara umum, hasil deposit yang dihasilkan cukup bagus, merata dan halus.

Dalam penggunaan aditif alami dari ekstrak tumbuhan, menghasilkan elektrodposisi tidak kalah bagus dengan aditif sintetik, tentu dengan beberapa faktor yang mempengaruhinya sehingga menghasilkan kualitas deposisi yang berbeda, mulai dari kandungan senyawa dari ekstrak, konsentrasi ekstrak, suhu atau temperatur, substrat yang digunakan. Penggunaan aditif sintetik dapat menghasilkan deposisi yang bagus, namun penggunaan aditif alami berupa ekstrak tumbuhan juga perlu terus dikaji, karena adana kemudahan dalam penyediaannya.

KESIMPULAN

Hasil kajian penggunaan zat aditif sintetik maupun aditif alami berupa ekstrak tumbuhan pada proses elektrodposisi seng telah menghasilkan deposit yang halus, merata dan mengkilap. Selain penambahan zat aditif, ada juga berbagai macam faktor yang dapat mempengaruhi kualitas pelapisan diantaranya kombinasi aditif, konsentrasi larutan, suhu larutan, kerapatan arus, waktu pelapisan serta sifat senyawa aditif yang digunakan maupun kandungan senyawa yang terdapat pada ekstrak tumbuhan.

PROSEDUR PENELITIAN

Studi pustaka ini dilakukan dengan memilah beberapa pustaka penting yang terakit langsung dengan proses elektrodposisi seng yang menggunakan zat aditif di dalam larutan elektrolit seng. Kajian diutamakan pada pengaruhnya terhadap morfologi lapisan deposisi. Hasil kajian tersebut ditulis dan dikemukakan secara komprehensif untuk menjadi bahan pustaka bagi penelitian yang bergerak pada bidang kajian elektrodposisi seng pada logam tertentu.

DEKLARASI

Para Penulis tidak memiliki konflik dalam hal penulisan dan pendanaan.

PERSANTUNAN

JA sangat berterima kasih kepada Program Studi Magister (S2) Kimia FMIPA Universitas Bengkulu yang telah memberikan kesempatan untuk menempuh pendidikan magister kimia.

INFORMASI TENTANG PENULIS

Penulis Rujukan:

Salprima Yudha S
Laboratorium Kimia Anorganik Fisik
Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA)
Universitas Bengkulu

Para Penulis

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

M Alvin Reagen
Laboratorium Kimia Anorganik Fisik
Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA)
Universitas Bengkulu

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

PUSTAKA

- [1] Torabinejad, V.; Aliofkhazraei, M.; Assareh, S.; Allahyarzadeh, M.H.; Rouhaghdam, A.S. Electrodeposition of Ni-Fe alloys, composites, and nano coatings–A review. *Journal of Alloys Compounds*, **2017**, 691:841–59. [http:// dx.doi.org/10.1016/j. jallcom. 2016.08.329](http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.08.329).
- [2] Haqiqi, M.; Rusiyanto, R.; Fitriyana, D.F.; Kriswanto, K.; Pengaruh Warna Pelapis dan Ketebalan Lapisan Pada Proses Zinc Electroplating Terhadap Laju Korosi Baja AISI 1015. *Jurnal Inovasi Mesin*, **2021**, 3(1):27–34.
- [3] Karima, H.; Sameh, B.; Baya, B.; Louiza, B.; Soraya, H.; Hatem, B.; Merzoug, B. Corrosion inhibition impact of *Pyraecanthia coccinea* M. Roem extracts and their use as additives in zinc electroplating: Coating morphology, electrochemical and weight loss investigations. *Journal of the Taiwan Institute Chemical Engineers*, **2021**, 121:337–48. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2021.04.007>.
- [4] Zaabar, A.; Rocca, E.; Veys-Renaux, D.; Aitout, R.; Hammache, H.; Makhoulfi, L.;

- Belhamel, K. Influence of nettle extract on zinc electrodeposition in an acidic bath: Electrochemical effect and coating morphology. *Hydrometallurgy*, **2020**, 191:1-6. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2019.105186>.
- [5] Loto, C.A.; Olofinjana, A.; Popoola, A.P.I. Effect of Saccharum officinarum juice extract additive on the electrodeposition of Zinc on mild steel in acid chloride solution. *International Journal Electrochemical Science*, **2012**, 7(10):9795–811. [https://doi.org/10.1016/S1452-3981\(23\)16900-8](https://doi.org/10.1016/S1452-3981(23)16900-8).
- [6] Loto, C.A. Synergistic effect of tobacco and sugarcane extracts on the surface morphology of electrodeposited zinc on mild steel. *International Journal Electrochemical Science*, **2013**, 8(9):11058–71. [https://doi.org/10.1016/S1452-3981\(23\)13169-5](https://doi.org/10.1016/S1452-3981(23)13169-5).
- [7] Loto, C.A.; Popoola, A.P.I.; Allanah, Y.N. Synergism of saccharum officinarum, nicotiana tabaccum and ananas comusus extract additives on the morphological structure and quality of electroplated zinc on mild steel. *International Journal Electrochemical Science*, **2013**, 8(9):11371–85. [https://doi.org/10.1016/S1452-3981\(23\)13191-9](https://doi.org/10.1016/S1452-3981(23)13191-9).
- [8] Rajendran, S.; Devi, K.; Regis, P.P.; Amalraj, J.; Jeyasundari, J.; Manivannan, M. Electroplating using environmental friendly garlic extract: A case study. *Zaštita Materijala*, **2009**, 50(3):131–40. UDC:620.197.5:621.357.7.
- [9] Loto, R.T.; Loto, C.; Akinyele, M. Zinc electrodeposition of mild steel in the presence of ginger, pomegranate and celery extracts. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, **2020**, 965(1): 1-4. doi:10.1088/1757-899X/965/1/012012.
- [10] Hanini, K.; Merzoug, B.; Boudiba, S.; Selatnia, I.; Laouer, H.; Akkal, S. Influence of different polyphenol extracts of Taxus baccata on the corrosion process and their effect as additives in electrodeposition. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, **2019**, 14:1-14. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2019.100189>.
- [11] Loto, R.T.; Loto, C.A.; Akinyele, M. Effect of ginger, pomegranate and celery extracts on zinc electrodeposition, surface morphology and corrosion inhibition of mild steel. *Alexandria Engineering Journal*, **2020**, 59(2):933–41. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.03.014>.
- [12] Singh, R.; Iye, S.; Prasad, S.; Deshmukh, N.; Gupta, U.; Zanje, A.; Patil, S.; Joshi, S. Phytochemical Analysis of Muntingia calabura Extracts Possessing Anti-Microbial and Anti-Fouling Activities. *International Journal Pharmacognosy Phytochemical Research*, **2017**, 9(6): 826-832. <http://dx.doi.org/10.25258/phyto.v9i6.8186>.
- [13] Hsieh, J.C.; Hu, C.C.; Lee, T.C. The Synergistic Effects of Additives on Improving the Electroplating of Zinc under High Current Densities. *Journal of the Electrochemical Society*, **2008**, 155(10):D675-D681. DOI: 10.1149/1.2967343.
- [14] Liu, Z.; ZeinElAbedin, S.; Borisenko, N.; Endres, F. Influence of an Additive on Zinc Electrodeposition in the Ionic Liquid 1-Ethyl-3- methylimidazolium Trifluoromethylsulfonate. *Chem ElectroChem*, **2015**, 2(8):1159–63. DOI:10.1002/celc.201500108.
- [15] Nayana, K.O.; Venkatesha, T.V. Synergistic effects of additives on morphology, texture and discharge mechanism of zinc during electrodeposition. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, **2011**, 663(2):98–107. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jelechem.2011.10.001>.
- [16] Nayana, K.O.; Venkatesha, T.V.; Praveen, B.M.; Vathsala, K. Synergistic effect of additives on bright nanocrystalline zinc electrodeposition. *Journal of Applied Electrochemistry*, **2011**, 41(1):39–49. <http://dx.doi.org/10.1007/s10800-010-0205-8>.

- [17] Onkarappa, N.K.; Satyanarayana, J.C.A.; Suresh, H.; Malingappa, P. Influence of additives on morphology, orientation and anti-corrosion property of bright zinc electrodeposit. *Surface & Coatings Technology*, **2020**, 397:1-31. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.126062>.
- [18] Nayana, K.O.; Venkatesha, T.V. Bright zinc electrodeposition and study of influence of synergistic interaction of additives on coating properties. *Journal of Industrial Engineering Chemistry*, **2015**, 26:107–15. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2014.11.021>.
- [19] Onkarappa, N.K.; Adarakatti, P.S.; Malingappa, P. A Study on the Effect of Additive Combination on Improving Anticorrosion Property of Zinc Electrodeposit from Acid Chloride Bath. *Industrial & Engineering Chemical Research*, **2017**, 56(18):5284–95. DOI:10.1021/acs.iecr.7b00154
- [20] Schlesinger, M.; Paunovic, M. Modern Electroplating, 5th Ed.; A John Wiley & Sons Inc Publication : University of Windsor, Canada, **2010**; 1-729.
- [21] Mohammed, A.J.; Moats, M. Effects of Carrier, Leveller, and Booster Concentrations on Zinc Plating from Alkaline Zincate Baths. *Metals*, **2022**, 12(4): 1-11. <https://doi.org/10.3390/met12040621>.
- [22] Lorza, R.L.; Calvo, M.Á.M.; Labari, C.B.; Fuente, P.J.R. Using the multi-response method with desirability functions to optimize the Zinc electroplating of steel screws. *Metals*. **2018**, 8(9):1–20. doi:10.3390/met8090711.
- [23] Sciscenko, I.; Pedre, I.; Hunt, A.; Bogo, H.; González, G.A. Determination of a typical additive in zinc electroplating baths. *Microchemical Journal*, **2016**, 127:226–30. <http://dx.doi.org/10.1016/j.microc.2016.03.015>.
- [24] Loto, C.A.; Loto, R.T. Effect of dextrin and thiourea additives on the zinc electroplated mild steel in acid chloride solution. *International Journal of Electrochemical Science*, **2013**, 8(12):12434–50. [https://doi.org/10.1016/S1452-3981\(23\)13278-0](https://doi.org/10.1016/S1452-3981(23)13278-0).
- [25] Shivakumara, S.; Sachin, H.P.; Achary, G.; Arthoba, Naik, Y.; Venkatesha, T.V. Electrodeposition of zinc from sulphate solution. *Turkish Journal of Chemistry*, **2006**, 22(8–9):371–7. <https://journals.tubitak.gov.tr/chem/vol26/iss5/11>.
- [26] Mouanga, M.; Ricq, L.; Douglade, J.; Berçot, P. Corrosion behaviour of zinc deposits obtained under pulse current electrodeposition: Effects of coumarin as additive. *Corrosion Science*, **2009**, 51(3):690–8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2008.12.020>
- [27] Mouanga, M.; Ricq, L.; Douglade, G.; Douglade, J.; Berçot, P. Influence of coumarin on zinc electrodeposition. *Surface & Coatings Technology*, **2006**, 201(3–4):762–7. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2005.12.036>.
- [28] Hashemi, A.B.; Kasiri, G.; Mantia F.L. The effect of polyethyleneimine as an electrolyte additive on zinc electrodeposition mechanism in aqueous zinc-ion batteries. *Electrochimica Acta*, **2017**, 258:703–8. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2017.11.116>
- [29] Hsieh, J.C.; Hu, C.C.; Lee, T.C. Effects of polyamines on the deposition behavior and morphology of zinc electroplated at high-current densities in alkaline cyanide-free baths. *Surface & Coatings Technology*, **2009**, 203(20–21):3111–5. <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2009.03.035>
- [30] Zhan, Z.; Zhang, Q.; Wang, S.; Liu, X.; Sun, Z.; Zhang, K.; Dhu, N.; Shu, W. Effect of Additives on Electrodeposition of Zinc from Alkaline Zincate Solution and Their Synergy Mechanism. *International of Journal Electrochemical Science*, **2021**, 16(3):1–16. DOI:10.20964/2021.03.24

- [31] Alesary, H.F.; Cihangir, S.; Ballantyne, A.D.; Harris, R.C.; Weston, D.P.; Abbott, A.P.; Ryder, K.S. Influence of additives on the electrodeposition of zinc from a deep eutectic solvent. *Electrochimica Acta*, **2019**, 304:118–30. 10.1016/j.electacta.2019.02.090.
- [32] Abbott, A.P.; Barron, J.C.; Frisch, G.; Ryder, K.S.; Silva, A.F. The effect of additives on zinc electrodeposition from deep eutectic solvents. *Electrochimica Acta*, **2011**, 56(14):5272–9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2011.02.095>
- [33] Kanyane, L.R.; Fayomi, O.S.I.; Popoola, A.P.I.; Sibisi, P.N. Effect of MgO/MnO₂ additives on the structural properties of zinc electroplated mild steel. *Procedia Manufacturing*, **2019**, 35:265–71. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.05.038>
- [34] Loto, C.A.; Loto, R.T. Effects of Nicotiana tobaccum extract additive on the quality of electroplating of zinc on mild steel. *Polish of Journal Chemical Technology*, **2013**, 15(1):38–45. 10.2478/pjct-2013-0008.
- [35] Loto, C.A. Synergism of Saccharum officinarum and Ananas comosus extract additives on the quality of electroplated zinc on mild steel. *Research on Chemical Intermediates*, **2014**, 40(5):1799–813. DOI 10.1007/s11164-013-1083-6.