



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisis Pengaruh Waktu Dan Voltase Pada Proses Elektroplating Lapisan Seng Terhadap Laju Korosi Pada Baja ST37

Adam Maulana Fadli¹⁾, Untung Budiarto¹⁾, Wilma Amiruddim¹⁾

¹⁾Laboratorium Teknologi Material, Las, dan Produksi Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*)}e-mail : adammaulanaafadli@students.undip.ac.id

Abstrak

Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi waktu dan voltase proses elektroplating seng terhadap ketahanan korosi baja ST37. Proses dilakukan dengan variasi waktu 10, 15, dan 20 menit serta tegangan 6, 8, dan 10 volt menggunakan larutan $ZnSO_4$ pada suhu $26^{\circ}C$. Pengujian meliputi ketebalan lapisan menggunakan coating thickness gauge dan laju korosi dengan metode elektrokimia pada media NaCl 3,5%. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan tegangan dan waktu pelapisan meningkatkan ketebalan lapisan dari $7,3 \mu m$ hingga $28,1 \mu m$ serta menurunkan laju korosi dari $0,024961 mm/tahun$ menjadi $0,0045175 mm/tahun$. Kondisi optimal dicapai pada tegangan 10 V dengan waktu 20 menit, menghasilkan lapisan setebal $28,1 \mu m$ dan laju korosi terendah $0,0045175 mm/tahun$. Variasi parameter proses terbukti berpengaruh signifikan terhadap kualitas lapisan pelindung, di mana kombinasi tegangan tinggi dan waktu lebih lama memberikan perlindungan korosi terbaik pada baja ST37.

Kata Kunci : Elektroplating, Baja ST37, Laju Korosi, Lapisan Seng

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi manufaktur dan kebutuhan industri modern menuntut adanya peningkatan kualitas material, khususnya dalam hal ketahanan korosi, kekuatan mekanik, serta aspek estetika [1]. Salah satu metode yang banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan tersebut adalah proses elektroplating. Elektroplating atau lapis listrik merupakan proses pelapisan permukaan benda kerja konduktif dengan logam lain melalui bantuan arus listrik searah dalam suatu larutan elektrolit [2][3].

Teknik elektroplating telah lama menjadi bagian penting dalam kehidupan manusia karena penggunaannya yang luas dari rumah tangga hingga industri [4][5]. Metode ini bekerja dengan prinsip elektrokimia, yaitu memanfaatkan arus searah untuk melapisi permukaan material dengan logam tertentu. Aplikasi elektroplating memberikan banyak keuntungan, seperti memperbaiki penampilan, melindungi dari kerusakan akibat korosi, meningkatkan sifat mekanik, serta memperpanjang daya tahan

material. [6][7][8]. Pada proses pra perlakuan elektroplating menggunakan standar ASTM B183-18 tentang *Standard Practice for Preparation of Low-Carbon Steel for Electroplating* [9].

Besi dan baja memegang peran penting dalam perkembangan teknologi modern dan dalam lingkup kebutuhan industri, besi dan baja juga merupakan bahan utama dalam melakukan proses elektroplating [10]. Salah satu penerapannya adalah sebagai material utama konstruksi kapal. Proses pembuatan baja melibatkan pencampuran bijih besi dengan unsur paduan seperti aluminium, nikel, dan kromium untuk meningkatkan sifat mekanik. Dengan kombinasi tersebut, baja menjadi lebih kuat dan tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan [11][12]. Unsur karbon berperan penting sebagai penguat dengan cara menghambat pergeseran dislokasi dalam struktur kisi atom besi, sehingga memberikan peningkatan pada kekuatan serta kekerasan material. Walaupun memiliki sifat mekanik yang baik, baja tetap memiliki kelemahan pokok, yaitu sifatnya yang mudah terkorosi [13][14][15]. Salah satu contoh baja karbon rendah yang di pakai dalam elektroplating adalah Baja

ST37, Baja karbon rendah (ST37) tidak tergolong sebagai baja keras karena memiliki kandungan karbon yang relatif sedikit [15]. Baja jenis ini memiliki sifat kuat, mudah ditempa, dan dapat diproses baik dalam kondisi panas maupun dingin, dan baja ini sering digunakan pada baling-baling kapal dan lambung pada kapal [16].

Korosi merupakan bentuk kerusakan material yang timbul akibat reaksi kimia maupun elektrokimia antara baja dan lingkungannya, misalnya dengan oksigen, kelembapan, maupun zat agresif lainnya [17][18]. Untuk mencegah hal tersebut, digunakan berbagai metode proteksi, salah satunya teknik pelapisan. Proses pelapisan tidak hanya berfungsi sebagai penghalang korosi, tetapi juga meningkatkan daya tahan serta penampilan baja. Dengan demikian, material menjadi lebih awet sekaligus memiliki nilai estetika yang lebih tinggi [13][19][20]. Dalam laju korosi Klasifikasi standar ASTM G102-89 adalah yang menetapkan kategori untuk evaluasi laju korosi material logam [21]. Perhitungan laju korosi pada studi ini adalah dengan menggunakan metode elektrokimia. Metode elektrokimia adalah salah satu teknik yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat korosi dengan mengukur perbedaan potensial pada objek yang sedang dianalisis. Data ini kemudian digunakan untuk memperkirakan laju korosi tanpa memerlukan pengukuran dalam waktu yang lama. Salah satu kelebihan utama metode ini adalah kemampuannya dalam memberikan informasi langsung tentang laju korosi saat pengukuran dilakukan, sehingga prosesnya lebih efisien dan tidak memakan waktu yang panjang [22][23][24].

Pada studi terdahulu dari Yerikho, W. P. Raharjo, and B. Kusharjanta (2013), V. Malau and N. S. Lupp (2011), L. A. N. Wibawa, W. P. R. Kusharjanta, and B. Kusharjanta (2013), dan N. S. B. Ergie (2023) menyatakan bahwa kualitas hasil elektroplating pada baja karbon, baik dengan pelapis seng maupun nikel, sangat dipengaruhi oleh pengaturan parameter proses seperti tegangan, kuat arus, waktu pelapisan, serta kondisi larutan elektrolit. Variasi parameter tersebut terbukti berpengaruh langsung terhadap ketebalan lapisan, distribusi deposit, tingkat adhesi, kekerasan permukaan, hingga ketahanan terhadap korosi. Secara umum, kombinasi parameter yang optimal mampu menghasilkan lapisan pelindung yang seragam, lebih tebal, memiliki sifat mekanik yang lebih baik, serta memberikan perlindungan korosi yang lebih efektif [25][26][27][28]. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan mengembangkan studi terdahulu melalui fokus pada variasi tegangan dan waktu proses, dengan tujuan menemukan kombinasi parameter yang

paling optimal dalam menghasilkan lapisan pelindung yang efektif.

Berdasarkan latar belakang serta permasalahan yang telah dipaparkan, tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh variasi waktu dan tegangan listrik pada proses elektroplating terhadap ketebalan lapisan serta kemampuan baja ST37 dalam menahan korosi. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan menentukan kombinasi waktu dan tegangan yang paling efektif guna memperoleh hasil pelapisan optimal dalam evaluasi laju korosi.

Penelitian ini diharapkan bermanfaat sebagai referensi bagi industri pelapisan logam, khususnya proses elektroplating seng pada baja karbon rendah. Dengan pengaturan waktu dan tegangan yang tepat, hasil penelitian dapat membantu mencapai ketebalan lapisan sesuai standar, meningkatkan efisiensi produksi, menekan biaya, serta menghasilkan produk yang lebih berkualitas dan tahan lama.

2. METODE

2.1. Objek Penelitian

Baja karbon adalah baja paduan yang terdiri atas besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai paduan utama. Kandungan karbonnya berkisar antara 0,1% hingga 2,14% dan berperan penting sebagai penguat dengan cara menghambat pergeseran dislokasi pada kisi atom besi. Selain itu, baja karbon juga dapat mengandung unsur tambahan seperti sulfur, fosfor, silikon, atau mangan untuk menyesuaikan sifat yang diinginkan [14].

Objek penelitian ini adalah baja ST37, yaitu baja karbon rendah yang tidak termasuk dalam kategori baja keras karena kandungan karbonnya relatif kecil, kurang dari 0,3%. Baja ini sering disebut sebagai baja ringan (*mild steel*) atau baja perkakas. Dalam setiap ton baja karbon rendah terkandung sekitar 10–30 kg karbon. ST37 memiliki sifat mekanik yang cukup baik, seperti kekuatan yang memadai, mudah ditempa, serta dapat diproses baik pada kondisi panas maupun dingin. Penamaan “ST” merupakan singkatan dari steel, sedangkan angka “37” merepresentasikan nilai kekuatan tarik minimum sebesar 37 kg/mm² [11]. Adapun komposisi Baja ST37 untuk mengetahui isi dari Baja ST37 pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Baja ST37 [15]

Unsur	Kandungan
Karbon	0.15%
Silikon	0.01%
Mangan	0.60%
Fosfor	0.028%
Sulfur	0.050%

2.2. Elektroplating

Elektroplating merupakan teknik pelapisan logam pada permukaan logam lain dengan bantuan arus listrik, sehingga material yang akan dilapisi harus bersifat konduktif. Dalam bidang pengerjaan logam, metode ini termasuk ke dalam tahap akhir (*metal finishing*). Tujuan utama elektroplating adalah meningkatkan nilai estetika, misalnya melalui pelapisan emas, perak, kuningan, atau tembaga; memperbaiki kehalusan dan presisi permukaan dengan nikel atau kromium; serta memberikan perlindungan terhadap korosi, seperti halnya pelapisan seng pada baja. Selain itu, elektroplating juga dapat meningkatkan ketahanan komponen terhadap gesekan maupun kerusakan akibat korosi [8]. Penelitian dilaksanakan di CV. Eta Chrome Yogya, Jl. Klampis Daerah Istimewa Yogyakarta untuk proses elektroplating.

Hukum Ohm menjelaskan bahwa arus listrik yang mengalir dalam suatu larutan elektrolit dipengaruhi oleh beda potensial dan resistansi larutan tersebut. Besarnya arus (I) berbanding lurus dengan tegangan (V) yang diberikan, serta berbanding terbalik dengan hambatan (R) dari medium penghantar [7].

$$I = \frac{V}{R} \quad (1)$$

Keterangan, I menunjukkan besarnya arus yang mengalir dalam rangkaian dan diukur dalam satuan ampere, V adalah tegangan listrik atau beda potensial yang menggerakkan arus yang diukur dalam voltase, sedangkan R merupakan tahanan atau hambatan yang dialami arus listrik dalam rangkaian dan diukur dalam ohm. Ketiga besaran ini membentuk hubungan saling memengaruhi dalam aliran listrik, dimana arus yang mengalir dipengaruhi oleh besar tegangan dan hambatan yang ada.

2.3. Spesimen Uji

Penelitian ini menggunakan baja ST37 sebagai objek uji. Bahan yang dipakai berupa baja karbon rendah dengan kadar karbon sekitar 0,3% berdasarkan hasil uji komposisi. Sampel dibuat

dalam bentuk strip berukuran 80 mm × 40 mm × 8 mm, dan pada salah satu ujungnya diberi lubang sebagai tempat pengait ketika berfungsi sebagai katoda pada proses elektroplating. Fokus utama penelitian adalah mengevaluasi laju korosi baja ST37 setelah diberi lapisan pelindung seng melalui teknik elektroplating, berikut jumlah spesimen pada Tabel 2.

Tabel 2. Data kebutuhan Spesimen

Tegangan	6 V			Total
Waktu (menit)	10	15	20	
Uji Ketebalan	1	1	1	3
Uji Laju Korosi	1	1	1	
Tegangan	8 V			
Waktu (menit)	10	15	20	
Uji Ketebalan	1	1	1	3
Uji Laju Korosi	1	1	1	
Tegangan	10 V			
Waktu (menit)	10	15	20	
Uji Ketebalan	1	1	1	3
Uji Laju Korosi	1	1	1	
raw		1		10

2.4. Pre Treatment

Sebelum proses elektroplating dilakukan, tahap awal yang wajib dikerjakan adalah menyiapkan permukaan spesimen agar benar-benar bersih dan bebas dari kontaminasi. Tahap persiapan ini penting untuk menghilangkan sisa kotoran seperti minyak, lemak, garam, debu, maupun karat yang menempel pada material. Proses pembersihan dilakukan menggunakan beberapa metode, antara lain perendaman dalam larutan asam, penggunaan larutan alkali, maupun pelarut organik. Setelah pembersihan kimiawi selesai, dilakukan tahap berikutnya berupa perlakuan mekanis. Tujuan pembersihan mekanis adalah meratakan permukaan, menghilangkan bekas goresan, serta membuat spesimen lebih halus agar siap untuk menerima lapisan pada proses elektroplating.

2.5. Post Treatment

Setelah benda kerja selesai menjalani proses pelapisan elektroplating, langkah selanjutnya adalah membersihkannya dengan air dan mengeringkannya. Penting untuk memperhatikan kualitas air yang digunakan dalam proses ini. Sebagai contoh, air keran biasa dapat dimanfaatkan untuk pembilasan dan pendinginan, sementara air bebas mineral seperti air destilasi (*aquades*) digunakan khusus untuk pembuatan larutan, analisis kimia, serta penambahan kalsium dan magnesium. Hal ini disebabkan oleh kecenderungan kalsium dan magnesium untuk bereaksi dengan senyawa tertentu seperti tembaga

sianida (*copper cyanide*), perak sianida (*silver cyanide*), dan kadmium sianida (*cadmium cyanide*). Pada umumnya, air mengandung berbagai senyawa seperti garam bikarbonat, sulfat, klorida, dan nitrat. Sementara itu, pengaruh logam alkali terhadap konsentrasi larutan biasanya tidak signifikan

2.6. Proses Elektroplating

Langkah pertama sebelum melakukan proses elektroplating adalah pencucian menggunakan larutan asam yang bertujuan untuk menghilangkan lapisan oksida, karat, atau kotoran sejenisnya dari permukaan benda kerja melalui metode perendaman kimiawi. Larutan asam tersebut dibuat dengan mencampurkan air murni dan asam klorida (HCl). Setelah proses perendaman selesai, benda kerja dibilas dengan air mengalir untuk menghilangkan sisa larutan asam, kemudian dibilas lagi menggunakan alkohol 96% guna memastikan tidak ada residu kimia yang tertinggal. Terakhir, benda kerja dikeringkan untuk mempersiapkannya ke tahap selanjutnya.

Pada proses ini aturan yang digunakan dalam pra perlakuan yaitu ASTM B183-18 tentang *Standard Practice for Preparation of Low-Carbon Steel for Electroplating* [9]. Baja ST37 ini harus melakukan pembersihan mekanik yaitu menggunakan HCL dan juga air. Dalam tahapan ini spesimen akan direndam dalam larutan HCL selama 5-10 menit, lalu setelah direndam akan dibilas kembali menggunakan air untuk menghilangkan sisa residu kimia yang mungkin masih tersisa dalam proses pembersihan dan kemudian dikeringkan sebelum melakukan proses elektroplating. Berikut proses pembersihan menggunakan HCL pada Gambar 1(a) dan pembersihan menggunakan air pada Gambar 1(b).

Setelah selesai Pembersihan menggunakan larutan tahap selanjutnya adalah pembersihan secara mekanik. Pembersihan secara mekanis dilakukan untuk memperhalus permukaan dan membersihkan sisa-sisa goresan serta serpihan logam yang masih menempel pada spesimen. Untuk menghilangkan goresan dan serpihan tersebut, digunakan mesin pemoles. Sementara itu, proses penghalusan permukaan dilakukan dengan teknik buffing seperti Gambar 1(c).

Proses elektroplating bisa dilanjutkan apabila telah melalui tahap pembersihan larutan dan mekanik, setelah itu bisa dilanjutkan ke tahap proses elektroplating. Dalam pelaksanaan proses elektroplating, terdapat sejumlah aspek penting yang harus diperhatikan sebelum tahap pelapisan logam dilakukan pada material. Larutan yang digunakan harus sesuai dengan ketentuan yang berlaku, yaitu menggunakan *zinc oxide* sebagai

komponen utama. Selain itu, faktor suhu larutan juga memiliki peranan yang sangat krusial. Suhu proses elektroplating harus dikendalikan dan dijaga agar tidak melebihi 50°C. Pengaturan suhu ini tidak hanya berfungsi untuk menjaga stabilitas larutan, tetapi juga untuk mencegah terjadinya cacat pada lapisan pelapis. Ketentuan ini sesuai dengan standar yang diatur dalam BKI Volume G: *Guidance for the Corrosion Protection and Coating Systems*, yang memberikan pedoman mengenai perlindungan korosi dan sistem pelapisan pada material logam [29]. Lalu setelah aspek yang terdapat dalam proses elektroplating telah dipenuhi, proses elektroplating bisa dimulai dengan menggunakan variasi waktu 10 menit, 15 menit, 20 menit dan tegangan 6 V, 8 V, 10 V. berikut proses elektroplating pada Gambar 1(d), Gambar 1(e) menjelaskan tegangan pada proses elektroplating, dan Gambar 1(f) adalah hasil setelah proses elektroplating.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Gambar 1. (a) Pembersihan menggunakan HCL, (b) Pembersihan menggunakan air, (c) Pembersihan mekanik, (d) Proses elektroplating, (e) Voltas yang digunakan, (f) Hasil elektroplating

2.7. Pengujian Ketebalan

Salah satu parameter penting yang dianalisis adalah ketebalan lapisan hasil elektroplating. Pengukuran ketebalan dilakukan untuk mengetahui seberapa besar ion logam berhasil terisi pada permukaan baja karbon rendah setelah melalui proses elektroplating. Mengacu pada standar HES D 2003-17, lapisan elektroplating dinyatakan memenuhi syarat apabila memiliki ketebalan $8 \mu\text{m}$. Data ketebalan ini menjadi indikator keberhasilan proses pelapisan, karena semakin tebal dan merata lapisan yang terbentuk, maka semakin baik pula kemampuan lapisan dalam melindungi material dasar dari korosi maupun gesekan. Dalam penelitian ini, pengukuran ketebalan menggunakan alat coating thickness gauge. Berikut proses pengujian ketebalan menggunakan alat *Coating Ultrasonic Gauge* pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengujian Ketebalan

2.8. Pengujian Korosi

Laju korosi mengacu pada kecepatan penyebaran atau kerusakan material seiring berjalannya waktu. Untuk mengukur tingkat korosi, biasanya digunakan satuan mm/tahun (sesuai standar internasional) atau *mils per year* (mpy, sesuai standar British). Ketahanan suatu material terhadap korosi umumnya dinilai berdasarkan kisaran laju korosi antara 1 hingga 200 mpy. Berikut adalah tabel yang mengelompokkan ketahanan material berdasarkan tingkat laju korosi [20].

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya laju korosi pada setiap spesimen setelah diberi perlakuan elektroplating. Proses pengujian mengacu pada standar internasional *Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements*, yang berisi pedoman perhitungan laju korosi serta parameter pendukungnya melalui metode elektrokimia [21]. Untuk memperoleh data yang akurat, digunakan perangkat single channel potentiostat Autolab PGSTAT128N yang terhubung dengan perangkat lunak NOVA. Alat

tersebut mampu merekam berbagai parameter penting, seperti arus korosi, potensial korosi, serta tahanan polarisasi dengan tingkat ketelitian tinggi. Seluruh rangkaian uji dilakukan di Laboratorium Korosi dan Kegagalan Material, Departemen Teknik Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, yang memiliki fasilitas lengkap untuk mendukung penelitian ini. Berikut tabel laju korosi pada Tabel 3 dan gambar alat uji pada Gambar 3.

Tabel 3. Laju Korosi [20]

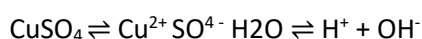
Relative Corrosion Resistance	Approximate Metric Equivalent mm/year
Outstanding	<0.02
Excellent	0.02 – 0.1
Good	0.1 – 0.5
Fair	0.5 – 1
Poor	42125
Unacceptable	5+



Gambar 3. Alat Uji Laju Korosi

2.9. Larutan Elektrolit

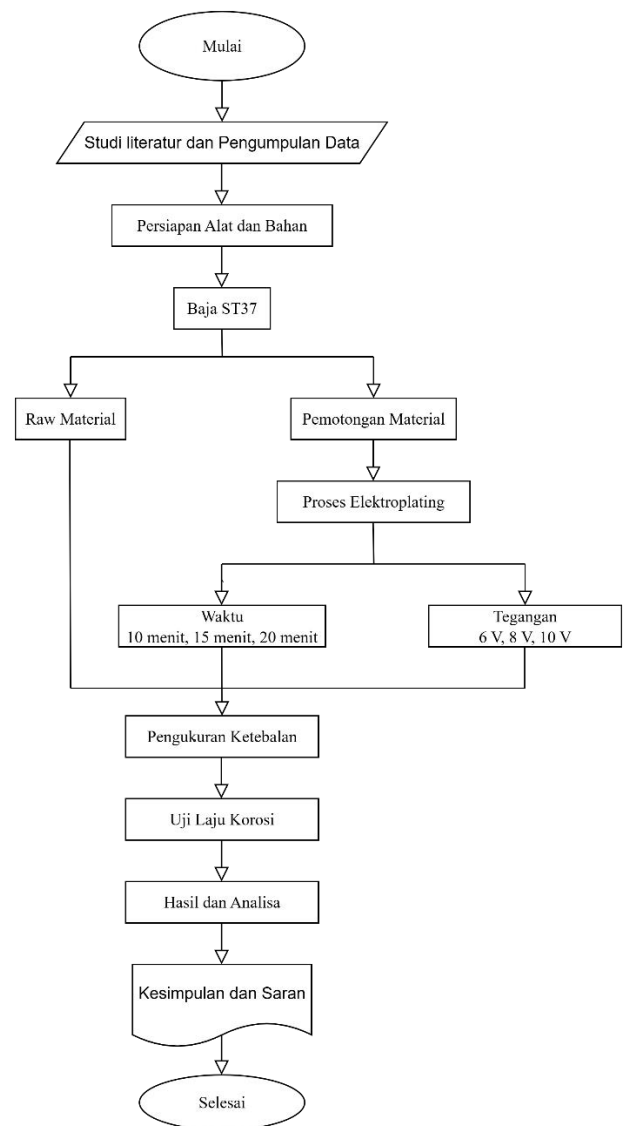
Proses pelapisan dengan metode elektroplating membutuhkan larutan elektrolit sebagai media yang memungkinkan terjadinya reaksi kimia. Larutan elektrolit ini biasanya dibuat dari campuran asam, basa, dan garam logam yang mampu menghasilkan ion positif dan negatif. Setiap jenis pelapisan memerlukan komposisi larutan elektrolit yang berbeda, tergantung pada sifat dan karakteristik lapisan yang ingin dicapai. Misalnya, dalam pelapisan tembaga, larutan elektrolit dibuat dengan melarutkan tembaga sulfat (CuSO_4) dalam air (H_2O), yang kemudian terurai menjadi ion-ion seperti yang ditunjukkan dalam reaksi berikut:



2.10. Lapisan Seng (Zinc)

Pelapisan seng (Zinc) dalam proses elektroplating adalah suatu teknik pelapisan logam di mana lapisan seng diaplikasikan pada permukaan benda kerja (biasanya baja atau besi) dengan menggunakan prinsip elektrolisis. Proses ini bertujuan untuk melindungi benda kerja dari korosi, meningkatkan ketahanan terhadap lingkungan yang korosif, serta memberikan lapisan yang tahan lama.

2.11. Diagram Alir Penelitian



Gambar 4. Diagram Alir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Uji Ketebalan

Salah satu parameter penting yang dianalisis adalah ketebalan lapisan hasil elektroplating. Pengukuran ketebalan dilakukan untuk mengetahui seberapa besar ion logam berhasil terisi pada permukaan baja karbon rendah setelah melalui

proses elektroplating. Data ketebalan ini menjadi indikator keberhasilan proses pelapisan, karena semakin tebal dan merata lapisan yang terbentuk, maka semakin baik pula kemampuan lapisan dalam melindungi material dasar dari korosi maupun gesekan. Dalam penelitian ini, pengukuran ketebalan menggunakan alat coating thickness gauge. Berikut hasil Uji Ketebalan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji Ketebalan

Tegangan (V)	Waktu (Menit)	Ketebalan Elektroplating
6 V	10	7,3 μm
	15	10,2 μm
	20	17,9 μm
8 V	10	11,9 μm
	15	14,9 μm
	20	20,6 μm
10 V	10	14,1 μm
	15	20,7 μm
	20	28,1 μm

Mengacu pada standar HES D 2003-17, lapisan elektroplating dinyatakan memenuhi syarat apabila memiliki ketebalan 8 μm [30]. Pada Tabel 4 penelitian ini menunjukkan bahwa variasi tegangan listrik dan durasi waktu pencelupan memberikan pengaruh terhadap ketebalan lapisan elektroplating yang diperoleh, dengan hasil pengujian sebagai berikut:

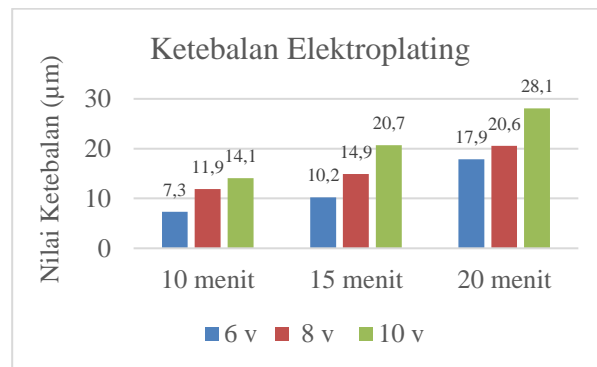
Pelapisan menggunakan tegangan 6 V dengan waktu 10 menit mendapatkan ketebalan 7,3 μm , pada waktu 15 menit dengan ketebalan 10,2 μm , dan pada waktu 20 menit dengan ketebalan 17,9 μm .

Pelapisan menggunakan tegangan 8 V dengan waktu 10 menit mendapatkan ketebalan 11,9 μm , pada waktu 15 menit dengan ketebalan 14,9 μm , dan pada waktu 20 menit dengan ketebalan 20,6 μm .

Pelapisan menggunakan tegangan 10 V dengan waktu 10 menit mendapatkan ketebalan 14,1 μm , pada waktu 15 menit dengan ketebalan 20,7 μm , dan pada waktu 20 menit dengan ketebalan 28,1 μm .

Berdasarkan hasil pengujian ketebalan elektroplating, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi tegangan dan semakin lama waktu pencelupan, maka semakin besar ketebalan lapisan yang terbentuk. Pada tegangan rendah (6 V), ketebalan yang diperoleh masih ada yang di bawah standar HES D 2003-17 (7,3 μm pada waktu 10

menit) [30]. Namun, pada variasi tegangan 8 V dan 10 V dengan durasi pencelupan lebih lama, ketebalan lapisan sudah melampaui standar minimal 8 μm dan menunjukkan hasil yang lebih optimal. Dengan demikian, kombinasi tegangan yang lebih tinggi dan waktu pencelupan yang lebih lama memberikan lapisan elektroplating dengan kualitas ketebalan yang lebih baik. Berikut adalah Grafik Hasil Uji korosi pada gambar 5.



Gambar 5. Grafik Hasil Uji Ketebalan

3.2. Uji Laju Korosi

Dalam penelitian ini, pengujian tingkat korosi pada baja yang telah melalui proses elektroplating dilakukan menggunakan metode elektrokimia. Metode ini dipilih karena kemampuannya untuk mengukur secara presisi tingkat keausan logam atau paduan logam melalui analisis arus listrik yang dihasilkan akibat reaksi elektrokimia yang terjadi antara permukaan logam dan larutan elektrolit. Prinsip kerja dari metode ini melibatkan pengukuran potensial listrik pada permukaan logam yang mengalami proses korosi serta arus listrik yang mengalir melalui larutan elektrolit tersebut. Dari data pengukuran potensial dan arus ini, kemudian dihitung laju keausan atau korosi logam secara kuantitatif.

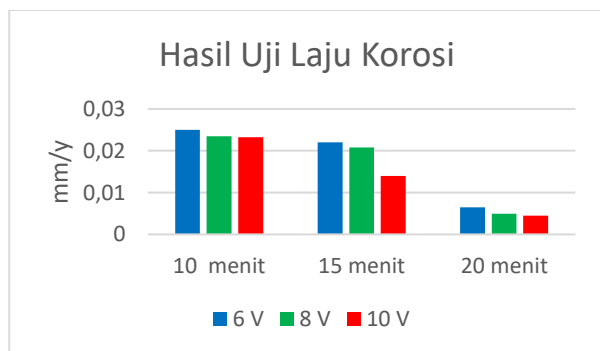
Metode elektrokimia memberikan informasi yang cukup detail tentang mekanisme dan laju korosi, sehingga menjadi pilihan utama dalam aplikasi industri untuk menilai ketahanan material terhadap korosi. Keunggulan metode ini juga terletak pada kemampuannya untuk memberikan hasil yang cepat, dan lebih efektif dibanding metode lain yang bersifat lebih tradisional, seperti pengujian dengan metode kehilangan berat (weight loss). Dengan metode ini, para peneliti dapat mengevaluasi kondisi lapisan pelindung yang terbentuk selama elektroplating dan menentukan efektivitas pelapisan tersebut dalam menghambat proses korosi.

Pengujian pada penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Korosi dan Kegagalan Material, Departemen Teknik Metalurgi, Institut Teknologi

Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya. Hasil yang diperoleh dari pengujian ini menjadi dasar untuk mengkaji pengaruh variabel waktu dan tegangan listrik dalam proses elektroplating terhadap laju korosi baja ST37, sekaligus memberikan rekomendasi untuk optimasi parameter terbaik untuk ketahanan material yang lebih baik di aplikasi nyata dengan hasil laju korosi sebagai berikut pada Tabel 5 dan Grafik pada Gambar 6 :

Tabel 5. Hasil Uji Laju Korosi

Tegangan	Waktu (Menit)	Icorr ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Laju Korosi (mm/year)
RAW		2.1006×10^{-5}	0.24419
	10	2.1472×10^{-6}	0,024961
6 V	15	1.8926×10^{-6}	0,022001
	20	5.5656×10^{-7}	0,0064699
8 V	10	2.0198×10^{-6}	0,023479
	15	1.7905×10^{-6}	0,020814
	20	4.2531×10^{-7}	0,0049441
10 V	10	1.9997×10^{-6}	0,023245
	15	8.6384×10^{-7}	0,014002
	20	3.8861×10^{-7}	0,0045175



Gambar 6. Grafik Hasil Uji Laju Korosi

Berdasarkan klasifikasi ketahanan korosi menurut standar internasional yang dikemukakan oleh Fontana dan Greene (1967), laju korosi dapat dikategorikan sebagai berikut: *outstanding* (<1 mpy), *excellent* (1-5 mpy), *good* (5-20 mpy), *fair* (20-50 mpy), *poor* (50-200 mpy), dan *unacceptable* (>200 mpy) [20]. Standar ini memberikan panduan yang jelas untuk mengevaluasi efektivitas perlindungan korosi pada material logam dalam berbagai aplikasi industri.

Klasifikasi tersebut juga sejalan dengan standar ASTM G102-89 yang menetapkan kategori

serupa untuk evaluasi laju korosi material logam [21]. Dalam konteks industri perkapalan dan konstruksi baja, ketahanan korosi yang tergolong "*good*" hingga "*excellent*" sangat diharapkan untuk memastikan umur layanan struktur yang optimal [19].

Hasil pengujian pada Tabel 5 menunjukkan bahwa semua spesimen yang telah mengalami proses elektroplating memiliki laju korosi yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan baja ST37 tanpa pelapisan (*raw*). Baja ST37 tanpa pelapisan memiliki laju korosi 0,32935 mm/year yang tergolong dalam kategori "*fair*" menurut klasifikasi Fontana dan Greene, menunjukkan bahwa material ini memerlukan perlindungan tambahan untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan korosi tinggi. sedangkan setelah elektroplating, laju korosi menurun drastis menjadi berkisar antara 0,0045175 hingga 0,024961 mm/year. Laju korosi terendah dicapai pada spesimen dengan tegangan 10V dan waktu 20 menit yaitu 0,0045175 mm/year. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi tegangan tinggi dan waktu elektroplating yang lebih lama menghasilkan lapisan pelindung yang lebih efektif dalam menghambat proses korosi.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Wibawa dan Kusharjanta yang menunjukkan bahwa peningkatan tegangan dan waktu pelapisan menghasilkan ketebalan lapisan dan laju deposisi yang lebih besar [27]. Penelitian oleh Brilliano Ergie juga menunjukkan bahwa peningkatan kuat arus dalam proses elektroplating tidak hanya meningkatkan ketebalan lapisan, tetapi juga menurunkan laju korosi pada permukaan baja [28].

Dari data dalam jurnal 8V-20 menit: 20,6 μm dan laju korosi 0,0049441 mm/year, 10V-15 menit: 20,7 μm dan laju korosi 0,014002 mm/year. Data ini menunjukkan ketebalannya hampir sama, laju korosi pada 10V justru 3 kali lebih tinggi daripada 8V. Data menunjukkan bahwa kualitas deposisi lebih penting daripada ketebalan semata. Voltage 8V dengan waktu lebih lama menghasilkan deposisi yang lebih terkontrol dan berkualitas baik, sedangkan 10V dengan waktu lebih singkat menghasilkan deposisi yang cepat namun kurang berkualitas. ini menjelaskan mengapa dalam industri electroplating, optimasi parameter lebih penting daripada maksimalisasi. Voltage 8V dengan waktu 20 menit memberikan kondisi deposisi yang lebih terkontrol, menghasilkan struktur kristal yang lebih padat dan *uniform*, sehingga memberikan perlindungan korosi yang superior meskipun ketebalannya hampir sama dengan kondisi 10V, 15 menit [10].

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa variasi

waktu dan tegangan dalam proses elektroplating lapisan seng memberikan pengaruh yang signifikan terhadap ketebalan lapisan dan laju korosi pada baja ST37. Peningkatan tegangan dan waktu elektroplating menghasilkan ketebalan lapisan yang lebih besar dan menurunkan laju korosi secara signifikan. Parameter optimal untuk mendapatkan hasil yang maksimal dalam menilai laju korosi adalah tegangan 10V dengan waktu 20 menit, yang menghasilkan ketebalan lapisan 28,1 μm dan laju korosi terendah sebesar 0,0045175 mm/year. Elektroplating dengan lapisan seng terbukti efektif dalam melindungi baja ST37 dari korosi, dengan penurunan laju korosi hingga 0,0045175 dibandingkan dengan baja tanpa pelapisan.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi tegangan dan waktu pelapisan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap ketebalan lapisan yang terbentuk. Peningkatan tegangan dari 6V hingga 10V secara konsisten menghasilkan lapisan yang semakin tebal, dimana pada tegangan 6V dengan waktu 20 menit diperoleh ketebalan 17,9 μm , tegangan 8V menghasilkan 20,6 μm , dan tegangan 10V mencapai 28,1 μm . Demikian pula dengan peningkatan waktu pelapisan dari 10 hingga 20 menit yang secara konsisten meningkatkan ketebalan lapisan pada semua variasi tegangan. Hampir semua variasi memenuhi standar minimal ketebalan 8 μm berdasarkan HES D 2003-17, kecuali variasi 6V dengan waktu 10 menit yang hanya mencapai 7,3 μm .

Berdasarkan klasifikasi ketahanan korosi, beberapa variasi mencapai kategori "Outstanding" ($< 0,02$ mm/tahun) yaitu variasi 6V-20 menit, 8V-20 menit, 10V-15 menit, dan 10V-20 menit, sementara sebagian besar variasi lainnya mencapai kategori "Excellent" (0,02-0,1 mm/tahun). Hasil ini menunjukkan korelasi yang jelas antara ketebalan lapisan dan ketahanan korosi, dimana lapisan yang lebih tebal memberikan perlindungan korosi yang lebih baik. Kombinasi tegangan tinggi (10V) dan waktu pelapisan lama (20 menit) terbukti menghasilkan lapisan paling tebal (28,1 μm) sekaligus laju korosi paling rendah (0,0045175 mm/tahun).

Berdasarkan keseluruhan hasil penelitian, kombinasi tegangan 10V dengan waktu pelapisan 20 menit merupakan parameter optimal karena menghasilkan ketebalan lapisan tertinggi, memberikan laju korosi terendah, mencapai kategori "Outstanding" dalam ketahanan korosi, dan memberikan efisiensi perlindungan korosi terbaik untuk baja ST37. Hasil ini membuktikan

bahwa proses elektroplating dengan lapisan seng sangat efektif dalam meningkatkan ketahanan korosi baja ST37. Hal ini mengkonfirmasi prinsip bahwa kualitas coating ditentukan oleh kombinasi optimal semua parameter, bukan hanya ketebalan atau voltage tertinggi saja.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada CV. Eta Chrome Yogya bersama Laboratorium Korosi dan Kegagalan Material Teknik Metalurgi ITS Surabaya atas dukungan serta penyediaan fasilitas yang memungkinkan penelitian ini dapat terlaksana..

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. A. Hajool, A. S. Muhsan, H. K. M. Al-Jothery, M. S. Nasif, A. A. Mutaafi, and F. S. Alakbari, "Advancements in Proppant Coating Technologies for Enhanced Hydraulic Fracturing Efficiency: A Comprehensive Review on Nanocomposites and Surface Modifications," *Results Eng.*, p. 106179, 2025, doi: 10.1016/j.rineng.2025.106179.
- [2] J. M. Costa and J. Grisente, "Journal of Water Process Engineering Techniques of nickel (II) removal from electroplating industry wastewater: Overview and trends," vol. 46, no. January, 2022.
- [3] P. S. Huda, *Teknologi Industri Elektroplating*, no. 8. 2005.
- [4] B. Basmal, A. P. Bayuseno, and S. Nugroho, "Pengaruh Suhu dan Waktu Pelapisan Tembaga-Nikel pada Baja Karbon Rendah Secara Elektroplating Terhadap Nilai Ketebalan dan Kekasaran," vol. 14, no. 2, pp. 23–28, 2013.
- [5] V. M. Pratiwi, S. Sulistijono, M. I. P. Hidayat, and H. Zuniandra, "Pengaruh Variasi Waktu dan Temperatur Elektroplating Seng Terhadap Ketebalan, Kekuatan Lekat dan Ketahanan Korosi pada Baja," *J. Tek. ITS*, vol. 8, no. 2, pp. 218–223, 2020, doi: 10.12962/j23373539.v8i2.50068.
- [6] E. C. Gugua, C. O. Ujah, C. O. Asadu, D. V. Von Kallon, and B. N. Ekwueme, "Electroplating in the modern era, improvements and challenges: A review," *Hybrid Adv.*, vol. 7, no. June, p. 100286, 2024, doi: 10.1016/j.hybadv.2024.100286.
- [7] D. Topayung, "Pengaruh Arus Listrik Dan Waktu Proses Terhadap Ketebalan Dan Massa Lapisan Yang Terbentuk Pada

- Proses Elektroplating Pelat Baja Effect of Electric Current and Process Time the Thickness and Mass Layer Formed on Electroplating Process Steel Plates,” *J. Ilm. Sains*, vol. 11, no. 1, pp. 97–101, 2011.
- [8] Sumpena and Wardoyo, “Analisa Kuat Arus Listrik dan Waktu Electroplating Nickel-Chrome terhadap Kekerasan dan Ketebalan Lapisan Permukaan Baja Karbon Rendah,” *J. Engine Energi, Manufaktur, dan Mater.*, vol. 4, no. 2, pp. 96–102, 2020.
- [9] A. Internasional, “ASTM B183-18 (Standard Practice for Preparation of Low-Carbon Steel for Electroplating),” *Des. E 778 – 87 (Reapproved 2004)*, vol. i, no. Reapproved, pp. 3–5, 2018, doi: 10.1520/B0183-18.2.
- [10] P. Upadhyay, S. Das, A. Basu, and A. Mallik, “Electroplating of Zn at different current densities onto mild steel for improved corrosion resistance,” *Mater. Today Proc.*, vol. 66, pp. 627–632, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.06.481.
- [11] M. Usman, M. Fakhurozi, and Kadaryono, “Optimasi Sudut Elektroda dan Kuat Arus Terhadap Kekuatan Tarik Pada Baja ST37,” *J. FORTECH*, vol. 5, no. 1, 2024.
- [12] T. W. B. Riyadi, “Elektroplating Ni/Cu pada Baja Karbon,” *Univ. Res. Colloq.*, vol. 8, no. 13, pp. 224–230, 2018.
- [13] T. Febrianto, U. Lesmanah, and M. Basjir, “Kekerasan Lapisan Zn Pada Proses Elektroplating Baja a36,” pp. 93–99.
- [14] Y. Miranda and A. M. Bade, “Analisa Perbedaan Temperatur Pada Material Baja Karbon Rendah S355Jo Terhadap Distorsi Pada Pengelasan Smaw,” *Zo. Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 10–18, 2018.
- [15] A. P. Antika, I. P. Mulyatno, and A. W. B. Santosa, “Analisa Kekuatan Tarik, Kekerasan dan Kekuatan Puntir Baja ST37 sebagai Bahan Poros Baling-baling Kapal (Propeller Shaft) setelah Proses Tempering,” *Tek. Perkapalan*, vol. 7, no. 2, pp. 152–160, 2019, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval/article/view/26745>
- [16] J. Rahmadi, Fauzen, E. Julianto, and Hasanudin, “Pengaruh Perendaman Air Laut Terhadap Sifat Mekanik pada Hasil Pengelasan Plat St 37 pada Lambung Kn. Ae-012 Distrik Navigasi Kelas III Pontianak,” *J. Syntax Lit.*, vol. 8, no. 8, p. 5554, 2023.
- [17] D. A. Jones and N. D. Greene, “Electrochemical Measurement of Low Corrosion Rates,” *Corrosion*, vol. 22, no. 7, pp. 198–205, 1966, doi: 10.5006/0010-9312-22.7.198.
- [18] Y. K. Afandi, I. S. Arief, and Amiadji, “Analisa Laju Korosi Pelat Baja Karbon dengan Variasi Ketebalan Coating,” *J. Tek. Its*, vol. 4, no. 1, pp. 1–5, 2015.
- [19] F. Mars G, *Corrosion Engineering Third Edition*. New York: Mc Graw-Hill, 1986.
- [20] M. G. Fontana and N. D. Greene, *Corrosion Engineering*. Singapore, 1967.
- [21] A. Internasional, “ASTM G102-89 (Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements),” vol. 17, p. 302, 1385.
- [22] S. Hidayatullah, N. H. Sari, M. Pradityatama, and Suteja, “Efektifitas Perlindungan Korosi Almunium Menggunakan Inhibitor Ekstrak Labu Kuning: Studi Elektrokimia dan Permukaan,” *J. Mesin Nusantara*, vol. 8, no. 1, pp. 97–108, 2025.
- [23] M. Darwis and A. M. Azis, “Analisis Pengaruh Air Garam Terhadap Laju Kerusakan Baja ST37,” *J. Inov. Has. Penelit. dan Pengemb.*, vol. 2, no. 4, pp. 283–291, 2022.
- [24] A. E. Prabowo, H. Rarindo, S. Hadi, A. Sujatmiko, and A. Hardjito, “Pengaruh Tegangan dan Waktu Elektroplating Tembaga dan Nikel Terhadap Laju Korosi pada Baja Karbon Rendah,” *J. Imiah Teknol. FST undana*, vol. 15, no. 2, pp. 14–20, 2021.
- [25] Yerikho, W. P. Raharjo, and B. Kusharjanta, “Optimalisasi Variasi Tegangan Dan Waktu Terhadap Ketebalan Dan Adhesivitas Lapisan Pada Plat Baja Karbon Rendah Dengan Proses Electroplating Menggunakan Pelapis Seng,” *Mekanika*, vol. 11, no. 2, pp. 62–68, 2013.
- [26] V. Malau and N. S. Luppaa, “Pengaruh variasi waktu dan konsentrasi larutan NaCl terhadap kekerasan dan laju korosi dari lapisan nikel elektroplating pada permukaan baja karbon sedang,” *Pros. Semin. Nas. Sains dan Teknol.*, pp. 147–152, 2011.
- [27] L. A. N. Wibawa, W. P. R. Kusharjanta, and B. Kusharjanta, “Pengaruh Variasi Tegangan dan Waktu Pelapisan pada Proses Elektroplating Baja Karbon Rendah dengan Pelapis Seng terhadap Ketebalan dan Laju Deposit,” *Tek. Mesin*, no. December, pp. 1–8, 2013, doi: 10.13140/RG.2.2.23230.54089/1.

- [28] N. S. B. Ergie, “Analisis Pengaruh Kuat Arus Terhadap Ketebalan Lapisan Dan Laju Korosi Hasil Elektroplating Baja Karbon Rendah St41 Dengan Pelapis Nikel,” *Jtm*, vol. 11 nomor 0, pp. 67–74, 2023.
- [29] BKI, “Guidance for the Corrosion Protection,” vol. G, no. 1, 2022.
- [30] Honda Engineering Standards Office., “HES D2003-17: Electroplating (Zinc, Zinc Alloy, Cr, Ni) for Corrosion Prevention, Rust Prevention and Decoration,” 2017