



## Analisis Pengaruh *Coating Polyurethane* dan *Elektroplating Zinc* Terhadap Laju Korosi Baja A36

Muhammad Haikal Auzan Atras<sup>1)</sup>, Untung Budiarto<sup>1)</sup>, Parlindungan Manik<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Laboratorium Kapal – Las dan Material Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

<sup>\*</sup>e-mail : [redheba10.ha@students.undip.ac.id](mailto:redheba10.ha@students.undip.ac.id)

### Abstrak

Salah satu masalah utama dalam konstruksi baja adalah korosi. Korosi merupakan kerusakan logam karena reaksi redoks logam dengan berbagai zat di sekitarnya yang menghasilkan senyawa yang tidak diinginkan. Material yang digunakan dalam konstruksi baja pada bangunan laut merupakan material baja yang memiliki kadar karbon yang rendah, karena memiliki ketahanan terhadap korosi yang baik dan juga mudah untuk dibentuk. Baja yang umum digunakan adalah ASTM A-36. Tujuan penelitian ini untuk menganalisa perbandingan nilai laju korosi baja A36 terhadap pengaruh elektroplating seng dan cat polyurethane. Metode penelitian ini menggunakan baja A36 diberi perlakuan elektroplating seng dengan waktu elektroplating 10 menit, baja A36 diberi perlakuan coating cat polyurethane dengan ketebalan 250  $\mu\text{m}$ , dan baja A36 diberikan perlakuan campuran elektroplating seng dengan waktu 10 menit dan cat polyurethane dengan ketebalan 250  $\mu\text{m}$ . Hasil penelitian ini menunjukkan material dengan perlakuan elektroplating seng dan cat polyurethane dicampurkan, mendapat hasil laju uji korosi dengan nilai  $2,35\text{E}-05$  mmpy, dan untuk material yang tidak mendapat perlakuan mendapat hasil laju uji korosi dengan nilai  $1,04\text{E}-01$  mmpy. Hasil tersebut membuktikan material dengan perlakuan coating dapat menurunkan nilai laju korosi baja A36 dengan perbedaan jenis pelapisannya dapat mempengaruhi nilai laju korosi sehingga dapat diaplikasikan pada bangunan laut.

Kata Kunci : Laju Korosi, A36, Elektroplating, Coating, Polyurethane

### 1. PENDAHULUAN

Lautan memiliki tingkat korosivitas yang sangat tinggi dan juga merupakan wilayah permukaan yang paling luas di dunia. Jadi, kapal yang digunakan untuk transportasi laut harus dilindungi dari serangan korosi. Korosi menyebabkan sebagian besar kerusakan pada pelat kapal. Korosi merupakan kerusakan logam karena reaksi redoks logam dengan berbagai zat di sekitarnya yang menghasilkan senyawa yang tidak diinginkan. Korosi mengakibatkan kerugian material yang signifikan, karena menyebabkan sebagian besar kerusakan pada pelat konstruksi baja kapal [1].

Lautan merupakan lingkungan yang rawan untuk terjadi korosi karena lautan memiliki kadar salinitas yang tinggi yang menjadikan permasalahan yang paling rawan dalam industri perkapalan adalah korosi, khususnya korosi merata [2]. Dalam

proses pembuatan kapal, perlu melalui tahap perencanaan yang detail serta proses yang berjangka panjang. Saat merencanakan konstruksi kapal, salah satu aspek pertama yang harus diperhatikan adalah lambung kapal, yang terus menerus terpapar oleh air laut. Material yang digunakan untuk lambung kapal sering mengalami korosi karena paparan konstan terhadap air laut [3]. Pada area lambung kapal, baik bagian bawah air maupun atas air rentan terhadap korosi. Hal ini disebabkan oleh pengurangan ketebalan pelat lambung kapal, yang membuat kebocoran lebih mudah terjadi karena tidak dapat menerima tekanan luar air laut. Kebocoran ini harus dihindari [4]. Material yang digunakan dalam pembuatan rangka kapal khususnya dalam pembuatan lambung kapal merupakan material baja yang memiliki kadar karbon yang rendah, karena baja dengan karbon rendah memiliki ketahanan

terhadap korosi yang baik dan juga mudah untuk dibentuk. Baja yang umum digunakan adalah ASTM A-36, yang memiliki karakteristik dengan kadar karbon rendah, dengan kandungan karbon sekitar 0,25% [5].

Pengendalian korosi pada pelat lambung kapal dapat dicapai dengan beberapa metode, salah satunya adalah melindungi permukaan dari kontak langsung dengan air, yang dapat dilakukan dengan mengaplikasikan lapisan cat pelindung [6]. Dalam kebanyakan kasus, metode pencegahan korosi yang digunakan disesuaikan dengan jenis peralatan, lingkungan, atau lokasi yang rentan terhadap korosi. Salah satu metode pencegahan korosi yang paling umum adalah melapisi baja dengan lapisan pelindung, atau *coatin* [7]. *Coating* bekerja dengan mengisolasi permukaan baja dari sekitarnya dan memberikan efek penghalang yang mencegah korosi [8]. Salah satu metode dalam pelapisan adalah menggunakan lapisan perlindungan berbahan seng (Zn). Metode yang digunakan untuk menerapkan seng pada lambung kapal ialah elektroplating. Elektroplating adalah metode pelapisan bahan yang menggunakan aliran listrik dan larutan sebagai penghantar. Bahan yang akan dilapisi ditempatkan di kutub negatif (Katoda), sementara bahan pelapis berada di kutub positif (Anoda). Komponen yang ingin dilapisi direndam dalam larutan yang mengandung ion-ion logam. Proses pelapisan ini melibatkan penggunaan arus searah [9]. Karena sifatnya yang tahan korosi, magnetik, kekuatan tarik, dan keuletan yang luar biasa, elektroplating dapat digunakan di bidang pipa penukar panas, bejana tekan, instalasi kapal laut, pelindung oksidasi komponen elektronik, dan bahan komponen magnet [10]. Para ilmuwan telah menggunakan berbagai pelapis untuk mencegah baja karbon rendah korosi dalam lingkungan yang agresif seperti dunia maritim [11]. Penggunaan senyawa sintetis, di sisi lain, tidak disukai oleh masyarakat karena mahal dan dapat menimbulkan bahaya bagi lingkungan. Karena murah dan tidak berbahaya bagi kesehatan, sumber senyawa alami telah menjadi pilihan yang populer untuk mencegah korosi dalam upaya keamanan [12].

Salah satu metode yang paling efektif dan cepat untuk menghilangkan karat atau korosi adalah metode pengeboran pasir *sandblasting*. Proses ini membuat permukaan berbentuk kasar dan memiliki kekuatan rekat yang kuat saat dicat [13].

Penelitian sebelumnya membahas tentang “Efek Variasi Arus Dan Waktu Pencelupan Pada Proses *Electroplating* Plat Baja Komersil Terhadap Ketebalan Lapisan Dan Laju Korosi” hasil yang diperoleh ialah pada spesimen yang telah menjalani

proses elektroplating dengan arus sebesar 3 ampere dan waktu pencelupan selama 1800 detik, tercatat bahwa kehilangan beratnya adalah sebesar 3,182 gram dengan laju korosi mencapai 1,026 mmpy. Pada spesimen yang telah menjalani proses elektroplating dengan arus sebesar 6 ampere, tercatat bahwa kehilangan beratnya adalah sebesar 3,083 gram dengan laju korosi mencapai 0,997 mmpy. Sementara itu pada spesimen yang telah menjalani proses elektroplating dengan arus sebesar 9 ampere, tercatat bahwa kehilangan beratnya adalah sebesar 2,946 gram dengan laju korosi mencapai 0,968 mmpy [14].

Kemudian penelitian sebelumnya tentang “Analisa Laju Korosi pada Pelat Baja Karbon dengan Variasi Ketebalan *Coating*” ketebalan lapisan suatu *coating* tidak selalu menjamin perlindungannya secara optimal. Semakin tebal pelapisan tersebut, semakin tinggi risiko kegagalan pelapisan seperti penurunan fleksibilitas, penyusutan, atau pengeringan yang tidak sempurna. Oleh karena itu, disarankan agar produsen selalu mematuhi rekomendasi ketebalan lapisan pelapisan yang telah ditentukan [15].

Pada penelitian sebelumnya tentang dampak *sandblasting* sebagai metode modifikasi permukaan pada perilaku korosi baja dalam simulasi larutan pori beton mendapatkan hasil bahwa penggunaan metode *sandblasting* dapat meningkatkan resistensi terhadap korosi pada struktur baja yang terpapar larutan pori yang mengandung klorida. Tidak terdeteksi adanya korosi aktif pada sampel yang telah menjalani proses *sandblasting* selama 15 menit. Selain itu, sampel yang mengalami *sandblasting* selama 10 dan 5 menit juga menunjukkan peningkatan dalam ketahanan terhadap korosi dibandingkan dengan sampel awal, namun kurang dari tingkat perlindungan yang diperoleh oleh sampel yang menjalani *sandblasting* selama 15 menit [16].

Penelitian sebelumnya mengenai fungsi smart *coating* mendapatkan hasil, bahwa penyesuaian pelapisan untuk melindungi logam dasar dari korosi merupakan aspek yang sangat penting untuk menjamin kehandalan serta kinerja yang optimal dari komponen yang telah dilapisi. Hal ini juga memberikan nilai tambah pada produk dari bahan yang telah mengalami pelapisan [17].

## 2. METODE

Metode yang dibawakan pada penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kesimpulan terkait pengaruh perbandingan laju korosi baja A36 melalui pelapisan *coating* cat *polyurethane* dan elektroplating seng (Zn). Penelitian ini akan menggunakan metode pengukuran ketebalan dan elektrokimia sebagai langkah uji menilai laju

korosi yang dialami, serta menggunakan jenis cat *polyurethane* sebagai cat *coating* yang digunakan dengan ketebalan sebesar 250  $\mu\text{m}$ . Jenis bahan elektroplating yang digunakan adalah seng dengan tegangan 6V dan dengan durasi waktu 10 menit proses elektroplating

### 2.1. Objek Penelitian

Objek penelitian yang dipilih untuk penelitian ini adalah baja dengan jenis karbon rendah yaitu baja A36. Semakin tinggi kandungan karbon, maka baja tersebut akan menjadi lebih keras dan memiliki kekuatan tarik yang lebih besar. Namun, seiring dengan peningkatan kandungan karbon, baja juga menjadi lebih rapuh dan kurang lentur, sehingga rentan terhadap retakan [18]. Varian kandungan karbon dalam campuran logam baja karbon memungkinkan kita untuk mengategorikan baja dalam tiga jenis yang berbeda, yaitu baja karbon rendah (*low carbon steel*), baja karbon menengah (*medium carbon steel*), baja karbon tinggi (*high carbon steel*). Baja karbon rendah memiliki kadar karbon dalam campuran yang kurang dari 0,3%. Baja ini tidak termasuk dalam kategori baja yang memiliki tingkat kekerasan tinggi karena kandungan karbonnya yang rendah. Baja ini memiliki kemampuan lentur yang baik dan sifatnya mudah dibentuk, namun baja ini memiliki kekerasan yang cenderung rendah [19].

Penelitian ini menggunakan material baja A36. Unsur utama dalam baja karbon ASTM A36 adalah karbon (C), dengan konsentrasi antara 0,25% hingga 0,29%. Kandungan karbon ini mempengaruhi pada sifat kekerasan dan kekuatan. Selain itu, dalam baja karbon ASTM A36 terdapat sejumlah kecil unsur lain seperti mangan (Mn), fosfor (P), belerang (S), dan silikon (Si) [20]. Tabel 1. Menunjukkan data spesifikasi Baja A36 yang dipakai dalam penelitian ini.

Tabel 1. Data Spesifikasi Baja A36

<i>Element</i>	<i>Value</i>
Karbon (C)	0,25%
Tembaga (CU)	0,20%
Besi (Fe)	98,0%
Mangan (Mn)	1,00%
Fosfor (P)	0,04%
Silikon (Si)	0,28%
Sulfur (S)	0,05%

Ukuran yang digunakan adalah 50 mm x 50 mm x 3 mm sebanyak 16 buah untuk metode elektrokimia. Pelapisan *coating* yang digunakan

adalah *Polyurethane Umeguard SX-HS*. Bahan pelapisan pada elektroplating adalah Seng (Zn). Tabel 2. Merupakan data rancangan ketebalan spesimen dalam penelitian ini.

Tabel 2. Data Rancangan Ketebalan Spesimen

<b>Spesimen</b>	<b>Jenis Pelapisan</b>	<b>Ketebalan Cat (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Waktu (Menit)</b>
S1	<i>Polyurethane</i>	250	-
S2	<i>Polyurethane</i>	250	-
S3	<i>Polyurethane</i>	250	-
S4	<i>Polyurethane</i>	250	-
S5	<i>Polyurethane</i>	250	-
S6	<i>Elektroplating</i>	-	10
S7	<i>Elektroplating</i>	-	10
S8	<i>Elektroplating</i>	-	10
S9	<i>Elektroplating</i>	-	10
S10	<i>Elektroplating</i>	-	10
S11	Elektroplating	250	10
	+		
	<i>Polyurethane</i>		
S12	Elektroplating	250	10
	+		
	<i>Polyurethane</i>		
S13	Elektroplating	250	10
	+		
	<i>Polyurethane</i>		
S14	Elektroplating	250	10
	+		
	<i>Polyurethane</i>		
S15	Elektroplating	250	10
	+		
	<i>Polyurethane</i>		
S16	<i>Raw Material</i>	-	-

### 2.2. Coating

*Coating* adalah lapisan yang diterapkan pada permukaan suatu objek, dengan tujuan baik untuk dekoratif maupun untuk melindungi objek dari paparan langsung terhadap lingkungan. Pada plat logam, pelapisan berfungsi sebagai salah satu bentuk perlindungan terhadap korosi yang mungkin terjadi di lingkungan laut. Terdapat beberapa faktor yang dapat memengaruhi daya lekat cat, termasuk kondisi permukaan material, lingkungan sekitar, persiapan permukaan, kualitas cat, jenis cat yang digunakan, kombinasi cat, metode aplikasi, dan ketebalan total lapisan cat [21].

### 2.3. Proses Elektroplating

Elektroplating adalah suatu proses di mana logam dideposisikan pada permukaan benda kerja, baik itu logam atau non-logam, melalui metode elektrolisis [22]. Prinsip mendasar dalam proses lapisan listrik didasarkan pada Hukum Faraday, yang menyatakan bahwa:

- a. Jumlah zat atau unsur yang terbentuk dan dilepaskan pada elektroda selama elektrolisis sebanding dengan jumlah arus

listrik yang mengalir melalui larutan elektrolit.

- b. Jumlah zat atau unsur yang dihasilkan oleh arus listrik yang sama selama elektrolisis sebanding dengan berat ekuivalen masing-masing zat tersebut. Pernyataan ini dapat dinyatakan dalam bentuk rumus sebagai berikut:

$$W = \frac{e.i.t}{F} \quad (1)$$

Dimana  $W$  adalah berat zat yang terbentuk (gram),  $e$  merupakan berat ekuivalen zat yang dibebaskan (berat atom suatu unsur dibagi valensi unsur tersebut),  $i$  adalah jumlah arus yang mengalir (ampere),  $t$  merupakan waktu (detik), dan  $F$  adalah jumlah arus yang diperlukan untuk membebaskan sejumlah gram ekuivalen suatu zat [23].

Proses ini mengikuti pedoman dari Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) Vol 4 mengenai *Rules for Electrical Installations*. Proses elektroplating harus dilakukan di dalam *workshop* yang terisolasi atau tertutup.

Sebelum sampel dimasukkan ke dalam larutan, dilakukan pemanasan larutan pada suhu maksimum 50 °C sesuai dengan panduan dari BKI Vol G mengenai *Guidance for the Corrosion Protection and Coating Systems*. Begitu suhu yang sesuai tercapai, sampel kemudian dimasukkan ke dalam larutan, dan arus listrik dari *rectifier* dihubungkan ke sampel. Proses ini mengikuti standar ASTM B374 tentang *Standard Terminology Relating to Electroplating*. Arus listrik dari kutub positif diarahkan ke lapisan seng sebagai anoda, sedangkan kutub negatif terhubung ke sampel baja karbon rendah sebagai katoda. Setelah proses pelapisan selesai, dilakukan langkah pembersihan menggunakan alkohol 96% dan air untuk pembilasan.

#### 2.4. Surface Preparation

Baja A36 yang telah dipotong sesuai yang direncanakan diawal selanjutnya plat tersebut dipisahkan sesuai dengan perlakuan yang akan dilakukan. Perlakuan *coating*, dilakukan persiapan berupa proses *sandblasting*. Perlakuan dengan elektroplating, dilakukan dengan pembersihan mekanis dan juga pembersihan menggunakan pelarut.

Pembersihan mekanis merupakan Proses yang dilakukan untuk meratakan permukaan dan menghapus bekas-bekas goresan serta partikel-partikel yang masih menempel pada spesimen. Selanjutnya untuk pembersihan menggunakan pelarut merupakan Pembersihan menggunakan

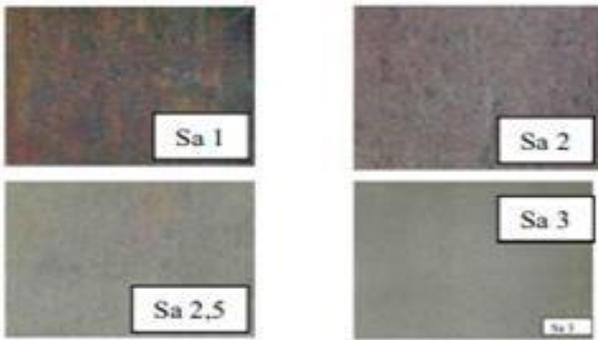
pelarut merupakan prosedur membersihkan yang memanfaatkan campuran kimia untuk menghapus lemak, minyak, residu, lapisan, atau cat yang tidak diinginkan dari permukaan suatu bahan. Terdapat berbagai jenis pelarut yang tersedia, dan beberapa jenis mungkin lebih sesuai daripada yang lain untuk membersihkan jenis bahan tertentu [24]. Tahap persiapan ini disebut tahap *surface preparation*. Tahap ini bertujuan untuk mempersiapkan spesimen uji dalam rangka memenuhi standar dan aturan yang berlaku agar mendapatkan hasil yang sesuai.

Aturan yang digunakan untuk proses elektroplating yaitu ASTM B633 - 19 tentang *Standard Specification for Electrodeposited Coatings of Zinc on Iron and Steel*. Baja A36 harus melewati proses pembersihan mekanik dan perlakuan menggunakan larutan asam, yang terdiri dari air murni dan HCl. Setelah tahap ini, benda kerja dicuci dengan air mengalir, diikuti dengan penggunaan alkohol 96% untuk menghilangkan sisa-sisa bahan kimia yang mungkin tersisa, dan akhirnya dikeringkan.

#### 2.5. Sandblasting

Langkah selanjutnya pada pengujian ini adalah proses *sandblasting*. Proses ini dapat dilakukan setelah pengujian *dew point* dan *relative humidity* sebagai salah satu persyaratannya. Setelah dilakukan pengujian *dew point* dan *relative humidity* memenuhi standar, dapat dilanjutkan ke proses *sandblasting*. Proses *sandblasting* sebagai langkah *coating preparation* dengan tingkat kebersihan minimal SA 2.5 (ISO 8501-1). Material abrasif yang digunakan adalah material *steel grit* dengan ukuran 25 µm dengan tekanan *nozzle* sebesar 6-7 bar. Standar *cleanliness* yang digunakan merujuk pada ISO 8501-1 adalah SA, SA 1, SA 2, SA 3.

Tahapan *sandblasting* dimulai dengan memasukkan *steel grit* sebagai material abrasif yang digunakan ke alat *sandblasting*, lalu atur tekanan pada kompresor sebesar 7 bar, dan kemudian memakai perlengkapan keselamatan. Lakukan proses *sandblasting* dengan jarak 15 – 25 cm, setelah itu amati tingkat kebersihan material sesuai dengan standar yang ditetapkan. Standar *cleanliness* menurut ISO 8501-1 dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Klasifikasi *Cleanliness* menurut ISO 8501-1

Setelah melewati tahap *surface preparation*, penelitian ini memasuki tahap pelapisan. Pelapisan elektroplating memiliki beberapa faktor yang dapat mempengaruhi, yaitu konsentrasi elektrolit, rapat arus, tegangan listrik, dan temperatur [25].

### 2.6. Pengukuran Ketebalan

Pengukuran ketebalan merupakan evaluasi perbedaan tebal baja sebelum dan setelah proses elektroplating untuk mengetahui tebal lapisan seng pada baja A36. Proses ini memanfaatkan alat mikrometer untuk mengukur seberapa jauh spesimen memiliki dimensi tegak lurus terhadap permukaannya. Dalam tahap ini, standar yang diacu adalah BKI bagian 1 Vol X mengenai "Pelaksanaan Standar untuk Pengukuran Ketebalan Konstruksi Lambung". Kriteria ketebalan maksimum sesuai peraturan adalah 250  $\mu\text{m}$ .

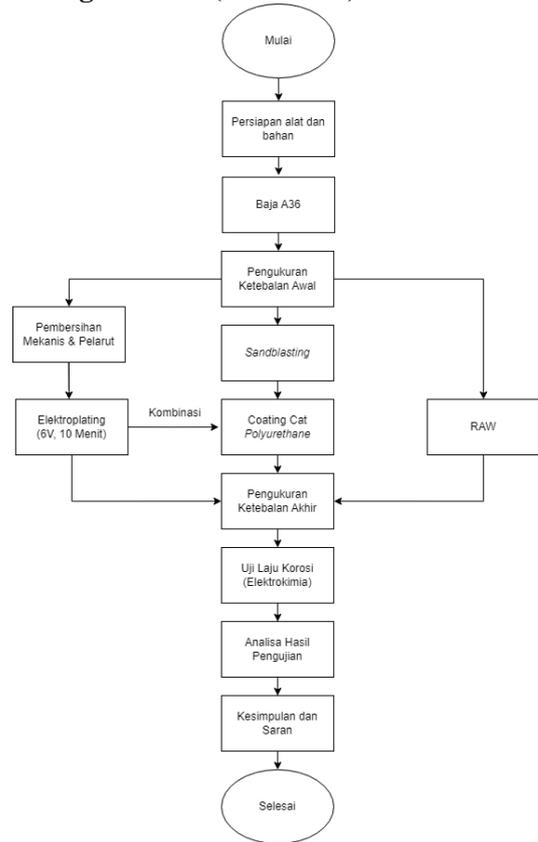
### 2.7. Uji Laju Korosi

Laju korosi mengacu pada seberapa cepat atau lambat material mengalami perubahan kualitasnya seiring berjalannya waktu. Biasanya, kecepatan degradasi material diukur dalam satuan milimeter per tahun (sesuai standar internasional) atau mil per tahun (sebagai standar Inggris). Ketahanan material terhadap degradasi sering dinyatakan dalam bentuk angka yang berkisar antara 1 hingga 200 mpy. Tabel 3. Mengklasifikasikan tingkat ketahanan material berdasarkan kecepatan degradasi yang terjadi [26].

Tabel 3. Klasifikasi tingkat laju korosi

Relative Corrosion Resistance	Approximate Metric Equivalent				
	mpy	mm/year	$\mu\text{m}/\text{yr}$	nm/yr	pm/sec
Outstanding	< 1	< 0.02	< 25	< 2	< 1
Excellent	1 - 5	0.02 - 0.1	25 - 100	2 - 10	1 - 5
Good	5 - 20	0.1 - 0.5	100 - 500	10 - 50	5 - 20
Fair	20 - 50	0.5 - 1	500 - 1000	50 - 150	20 - 50
Poor	50 - 200	1 - 5	1000 - 5000	150 - 500	50 - 200
Unacceptable	200+	5+	5000+	500+	200+

## 2.8. Diagram Alir (*Flowchart*) Penelitian



## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan menimbang data yang telah diperoleh, maka langkah berikutnya adalah melakukan pengujian dan mengolah data dari hasil yang didapatkan. Berikut merupakan hasil dari penelitian ini.

### 3.1. Hasil Pengujian *Surface preparation*

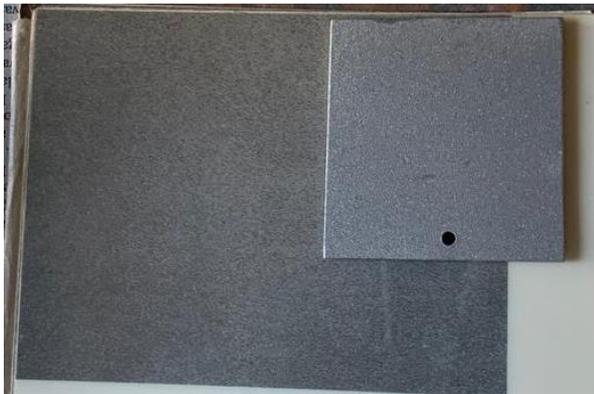
*Surface preparation* merupakan sebuah prosedur yang dilaksanakan sebelum melakukan proses aplikasi *coating cat polyurethane* maupun elektroplating. Hal ini dilakukan dalam rangka mempersiapkan spesimen uji agar memenuhi standar yang diberlakukan dalam proses aplikasi *coating* material terkait.



Gambar 3. Material Sebelum Proses *Sandblasting*

Berdasarkan gambar 3. Ditampilkan material baja A36 sebelum dilaksanakan proses

*sandblasting*. Proses tersebut akan menggunakan material *sandblasting aluminium oxide* dan *steel grit* dengan ukuran mesh 25  $\mu\text{m}$ . Pada proses ini menggunakan tekanan *nozzle* sebesar 6-7 bar. Tekanan tersebut digunakan agar mendapatkan hasil kekasaran dan kebersihan yang ditetapkan oleh standar ISO 8501-1. Proses ini dilaksanakan oleh petugas CV. Cipta Agung Surabaya yang memiliki sertifikat yang membuktikan keahlian di bidang *sandblasting*.



Gambar 4. Inspeksi *Visual Blasting*

Gambar 4. merupakan pelaksanaan pengecekan hasil *cleanliness* dari baja A36 pasca pelaksanaan proses *sandblasting*. Tingkat *cleanliness* yang dihasilkan oleh baja A36 pasca *sandblasting* telah sesuai dengan standar minimal yang ditetapkan oleh ISO 8501-1. Berikutnya adalah pelaksanaan pengecekan tingkat kekasaran material baja A36. Proses ini menggunakan sebuah alat yaitu *surface profile gauge*, yang digunakan untuk mengetahui tingkat kekasaran material pasca pelaksanaan proses *sandblasting*. Untuk penelitian ini diambil satu sampel hasil kekasaran yang hasilnya adalah sebesar 60  $\mu\text{m}$  dan hasil *dust level* menunjukkan berada di level A yang menunjukkan tidak ada debu yang menempel pada material.



Gambar 5. Pengukuran Tingkat Kekasaran

Berdasarkan gambar 5. Ditunjukkan alat *surface profile gauge* serta cara pengukuran kekasaran yang dilaksanakan.

Pada proses *surface preparation* untuk elektroplating, aturan yang digunakan yaitu ASTM B633 - 19 tentang *Standard Specification for Electrodeposited Coatings of Zinc on Iron and Steel*. Baja A36 harus melalui tahapan pembersihan mekanik dan pembersihan menggunakan larutan asam, yaitu air dan HCl.

Dalam tahap ini, dilakukan pembersihan menggunakan larutan dengan cara merendam spesimen pada larutan HCl selama 20 menit. Setelah itu, dilakukan pembersihan mekanis dengan menggunakan alat gerinda. Setelah tahap ini, spesimen dicuci kembali dengan menggunakan aliran air untuk menghilangkan residu kimia yang tersisa, dan kemudian dikeringkan.



Gambar 6. Pembersihan Menggunakan Pelarut

Berdasarkan gambar 6. Merupakan proses pembersihan menggunakan pelarut. Proses ini merupakan prosedur pembersihan yang memanfaatkan campuran kimia untuk menghapus lemak, minyak, residu, lapisan, atau cat yang tidak diinginkan dari permukaan suatu bahan sebelum dilakukan proses elektroplating.



Gambar 7. Pembersihan Mekanis

Berdasarkan gambar 7. Merupakan proses pembersihan mekanis. Proses ini merupakan proses meratakan permukaan dan menghapus bekas-bekas goresan serta partikel-partikel yang masih menempel pada spesimen sebelum tahap elektroplating.

### 3.2. Dew point dan Relative Humadity

Perhitungan *dew point* dan *Relative Humadity* (RH) merupakan perhitungan yang penting yang harus diperhatikan agar penerapan *coating* dapat berhasil dan hasil pengujian maksimal. Perhitungan *dew point* dan RH memiliki tujuan untuk mendapatkan kondisi dari *dew point temperature* (temperatur titik embun) dan *relative humidity* (kelembaban relatif). Proses perhitungan *dew point* dan RH menggunakan alat bernama *Psychrometer*.

Hasil dari pengukuran suhu *dry* dan *wet bulb* kemudian dikomparasikan dalam tabel komparasi *dry – wet bulb temperature*. Berikut hasil yang diperoleh dari hasil komparasi:

- *Dew point* : 24°C
- RH : 62 %

Hasil *dew point* dan RH tersebut memenuhi persyaratan yang tertera dalam rekomendasi *technical data sheet* cat *coating* yang digunakan yang diterbitkan oleh pabrik.

Tabel 4. Hasil Uji Lingkungan

Keterangan	Hasil	Rekomendasi	Kondisi
<i>Wet Bulb</i>	26 °C	>5 °C	Memenuhi
<i>Dry Bulb</i>	32 °C	>5 °C	Memenuhi
<i>Relative Humudity</i>	62 %	<85% RH	Memenuhi
Suhu Material	35,6 °C	>5 °C	Memenuhi
Dew Point	24 °C	<Suhu Baja - 3 °C	Memenuhi

Tabel 4. Menunjukkan hasil perhitungan kondisi lingkungan dari lima komponen sesuai dengan rekomendasai *standar technical data sheet* dari cat *coating* yang digunakan.

### 3.3. Proses Elektroplating

Sebelum memulai proses elektroplating pada material, beberapa hal harus diperhatikan, salah satunya ialah larutan elektrolit yang digunakan adalah *zinc oxide*. Selama proses elektroplating, suhu larutan elektroplating juga harus diperhatikan. Suhu larutan tidak boleh melebihi 50 °C. Proses ini menggunakan tegangan dengan besar 6 Volt. Arus listrik dari kutub positif diarahkan ke lapisan seng sebagai anoda, sedangkan kutub negatif terhubung ke sampel baja karbon rendah sebagai katoda. Setelahnya, *rectifier* diaktifkan dan durasi pelapisan dihitung selama 10 menit. Setelah mencapai waktu yang ditentukan, *rectifier* dimatikan, dan sampel diangkat dari larutan untuk proses pembersihan menggunakan alkohol 96% dan air untuk pembilasan.



Gambar 8. Proses Elektroplating

Berdasarkan gambar 8. Memperlihatkan proses pelaksanaan pelapisan elektroplating pada spesimen yang digunakan dalam penelitian ini. Elektroplating yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan jenis elektroplating seng dengan tegangan 6 Volt selama 10 menit. Hasil pelapisan elektroplating terdapat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Elektroplating

Spesimen	Jenis Elektroplating	Waktu (Menit)	Ketebalan (µm)
S6	Seng (Zn)	10	30
S7	Seng (Zn)	10	30
S8	Seng (Zn)	10	30
S9	Seng (Zn)	10	30
S10	Seng (Zn)	10	30
S11	Seng (Zn)	10	30
S12	Seng (Zn)	10	30
S13	Seng (Zn)	10	30
S14	Seng (Zn)	10	30
S15	Seng (Zn)	10	30

### 3.4. Proses Coating

Proses *coating* hanya dapat dilakukan setelah semua standar telah dilaksanakan. Proses *coating* dimulai dengan mempertimbangkan lembar data teknis yang diterbitkan, yang mencakup rasio pencampuran bahan yang digunakan dan durasi waktu pengeringan cat yang akan digunakan dalam penelitian ini.

Proses ini harus memiliki keterampilan yang tersertifikasi yang dibuktikan dengan kualifikasi yang dimilikinya untuk menjamin kualitas pengerjaan. Cat *polyurethane* merupakan cat yang digunakan dalam penelitian ini.

Proses *coating* memerlukan peralatan dalam kondisi yang baik seperti mesin kompresor, *air spray gun*, dan selang untuk memaksimalkan proses *coating*. Proses *coating* dilakukan dalam rentan waktu maksimal 3 jam setelah proses *sandblasting* untuk tetap menjaga permukaan material terhindar dari material – material luar yang dapat menurunkan daya rekat dari *coating* cat.

Pada proses ini menggunakan tekanan untuk pelapisan cat *polyurethane* sebesar 5 bar.



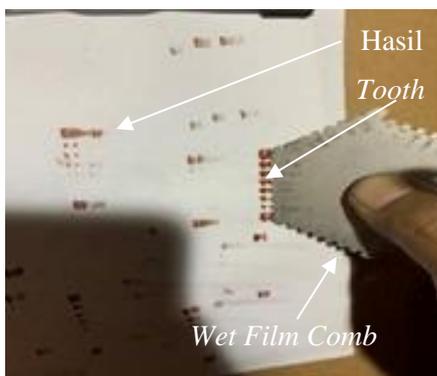
Gambar 9. Proses *Coating*

Berdasarkan gambar 9. Memerlihatkan proses pelaksanaan pelapisan coating cat pada spesimen yang digunakan dalam penelitian ini. Cat yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan jenis cat *polyurethane* dengan ketebalan 250  $\mu\text{m}$ .

### 3.5. Hasil Pengukuran WFT

Setelah proses *coating*, dilakukan pengukuran nilai *Wet Film Thickness* (WFT). Proses pengukuran nilai WFT bertujuan untuk memeriksa ketebalan *coating* yang diaplikasikan sesuai dengan ketentuan yang diinginkan. Pengukuran nilai WFT dilakukan pada saat cat masih dalam kondisi masih basah. Pengukuran WFT menggunakan *wet film comb*.

Proses pengukuran ini dimulai dengan meletakkan *wet film comb* ke permukaan material yang telah selesai dilakukan proses *coating* cat *polyurethane*. Kemudian, cat yang menempel pada *wet film comb* ditempelkan pada kertas yang memiliki kontras warna yang berbeda dengan warna cat. Hasil dalam proses pengukuran WFT ini, ditampilkan dalam gambar 10. Dan tabel 6.



Gambar 10. Pengukuran WFT

Tabel 6. Hasil Pengukuran WFT

Spesimen	Jenis Pelapisan	WFT ( $\mu\text{m}$ )
S1	<i>Polyurethane</i>	360
S2	<i>Polyurethane</i>	360
S3	<i>Polyurethane</i>	360

Spesimen	Jenis Pelapisan	WFT ( $\mu\text{m}$ )
S4	<i>Polyurethane</i>	360
S5	<i>Polyurethane</i>	360
S11	Elektroplating+ <i>Polyurethane</i>	390
S12	Elektroplating+ <i>Polyurethane</i>	390
S13	Elektroplating+ <i>Polyurethane</i>	390
S14	Elektroplating+ <i>Polyurethane</i>	390
S15	Elektroplating+ <i>Polyurethane</i>	390
S16	<i>Raw Material</i>	-

### 3.6. Hasil Pengukuran DFT

Proses pengukuran *Dry Film Thickness* (DFT) dilakukan setelah spesimen telah melewati pengukuran WFT berdasarkan ketentuan pengeringan yang ada pada *technical data sheet* yang diperoleh dari pabrik cat. Pengukuran DFT menggunakan alat yang bernama *thickness gauge*.

Proses pengukuran ini dilakukan dengan cara menempelkan *thickness gauge* ke permukaan spesimen, dan secara otomatis alat ini akan menunjukkan nilai ketebalan cat dari spesimen tersebut. Proses ini dilakukan ke beberapa titik dari spesimen untuk dicari hasil rata – ratanya untuk dijadikan hasil dari pengukuran nilai DFT. Hasil dalam proses pengukuran DFT ini, ditampilkan dalam gambar 11. Dan tabel 7.



Gambar 11. Pengukuran DFT

Tabel 7. Hasil Pengukuran DFT

Spesimen	Jenis Pelapisan	DFT ( $\mu\text{m}$ )
S1	<i>Polyurethane</i>	250
S2	<i>Polyurethane</i>	252
S3	<i>Polyurethane</i>	251
S4	<i>Polyurethane</i>	252
S5	<i>Polyurethane</i>	255
S11	Elektroplating+ <i>Polyurethane</i>	254
S12	Elektroplating+ <i>Polyurethane</i>	255
S13	Elektroplating+ <i>Polyurethane</i>	254

Spesimen	Jenis Pelapisan	DFT ( $\mu\text{m}$ )
S14	Elektroplating+ <i>Polyurethane</i>	253
S15	Elektroplating+ <i>Polyurethane</i>	254
S16	<i>Raw Material</i>	-

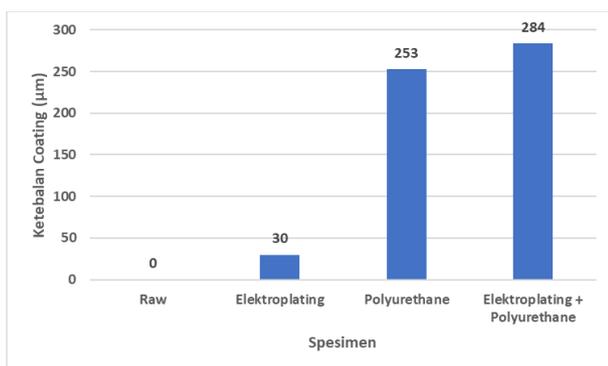
### 3.7. Hasil Pengukuran Ketebalan

Pengukuran ketebalan merupakan evaluasi perbedaan tebal baja sebelum dan setelah proses elektroplating untuk mengetahui tebal lapisan seng pada baja A36.

Pada penelitian ini, untuk mengukur ketebalan spesimen baja dengan perlakuan elektroplating diukur menggunakan mikrometer sekrup dengan tingkat akurasi 0.01 mm. Prinsip kerja dari alat ini ialah rotasi sekrup digunakan untuk menggerakkan rahang pengukur secara linier, dan kontak fisik antara ujung rahang dan permukaan spesimen digunakan untuk membaca skala nonius pada laras sekrup milimeter.

Sesuai dengan HES D 2003-17, minimal ketebalan elektroplating yaitu 8  $\mu\text{m}$ . Dalam proses *coating* cat, standar yang diacu adalah BKI bagian 1 Vol X mengenai "Pelaksanaan Standar untuk Pengukuran Ketebalan Konstruksi Lambung". Kriteria ketebalan maksimum sesuai peraturan adalah 250  $\mu\text{m}$ .

Penelitian ini memperoleh hasil rata – rata pengukuran ketebalan untuk *coating* cat *polyurethane* sebesar 253  $\mu\text{m}$ , elektroplating sebesar 30  $\mu\text{m}$ , dan *coating* cat + elektroplating sebesar 284  $\mu\text{m}$ . Hasil dalam proses pengukuran ketebalan ini, ditampilkan dalam gambar 12. Dan tabel 8.



Gambar 12. Hasil Rata – rata Pengukuran Ketebalan

Tabel 8. Hasil Uji Ketebalan

Spesimen	Jenis Pelapisan	Ketebalan Coating ( $\mu\text{m}$ )
S1	<i>Polyurethane</i>	250
S2	<i>Polyurethane</i>	252
S3	<i>Polyurethane</i>	251
S4	<i>Polyurethane</i>	252

Spesimen	Jenis Pelapisan	Ketebalan Coating ( $\mu\text{m}$ )
S5	<i>Polyurethane</i>	255
S6	<i>Elektroplating</i>	30
S7	<i>Elektroplating</i>	30
S8	<i>Elektroplating</i>	30
S9	<i>Elektroplating</i>	30
S10	<i>Elektroplating</i>	
S11	Elektroplating+ <i>Polyurethane</i>	284
S12	Elektroplating+ <i>Polyurethane</i>	285
S13	Elektroplating+ <i>Polyurethane</i>	284
S14	Elektroplating+ <i>Polyurethane</i>	283
S15	Elektroplating+ <i>Polyurethane</i>	284
S16	<i>Raw Material</i>	-

### 3.8. Hasil Pengujian Laju Korosi

Pengujian laju korosi dengan metode elektrokimia merupakan proses pengukuran tingkat keausan logam dengan menganalisis arus listrik yang timbul akibat reaksi elektrokimia antara logam dan elektrolit. Media pengkorosi yang digunakan dalam penelitian ini adalah larutan NaCl 3,5%. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Korosi dan Kegagalan Material, Teknik Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya. Pengujian laju korosi dengan metode elektrokimia ini menggunakan bantuan aplikasi Corrtest sebagai aplikasi pembaca nilai hasil laju korosi pengujian ini mendapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 9. Hasil Pengujian Laju Korosi

Spesimen	Jenis Pelapisan	Laju Korosi (mm/year)	Kategori
S1	<i>Polyurethane</i>	0.00071519	O
S2	<i>Polyurethane</i>	0.00066449	O
S3	<i>Polyurethane</i>	0.00049294	O
S4	<i>Polyurethane</i>	0.00045886	O
S5	<i>Polyurethane</i>	0.00043197	O
S6	<i>Elektroplating</i>	0.0010376	O
S7	<i>Elektroplating</i>	0.00082879	O
S8	<i>Elektroplating</i>	0.0003424	O
S9	<i>Elektroplating</i>	0.00013684	O
S10	<i>Elektroplating</i>	0.00045357	O
S11	<i>Polyurethane</i>	0.000082672	O
	+ <i>Elektroplating</i>		
S12	<i>Polyurethane</i>	0.000029349	O
	+ <i>Elektroplating</i>		
S13	<i>Polyurethane</i>	0.0000027529	O
	+ <i>Elektroplating</i>		
S14	<i>Polyurethane</i>	0.0000015036	O
	+ <i>Elektroplating</i>		

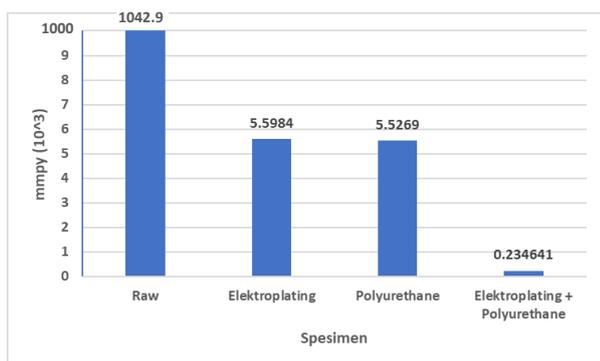
Spesimen	Jenis Pelapisan	Laju Korosi (mm/year)	Kategori
S15	Polyurethane + Elektroplating	0.0000010430	O
S16	Raw Material	0.10429	G

Dimana G adalah *Good*, E merupakan *Excellent*, dan O adalah *Outstanding*.

Hasil pada tabel di atas, kondisi material yang tidak diberikan perlakuan mendapatkan hasil laju korosi 0.10429 mmpy. Berdasarkan hasil tersebut, material ini termasuk dalam kategori "*Good*".

Berdasarkan tabel di atas, kondisi pada variasi *coating polyurethane* mendapatkan rata – rata laju korosi sebesar 0.00055269 mmpy, dengan hasil ini untuk variasi *coating polyurethane* mendapatkan kategori "*Outstanding*". Pada variasi elektroplating seng mendapatkan hasil rata – rata sebesar 0.00055984 mmpy, dengan hasil ini material dengan perlakuan elektroplating seng termasuk dalam kategori "*Outstanding*". Selanjutnya, pada variasi *coating polyurethane* + elektroplating seng mendapatkan nilai rata – rata 0.0000234641 mmpy, dengan hasil ini variasi *coating polyurethane* + elektroplating seng mendapatkan kategori "*Outstanding*".

Berdasarkan hasil di atas, didapatkan hasil bahwa nilai laju korosi terendah merupakan variasi *coating polyurethane* + elektroplating seng dengan hasil sebesar 0.0000010430 mmpy. Sedangkan untuk nilai laju korosi tertinggi merupakan material yang tidak diberikan perlakuan (*raw material*) sebesar 0.10429 mmpy. Hasil rata – rata pengukuran laju korosi, ditampilkan dalam gambar 13.



Gambar 13. Hasil Rata – rata Pengukuran Laju Korosi

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan, dapat disimpulkan bahwa pelapisan *coating polyurethane* dan elektroplating seng dapat menurunkan nilai laju korosi yang dimiliki pada baja A36, jenis dan ketebalan pelapisan menentukan hasil penurunan nilai laju korosi pada

baja A36. Hal ini dibuktikan dengan adanya hasil pengujian laju korosi yang secara konsisten menurun seiring banyaknya pelapisan yang diaplikasikan pada material baja A36. Material tanpa diberikan perlakuan mendapatkan hasil pengujian laju korosi sebesar 0.10429 mmpy yang mendapatkan kategori "*Good*". Untuk material dengan perlakuan elektroplating seng maupun cat *polyurethane*, mendapatkan hasil pengujian korosi yang lebih kecil, yaitu untuk material dengan perlakuan elektroplating seng, mendapatkan hasil rata – rata sebesar 0.00055984 mmpy mendapatkan kategori "*outstanding*", variasi ini mendapatkan nilai penurunan laju korosi sebesar 99.46% terhadap material tanpa diberi perlakuan. Untuk material dengan perlakuan *coating polyurethane* mendapatkan hasil rata – rata sebesar 0.00055269 mmpy mendapatkan kategori "*outstanding*". Material dengan perlakuan *coating* cat *polyurethane* mendapatkan penurunan laju korosi sebesar 99.47% terhadap material tanpa diberikan perlakuan. Ketika dua variasi tersebut elektroplating dan *coating* cat *polyurethane*, mendapatkan hasil rata – rata uji korosi sebesar 0.0000234641 mmpy mendapatkan kategori "*outstanding*", material ini mendapat penurunan laju korosi sebesar 95.75% terhadap material dengan perlakuan *coating* cat *polyurethane* 250  $\mu$ m.

#### DASTAR PUSTAKA

- [1] B. Sudjasta, P.J. Suranto, and H. Setiani., "Analisis Kebutuhan Pemasangan Zink Anode Untuk Mencegah Korosi Pada Lambung Kapal Kapal General Cargo," *Bina Teknika*, Vol. 14 No. 2, 2018, doi: 10.54378/bt.v14i2.402.
- [2] H. Supomo, "Korosi Perkapalan," *Airlangga Univ. Press*, 2023.
- [3] C. Huda and D. H. Sutjahjo, "Analisis Laju Korosi Material Aluminium 5083 Sebagai Aplikasi Bahan Lambung Kapal," *JPTM* vol. 06, no. 02, pp. 17-24, 2017.
- [4] T. I. Mahendra and Dwisetiono, "Proteksi Katodik Menggunakan Zinc Anode Untuk Menghambat Korosi Pada Lambung Kapal Port Link VII Jakarta," *Hexagon Univ. Tek. Sumbawa*, vol. 3, no. 1, 2022, doi: 10.36761/hexagon.v3i1.1492.
- [5] P. C. Lubis "Analisa Pengaruh Variasi Waktu Post Weld Heat Treatment Pada Pengelasan SMAW Baja A36 Terhadap Kekuatan Uji Tarik, Uji Impak dan Struktur Mikro," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 10, no. 3,

- p. 48, 2022.
- [6] Ngatmin, H. Purwanto, and I. Riwayati, "Analisis Laju Korosi Pada Plat baja Lambung Kapal Dengan Umpan Anoda Korban Aluminium," *J. Ilmiah Momentum*, vol. 15, no. 2, p. 174-179, 2019, doi: 10.36499/jim.v15i2.3085.
- [7] F. Gapsari, "Pengantar Korosi," Universitas Brawijaya Press, 2017.
- [8] V. Tripathi, S. Rai, and G. Ji, "Coating of ethanolic extract of mint leaves, with and without addition of NiO nanoparticles, on mild steel for its corrosion prevention in saline water," *Mater. Today Proc.*, May 2024, doi: 10.1016/j.matpr.2024.05.133.
- [9] M. Tofani, "Pengaruh Variasi Waktu Pencelupan Plat Baja A36 Terhadap Ketebalan Dan Kekerasan Pelapisan Zn Pada Proses Elektroplating," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 18, no. 1, 2022.
- [10] T. W. B. Riyadi, "Elektroplating Ni/Cu Pada Baja Karbon," *Prosiding University Research Colloquium*, 45–50, 2019.
- [11] N. Karthik, Y. R. Lee, and M. G. Sethuraman, "Hybrid sol-gel/thiourea binary coating for the mitigation of copper corrosion in neutral medium," *Prog. Org. Coatings*, vol. 102, pp. 259–267, 2017, doi: 10.1016/j.porgcoat.2016.10.024.
- [12] S. Pal, G. Ji, H. Lgaz, I. M. Chung, and R. Prakash, "Lemon seeds as green coating material for mitigation of mild steel corrosion in acid media: Molecular dynamics simulations, quantum chemical calculations and electrochemical studies," *J. Mol. Liq.*, vol. 316, p. 113797, 2020, doi: 10.1016/j.molliq.2020.113797.
- [13] J. Stubbendieck, C. D. Schmidt, H. L. Hillhouse, and L. M. Landholt, "Influences of wind and sandblasting on the endangered blowout penstemon," *Endanger. Species Res.*, vol. 9, no. 2, pp. 99–104, 2009, doi: 10.3354/esr00246.
- [14] M. S. Fadly, M. Iqbal, and R. Magga, "Efek Variasi Arus dan Waktu Pencelupan pada Proses Electroplating Plat Baja Komersil Terhadap Ketebalan Lapisan dan Laju Korosi," *J. Mekanikal*, vol. 10, no. 1, 906-917, 2019.
- [15] Y.K. Afandi, I.S. Arief, and Amiadji, "Analisa Laju Korosi pada Pelat Baja Karbon Dengan Variasi Ketebalan Coating," *J. Teknik ITS*, vol. 4, no. 1, 2015, doi: 10.12962/j23373539.v4i1.8931.
- [16] L. Ding and A. Poursaeed, "The impact of sandblasting as a surface modification method on the corrosion behavior of steels in simulated concrete pore solution," *Constr. Build. Mater.*, vol. 157, pp. 591–599, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.09.140.
- [17] M. F. Montemor, "Functional and smart coatings for corrosion protection: A review of recent advances," Nov. 15, 2014, Elsevier B.V. doi: 10.1016/j.surfcoat.2014.06.031.
- [18] H. Pratikno, F. W. Hapsari, and W. Lalitya Dhanista, "Analysis of the Effect of Abrasive Material and Polyurethane Coating Thickness Variations on ASTM A36 Steel Towards Corrosion Rate in Sea Water Environment," *Int. J. Offshore Coast. Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 10–17, 2021.
- [19] T. A. Wijaya, "Analysis Of Reforming Temperature Variation Effect to Micro Structur and Tensile Strength At Ss400 Steel," *Thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, Surabaya, 2017.
- [20] M. Faizal and S. Umam, "Analisis Kekuatan dan Kualitas Sambungan Las Dengan Variasi Pendinginan Oli dan Udara Pada Material ASTM A36 Dengan Pengujian NDT (Non Destructive Test)," *Bina Teknika*, vol. 14, no. 2, 2018, doi: 10.54378/bt.v14i2.338.
- [21] M. Rachmani, B. Prasajo, P. Mahardika, "Studi Perbandingan Pengaruh Ketebalan Coating dan Anoda Pada Material Baja Karbon BKI Grade A Terhadap Laju Korosi," in *Conference on Marine Engineering and Its Application*, Surabaya, 2022.
- [22] A. Rasyad and B. Arto, "Analisis Pengaruh Temperatur, Waktu, dan Kuat Arus Proses Elektroplating Terhadap Kuat Tarik, Kuat Tekuk dan Kekerasan Pada Baja Karbon Rendah," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 9, no. 3, pp. 173–182, 2018, doi: 10.21776/ub.jrm.2018.009.03.4.
- [23] Sumpena and Wardoyo, "Analisa Kuat

Arus Listrik dan Waktu Electroplating Nickel-Chrome terhadap Kekerasan dan Ketebalan Lapisan Permukaan Baja Karbon Rendah,” *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, Dan Material*, 4(2), 96–102. 2020, doi: 10.30588/jeemm.v4i2.809.

- [24] C. Manurung, “Pengaruh Kuat Arus Terhadap Ketebalan Lapisan dan Laju Korosi (Mpy) Hasil Elektroplating Baja Karbon Rendah Dengan Pelapis Nikel,” *Majalah Ilmiah Univ HKBP Nommensen*, vol. 21, no. 2, pp. 1857–1869, 2014.
- [25] L.J. Durney, “Electroplating Engineering Handbook,” *Springer New York, NY*, 2014.
- [26] K. Bimariga, “Influence Of Current Variation On Hardness, Thickness, And Corrosion Resistance Of Nickel – Hard Chromium Electroplated Aisi 4340 Alloy Steel,” *Thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, Surabaya, 2018.
-