

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja ASTM A36



Gambar 2. 1 Baja ASTM A36

ASTM A36 merupakan salah satu jenis baja karbon rendah yang banyak digunakan dalam aplikasi struktural berdasarkan standar yang ditetapkan oleh organisasi ASTM (Sujita & Sutanto, 2022). Material ini memiliki sifat mekanik yang memadai, seperti kekuatan tarik yang cukup, keuletan yang baik, serta kemudahan dalam proses fabrikasi seperti pengelasan dan pembentukan. Karena karakteristik tersebut, ASTM A36 banyak diaplikasikan pada konstruksi bangunan, jembatan, hingga komponen kapal, serta sering dijadikan sebagai material representatif dalam penelitian terkait baja struktural karbon rendah (Chandra et al., 2024).

Dalam kondisi lingkungan yang bersifat korosif, baja ASTM A36 memiliki kecenderungan mengalami degradasi, terutama ketika terpapar air laut (Pratama et al., 2022). Keberadaan ion klorida dapat meningkatkan konduktivitas media serta mempercepat terjadinya reaksi elektrokimia pada permukaan logam, sehingga laju korosi meningkat seiring waktu (Kim et al., 2022). Oleh karena itu, lingkungan air laut perairan Semarang digunakan dalam pengujian korosi karena mampu merepresentasikan kondisi nyata secara terkendali.

Tabel 2. 1 Kandungan Baja

Unsur	Simbol	Kadar Maksimum (%)	Keterangan
Karbon	C	$\leq 0,25$	Menentukan kekuatan dan kekerasan baja
Silikon	Si	$\leq 0,40$	Meningkatkan kekuatan dan ketahanan oksidasi
Mangan	Mn	$\leq 1,03$	Meningkatkan kekuatan dan ketangguhan
Fosfor	P	$\leq 0,40$	Unsur impuritas, harus rendah
Sulfur	S	$\leq 0,050$	Unsur impuritas, mempengaruhi keuletan
Besi	Fe	Balance	Unsur utama penyusun baja
Tembaga (opsional)	Cu	$\geq 0,20$	Meningkatkan ketahanan korosi

2.2 Korosi Baja pada lingkungan Marine



Gambar 2. 2 Korosi pada plat baja

Korosi pada baja di lingkungan marine terjadi karena air laut bertindak sebagai elektrolit yang memungkinkan reaksi elektrokimia berlangsung terus-menerus pada permukaan logam (Revie & Uhlig, 2021). Kandungan ion klorida pada air laut mempercepat kerusakan karena mampu menembus lapisan pasif dan memicu terjadinya korosi lokal (Pusparizkita et al., 2023). Korosi pada baja di lingkungan klorida dapat berkembang dalam bentuk korosi merata maupun korosi terlokalisasi yang berpotensi menimbulkan kerusakan serius pada area kecil (Melchers & Jeffrey, 2020).

Pada struktur kapal yang bekerja di bawah garis air, kondisi terendam secara kontinu meningkatkan peluang terbentuknya sel korosi karena elektrolit dan oksigen terlarut tersedia sepanjang waktu (Melchers & Jeffrey, 2020). Selain korosi merata, baja juga dapat mengalami serangan lokal seperti *pitting corrosion* yang umumnya dipicu oleh kandungan klorida serta adanya ketidaksempurnaan pada lapisan pelindung alami di permukaan (Revie & Uhlig, 2021). Korosi lokal menjadi salah satu jenis kerusakan yang berbahaya karena dapat menimbulkan lubang kecil yang berkembang cepat meskipun total kehilangan massa tidak terlihat dominan (Akpanyung & Loto, 2019).

Untuk mengurangi risiko korosi pada struktur baja, beberapa strategi proteksi dapat diterapkan seperti pemilihan material yang sesuai, penggunaan *cathodic protection*, serta pengaplikasian *Coating* sebagai perlindungan pasif (ASM Handbook Volume 13: Corrosion, 2019).

Tabel 2. 2 Satuan Laju Korosi

No	Satuan Laju Korosi	Simbol	Keterangan
1	Milimeter per tahun	mm/year	Satuan paling umum dalam pengujian material dan korosi. Menunjukkan ketebalan material yang hilang setiap tahun akibat korosi
2	Mil per year	mpy	Digunakan pada standar Amerika, sering dipakai dalam industri minyak dan gas.
3	Mikrometer per tahun	$\mu\text{m}/\text{year}$	Digunakan pada penelitian <i>Coating</i> atau korosi ringan. Lebih sensitif untuk material dengan laju korosi kecil,

			seperti baja berlapis <i>Epoxy</i> atau stainless steel.
4	Laju kehilangan massa	mg/cm ² ·day	Menyatakan kehilangan massa per luas permukaan per waktu. Biasanya digunakan pada tahap analisis awal sebelum dikonversi ke mm/y. Tidak mempertimbangkan densitas material.
5	Massa per luas per tahun	g/m ² ·year	Digunakan dalam studi korosi atmosferik atau <i>Coating</i> durability. Memudahkan perbandingan antar material dalam pengujian jangka panjang.
6	Laju korosi elektrokimia	mm/year	Digunakan pada metode elektrokimia. Laju korosi dihitung dari arus korosi dan konstanta Faraday

2.3 *Epoxy Coating* sebagai Proteksi Korosi pada Baja



Gambar 2. 3 *Coating Epoxy*

Proteksi korosi berbasis *Coating* dilakukan guna membentuk lapisan *barrier* sehingga kontak langsung antara baja dengan media korosif dapat

dikurangi (Funke, 2021). Namun, *Coating* organik seperti *Coating* tetap dapat mengalami penurunan performa akibat terbentuknya mikro dan retak halus yang menjadi jalur masuk elektrolit (Bierwagen, 2020). Pengembangan *Epoxy Coating* modern banyak diarahkan pada peningkatan sifat barrier melalui penambahan material penguat agar *Coating* lebih tahan terhadap penetrasi ion agresif (Hao, 2025).

Selain penambahan filler, sistem *Coating* juga dikembangkan melalui konsep *self-healing* yang bertujuan memperbaiki kerusakan mikro secara otomatis untuk memperpanjang ketahanan proteksi. Pendekatan *self-healing Epoxy* pada lingkungan klorida juga memperlihatkan peningkatan ketahanan korosi melalui mekanisme pelepasan inhibitor atau perbaikan lapisan saat terjadi gangguan (Zhang, 2024). Dalam konteks aplikasi *Coating*, jumlah lapisan berhubungan dengan ketebalan total sehingga dapat memperpanjang jalur difusi elektrolit menuju substrat baja (Yu, 2024). Sistem lapisan *Epoxy* 0 lapis, 1 lapis, 2 lapis, dan 3 lapis, mampu menghasilkan ketahanan korosi lebih baik saat diuji dalam larutan air laut karena peningkatan sifat *barrier* (Pham, 2025).

2.4 Metode Kehilangan Massa (*Weight Loss*) untuk Menghitung Laju Korosi

Metode *Weight Loss* dilakukan dengan cara membandingkan massa spesimen sebelum dan setelah proses perendaman dalam media korosif. Pada penelitian ini, spesimen baja ASTM A36 yang telah diberi *Coating Epoxy* dengan variasi 0 lapis, 1 lapis, 2 lapis, dan 3 lapis terlebih dahulu ditimbang untuk mendapatkan massa awal (W_o). Spesimen kemudian direndam dalam air laut selama durasi tertentu sesuai waktu pengujian. Setelah proses perendaman selesai, spesimen dibersihkan dari produk korosi yang terbentuk, dikeringkan, dan ditimbang kembali untuk memperoleh massa akhir (W_t) (Hartono et al., 2026).

Rumus kehilangan beban:

$$\Delta W = W_o - W_t \quad 0.1$$

Keterangan:

ΔW : kehilangan massa (mg)

W_o : massa awal

W_t : massa akhir

Rumus umum (mm/tahun):

$$CR = \frac{K \cdot \Delta W}{\rho \cdot A \cdot t} \quad 0.2$$

Keterangan:

CR: laju korosi (mm/tahun)

K: konstanta (8,76 untuk mm/y)

ΔW : kehilangan massa (mg)

ρ / D: densitas material (g/cm^3)

A: luas permukaan (cm^2)

t: waktu (jam)

Metode *Weight Loss* banyak digunakan dalam penelitian karena mampu menunjukkan tren degradasi material terhadap waktu secara kuantitatif (Hartono et al., 2026).

2.5 pH Larutan Air Laut



Gambar 2. 4 Ker pH alat pengukur pH

pH merupakan parameter yang menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan berdasarkan konsentrasi ion hidrogen H^+). Dalam studi korosi, pH berperan penting karena memengaruhi kestabilan permukaan logam dan laju reaksi elektrokimia antara logam dan lingkungan elektrolit (Revie & Uhlig, 2021).

Larutan air laut umumnya memiliki pH mendekati netral karena natrium klorida merupakan garam netral yang tidak mengalami hidrolisis signifikan di dalam air. Oleh karena itu, larutan ini sering digunakan sebagai simulasi lingkungan laut buatan dalam penelitian korosi modern (Callister & Rethwisch, 2021).

Walaupun memiliki pH netral, larutan air laut tetap bersifat agresif terhadap logam karena mengandung ion klorida (Cl^-). Ion klorida diketahui mampu meningkatkan konduktivitas larutan dan mempercepat degradasi logam dengan merusak lapisan pelindung alami pada permukaan baja (Duu Honggo & Kristiyono, 2022).

Dalam pengujian korosi berbasis air laut tingkat korosivitas larutan lebih dipengaruhi oleh aktivitas ion klorida dibandingkan oleh perubahan nilai pH. Oleh sebab itu, larutan ini banyak digunakan sebagai media standar dalam pengujian ketahanan korosi material dan *Coating* pelindung (Raoufi Masouleh & Ashraf Talesh, 2025).

2.6 Air Laut Perairan Semarang Sebagai Media Korosif

Air laut perairan Semarang dipilih sebagai media pengujian karena mewakili kondisi lingkungan operasional kapal yang sebenarnya.

Karakteristik umum air laut Semarang meliputi:

Tabel 2. 3 Parameter

Parameter	Nilai
Salinitas	30–35 ppt
pH	7,5–8,3
Temperatur	28–32°C
Kandungan Cl^-	Tinggi

Kondisi tersebut menjadikan air laut Semarang cukup agresif terhadap material baja karbon.

2.7 Penelitian Terdahulu

Berbagai penelitian mengenai perlindungan korosi menggunakan *Coating* telah banyak dilakukan dengan variasi material, media korosif, metode pengujian, maupun jenis *Coating* yang digunakan. Namun demikian, masih terdapat perbedaan ruang lingkup penelitian yang menunjukkan adanya peluang untuk melakukan kajian lebih lanjut mengenai pengaruh variasi jumlah lapisan *Coating Epoxy* terhadap laju korosi baja ASTM A36 pada media air laut menggunakan metode *Weight Loss*.

Penelitian yang dilakukan oleh Wibisono et al. (2025) menganalisis pengaruh bahan *Coating* terhadap material stainless steel 316L yang direndam dalam larutan asam sulfat (H_2SO_4) menggunakan metode *Weight Loss* dan pengamatan foto mikro. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *Coating Epoxy* mampu menurunkan laju korosi secara signifikan dibandingkan spesimen tanpa *Coating*. Meskipun demikian, penelitian tersebut menggunakan material stainless steel 316L dan media asam sulfat, sehingga kondisi pengujiannya berbeda dengan penelitian ini yang menggunakan baja karbon ASTM A36 dan media air laut aktual.

Penelitian lain oleh Noormansyah et al. (2023) mengkaji pengaruh salinitas terhadap laju korosi merata pada baja SS400 dengan variasi ketebalan *Coating* polyurethane menggunakan metode *Weight Loss* dan pengujian elektrokimia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi ketebalan *Coating* serta semakin rendah tingkat salinitas media, maka laju korosi material semakin kecil. Akan tetapi, penelitian tersebut berfokus pada *Coating* polyurethane dan variasi ketebalan lapisan, bukan pada variasi jumlah lapisan *Coating Epoxy* sebagaimana yang dilakukan dalam penelitian ini.

Selanjutnya, Dwinanda et al. (2021) melakukan penelitian mengenai pengaruh perlakuan *Coating Epoxy* dan non-*Epoxy* terhadap baja karbon rendah dalam larutan natrium klorida (NaCl) melalui metode *immersion test*. Penelitian tersebut membuktikan bahwa *Coating Epoxy* memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menghambat laju korosi dibandingkan *Coating non-Epoxy*. Namun, penelitian tersebut tidak membahas pengaruh variasi jumlah lapisan *Coating* sehingga belum dapat menjelaskan hubungan antara jumlah lapisan dan efektivitas perlindungan korosi.

Penelitian yang dilakukan oleh Caldoni et al. (2021) berfokus pada karakterisasi *Coating Epoxy-amine* terhadap perlindungan korosi baja lunak (*mild steel*) menggunakan metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Coating Epoxy* memiliki ketahanan korosi yang tinggi pada lingkungan yang mengandung ion klorida. Akan tetapi, penelitian tersebut lebih menitikberatkan pada karakteristik material *Coating* melalui metode elektrokimia dan tidak menggunakan metode *Weight Loss* sebagai dasar evaluasi laju korosi.

Sementara itu, Amendola et al. (2023) mengembangkan teknologi *self-healing Epoxy Coating* untuk meningkatkan perlindungan korosi pada lingkungan laut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknologi *self-*

healing mampu memperpanjang masa perlindungan *Coating* melalui mekanisme perbaikan otomatis pada lapisan yang mengalami kerusakan. Meskipun memberikan performa yang sangat baik, teknologi tersebut menggunakan sistem *Coating* yang lebih kompleks sehingga kurang merepresentasikan aplikasi *Coating Epoxy* multilayer konvensional yang umum digunakan pada industri perkapalan.

Penelitian berikutnya oleh Pham et al. (2025) mengembangkan *Coating Epoxy* yang dimodifikasi menggunakan nanopartikel Fe_3O_4 untuk meningkatkan ketahanan korosi baja pada media NaCl 3,5%. Pengujian dilakukan menggunakan metode EIS, SEM, dan kurva polarisasi Tafel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan nanopartikel mampu meningkatkan resistansi korosi secara signifikan. Namun demikian, penelitian tersebut lebih menitikberatkan pada modifikasi komposisi *Coating* dibandingkan pengaruh jumlah lapisan *Coating*.

Penelitian yang dilakukan oleh Setyawan et al. (2023) merupakan salah satu penelitian yang memiliki kedekatan dengan penelitian ini karena mengkaji pengaruh variasi jumlah pelapisan terhadap laju korosi baja AISI 1020 menggunakan metode *Weight Loss* dan *spray Coating*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan jumlah lapisan *Coating* mampu menurunkan laju korosi material. Meskipun demikian, penelitian tersebut menggunakan material yang berbeda serta media korosif yang bukan berupa air laut aktual, sehingga hasilnya belum sepenuhnya menggambarkan kondisi lingkungan maritim yang sebenarnya.

Selanjutnya, Kamila (2024) meneliti pengaruh penambahan *Coating Epoxy* terhadap ketahanan korosi material aluminium menggunakan metode *Weight Loss*. Penelitian tersebut membuktikan bahwa *Coating Epoxy* mampu meningkatkan ketahanan korosi secara signifikan. Akan tetapi, penggunaan material aluminium menyebabkan mekanisme korosi yang terjadi berbeda dengan baja karbon ASTM A36 sehingga hasil penelitian tidak dapat secara langsung diterapkan pada penelitian ini.

Penelitian mengenai laju korosi proses pelapisan pada plat dinding tangki menggunakan metode *Weight Loss* yang dilakukan pada tahun 2021 menunjukkan bahwa metode kehilangan massa merupakan metode yang efektif untuk mengevaluasi laju korosi material baja. Namun penelitian tersebut tidak membahas pengaruh variasi jumlah lapisan *Coating Epoxy* maupun penggunaan media air laut aktual sehingga ruang lingkup penelitian masih terbatas.

Selain itu, **Resiyanto (2021)** melakukan penelitian mengenai penghambatan korosi pada peralatan *offshore* menggunakan *Coating Epoxy* yang dimodifikasi dengan graphene oxide melalui metode *immersion test*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan graphene oxide mampu meningkatkan ketahanan korosi *Coating* dalam media air laut buatan. Akan tetapi, fokus penelitian tersebut adalah pengembangan material *Coating* berbasis nanokomposit, bukan pengaruh variasi jumlah lapisan *Coating* terhadap laju korosi.

Berdasarkan berbagai penelitian terdahulu tersebut dapat diketahui bahwa *Coating Epoxy* secara umum mampu meningkatkan ketahanan korosi material logam melalui mekanisme pembentukan lapisan penghalang (*barrier layer*) yang membatasi kontak langsung antara logam dan lingkungan korosif. Berbagai penelitian juga menunjukkan bahwa performa *Coating* dipengaruhi oleh jenis material *Coating*, ketebalan lapisan, teknologi modifikasi, serta metode aplikasi yang digunakan. Namun sebagian besar penelitian masih berfokus pada pengembangan *Coating* melalui penambahan nanopartikel, graphene, maupun teknologi *self-healing*, serta menggunakan metode elektrokimia seperti EIS dan Tafel sebagai metode utama pengujian.

Oleh karena itu, masih terdapat celah penelitian (*research gap*) yang perlu dikaji lebih lanjut, yaitu mengenai pengaruh variasi jumlah lapisan *Coating Epoxy* terhadap laju korosi baja ASTM A36 menggunakan metode *Weight Loss* dengan media air laut aktual. Penggunaan media air laut langsung diharapkan mampu memberikan gambaran yang lebih representatif terhadap kondisi operasi struktur baja pada lingkungan maritim dibandingkan penggunaan larutan NaCl sebagai media simulasi. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi mengenai jumlah lapisan *Coating Epoxy* yang paling efektif dalam meningkatkan ketahanan korosi baja ASTM A36 pada aplikasi konstruksi kapal dan struktur kelautan.