



**PROYEK TUGAS AKHIR
TEKNOLOGI REKAYASA KONSTRUKSI PERKAPALAN**

**ANALISIS LAJU KOROSI GALVANIK BAJA KARBON RENDAH
TERHADAP ZINC ANODE MELALUI PENDEKATAN
EKSPERIMENTAL**

Diajukan untuk memenuhi sebagai persyaratan

Memperoleh Gelar Sarjana Terapan

Disusun oleh:

Jenni Riris Setyowati

40040422650046

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNOLOGI REKAYASA
KONSTRUKSI PERKAPALAN DEPARTEMEN**

TEKNOLOGI INDUSTRI

SEKOLAH VOKASI

UNIVERSITAS DIPONEGORO

2026

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Jenni Riris Setyowati
NIM : 40040422650046
Judul Tugas : Analisis Laju Korosi Galvanik Baja Karbon Rendah terhadap Zinc Anode melalui Pendekatan Eksperimental

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan Laporan Tugas Akhir ini berdasarkan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri, baik untuk naskah laporan maupun kegiatan proses pemecahan masalah yang tercantum sebagai bagian dari Tugas Akhir ini. Jika terdapat karya orang lain, akan saya cantumkan sumber yang jelas.

Demikian pernyataan yang telah saya buat dengan sesungguhnya dan apa bila dikemudian hari terdapat penyimpangan serta ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya akan menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena Tugas Akhir ini dan sanksi lain sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Diponegoro.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan dari pihak manapun.

Semarang, 17 Juni 2026

Jenni Riris Setyowati

HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR

HALAMAN PENGESAHAN
TUGAS AKHIR
ANALISIS LAJU KOROSI GALVANIK BAJA KARBON RENDAH TERHADAP
ZINC ANODE MELALUI PENDEKATAN EKSPERIMENTAL

Laporan Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan Departemen
Teknologi Industri Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro

Oleh:

Jenni Riris Setyowati
40040422650046

Diajukan pada

Sidang Laporan Tugas Akhir

Tanggal 17 Juni 2026

Dinyatakan Lulus/ Tidak Lulus

Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan

Dr. Aulia Widyandari, S.T., M.T.

Pembimbing.....

Muhammad Sawal Baital, S.T., M.T.

Penguji 1.....

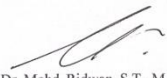
Dr. Mohd Ridwan, S.T., M.T.

Penguji 2.....

Mengetahui,

Ketua Program Studi

Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan
Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro


Dr. Mohd. Ridwan, S.T., M.T.

NIP 19700827199931002

ABSTRAK

Korosi merupakan salah satu permasalahan utama pada material baja yang digunakan dalam industri perkapalan karena kontak langsung dengan lingkungan laut dapat menyebabkan penurunan kekuatan dan umur pakai struktur. Salah satu metode perlindungan yang banyak diterapkan adalah sistem proteksi katodik menggunakan zinc anode sebagai anoda korban untuk melindungi baja dari proses oksidasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis laju korosi galvanik baja karbon rendah ASTM A36 yang dipasangkan dengan zinc anode serta mengetahui pengaruh variasi suhu, salinitas, dan pH terhadap perilaku korosi. Pengujian dilakukan secara eksperimental menggunakan metode weight loss dengan mengukur perubahan massa spesimen sebelum dan sesudah perendaman selama 30 hari (720 jam) dalam larutan elektrolit yang memiliki variasi salinitas 1%, 3,5%, dan 5%, pH 5, 7, dan 9, serta kondisi suhu 28–30°C, 31–34°C, dan 38–42°C.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem proteksi menggunakan zinc anode mampu mengalihkan reaksi oksidasi dari baja ASTM A36 menuju zinc sehingga baja berperan sebagai katoda dan mengalami penurunan laju korosi. Perbedaan kondisi lingkungan memberikan pengaruh terhadap tingkat kehilangan massa dan nilai laju korosi yang diperoleh. Peningkatan suhu dan salinitas cenderung meningkatkan laju korosi akibat meningkatnya aktivitas reaksi elektrokimia dan konduktivitas larutan, sedangkan kondisi pH asam mempercepat proses korosi dibandingkan kondisi netral dan basa. Dengan demikian, efektivitas zinc anode sebagai anoda korban sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan tempat sistem proteksi tersebut bekerja.

Kata kunci: korosi galvanik, ASTM A36, zinc anode, weight loss, laju korosi, proteksi katodik

ABSTRACT

Corrosion is one of the primary issues affecting steel materials used in the shipbuilding industry, as direct contact with the marine environment can lead to a reduction in structural strength and service life. One widely used protection method is a cathodic protection system that employs zinc anodes as sacrificial anodes to protect the steel from oxidation. This study aims to analyze the galvanic corrosion rate of low-carbon ASTM A36 steel paired with a zinc anode and to determine the effect of variations in temperature, salinity, and pH on corrosion behavior. The testing was conducted experimentally using the weight loss method by measuring the mass change of the specimens before and after immersion for 30 days (720 hours) in an electrolyte solution with salinity variations of 1%, 3.5%, and 5%, pH levels of 5, 7, and 9, and temperature conditions of 28–30°C, 31–34°C, and 38–42°C.

The test results indicate that the protection system using a zinc anode is capable of diverting the oxidation reaction from the ASTM A36 steel to the zinc, causing the steel to act as a cathode and experience a reduction in corrosion rate. Differences in environmental conditions affect the mass loss rate and the corrosion rate obtained. Increased temperature and salinity tend to increase the corrosion rate due to increased electrochemical reaction activity and solution conductivity, while acidic pH conditions accelerate the corrosion process compared to neutral and basic conditions. Thus, the effectiveness of zinc anodes as sacrificial anodes is greatly influenced by the environmental conditions in which the protection system operates.

Keywords: *galvanic corrosion, ASTM A36, zinc anode, weight loss, corrosion rate, cathodic protection.*

KATA PENGANTAR

Puji Syukur atas kehadiran Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa sehingga penyusun dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Analisis Laju Korosi Galvanik Baja Karbon Rendah terhadap Zinc Anode melalui Pendekatan Eksperimental”. Tugas akhir ini disusun sebagai pemenuhan syarat untuk meraih gelar Sarjana Terapan pada Pendidikan Program Studi Rekayasa Konstruksi Perkapalan, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro.

Penyusunan tugas akhir tidak lepas dari dukungan dan bantuan dari pihak, maupun secara langsung atau secara tidak langsung. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar- besarnya kepada:

1. Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala atas segala rahmat, hidayah, dan karunia-Nya yang senantiasa mengiringi setiap langkah penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Hanya atas izin dan kehendak-Nya lah penulis diberikan kekuatan untuk bangkit di setiap kali jatuh, diberikan kejernihan pikiran di saat kebuntuan datang, dan diberikan kemudahan di tengah segala kesulitan yang menghadang.
2. Bapak Dr. Moh Ridwan, S.T., M.T. selaku Ketua program studi D4 Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, yang telah memberikan dukungan, dan arahan selama penulis menempuh pendidikan di program studi ini. Terima kasih pula atas kebijakan dan fasilitas yang telah disediakan sehingga proses penyusunan tugas akhir ini dapat berjalan dengan lancar. Semoga program studi ini terus berkembang dan melahirkan lulusan-lulusan yang kompeten serta bermanfaat bagi masyarakat luas.
3. Ibu Dr. Aulia Widyandari, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikirannya untuk memberikan bimbingan, arahan, serta masukan yang sangat berharga selama proses penyusunan laporan tugas akhir ini. Kesabaran dan dedikasi dalam membimbing penulis menjadi motivasi tersendiri untuk terus berkembang.
4. Semua dosen Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan yang telah memberikan dedikasinya untuk mendidik dan mengajarkan ilmu dengan penuh rasa sabar dan ikhlas. Semoga ilmu yang telah diberikan dapat menjadi bekal bagi penulis dalam menjalani kehidupan di masa mendatang.
5. Ucapan terima kasih yang paling tulus dan paling dalam penulis persembahkan kepada orang tua tercinta, Ayah Priyanto dan Ibu Hartini, yang menjadi sumber kekuatan terbesar dalam setiap langkah perjalanan penulis. Tidak ada kata yang cukup untuk menggambarkan betapa besar pengorbanan yang telah kalian berikan dengan penuh keikhlasan, membangunkan di pagi buta untuk mengingatkan tanggung jawab, hingga duduk menemani di malam-malam panjang ketika penulis merasa lelah dan kehilangan arah, serta saudara perempuan saya, Navesia Pricilya Azzahra.
6. Keluarga besar Sukir Siswosupatmo, terimakasih dukungan serta doa yang terus mengalir serta dukungan yang terus diberikan kepada penulis.
7. Teman-teman, Kania, Bia, Enggal, Farah, Bima, Fahrian, Hafiz, Habib, Amel, Aulia, Zara kecil 24, terimakasih atas bantuan yang telah diberikan serta selalu kebersamaan dalam suka dan duka dalam penulisan Tugas Akhir ini. Terima kasih telah menemani proses dalam perjalanan Eksperimen Tugas Akhir ini dari awal sampai selesai.
8. Teman seperbimbingan, Raihan, Sadad, yang telah menjadi bagian penting dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Terima kasih telah menemani setiap proses dalam perjalanan akademik ini.
9. Teman-teman seperjuangan NASA angkatan 2022 yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu. Semua pihak yang telah banyak memberikan bantuan secara langsung maupun

tak langsung kepada penulis. Kalian adalah bagian penting dari perjalanan ini, karena tanpa dukungan dan kebersamaan yang diberikan, penyelesaian Tugas Akhir ini tidak akan terasa sekuat dan sebermakna sekarang.

10. PT JMI (Janata Marina Indah) , Bapak Suharto, Bapak Tohir, Bapak Slamet, Bapak Dodo, Mas Kuriman dan Aji, penulis ucapkan sebesar- besarnya atas segala bantuan, dukungan, serta masukan yang telah di berikan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini. Setiap bantuan yang diberikan, sekecil apa pun, memiliki arti yang sangat berharga dan turut menjadi bagian penting dalam terselesaikannya penelitian ini.

Semarang, 17 Juni 2026

Jenni Riris Setyowati

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	i
HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR ISTILAH	xii
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat	2
1.6 Hipotesa	2
1.7 Luaran Tugas Akhir.....	3
BAB II.....	4
TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Baja Karbon Rendah.....	4
2.2.1 Material Baja ASTM A36.....	4
2.2 Korosi	5
2.2.1 Jenis Korosi	6
2.2.2 Korosi Galvanik	9
2.3 Laju Korosi	10
2.3.1 Metode Weight Loss	11
2.4 Proteksi Katodik.....	11

2.5 Zinc Anode	12
2.6 Salinitas	12
2.7 ph (<i>Potential of Hydrogen</i>)	13
2.8 Suhu Lingkungan	13
2.9 Penelitian Terdahulu	13
BAB III	15
METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Penelitian Terdahulu	15
3.2 Lokasi dan Objek Penelitian	15
3.3 Jenis dan Sumber Data	15
3.4 Variabel Penelitian	15
3.4.1 Variabel Bebas	15
3.4.2 Variabel Terikat	16
3.4.3 Variabel Kontrol	16
3.5 Pengumpulan Data	16
3.5.1 Data Primer	16
3.5.2 Data Sekunder	16
3.6 Pengolahan Data	16
3.7 Kesimpulan	17
3.8 Flowchart Penelitian	18
BAB IV	19
HASIL DAN PEMBAHASAN	19
4.1 Deskripsi Spesimen Uji	19
4.1.1 Spesifikasi Spesimen Uji	19
4.2 Variasi Kondisi Eksperimen	21
4.3 Prosedur Pengujian Eksperimental	22
4.3.1 Persiapan Spesimen	22
4.3.2 Proses Pembersihan Spesimen	22
4.3.3 Persiapan Larutan Elektrolit	23
4.3.4 Proses Perendaman	24

4.4 Hasil Pengukuran Berat dan Kehilangan Berat.....	25
4.4.1 Pengukuran Kehilangan Berat Spesimen A-F.....	25
4.4.2 Pengukuran <i>Weight Gain Zinc Anode</i> Spesimen G-H-I	27
4.4.3 Analisis Pengaruh Variabel terhadap Laju Korosi.....	28
4.5 Analisis Produk Korosi	31
4.5.1 Mekanisme Pembentukan Produk Korosi	31
4.5.2 Analisis Produk Korosi berdasarkan pH	32
4.6 Karakteristik Spesimen setelah Pengujian	33
BAB V.....	36
KESIMPULAN DAN SARAN	36
5.1 Kesimpulan	36
5.2 Saran	36
DAFTAR PUSTAKA.....	37
LAMPIRAN.....	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1Komposisi kimia baja ASTM A36 (Sumber: S. Senthilkumar et al. (2023)	5
Gambar 2. 2 Pitting Corrosion (Sumber: Microbiology, 2011).....	7
Gambar 2. 3 Errosion Corrosion (Sumber: Utomo, 2009)	7
Gambar 2. 4 Galvanic Corrosion (Sumber: Utomo, 2009)	8
Gambar 2. 5 Unifrom Corrosion (Sumber: Utomo, 2009)	8
Gambar 2. 6 Stress Corrosion Cracking (Sumber: AMPP – Stress Corrosion Cracking, ampp.org)	9
Gambar 2. 7 Creive Corrosion (Sumber: orapiasia.com, diakses 2026)	9
Gambar 4. 1 Spesimen ASTM A36	20
Gambar 4. 2 Zinc anode	20
Gambar 4. 3 Pengukuran Salinitas menggunakan TDS Meter.....	25
Gambar 4. 4 Pengukuran Suhu Elektrolit	25
Gambar 4. 5 Grafik hasil pengukuran weight loss A-F	26

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komposisi Kimia ASTM A36	5
Tabel 2. 2 Satuan Laju Korosi	10
<i>Tabel 4. 1 Spesifikasi dimensi spesimen uji</i>	19
Tabel 4. 2 Variasi kondisi eksperimen	21
<i>Tabel 4. 3 Variasi salinitas dan pH</i>	23
Tabel 4. 4 Hasil pengukuran berat dan kehilangan berat A-F.....	26
Tabel 4. 5 Pengukuran berat spesimen G-I	28
Tabel 4. 6 Rata-rata laju korosi kelompok suhu	28
Tabel 4. 7 Rata-rata Pengaruh Salinitas	29
Tabel 4. 8 Rata-rata Pengaruh pH	30
Tabel 4. 9 Perbandingan Pengaruh Salinitas dan pH	30
Tabel 4. 10 Identifikasi Produk Korosi	32
Tabel 4. 11 Karakteristik Visual Spesimen	33

DAFTAR ISTILAH

Anoda (Anode)	: Elektroda tempat terjadinya reaksi oksidasi pada proses elektrokimia, di mana logam mengalami pelarutan.
Katoda (Cathode)	: Elektroda tempat terjadinya reaksi reduksi pada sel elektrokimia.
<i>Potential of Hydrogen</i> (pH)	: Derajat keasaman atau kebasaan larutan yang berpengaruh terhadap reaksi korosi.
Salinitas	: Kadar garam terlarut dalam air laut yang memengaruhi laju korosi.
Weight Loss Method	: Metode pengukuran laju korosi berdasarkan selisih berat spesimen sebelum dan sesudah pengujian.
<i>Zinc Anode</i>	: Anoda korban berbahan seng yang digunakan untuk melindungi baja dari korosi.
Elektrolit	: Media penghantar ion, seperti air laut, yang memungkinkan terjadinya reaksi elektrokimia.
Potensial Elektrokimia	: Perbedaan energi listrik antara dua elektroda yang menyebabkan terjadinya reaksi elektrokimia.
<i>Ferrous</i>	: Logam atau material yang mengandung besi.
ASTM A36	: Standar baja karbon struktural yang dikeluarkan oleh American <i>Society for Testing and Materials</i> (ASTM) dan banyak digunakan pada konstruksi serta struktur kapal.
Gravimetri	: Metode pentuan konsentrasi larutan berdasarkan pengukuran massa zat yang dilarutkan.

Pitting Corrosion	:	Korosi yang membentuk lubang-lubang kecil pada permukaan logam
Erosion Corrosion	:	Korosi akibat kombinasi antara cairan berkecepatan tinggi dengan reaksi kimia.
Uniform Corrosion	:	Korosi yang terjadi secara merata dan seragam di seluruh permukaan logam yang terpapar lingkungan korosif.
Stress Corrosion Cracking	:	Korosi yang muncul dalam bentuk retakan-retakan kecil pada permukaan.
Crevice Corrosion	:	Korosi yang terjadi pada celah sempit atau bagian tersembunyi dari sambungan logam.
Galvanic Current	:	Arus listrik yang mengalir antara dua logam berbeda yang dihubungkan dalam larutan elektrolit.
Polaritas	:	Perubahan potensial elektroda akibat mengalirnya arus listrik dalam sel elektrokimia.
Densitas (ρ)	:	Massa per satuan volume material, digunakan dalam hitungan laju korosi (baja ASTM A36= 7,85 g/cm ³)
Corrosion Rate (CR)	:	Laju korosi yang dinyatakan dalam satuan mm/tahun atau mpy.
Fe(OH) ₂	:	Besi (II) hidroksida, produk korosi berwarna kuning kehijauan yang terbentuk pada awal proses korosi baja.
Zn(OH) ₂	:	Seng hidroksida, produk korosi zinc anode berwarna putih yang dapat mengendap pada permukaan baja.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penerapan material baja menjadi material utama dalam pembangunan kapal, sistem persenjataan, mesin utama, dan mesin pendukung kapal. Material baja pada kapal menunjukan kerentanan tinggi terhadap korosi, yang dapat berpotensi menurunkan kualitas material kapal. Mengingat dampak ancaman korosi yang begitu signifikan, maka diperlukan pengembangan berbagai strategi untuk melindungi baja tersebut dari berbagai bentuk kerusakan potensial, dengan tujuan memperpanjang masa pakai. Kerusakan akibat serangan korosi (karat) merupakan fenomena umum yang memicu penurunan kualitas suatu material melalui interaksi dengan lingkungan, sehingga tidak hanya merusak penampilannya, tetapi juga mengurangi masa pakai dari baja tersebut (Bayuseno 2012). Baja merupakan material yang banyak digunakan dalam industri, khususnya pada bidang perkapalan, salah satunya sebagai bahan utama pembuatan pelat kapal. Pelat kapal umumnya dibuat dari baja karbon rendah yang memiliki kandungan utama sekitar 97% besi (Fe) serta unsur lain seperti karbon sebesar 1,67%. Pelat kapal berfungsi sebagai kulit lambung kapal yang berperan penting dalam menjaga kekuatan dan keselamatan struktur kapal. Dalam penggunaannya, pelat kapal bersinggungan langsung dengan lingkungan luar, terutama air laut, sehingga dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan seperti suhu, salinitas, angin, dan kondisi perairan. Interaksi antara material pelat kapal dengan lingkungan tersebut dapat memicu terjadinya proses korosi yang berpotensi menurunkan kualitas dan umur pakai material, sehingga diperlukan perhatian khusus terhadap permasalahan korosi pada pelat kapal (No et al. 2019). Baja karbon rendah merupakan jenis baja ferrous yang paling banyak digunakan dalam bidang konstruksi, industri, dan material struktur. Dalam penerapannya, baja karbon rendah dapat mengalami korosi atmosfer yang dapat menyebabkan penurunan ketangguhan struktur (Ummah, Muslim, and Sukmana 2016).

Korosi galvanik merupakan korosi yang muncul ketika dua logam yang berbeda saling terhubung dan memiliki perbedaan potensial di antara keduanya, sehingga salah satu logam menjadi lebih mudah terkorosi dibandingkan yang lainnya (Sofian et al. 2022). Baja menunjukkan ketahanan korosi yang baik pada lingkungan media korosif tertentu berkat stabilitas lapisan film pasifnya. Namun, performa proteksi korosinya menurun secara signifikan pada kondisi non-oksidasi dengan suhu tinggi.

Berbagai penelitian terdahulu telah membahas mekanisme dan pengendalian korosi galvanik pada baja karbon rendah di lingkungan laut, seperti yang dijelaskan oleh Mars G. Fontana dalam *Corrosion Engineering* (1986), yang menguraikan prinsip proteksi katodik menggunakan zinc sebagai anoda korban. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang secara khusus mengkaji laju korosi pada pasangan material tersebut guna memperoleh data yang lebih aplikatif dan relevan terhadap kebutuhan industri perkapalan.

Penelitian ini secara khusus mengukur dan mengevaluasi perubahan laju korosi yang terjadi akibat pemasangan zinc anode, sehingga menghasilkan data yang lebih spesifik mengenai perilaku korosi material dalam sistem proteksi tersebut. Dengan demikian, penelitian ini memberikan informasi terukur mengenai karakteristik laju korosi baja karbon rendah dalam pasangan galvanik dengan zinc anode.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dapat diperoleh dari latar belakang dan judul Tugas Akhir diatas antara lain sebagai berikut:

1. Penentuan nilai laju korosi baja karbon rendah yang dihitung menggunakan metode weight loss, serta faktor-faktor yang mempengaruhi hasil perhitungannya.
2. Penentuan karakteristik proses korosi galvanik yang terjadi pada baja karbon rendah saat berinteraksi dengan zinc anode.
3. Penentuan faktor-faktor eksperimental yang mempengaruhi besarnya laju korosi galvanik pada baja karbon rendah dalam sistem tersebut.

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menentukan nilai laju korosi baja karbon rendah yang dipasangkan dengan zinc anode melalui pengujian eksperimental.
2. Mengidentifikasi karakteristik proses korosi galvanik yang terjadi pada baja karbon rendah dalam sistem dengan zinc anode.
3. Menganalisis faktor-faktor eksperimental yang mempengaruhi besarnya laju korosi galvanik berdasarkan data yang diperoleh.

1.4 Batasan Masalah

Agar dapat berfokus pada tujuan penelitian, penelitian membatasi pokok permasalahannya sebagai berikut:

1. Penelitian hanya menganalisis korosi galvanik antara baja karbon rendah ASTM A36 sebagai katoda dan zinc anode sebagai anoda pada tangki ballast. Tidak mencakup material lain seperti aluminium.
2. Penelitian hanya menggunakan metode weight untuk perhitungan laju korosi.
3. Penelitian ini hanya mempertimbangkan faktor-faktor yang berperan terhadap korosi galvanik, seperti potensial elektrokimia, komposisi air laut, tanpa memasukkan variabel eksternal seperti desain kapal secara keseluruhan atau faktor operasional manusia.
4. Data diperoleh langsung dari studi eksperimental korosi galvanik antara baja karbon rendah dengan zinc anode.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menambah referensi ilmiah mengenai laju korosi galvanik baja karbon rendah yang dipasangkan dengan zinc anode.
2. Memberikan data kuantitatif yang dapat digunakan sebagai dasar penelitian lanjutan di bidang korosi material.
3. Memberikan informasi mengenai besarnya laju korosi baja karbon rendah dalam sistem proteksi zinc anode.
4. Melatih kemampuan analisis eksperimental, pengolahan data, serta interpretasi hasil pengujian korosi.

1.6 Hipotesa

Hipotesa penelitian adalah sebagai berikut:

1. Variasi suhu lingkungan berpengaruh terhadap laju korosi baja karbon rendah yang dipasangkan dengan zinc anode, dimana peningkatan suhu cenderung meningkatkan laju korosi.

2. Variasi salinitas berpengaruh terhadap laju korosi baja karbon rendah dalam sistem proteksi zinc anode, dimana semakin tinggi salinitas maka laju korosi semakin meningkat.
3. Variasi pH lingkungan memengaruhi laju korosi baja karbon rendah yang dipasangkan dengan zinc anode, dimana kondisi yang lebih asam cenderung meningkatkan laju korosi.

1.7 Luaran Tugas Akhir

Bentuk luaran dari penelitian yang dilakukan adalah:

1. Modul tahapan pengujian laju korosi baja karbon rendah dalam sistem proteksi zinc anode dengan variasi suhu, salinitas, dan pH yang di Haki-kan.
2. Jurnal

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah merupakan material ferrous yang banyak dimanfaatkan dalam bidang konstruksi, industri, dan aplikasi struktural. Dalam penggunaan di lingkungan terbuka, material baja karbon rendah rentan mengalami korosi atmosfer yang dapat menurunkan ketangguhan dan keandalan struktur. Penentuan laju korosi rendah pada kondisi atmosfer tertentu menjadi hal yang penting untuk menjamin efektivitas dan keamanan penggunaan pada struktur luar ruangan (Ummah, Muslim, and Sukmana 2016). Material baja karbon rendah banyak dipilih karena memiliki berbagai kelebihan yang sesuai dengan kebutuhan industri. Baja karbon rendah memiliki kekuatan yang cukup baik, tidak mudah patah, dan masih bisa dibentuk tanpa mudah rusak. Sifat-sifat tersebut membuat baja ini cocok digunakan untuk berbagai keperluan. Selain itu, kadar karbon rendah membuat baja jenis ini lebih mudah dilas, dibentuk, dan dipotong sehingga memudahkan proses pembuatan dan pemasangan di lapangan. Baja karbon rendah juga cenderung lebih tahan terhadap kerusakan akibat lingkungan dibandingkan baja dengan kadar karbon yang lebih tinggi, meskipun pada kondisi tertentu seperti daerah pantai atau kawasan industri yang lembap tetap diperlukan perlindungan tambahan. Daya tahan yang baik membuat material ini dapat digunakan dalam waktu yang berkepanjangan, sehingga lebih hemat biaya (Dianna, Ambarwati, and Ariyanto 2025).

Baja adalah material paduan yang sebagian besar tersusun dari unsur besi sebagai komponen utamanya. Unsur yang berperan sebagai penguat utama dalam baja adalah karbon, dengan kadar sekitar 0,2% hingga 2,1%. Selain besi dan karbon, baja juga mengandung unsur lain seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), mangan (Mn), dan unsur tambahan lainnya dalam jumlah tertentu. Salah satu jenis baja yang umum digunakan adalah baja karbon rendah (Low Carbon Steel). Jenis baja ini memiliki kandungan karbon kurang dari 0,3%. Karena kadar karbonnya rendah, baja ini bersifat lebih lunak dan memiliki kekuatan yang relatif lebih rendah dibandingkan baja karbon tinggi. Namun, baja karbon rendah memiliki keunggulan berupa tingkat keuletan yang tinggi, sehingga lebih mudah dibentuk dan sering disebut sebagai baja lunak (mild steel) (Rizky Muchammad, Sarjito Jokosisworo 2024).

2.2.1 Material Baja ASTM A36

ASTM A36 merupakan jenis karbon yang banyak digunakan dalam bidang konstruksi dan diproduksi melalui proses canai panas. Material ini memiliki batas minimum sebesar 36k psi serta mudah untuk dilakukan proses pengelasan Baja (Yacob Hamdani 2024). A36 banyak digunakan pada berbagai fasilitas di industri maritim, baja A36 akan sering bersentuhan langsung dengan air laut. Air laut mengandung kadar garam yang sangat tinggi, sehingga dapat mempercepat kerusakan pada material. Kondisi tersebut menjadi lebih buruk karena adanya zat lain yang ikut masuk ke laut, seperti sulfat (Ahmad Yani, Khairul Muslim 2025).

Baja karbon A36 merupakan material paduan yang mengandung sekitar 0,05% sulfur dan memiliki titik leleh pada kisaran suhu 1426- 1538 °C. Baja ini memiliki kekuatan tarik yang cukup tinggi, namun tetap berpotensi mengalami kerusakan apabila terpapar lingkungan yang bersifat merusak, seperti air laut (Syafiq Nada Amru1), Sarjito Jokosisworo 2023).

Fe	C	Mn	Si	Cu	S	P
98,0%	0,27%	1,03%	0,28%	0,20%	0,050%	0,040%

Gambar 2. 1 Komposisi kimia baja ASTM A36 (Sumber: S. Senthilkumar et al. (2023))

Tabel 2. 1 Komposisi Kimia ASTM A36

Komposisi Kimia	
Elemen	Komposisi
Karbon (C)	0,025- 0,290 %
Tembaga (Cu)	0,20 %
Besi (Fe)	98 %
Mangan (Fn)	1,03 %
Fosfor (P)	0,040 %
Silikon (Si)	0,280%
Fosfor (P)	0,050%

2.2 Korosi

Korosi merupakan suatu proses penurunan kualitas atau kerusakan material yang terjadi akibat pengaruh lingkungan dan kondisi sekitarnya (Syafiq Nada Amrul), Sarjito Jokosisworo 2023). Korosi merupakan proses kerusakan pada logam yang terjadi akibat reaksi antara material logam dengan lingkungan sekitarnya. Proses ini bersifat merusak dan berlangsung secara bertahap sehingga dapat menurunkan kualitas material. Pada struktur yang terbuat dari baja, seperti kapal, korosi dapat menimbulkan berbagai masalah, antara lain penurunan kekuatan, berkurangnya daya tahan terhadap beban berulang, serta melemahnya fisik material lainnya. Dampak tersebut dapat menimbulkan kerugian biaya yang cukup besar akibat perawatan dan perbaikan yang berkelanjutan. Korosi juga merupakan proses kerusakan lingkungan sekitarnya. Proses ini umumnya ditandai dengan berkurangnya material logam pada bagian tertentu yang langsung terpapar lingkungan. Korosi dapat terjadi dalam berbagai bentuk, baik seluruh permukaan logam secara merata maupun yang hanya terjadi pada area tertentu saja. Proses ini terjadi suatu perpindahan muatan dari satu bagian permukaan logam ke bagian lainnya, sehingga menyebabkan kerusakan yang tidak merata (Sofian et al. 2022).

Baja tahan karat memiliki ketahanan korosi yang sangat baik pada lingkungan korosif tertentu karena adanya lapisan film pasif yang stabil di permukaannya. Namun, kemampuan ini dapat menurun ketika berada pada kondisi non-oksidatif dengan suhu tinggi, terutama dalam lingkungan yang bersifat asam. Sejumlah logam dan paduan telah diuji dan disusun dalam seri galvanik berdasarkan perilakunya saat direndam dalam air laut. Ketika dua jenis

logam yang berbeda dihubungkan, kecenderungan terjadinya korosi galvanik akan meningkat. Dalam seri tersebut, logam yang bersifat anodik (lebih aktif) berada pada bagian atas, sedangkan logam yang bersifat katodik (lebih mulia) berada pada bagian bawah. Untuk baja tahan karat, baik dalam bentuk padat maupun berlubang dapat digunakan, namun dalam kebanyakan kasus, kondisi pasif (padat) lebih disarankan untuk menentukan posisi baja tahan karat dalam seri galvanik(Kusdiyarto et al. 2025).

Korosi adalah proses penurunan kualitas logam yang terjadi karena interaksi elektrokimia dengan lingkungan. Proses ini menyebabkan sifat mekanik material berkurang dan umur pakai menjadi lebih pendek, terutama pada baja karbon yang paling sering dipakai dalam aplikasi teknik. Salah satu faktor lingkungan yang sangat memengaruhi korosi adalah keberadaan elektrolit, seperti larutan natrium klorida (NaCl), yang mampu mempercepat reaksi oksidasi di permukaan logam(Hendriyanto, Nafi, and Seputro 2025).

Korosi pada logam terjadi melalui dua proses utama yang saling melengkapi. Proses pertama adalah oksidasi logam yang berubah menjadi ion sambil melepaskan elektron ke permukaan logam, sementara proses kedua mengonsumsi elektron tersebut dengan kecepatan sama melalui reduksi ion hidrogen atau oksigen dari lingkungan sekitar. Sebagai contoh, pada besi, proses korosi ini bisa dijelaskan lewat reaksi kimia(R and S 2013).



2.2.1 Jenis Korosi

Baja masih menjadi material utama yang digunakan dalam konstruksi kapal. Baja dinilai sesuai untuk pembuatan kapal karena memiliki kualitas yang baik serta biaya perawatan yang relatif ekonomis. Besi dan baja umumnya bersifat mudah bereaksi dengan lingkungan sehingga rentan mengalami kerusakan akibat paparan air laut. Proses korosi pada kapal pada dasarnya terjadi karena adanya interaksi antara logam dan air laut, yang menyebabkan terjadinya perpindahan muatan dari material logam ke lingkungan sekitar(Sofian et al. 2022).

Jenis- jenis korosi yang sering terjadi pada kapal yaitu:

1. *Pitting corrosion*

Secara khusus, korosi dapat muncul dalam bentuk lubang-lubang pada permukaan logam dan menyebabkan lapisan pelindung logam mengalami kerusakan. Tingkat kerusakan yang terjadi dapat berbeda-beda, tergantung pada lokasi korosi pada permukaan logam tersebut(Utomo 2009).



Gambar 2. 2 Pitting Corrosion (Sumber: Microbiology, 2011)

2. *Errosion corrosion*

Korosi yang seharusnya dapat dikendalikan oleh terbentuknya lapisan pelindung menjadi terhambat akibat adanya aliran cairan yang tinggi (Utomo 2009).



Gambar 2. 3 Errosion Corrosion (Sumber: Utomo, 2009)

3. *Galvanik corrosion*

Korosi dapat terjadi akibat adanya kontak antara dua jenis logam yang berbeda, sehingga perbedaan kemampuan listrik di antara keduanya memicu terjadinya proses kerusakan (Utomo 2009).



Gambar 2. 4 Galvanic Corrosion (Sumber: Utomo, 2009)

4. *Unifrom corrosion*

Secara khusus, unifrom corrosion merupakan hasil dari proses perkaratan yang dapat mengubah kondisi permukaan logam pada peralatan yang terbuka terhadap lingkungan. Kerusakan ini muncul dalam bentuk pengikisan yang terjadi secara merata pada permukaan logam sehingga menyebabkan berkurangnya ketebalan material. Sebagai contoh, kondisi tersebut dapat ditemukan pada bagian luar permukaan tabung (Utomo 2009).



Gambar 2. 5 Unifrom Corrosion (Sumber: Utomo, 2009)

5. *Stress corrosion cracking*

Korosi ini muncul dalam bentuk retakan-retakan kecil pada permukaan logam yang dapat berkembang hingga menembus material. Jenis kerusakan ini umumnya terjadi pada logam yang mengalami beban atau tekanan. Kondisi tersebut menunjukkan penurunan kualitas struktur logam akibat pengaruh lingkungan yang bersifat merusak dan adanya tekanan yang bekerja secara bersamaan (Utomo 2009).



Gambar 2. 6 Stress Corrosion Cracking (Sumber: AMPP – Stress Corrosion Cracking, ampp.org)

6. Crevice corrosion

Korosi ini terjadi pada bagian sambungan, seperti sambungan pangkuan, baut, atau paku keling, yang disebabkan oleh penumpukan kotoran atau sisa-sisa karat pada area tersebut (Sofian et al. 2022).



Gambar 2. 7 Crevice Corrosion (Sumber: orapiasia.com, diakses 2026)

2.2.2 Korosi Galvanik

Korosi merupakan proses penurunan kualitas material logam, khususnya baja, yang terjadi akibat interaksi antara material tersebut dengan lingkungannya. Proses ini menyebabkan perubahan sifat fisik dan mekanik baja sehingga kinerjanya

menurun. Korosi terjadi karena adanya reaksi elektrokimia antara baja dan lingkungan di sekitarnya. Sementara itu, berdasarkan kamus teknik material ASTM, korosi adalah reaksi kimia atau elektrokimia yang melibatkan bagian anoda dan katoda pada baja dengan lingkungan yang bersifat elektrolit, sehingga mengakibatkan penurunan mutu material. Dampak dari korosi antara lain berkurangnya ketebalan material dan menurunnya kemampuan baja dalam menahan beban akibat proses oksidasi yang berlangsung secara terus-menerus (Alit et al. 2024). Metode pengukuran arus galvanik sering dipakai untuk menilai seberapa efektif bahan penghambat korosi, kinerja sistem proteksi katodik, dan untuk mempelajari terjadinya korosi galvanik pada dua logam yang saling terhubung (Zuo et al. 2025).

2.3 Laju Korosi

Laju korosi pada baja karbon rendah sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan di sekitarnya, terutama tingkat keasaman (pH), kelembapan udara, serta intensitas paparan terhadap air laut (Dianna, Ambarwati, and Ariyanto 2025). Pada dasarnya sebagian besar proses korosi merupakan reaksi elektrokimia, maka setiap faktor yang memengaruhi laju reaksi kimia atau besar arus listrik yang mengalir akan berpengaruh langsung terhadap laju korosi. Dalam hal ini, Hukum Ohm dapat diterapkan untuk menjelaskan aspek kelistrikan pada sel korosi. Laju korosi berbanding lurus dengan besar arus listrik yang mengalir dalam sel elektrokimia tersebut. Apabila arus listrik dapat diukur, maka kehilangan material logam dapat dihitung secara kuantitatif dan akurat. Dengan demikian, nilai arus yang dinyatakan dalam satuan ampere atau miliampere dapat dikonversikan secara matematis menjadi laju kehilangan massa logam, misalnya dalam satuan kilogram per tahun. Istilah ampere-tahun didefinisikan sebagai arus sebesar satu ampere yang mengalir secara kontinu selama satu tahun. Setiap jenis logam memiliki karakteristik elektrokimia yang berbeda, sehingga laju korosi yang dihasilkan juga berbeda-beda (Maulana 2015).

$$CR = \frac{K.W}{D.A.T}$$

Dimana:

CR = laju korosi

K = konstanta laju korosi

W = kehilangan berat (gr)

D = densitas $\approx 7,85$ gr

A = luas permukaan yang terendam (cm^2)

T = waktu (jam)

Tabel 2. 2 Satuan Laju Korosi

No	Satuan laju korosi	Konversi dari 1 mpy
1	Inch per year (ipy)	1 mpy = 1000 ipy

2	Milimeter per tahun (mm/tahun)	1 mpy = 0,0254 mm/tahun
3	Mikrometer per tahun ((μ m/tahun)	1 mpy = 25,4 μ m/tahun
4	Inch per bulan (in/bulan)	1 mpy = $1,21 \times 10^{-4}$ in/bulan
5	Nanometer per jam (nm/jam)	1 mpy = 2,90 nm/jam
6	Gram per meter persegi per tahun ((g/m ² -tahun)	1 mpy = 0,0694 g/m ² -tahun

2.3.1 Metode Weight Loss

Metode kehilangan berat (weight loss method) merupakan salah satu metode pengukuran korosi yang paling banyak digunakan. Metode ini dilakukan dengan menempatkan lempengan logam uji ke dalam suatu sistem atau lingkungan tertentu dan membiarkannya mengalami proses korosi dalam jangka waktu tertentu. Laju korosi kemudian ditentukan berdasarkan selisih massa lempengan logam sebelum dan sesudah pengujian. Penggunaan lempengan logam memungkinkan evaluasi laju korosi secara langsung dan kuantitatif, sehingga metode ini efektif untuk mendeteksi serangan korosi yang bersifat permanen akibat perubahan tingkat korosivitas lingkungan (Margono Sugeng, Fajar Maulana Ismail 2022). Kehilangan berat dihitung dari selisih antara berat awal (W_0) dan berat akhir (W_1) specimen setelah proses perendaman, dengan persamaan:

$$W = W_0 - W_1$$

2.4 Proteksi Katodik

Proteksi katodik merupakan metode pengendalian korosi yang bertujuan untuk mengurangi laju korosi pada struktur logam dengan menjadikannya berada pada kondisi terlindungi. Metode ini banyak diterapkan pada pelat lambung kapal di bawah garis air karena area tersebut sangat rentan terhadap korosi air laut. Kerusakan pada konstruksi baja kapal umumnya disebabkan oleh proses korosi, sehingga penerapan proteksi katodik diperlukan untuk mengurangi kerugian material yang ditimbulkan. Proteksi katodik banyak diterapkan untuk melindungi struktur baja yang berada di dalam tanah dan di lingkungan air laut, sementara penggunaannya pada lingkungan air tawar relatif terbatas dan hanya dilakukan pada kondisi tertentu. Dalam praktiknya, sistem proteksi katodik sering dikombinasikan dengan pelapisan permukaan sebagai upaya perlindungan tambahan. Kombinasi ini bertujuan untuk menjaga baja tetap terlindungi ketika lapisan pelindung mengalami kerusakan. Seiring dengan meningkatnya aktivitas eksplorasi dan produksi minyak dan gas di wilayah lepas pantai, penggunaan sistem proteksi katodik juga mengalami peningkatan yang signifikan (Teddy Ihza Mahendra 2022).

Proteksi katodik merupakan metode perlindungan terhadap korosi yang bekerja secara elektrokimia, di mana reaksi oksidasi dalam sel galvanik dipusatkan pada anoda sehingga korosi pada katoda dapat dicegah. Struktur yang akan dilindungi dibuat memiliki potensial lebih negatif sehingga berfungsi sebagai katoda, sedangkan elektroda lainnya dibuat lebih positif dan berperan sebagai anoda. Dengan demikian, terbentuk suatu sistem rangkaian arus

listrik searah yang tertutup, mirip dengan proses yang terjadi saat logam mengalami korosi alami. Sistem ini memerlukan adanya anoda, katoda, aliran arus listrik di antara keduanya, serta elektrolit sebagai media penghantar. Oleh karena itu, penerapan metode ini hanya dapat dilakukan apabila struktur yang dilindungi dan anoda saling terhubung, baik secara listrik maupun melalui elektrolit. Anoda untuk perlindungan katodik dari struktur logam yang terkena korosi meliputi seng, aluminium, magnesium atau campurannya. Pemasangan pada struktur logam menggunakan pengikat yang dialiri listrik sehingga, struktur logam dapat terlindung secara katodik dalam kondisi korosif (Kaligis and Huwae 2018).

Proteksi katodik dengan zinc anode dilakukan dengan menghubungkan zinc anode ke material yang ingin dilindungi, sehingga material tersebut berperan sebagai katoda dalam sel korosi. Logam seng, yang memiliki potensial lebih negatif, berfungsi sebagai anoda dan melepaskan elektron yang mengalir melalui kabel ke katoda. Dengan penerimaan electron ini, katoda mengalami reaksi yang melindungi material dari korosi. Proteksi katodik dengan metode anoda zinc dilakukan dengan cara menghubungkan anoda zinc ke material yang akan dilindungi. Material tersebut diatur agar berfungsi sebagai katoda dalam suatu sel korosi, sedangkan pasangan logam yang dihubungkan memiliki potensial lebih negatif sehingga bertindak sebagai anoda. Elektron akan mengalir dari anoda menuju katoda melalui kabel penghubung, sehingga katoda menerima elektron. Dengan adanya aliran elektron ini, katoda mengalami reaksi reduksi dan terlindungi dari proses korosi. Berikut merupakan kelebihan dari penerapan sistem proteksi katodik menggunakan anoda zinc (Dwiyanto, Ningsih, and Widiastuti 2014).

2.5 Zinc Anode

Anoda zinc banyak dimanfaatkan untuk melindungi struktur yang berinteraksi dengan air laut karena memiliki biaya yang relatif rendah serta ketersediaannya yang melimpah di alam. Berbagai jenis paduan dan pelapisan berbasis zinc, seperti Zn-Al, Zn-Fe, Zn-Ni, Zn-Co, dan Zn-komposit, telah digunakan untuk keperluan tersebut. Selain itu, material ini juga menunjukkan kinerja ketahanan korosi yang baik. Di samping zinc, magnesium dan aluminium juga dapat digunakan sebagai anoda korban pada lingkungan yang bersifat agresif (Delimi et al. 2024).

2.6 Salinitas

Salinitas merupakan tingkat kandungan garam yang terlarut dalam air, yang dapat didefinisikan sebagai total konsentrasi ion-ion terlarut dan dinyatakan dalam satuan permil (‰), ppt (part per thousand), atau gram per liter. Berdasarkan tingkat salinitasnya, perairan dibedakan menjadi tiga kategori yaitu perairan tawar dengan nilai salinitas antara 0 hingga 5 ppt, perairan payau dengan nilai salinitas antara 6 hingga 29 ppt, dan perairan laut dengan nilai salinitas antara 30 hingga 40 ppt. Selain pada perairan, salinitas juga dapat merujuk pada kandungan garam dalam tanah. Pada umumnya, kandungan garam di danau, sungai, dan aliran air alami sangat rendah sehingga dikategorikan sebagai air tawar dengan kandungan garam kurang dari 0,05%. Apabila kandungan garam melebihi nilai tersebut, air digolongkan sebagai air payau, sedangkan air dengan konsentrasi garam antara 3 hingga 5% dikategorikan sebagai air asin, dan apabila konsentrasinya melebihi 5% maka disebut sebagai brine (Roberto Patar Pasaribu, Anasri Tanjung, Rifal Ramadhany 2023).

2.7 pH (*Potential of Hydrogen*)

Air laut adalah air yang mengandung sekitar 3,5% garam terlarut. Seperti halnya air tawar, molekul penyusun air laut terdiri atas dua atom hidrogen (H^+) dan satu atom oksigen (O^{2-}). Keberadaan ion hidrogen (H^+) dalam air laut menyebabkan sifat keasaman atau kebasaannya dapat dinyatakan melalui parameter kimia yang disebut pH. pH merupakan skala yang digunakan untuk mengukur tingkat keasaman maupun kebasaan suatu larutan, dengan rentang nilai antara 0 hingga 14. Nilai pH 7 menunjukkan kondisi netral, sedangkan nilai di bawah 7 bersifat asam dan di atas 7 bersifat basa. Secara kimia, pH menyatakan konsentrasi ion hidrogen (H^+) yang terdapat dalam suatu larutan dan dinyatakan sebagai negatif logaritma dari konsentrasi ion hidrogen tersebut, yaitu $pH = -\log[H^+]$ (Safitri et al. 2009).

2.8 Suhu Lingkungan

Suhu larutan merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap laju korosi. Pada media aqueous, korosi baja karbon yang disebabkan oleh keberadaan oksigen sangat dipengaruhi oleh perubahan suhu. Dalam sistem terbuka, kenaikan suhu mengakibatkan kelarutan oksigen dalam media aqueous berkurang karena sebagian oksigen terlepas ke lingkungan. Sebaliknya, pada sistem tertutup, oksigen tetap berada di dalam sistem sehingga peningkatan suhu akan menyebabkan laju korosi semakin tinggi. Selain itu, kenaikan suhu juga menurunkan viskositas media aqueous, sehingga oksigen lebih mudah berdifusi menuju permukaan logam. Kondisi tersebut dapat mempercepat laju korosi baja karena sebagian besar oksigen terlarut digunakan dalam reaksi reduksi yang berlangsung pada daerah katodik (No et al. 2019).

2.9 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu digunakan sebagai dasar perbandingan dengan penelitian yang sedang dilakukan, sekaligus untuk mengetahui posisi dan kebaruan penelitian saat ini. Selain itu, kajian terhadap penelitian sebelumnya bertujuan untuk menghindari adanya kesamaan atau pengulangan penelitian yang telah dilakukan. Oleh karena itu, pada bagian tinjauan pustaka ini penulis menyajikan beberapa hasil penelitian terdahulu yang relevan sebagai bahan rujukan.

Penelitian mengenai korosi pada material baja telah banyak dilakukan dengan berbagai metode dan kondisi lingkungan yang berbeda. Penelitian oleh Bayuseno (2012) mengenai laju korosi pada baja material kapal dengan dan tanpa perlindungan cat menunjukkan bahwa lingkungan laut memiliki pengaruh besar terhadap percepatan korosi pada baja karbon. Hasil penelitian tersebut membuktikan bahwa baja yang tidak memiliki sistem perlindungan mengalami laju korosi yang lebih tinggi dibandingkan baja yang dilindungi, sehingga diperlukan metode perlindungan yang efektif untuk memperpanjang umur pakai material.

Metode pengukuran laju korosi juga telah dikaji oleh Margono dan Ismail (2022) melalui perbandingan metode weight loss dan polarisasi berdasarkan standar ASTM G59 dan ASTM G31. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode weight loss mampu memberikan hasil yang lebih representatif untuk mengukur korosi merata (uniform corrosion) karena secara langsung menghitung kehilangan massa material akibat proses korosi. Oleh karena itu, metode weight loss dipilih dalam penelitian ini karena sesuai untuk mengevaluasi laju korosi galvanik pada baja karbon rendah.

Perkembangan teknologi pemantauan korosi juga telah dilakukan menggunakan metode non-destruktif. Zou (2017) melalui penelitian High Accuracy Ultrasonic Corrosion Monitoring Fangxin menunjukkan bahwa metode Ultrasonic Thickness Measurement

(UTM) mampu mengukur penurunan ketebalan material akibat korosi dengan tingkat akurasi yang tinggi tanpa merusak spesimen. Hasil serupa juga ditunjukkan oleh Thibbotuwa et al. (2024) yang mengembangkan sistem pemantauan korosi berbasis ultrasonik pada struktur lepas pantai. Penelitian tersebut membuktikan bahwa perubahan ketebalan material dapat digunakan untuk menghitung laju korosi sekaligus memprediksi umur sisa struktur yang terpapar lingkungan korosif.

Upaya perlindungan terhadap korosi pada struktur kapal juga telah menjadi perhatian dalam berbagai penelitian. Kamapunga et al. (2024) melakukan studi perbandingan beberapa metode perlindungan korosi pada tangki ballast kapal dan menyimpulkan bahwa korosi merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi umur ekonomis kapal. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa sistem perlindungan korosi yang tepat sangat diperlukan untuk mengurangi kerusakan material akibat lingkungan laut yang agresif.

Pengaruh kondisi lingkungan terhadap korosi juga diteliti oleh Ummah dan Muslim (2016) pada baja karbon rendah berlapis galvanis yang ditempatkan di wilayah pedesaan, perkotaan, dan industri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju korosi tertinggi terjadi pada kawasan industri, diikuti kawasan perkotaan, dan terendah pada kawasan pedesaan. Temuan tersebut membuktikan bahwa kondisi lingkungan memiliki pengaruh signifikan terhadap tingkat korosi material meskipun telah menggunakan lapisan pelindung.

Tumpal Ojahan dan Jefri Winata (2013) meneliti pengaruh proses pengelasan SMAW dan konsentrasi larutan NaCl terhadap laju korosi baja ASTM A36 menggunakan metode weight loss. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi NaCl menyebabkan laju korosi meningkat, sedangkan perubahan struktur mikro akibat proses pengelasan membuat material lebih rentan terhadap korosi merata. Penelitian ini memperkuat bahwa salinitas merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi laju korosi pada baja karbon.

Berdasarkan berbagai penelitian terdahulu tersebut, dapat disimpulkan bahwa korosi pada baja karbon dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti kondisi lingkungan, salinitas, metode perlindungan, dan karakteristik material. Namun, penelitian yang secara khusus mengkaji laju korosi galvanik antara baja karbon rendah ASTM A36 dan zinc anode dengan variasi suhu, pH, dan salinitas secara simultan masih relatif terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai efektivitas zinc anode sebagai sistem proteksi katodik dalam berbagai kondisi lingkungan yang merepresentasikan perairan laut.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratorium, yang bertujuan untuk menganalisis laju korosi galvanik antara baja karbon rendah dan zinc anode melalui pengujian langsung dengan variasi kondisi lingkungan terkontrol. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini meliputi variasi suhu, pH, dan salinitas larutan sebagai simulasi lingkungan perairan laut.

3.2 Lokasi dan Objek Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Workshop Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro. Waktu penelitian dilakukan pada bulan Maret 2026-Juni 2026.

3.3 Jenis dan Sumber Data

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data kuantitatif, yaitu data yang diperoleh dalam bentuk angka dan dapat dihitung serta dianalisis secara matematis maupun statistik. Data kuantitatif tersebut meliputi:

1. Berat awal dan berat akhir spesimen baja karbon rendah
Digunakan untuk menghitung kehilangan massa akibat proses korosi selama perendaman.
2. Nilai laju korosi
Diperoleh dari hasil perhitungan metode kehilangan berat (weight loss) dan dinyatakan dalam satuan mm/tahun atau MPY.
3. Data parameter lingkungan
 - Kondisi suhu ruangan pengujian (°C)
 - Nilai pH larutan
 - Salinitas larutan (% NaCl)
4. Luas permukaan dan waktu perendaman

3.4 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini, variabel penelitian dibagi menjadi tiga, yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol yang masing-masing berperan untuk menjelaskan hubungan sebab-akibat dalam proses terjadinya korosi galvanik.

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah kondisi lingkungan air laut dan karakteristik material. Kondisi lingkungan air laut meliputi beberapa parameter utama, yaitu salinitas, suhu dalam suatu ruangan, dan pH, yang diketahui memiliki pengaruh langsung terhadap laju reaksi elektrokimia pada proses korosi. Perubahan nilai salinitas dapat mempengaruhi konduktivitas air laut, sedangkan suhu dan pH berpengaruh terhadap kecepatan reaksi kimia reaksi korosi dan kestabilan lapisan pelindungan pada permukaan material. Selain itu, karakteristik material, seperti sifat elektrokimia baja karbon rendah dan zinc anode, juga

termasuk sebagai variabel bebas karena menentukan kecenderungan material untuk bertindak sebagai anode atau katoda dalam sistem korosi galvanik.

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah laju korosi galvanik pada baja karbon rendah dengan jenis material ASTM A36 dan zinc anode. Variabel terikat merupakan hasil yang diamati akibat pengaruh dari variabel bebas. Laju korosi galvanik diukur dan dianalisis untuk mengetahui seberapa besar tingkat kerusakan material baja karbon rendah yang terjadi akibat interaksi elektrokimia dengan zinc anode. Nilai laju korosi ini digunakan sebagai indikator utama untuk menilai tingkat keparahan korosi galvanik yang terjadi.

3.4.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol dalam penelitian ini meliputi luas permukaan spesimen, waktu perendaman, volume larutan, komposisi material baja karbon rendah, serta ukuran zinc anode yang digunakan. Seluruh variabel tersebut dijaga tetap dan tidak mengalami perubahan selama proses eksperimen berlangsung, dengan tujuan memastikan bahwa perbedaan laju korosi yang terjadi semata-mata disebabkan oleh variasi suhu, pH, dan salinitas, sehingga hasil penelitian dapat dianalisis secara lebih akurat dan terkontrol.

3.5 Pengumpulan Data

3.5.1 Data Primer

Data primer merupakan data utama yang diperoleh secara langsung melalui pengujian laboratorium, meliputi hasil penimbangan berat awal dan berat akhir spesimen, data pengukuran suhu selama proses perendaman, data pengukuran pH larutan, data konsentrasi salinitas, serta hasil perhitungan laju korosi untuk setiap variasi kondisi. Seluruh data primer diperoleh dari proses eksperimen yang dilakukan langsung oleh peneliti dengan menggunakan peralatan laboratorium yang telah dikalibrasi untuk memastikan ketelitian hasil.

3.5.2 Data Sekunder

Data sekunder merupakan data pendukung yang diperoleh dari berbagai sumber literatur ilmiah, seperti buku teks mengenai korosi dan sistem perlindungan menggunakan zinc, jurnal penelitian terkait korosi galvanik, standar pengujian korosi metode kehilangan berat (weight loss), serta data densitas material baja karbon rendah dan zinc. Data sekunder tersebut digunakan sebagai landasan teori, dasar perhitungan, dan pendukung dalam pembahasan hasil penelitian.

3.6 Pengolahan Data

Pengolahan data dalam penelitian ini dilakukan secara kuantitatif berdasarkan hasil pengujian eksperimental di laboratorium. Data yang telah diperoleh dari proses perendaman spesimen kemudian dihitung dan dianalisis untuk mengetahui besarnya laju korosi pada setiap variasi suhu, pH, dan salinitas.

Tahapan pengolahan data yang dilakukan:

1. Perhitungan kehilangan berat (Weight Loss)

Kehilangan berat dihitung dari selisih antara berat awal (W_0) dan berat akhir (W_1) specimen setelah proses perendaman, dengan persamaan:

$$W = W_0 - W_1$$

2. Perhitungan laju korosi

Nilai laju korosi dihitung menggunakan metode weight loss, yaitu:

$$CR = \frac{K.W}{D.A.T}$$

3. Rekapitulasi data

Nilai laju korosi setiap variasi suhu, pH, dan salinitas disusun dalam bentuk tabel untuk memudahkan proses perbandingan dan analisis.

4. Analisis statistik

Data dianalisis menggunakan pendekatan statistik deskriptif untuk mengetahui nilai rata-rata, nilai maksimum, dan minimum laju korosi.

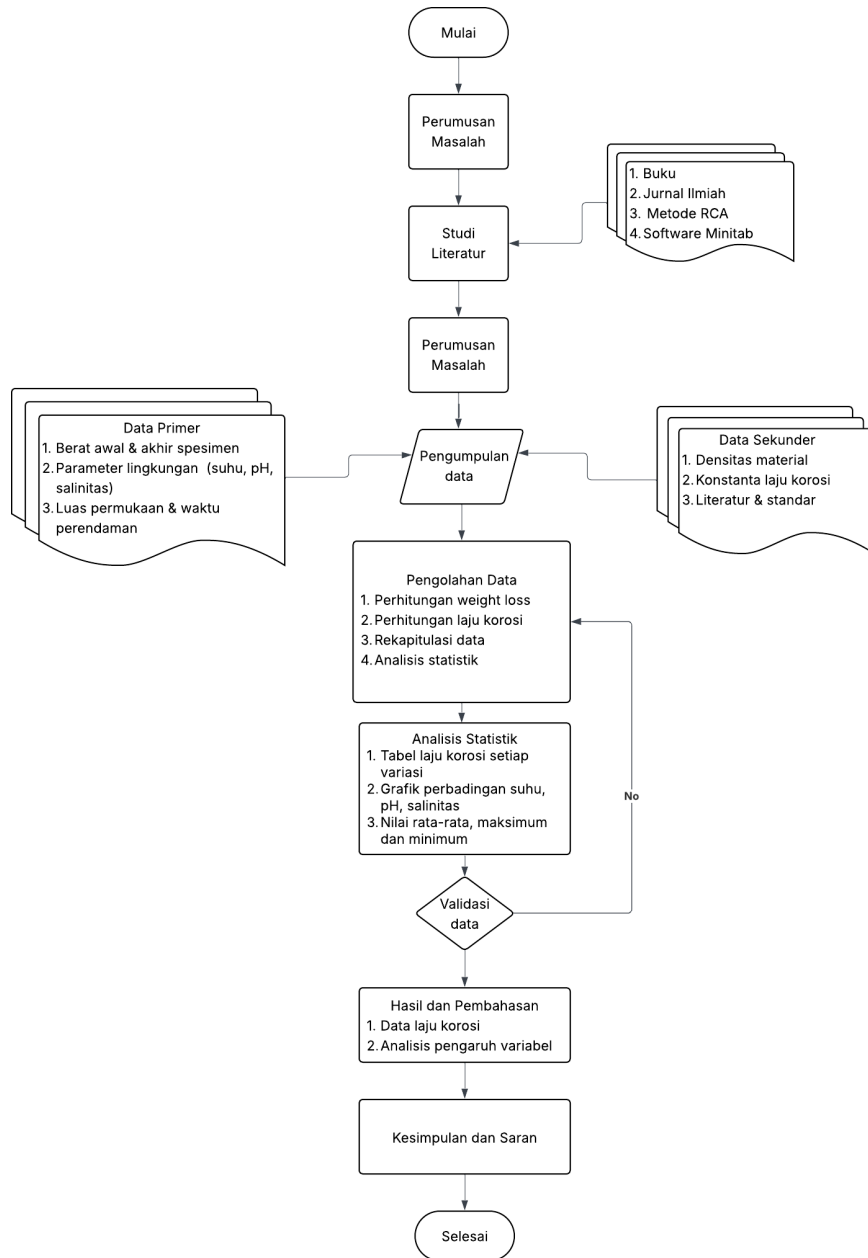
5. Perbandingan dan interpretasi

Hasil perhitungan dibandingkan antar variasi kondisi untuk menentukan faktor lingkungan yang paling berpengaruh terhadap peningkatan laju korosi galvanik serta mengevaluasi kinerja zinc anode dalam setiap kondisi pengujian.

3.7 Kesimpulan

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental di laboratorium untuk menganalisis laju korosi galvanik antara baja karbon rendah ASTM A36 dan zinc anode dengan variasi suhu, pH, dan salinitas sebagai simulasi lingkungan laut. Data diperoleh melalui penimbangan berat awal dan akhir specimen, pengukuran parameter lingkungan selama perendaman, serta perhitungan laju korosi menggunakan metode kehilangan berat. Variabel kontrol dijaga tetap untuk memastikan hasil yang akurat, kemudian data dianalisis secara deskriptif guna mengetahui pengaruh masing-masing kondisi terhadap laju korosi dan efektivitas zinc anode dalam melindungi baja.

3.8 Flowchart Penelitian



Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Spesimen Uji

Bab ini menyajikan hasil analisis laju korosi galvanik antara baja karbon rendah ASTM A36 sebagai katoda dan zinc anode sebagai anoda yang dilakukan melalui pendekatan eksperimental. Pengujian dilakukan dengan merendam pasangan spesimen baja dan zinc anode dalam larutan air laut buatan selama 30 hari (720 jam) dengan variasi kondisi lingkungan yang mencakup tiga faktor utama, yaitu kondisi suhu, salinitas, dan pH.

Hasil eksperimen ini dianalisis menggunakan metode weight loss untuk menentukan nilai laju korosi (corrosion rate/CR) pada masing-masing kondisi pengujian. Selanjutnya dilakukan pembahasan mengenai pengaruh setiap variabel terhadap besarnya laju korosi galvanik yang terjadi.

4.1.1 Spesifikasi Spesimen Uji

Spesimen yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua jenis material, yaitu baja karbon rendah ASTM A36 sebagai katoda dan zinc anode sebagai anoda korban. Detail spesifikasi dimensi dan berat awal masing-masing spesimen disajikan pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 Spesifikasi dimensi spesimen uji

Parameter	Baja karbon rendah (ASTM A36)	Zinc anode	Satuan
Panjang	6	3	Cm
Lebar	4	2	Cm
Tebal	0,8	1	Cm
Berat awal	150	30	Gram

Luas permukaan masing-masing spesimen dihitung menggunakan rumus luas permukaan total balok karena seluruh sisi tercelup dalam larutan elektrolit:

$$A = 2 \times (p \times l) + 2 \times (p \times t) + 2 \times (l \times t)$$

- a. Perhitungan luas permukaan spesimen baja ASTM A36 yang tercelup dalam larutan dihitung berdasarkan dimensi tersebut:

$$A \text{ baja} = 2 \times (p \times l) + 2 \times (p \times t) + 2 \times (l \times t)$$

$$A \text{ baja} = 2 \times (6 \times 4) + 2 \times (6 \times 0,8) + 2 \times (4 \times 0,8)$$

$$A \text{ baja} = 48 + 9,6 + 6,4 = 64 \text{ cm}^2$$

Nilai $A = 64 \text{ cm}^2$ digunakan karena seluruh permukaan spesimen tercelup dalam larutan elektrolit selama proses perendaman.

- b. Perhitungan luas permukaan zinc anode

$$A \text{ zinc} = 2 \times (3 \times 2) + 2 \times (3 \times 1) + 2 \times (2 \times 1)$$

$$A_{\text{zinc}} = 2 \times 6 + 2 \times 3 + 2 \times 2$$

$$A_{\text{zinc}} = 12 + 6 + 4 = 22 \text{ cm}^2$$

c. Rasio luas permukaan

$$\text{Rasio} = A_{\text{zinc}} : A_{\text{baja}} = 22 : 64 = 1 : 2,9 \approx 1 : 3$$

$$\text{Berat baja} = \text{volume} \times \text{densitas} = (6 \times 4 \times 0,8) \times 7,85 = 19,2 \times 7,85 =$$

$$150,72 \text{ gram} \approx 150 \text{ gram}$$

$$\text{Berat zinc} = \text{volume} \times \text{densitas} = (3 \times 2 \times 1) \times 7,13 = 6 \times 7,13 = 42,78 \text{ gram}$$

$$\text{Target berat zinc (rasio 1:3)} = 150 \div 3 = 50 \text{ gram}$$



Gambar 4. 1 Spesimen ASTM A36



Gambar 4. 2 Zinc anode

Selisih antara berat teoritis (42,78 gram) dan berat aktual (50 gram) sebesar 7,22 gram atau sekitar 16,9% dapat diartikan sebagai faktor keamanan (safety factor) dalam sistem proteksi katodik. Penambahan massa zinc anode di atas kebutuhan teoritis minimum merupakan praktik yang lazim diterapkan untuk mengantisipasi ketidakseragaman laju disolusi anoda akibat variasi kondisi lingkungan seperti suhu, salinitas, dan pH yang menjadi variabel bebas dalam penelitian.

Berat zinc anode yang digunakan dalam penelitian ini adalah 50 gram, disesuaikan agar memenuhi rasio berat 1:3 terhadap plat baja. Rasio luas permukaan $1:2,9 \approx 1:3$ dan rasio berat 1:3 menunjukkan bahwa desain spesimen sudah sesuai untuk menghasilkan sistem proteksi katodik yang proporsional, di mana zinc anode mampu memberikan perlindungan yang efektif terhadap baja ASTM A36 selama periode pengujian 30 hari.

Dalam sistem korosi galvanik, zinc anode berfungsi sebagai anoda korban (*sacrificial anode*) yang sengaja dibiarkan terkorosi lebih dahulu untuk melindungi baja sebagai katoda. Agar sistem ini bekerja dengan baik, luas permukaan zinc anode harus cukup terhadap baja yang dilindungi tidak terlalu kecil dan tidak terlalu besar.

Jika rasio terlalu kecil, misalnya 1:10, maka zinc anode harus bekerja terlalu keras melindungi area baja yang jauh lebih luas, akibatnya zinc anode habis (*overworked*) sebelum 30 hari perendaman selesai dan baja tidak terlindungi di sisa waktu pengujian. Jika rasio terlalu besar, misalnya 1:1, maka laju korosi baja menjadi sangat kecil sehingga perubahan berat (*weight loss*) sulit terdeteksi secara akurat dengan timbangan digital dalam durasi 30 hari. Rasio 1:3 berada di titik tengah yang proporsional zinc anode cukup aktif memberikan proteksi, namun perubahan berat pada kedua spesimen tetap terukur secara signifikan.

4.2 Variasi Kondisi Eksperimen

Penelitian ini menggunakan 9 spesimen dengan variasi kondisi lingkungan yang mencakup tiga tingkat suhu (kondisi dalam ruangan (28–30°C), luar ruangan (31–34°C), dan paparan matahari langsung (38–42°C)), tiga tingkat salinitas (1%, 3,5%, dan 5%), serta tiga tingkat pH (5,7, dan 9). Variasi kondisi pengujian selengkapnya disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Variasi kondisi eksperimen

No.	Kondisi ruangan (suhu rata-rata)	Salinitas (%)	pH	Kode Spesimen
1	Dalam ruangan (28-30°C)	1	7	A
2	Dalam ruangan (28-30°C)	5	9	B
3	Dalam ruangan (28-30°C)	3,5	5	C
4	Luar ruangan (31-34°C)	1	7	D
5	Luar ruangan (31-34°C)	5	9	E
6	Luar ruangan (31-34°C)	3,5	5	F
7	Panas langsung (38-42)°C	1	7	G

8	Panas langsung (38-42)°C	5	9	H
9	Panas langsung (38-42)°C	3,5	5	I

Dalam menentukan rentang variasi suhu yang digunakan pada penelitian ini, acuan utama yang digunakan adalah Guidance for the Corrosion Protection (Pt. 1, Vol. G) yang diterbitkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI, 2022). Regulasi tersebut memuat ketentuan teknis mengenai batas operasional penggunaan anoda korban berbahan seng (zinc anode) pada sistem proteksi katodik struktur baja kapal. Berdasarkan BKI (2022), temperatur di atas 25°C dapat menurunkan kapasitas dan efektivitas anoda korban sehingga perlu diperhitungkan dalam perancangan sistem proteksi katodik. Anoda seng konvensional direkomendasikan untuk penggunaan hingga 50°C, sedangkan pada temperatur yang lebih tinggi diperlukan paduan khusus yang telah terverifikasi karakteristik elektrokimia dan efektivitas perlindungannya.

4.3 Prosedur Pengujian Eksperimental

4.3.1 Persiapan Spesimen

Sebelum pengujian dilakukan, seluruh spesimen baja ASTM A36 dan zinc anode dipersiapkan melalui tahapan berikut:

1. Pengukuran dimensi spesimen menggunakan penggaris dengan ketelitian 0,05 mm.
2. Penimbangan berat awal spesimen menggunakan timbangan digital dengan ketelitian 1 gram.
3. Permukaan spesimen dibersihkan dari kontaminan menggunakan gerinda amplas dan dibersihkan menggunakan tiner.
4. Penandaan/ pengkodean pada setiap spesimen sesuai variasi kondisi.

4.3.2 Proses Pembersihan Spesimen

Sebelum dilakukan penimbangan awal (W_0), spesimen baja ASTM A36 harus melalui proses pembersihan (surface preparation) untuk menghilangkan karat, minyak, debu, dan kontaminan lain yang dapat memengaruhi hasil pengukuran berat. Proses pembersihan dilakukan melalui tahapan berikut:

- Pengamplasan: Permukaan spesimen gerinda menggunakan gerinda halus secara bertahap untuk meratakan permukaan dan menghilangkan lapisan oksida awal.
- Pembersihan dengan aseton/alkohol: Setelah diampas, spesimen dibersihkan menggunakan aseton atau alkohol 96% menggunakan kapas/kain bersih untuk menghilangkan sisa minyak dan kotoran dari permukaan logam.
- Pengeringan: Spesimen dikeringkan menggunakan udara kering atau hair dryer suhu rendah agar tidak ada sisa cairan yang memengaruhi berat.
- Penimbangan awal (W_0): Spesimen yang telah bersih dan kering ditimbang menggunakan timbangan analitik dengan ketelitian 1 gram untuk mendapatkan berat awal sebelum perendaman.

Setelah perendaman 720 jam, spesimen diangkat dan dilakukan:

- Pembersihan produk korosi: Spesimen dibersihkan dari lapisan karat/produk korosi (corrosion products) menggunakan sikat kawat halus dan kain kasa.
- Pengeringan kembali sebelum penimbangan akhir (W_i)

4.3.3 Persiapan Larutan Elektrolit

Larutan elektrolit dibuat dengan melarutkan NaCl dalam air laut untuk mendapatkan salinitas yang ditargetkan, yaitu 1%, 3,5%, dan 5% yang diukur menggunakan alat TDS Meter (*Total Dissolved Solids*). Nilai pH yang diperhatikan yaitu, 5,7, dan 9 dengan pengecekan menggunakan kertas lakmus biru sebelum perendaman. Volume larutan elektrolit setiap wadah disesuaikan agar seluruh permukaan spesimen tercelup sepenuhnya disajikan dalam Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Variasi salinitas dan pH

Salinitas (%)	pH	Kondisi salinitas	Kondisi pH	Alat ukur salinitas	Alat ukur pH
1	5	Di bawah normal	Asam	Gravimetri, TDS	Kertas lakmus biru
1	7	Di bawah normal	Netral	Gravimetri, TDS	Kertas lakmus biru
1	9	Di bawah normal	Basa	Gravimetri, TDS	Kertas lakmus biru
3,5	5	Normal (air laut)	Asam	Gravimetri, TDS	Kertas lakmus biru
3,5	7	Normal (air laut)	Netral	Gravimetri, TDS	Kertas lakmus biru
3,5	9	Normal (air laut)	Basa	Gravimetri, TDS	Kertas lakmus biru
5	5	Di atas normal	Asam	Gravimetri, TDS	Kertas lakmus biru
5	7	Di atas normal	Netral	Gravimetri, TDS	Kertas lakmus biru
5	9	Di atas normal	Basa	Gravimetri, TDS	Kertas lakmus biru

Variabel bebas dalam penelitian ini meliputi salinitas air laut awal memiliki salinitas 35 ppt (3,5%) yang dikendalikan melalui metode gravimetri yaitu dengan menimbang massa NaCl dan menambah volume air tawar menggunakan timbangan digital dan gelas ukur.

- a. Perhitungan salinitas 1% (10 ppt)

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$$35 \times V_1 = 10 \times 1.000$$

$$V_1 = \frac{10 \times 1.000}{35}$$

$$V_1 = 285,7 \text{ mL} \approx 286 \text{ mL}$$

Volume air tawar yang ditambahkan:

$$V \text{ air tawar} = V_2 \times V_1$$

$$= 1.000 - 286$$

$$= 714 \text{ mL}$$

Keterangan :

- C_1 = salinitas air laut (35 ppt)
- V_1 = volume air laut yang dibutuhkan
- C_2 = salinitas target (10 ppt)
- V_2 = volume akhir larutan (1.000 mL)

b. Perhitungan salinitas 5% (50 ppt)

- $mNaCl_{tambahan} = \text{salinitas } 50 \text{ ppt} - \text{salinitas } 35 \text{ ppt} \times V_{larutan}$

$$mNaCl_{tambahan} = (50-35) \frac{g}{L} \times 1L$$

$$mNaCl_{tambahan} = 15 \frac{g}{L} \times 1L$$

$$mNaCl_{tambahan} = 15 \text{ g}$$

- Vertifikasi gravimetri

$$S_{aktual} = S_{aktual} + \frac{mNaCl_{tambahan}}{V \text{ larutan}}$$

$$S_{aktual} = 35 + \frac{15}{1}$$

$$S_{aktual} = 35 + 15$$

$$S_{aktual} = 50 \text{ ppt}$$

4.3.4 Proses Perendaman

Spesimen baja ASTM A36 dan zinc anode dihubungkan secara langsung menggunakan kawat tembaga untuk membentuk pasangan galvanik. Pasangan spesimen kemudian direndam dalam larutan elektrolit sesuai variasi yang telah ditentukan. Wadah perendaman diletakkan sesuai kondisi suhu masing-masing:

- a. Kondisi indoor: di dalam ruangan dengan suhu terukur rata-rata 28–30°C.
- b. Kondisi outdoor: di luar ruangan dengan suhu terukur rata-rata 31– 34°C, terpapar angin dan fluktuasi suhu lingkungan.
- c. Kondisi matahari langsung: di bawah paparan sinar matahari langsung dengan suhu terukur rata-rata 38–42°C

Durasi perendaman selama 30 hari (720 jam) tanpa pengadukan.



Gambar 4. 3 Pengukuran Salinitas menggunakan TDS Meter



Gambar 4. 4 Pengukuran Suhu Elektrolit

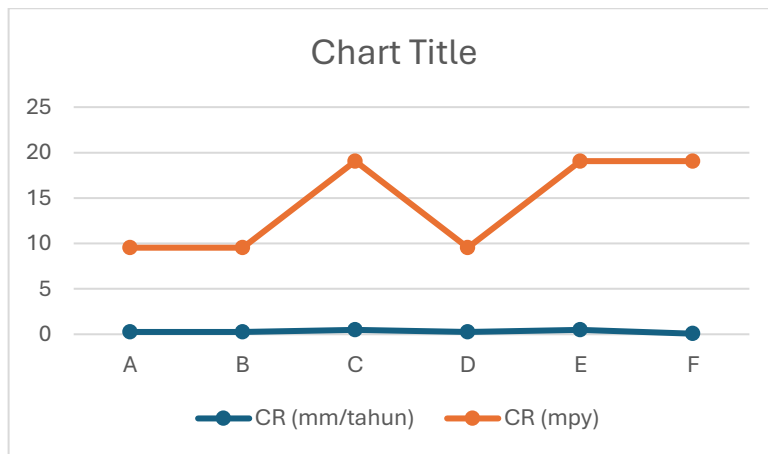
4.4 Hasil Pengukuran Berat dan Kehilangan Berat

4.4.1 Pengukuran Kehilangan Berat Spesimen A-F

Pengukuran berat spesimen baja ASTM A36 dilakukan sebelum dan sesudah perendaman menggunakan timbangan analitik. Kehilangan berat (ΔW) dihitung berdasarkan selisih berat awal (W_0) dan berat akhir (W_1) setelah proses korosi berlangsung selama 30 hari. Hasil pengukuran selengkapnya disajikan pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Hasil pengukuran berat dan kehilangan berat A-F

Kode spesimen	Berat awal W0 (g)	Berat akhir W1 (g)	Kehilangan Berat ΔW (g)	Luas Permukaan A (cm ²)	CR (mm/tahun)	CR (mpy)
A	150	149	1	64	0,242	9,53
B	150	149	1	64	0,242	9,53
C	150	148	2	64	0,484	19,06
D	150	149	1	64	0,242	9,53
E	150	148	2	64	0,484	19,06
F	150	148	2	64	0,064	19,06



Gambar 4. 5 Grafik hasil pengukuran weight loss A-F

Berdasarkan Tabel 4.4 laju korosi dihitung menggunakan metode weight loss berdasarkan rumus

$$CR = \frac{K.W}{D.A.T}$$

Dimana:

- CR = laju korosi
- K = konstanta laju korosi
- W = kehilangan berat (gr)
- D = densitas $\approx 7,85$ gr
- A = luas permukaan yang terendam (cm²)
- T = waktu (jam)

- Perhitungan laju korosi spesimen

- a. Spesimen dengan weight loss 1 g ($\Delta W = 1$ gram)

Spesimen yang mengalami weight loss sebesar 1 gram, yaitu spesimen A, B, dan D, dihitung berdasarkan rumus:

$$CR = \frac{K.W}{D.A.T}$$

$$CR = \frac{87,600.1}{7,85.64.720}$$

$$CR = \frac{87,600}{361.728}$$

$$CR = 0,242 \text{ mm/tahun}$$

- Konversi satuan:

$$1 \text{ mm/tahun} = \frac{1}{0,0245} \text{ mpy}$$

$$= 39,37 \text{ mpy}$$

$$CR = 0,242 \times 39,37$$

$$CR = 9,53 \text{ mpy}$$

- b. Spesimen dengan weight loss 2 g ($\Delta W = 2$ gram)

Spesimen yang mengalami weight loss sebesar 1 gram, yaitu spesimen C, E, dan F, dihitung berdasarkan rumus:

$$CR = \frac{K.W}{D.A.T}$$

$$CR = \frac{87,600.2}{7,85.64.720}$$

$$CR = \frac{87,600}{361.728}$$

$$CR = 0,484 \text{ mm/tahun}$$

- Konversi satuan:

$$1 \text{ mm/tahun} = \frac{1}{0,0245} \text{ mpy}$$

$$= 39,37 \text{ mpy}$$

$$CR = 0,484 \times 39,37$$

$$CR = 19,05 \text{ mpy}$$

4.4.2 Pengukuran *Weight Gain Zinc Anode* Spesimen G-H-I

Pengukuran berat spesimen baja ASTM A36 dilakukan sebelum dan sesudah perendaman menggunakan timbangan analitik. Penambahan berat dihitung berdasarkan selisih berat awal (W_0) dan berat akhir (W_1) setelah proses korosi berlangsung selama 30 hari. Hasil pengukuran selengkapnya disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Pengukuran berat spesimen G-I

Kode spesimen	Berat awal W0 (g)	Berat akhir W1 (g)	Weight gain (zinc deposit)	Luas Permukaan A (cm ²)	CR (mm/tahun)	CR (mpy)
G	150	152	2	64	0,3508	13,810
H	150	152	2	64	0,3508	13,810
I	150	152	2	64	0,3508	13,810

Berdasarkan Tabel 4.5 laju korosi dihitung menggunakan massa zinc terlarut sebagai $W = 1,316$ gram, densitas zinc = $7,133 \text{ g/cm}^3$.

$$\begin{aligned} \bullet \text{ CR mm/tahun} &= \frac{8,76 \times 10^4 \times 1,316}{64 \times 720 \times 7,133} \\ &= \frac{115,285,6}{328,657,9} \\ &= 0,3508 \text{ mm/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CR mpy} &= \frac{3,45 \times 10^6 \times 1,316}{64 \times 720 \times 7,133} \\ &= \frac{4,540,200}{328,657,9} \\ &= 13,810 \text{ mpy} \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 4.5 spesimen G,H,I dihitung sebagai laju korosi plat zinc anode bukan plat ASTM A36, karena plat mengalami weight gain akibat endapan Zn(OH)_2 .

4.4.3 Analisis Pengaruh Variabel terhadap Laju Korosi

a. Rata-rata laju korosi per kelompok suhu

Suhu merupakan salah satu faktor lingkungan yang berpengaruh signifikan terhadap laju korosi galvanik. Dalam penelitian ini, variasi suhu terbagi menjadi tiga kondisi, yaitu kondisi dalam ruangan ($28\text{--}30^\circ\text{C}$), luar ruangan ($31\text{--}34^\circ\text{C}$), dan paparan matahari langsung ($38\text{--}42^\circ\text{C}$). Pengaruh suhu terhadap laju korosi dapat dilihat berdasarkan perbandingan nilai CR antar kelompok spesimen.

Tabel 4. 6 Rata-rata laju korosi kelompok suhu

Kondisi suhu	Spesimen	ΔW (g)	CR (mm.tahun)	CR (mpy)
28-30 °C	A,B	1	0,242	9,53
28-30 °C	C	2	0,484	19,06
31-34 °C	D	1	0,024	7,53
31-34 °C	E,F	2	0,484	19,06
38-42 °C	G,H,I	+2 (gain)	0,3508*	13,810*

*CR dihitung berdasarkan laju korosi zinc anode, bukan plat baja ASTM A36

Berdasarkan Tabel 4.6, terdapat kecenderungan peningkatan aktivitas korosi seiring dengan meningkatnya suhu lingkungan. Pada spesimen kelompok suhu tinggi (38–42°C), yaitu spesimen G, H, dan I, terjadi fenomena weight gain sebesar +2 gram, yang menunjukkan bahwa sistem proteksi katodik bekerja secara lebih aktif pada suhu tinggi. Pada suhu 38–42°C, konduktivitas larutan elektrolit meningkat dan viskositas menurun, sehingga ion-ion lebih mudah berdifusi menuju permukaan logam. Hal ini menyebabkan arus galvanik antara zinc anode dan baja ASTM A36 meningkat, yang ditandai dengan percepatan laju oksidasi zinc anode. Akibatnya, endapan produk korosi zinc (Zn(OH)₂ dan ZnO) lebih banyak terbentuk dan mengendap di permukaan plat baja, sehingga terjadi weight gain.

Sebaliknya, pada kondisi suhu rendah (28–30°C), aktivitas elektrokimia lebih lambat dan laju difusi ion lebih rendah, namun korosi pada baja ASTM A36 tetap terjadi secara terukur dengan weight loss sebesar 1–2 gram. Hal ini mengindikasikan bahwa pada suhu rendah, proteksi katodik zinc anode belum bekerja secara optimal, sehingga sebagian permukaan baja masih mengalami oksidasi langsung.

Kondisi luar ruangan (31–34°C) menunjukkan perilaku peralihan antara keduanya, dengan weight loss yang serupa dengan kondisi dalam ruangan namun dengan kecenderungan laju reaksi yang lebih tinggi. Fluktuasi suhu akibat paparan angin dan perubahan siklus siang-malam pada kondisi luar ruangan juga turut mempengaruhi kinerja sistem proteksi katodik.

b. Pengaruh Salinitas terhadap Laju Korosi

Salinitas mempengaruhi laju korosi melalui peningkatan konduktivitas larutan elektrolit. Semakin tinggi salinitas, semakin besar arus galvanik yang mengalir antara zinc anode dan baja ASTM A36, sehingga laju korosi meningkat. Rata-rata laju korosi per kelompok salinitas dihitung sebagai berikut:

- $CR (S=1\%) = (0,242 + 0,242 + 0,351) / 3 = 0,278 \text{ mm/tahun} = 10,96 \text{ mpy}$
- $CR (S=3,5\%) = (0,484 + 0,484 + 0,351) / 3 = 0,440 \text{ mm/tahun} = 17,31 \text{ mpy}$
- $CR (S=5\%) = (0,242 + 0,484 + 0,351) / 3 = 0,359 \text{ mm/tahun} = 14,14 \text{ mpy}$

Tabel 4. 7 Rata-rata Pengaruh Salinitas

Salinitas (%)	Spesimen	CR (mm/tahun)	CR (mpy)
1%	A, D, G	0,278	10,96
3,5%	C, F, I	0,440	17,31
5%	B, E, H	0,359	14,14

Berdasarkan Tabel 4.7 Salinitas 3,5% menghasilkan laju korosi rata-rata tertinggi (0,440 mm/tahun), meningkat +58,27% dibandingkan salinitas 1%. Salinitas 5% menghasilkan CR lebih rendah dari 3,5% karena adanya interaksi dengan pH basa pada spesimen B yang membentuk lapisan pasif dan menekan laju korosi baja.

c. Pengaruh Ph terhadap Laju Korosi

pH mempengaruhi laju korosi melalui mekanisme elektrokimia. Pada kondisi asam (pH 5), ion H⁺ mempercepat reaksi katodik sehingga arus korosi meningkat. Pada kondisi basa (pH 9), meskipun lapisan pasif terbentuk pada baja, laju disolusi zinc anode meningkat sehingga rata-rata CR sistem tetap lebih tinggi dari kondisi netral. Rata-rata laju korosi per kelompok pH:

- $CR (pH=5) = (0,484 + 0,484 + 0,351) / 3 = 0,440 \text{ mm/tahun} = 17,31 \text{ mpy}$
- $CR (pH=7) = (0,242 + 0,242 + 0,351) / 3 = 0,278 \text{ mm/tahun} = 10,96 \text{ mpy}$
- $CR (pH=9) = (0,242 + 0,484 + 0,351) / 3 = 0,359 \text{ mm/tahun} = 14,14 \text{ mpy}$

Tabel 4. 8 Rata-rata Pengaruh pH

pH	Kondisi	Spesimen	CR̄ (mm/tahun)	CR̄ (mpy)
5	Asam	C, F, I	0,440	17,31
7	Netral	A, D, G	0,278	10,96
9	Basa	B, E, H	0,359	14,14

Berdasarkan Tabel 4.8 pH asam (5) menghasilkan laju korosi tertinggi (0,440 mm/tahun, naik +58,27% dari pH netral), sedangkan pH netral (7) menghasilkan laju korosi terendah (0,278 mm/tahun). pH basa (9) menghasilkan CR menengah sebesar 0,359 mm/tahun (+29,14% dari pH netral).

d. Rekapitulasi dan Perbandingan

Secara keseluruhan, pengaruh salinitas dan pH terhadap laju korosi menunjukkan magnitude yang setara pada rentang pengujian ini:

Tabel 4. 9 Perbandingan Pengaruh Salinitas dan pH

Variabel	Level Rendah → CR̄	Level Tinggi → CR̄	ΔCR (mm/thn)	ΔCR (%)
Salinitas	1% → 0,278 mm/thn	3,5% → 0,440 mm/thn	+0,162	+58,27%

pH	pH 7 → 0,278 mm/thn	pH 5 → 0,440 mm/thn	+0,162	+58,27%
Salinitas	1% → 0,278 mm/thn	5% → 0,359 mm/thn	+0,081	+29,14%
pH	pH 7 → 0,278 mm/thn	pH 9 → 0,359 mm/thn	+0,081	+29,14%

Berdasarkan Tabel 4.9 Perubahan pH dari netral ke asam (7→5) dan kenaikan salinitas dari 1% ke 3,5% menghasilkan peningkatan laju korosi yang identik, yaitu $\Delta CR = +0,162$ mm/tahun (+58,27%). Hal ini menunjukkan bahwa pada rentang eksperimen ini, salinitas dan pH memiliki besar pengaruh yang ekuivalen terhadap laju korosi galvanik sistem Zn–ASTM A36. Kondisi paling korosif terjadi pada pH asam dengan salinitas menengah (3,5%), sementara kondisi paling aman adalah pH netral dengan salinitas rendah (1%).

4.5 Analisis Produk Korosi

Analisis produk korosi dilakukan berdasarkan identifikasi visual dan mekanisme reaksi kimia yang terjadi selama proses perendaman 30 hari. Dalam sistem korosi galvanik antara baja ASTM A36 (katoda) dan zinc anode (anoda), produk korosi yang terbentuk berasal dari dua sumber utama, yaitu oksidasi zinc anode dan oksidasi parsial permukaan baja.

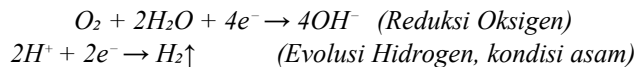
4.5.1 Mekanisme Pembentukan Produk Korosi

Reaksi elektrokimia yang terjadi dalam sistem galvanik ini adalah sebagai berikut:

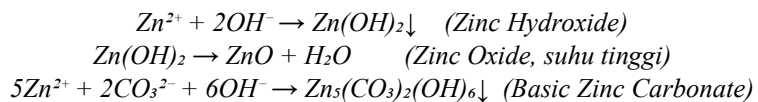
- Reaksi pada anoda (Zinc)



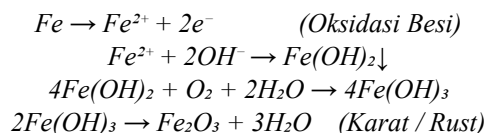
- Reaksi pada katode (Baja ASTM A36)



- Reaksi pembentukan produksi korosi zinc di permukaan plat:



- Reaksi korosi pada permukaan baja (spesimen A-F)



Tabel 4. 10 Identifikasi Produk Korosi

Kode	Produk Korosi Baja	Produk Korosi Zinc	Keterangan
A	Fe ₂ O ₃ (karat ringan)	Zn(OH) ₂ , ZnO	Weight loss 1g
B	Fe(OH) ₂ , Fe ₂ O ₃	Zn(OH) ₂ , ZnCO ₃	Weight loss 1g
C	Fe ₂ O ₃ , FeOOH (asam)	Zn(OH) ₂ , ZnO	Weight loss 2g
D	Fe ₂ O ₃ (sedang)	Zn(OH) ₂ , ZnO	Weight loss 1g
E	Fe(OH) ₂ , Fe(OH) ₃	Zn ₅ (CO ₃) ₂ (OH) ₆	Weight loss 2g
F	Fe ₂ O ₃ , asam akut	Zn(OH) ₂ , ZnCl ₂	Weight loss 2g
G	Tidak terdeteksi (katoda terlindungi)	Zn(OH) ₂ , ZnO lebat	Weight gain +2g
H	Tidak terdeteksi (katoda terlindungi)	Zn ₅ (CO ₃) ₂ (OH) ₆ lebat	Weight gain +2g
I	Tidak terdeteksi (katoda terlindungi)	Zn(OH) ₂ , ZnCl ₂ lebat	Weight gain +2g

4.5.2 Analisis Produk Korosi berdasarkan pH

Kondisi pH larutan berpengaruh signifikan terhadap jenis produk korosi yang terbentuk:

- pH 5 (Asam) Spesimen C dan F
 Pada kondisi asam, ion H⁺ yang berlimpah mempercepat reaksi reduksi di permukaan katoda (baja) dan melarutkan lapisan oksida pelindung. Produk korosi yang dominan adalah FeOOH (goethite) dan Fe₂O₃. Zinc anode juga lebih agresif terkorosi karena pH rendah meningkatkan aktivitas ion Zn²⁺. Hal ini menjelaskan mengapa spesimen C dan F mengalami weight loss tertinggi (2 gram) dibandingkan spesimen dengan pH 7 dan 9.
- pH 7 (Netral) Spesimen A dan D
 Pada kondisi netral, reaksi oksidasi berjalan pada laju sedang. Produk korosi yang terbentuk pada baja adalah Fe(OH)₂ yang kemudian teroksidasi menjadi Fe(OH)₃ dan Fe₂O₃. Zinc anode menghasilkan Zn(OH)₂ sebagai produk utama, yang bersifat lebih stabil pada pH netral.
- pH 9 (Basa) Spesimen B dan E

Pada kondisi basa, ion OH^- yang tinggi mendorong terbentuknya lapisan pasif di permukaan baja berupa $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Namun untuk zinc, suasana basa justru dapat sedikit memperlambat disolusi zinc karena terbentuknya lapisan pelindung $\text{Zn}(\text{OH})_2$ yang lebih stabil. Produk zinc carbonate ($\text{Zn}_5(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_6$) dominan terbentuk pada kondisi ini.

4.6 Karakteristik Spesimen setelah Pengujian

Setelah proses perendaman selama 30 hari (720 jam), seluruh spesimen menunjukkan perubahan karakteristik fisik yang dapat diidentifikasi secara visual maupun berdasarkan data berat. Karakteristik ini mencerminkan tingkat korosi dan efektivitas sistem proteksi katodik pada masing-masing kondisi pengujian.

a. Karakteristik Visual Spesimen

Tabel 4. 11 Karakteristik Visual Spesimen

Kode	Kondisi	Karakteristik Permukaan Baja	Kondisi Zinc Anode
A	28–30°C, S=1%, pH=7	Karat ringan merata, warna kecokelatan	Terkikis sebagian, permukaan kasar
B	28–30°C, S=5%, pH=9	Karat ringan, sedikit endapan putih	Terkikis, lapisan putih $\text{Zn}(\text{OH})_2$
C	28–30°C, S=3,5%, pH=5	Karat sedang, korosi lebih dalam	Terkikis lebih dalam, asam
D	31–34°C, S=1%, pH=7	Karat ringan-sedang, pitting kecil	Terkikis merata
E	31–34°C, S=5%, pH=9	Karat sedang, lapisan endapan basa	Erosi permukaan jelas
F	31–34°C, S=3,5%, pH=5	Karat sedang-berat, asam mempercepat	Erosi lebih cepat akibat pH asam
G	38–42°C, S=1%, pH=7	Lapisan endapan putih tipis, tidak ada karat aktif	Erosi signifikan, putih/abu
H	38–42°C, S=5%, pH=9	Endapan putih tebal, baja terlindungi	Erosi besar, lapisan tebal Zn
I	38–42°C, S=3,5%, pH=5	Endapan putih agak kuning, terlindungi	Erosi agresif, pH asam

- Kondisi Visual Spesimen Baja ASTM Setelah Perendaman 30 Hari

Dalam Ruangan 28-30 °C



Spesimen A



Spesimen B



Spesimen C

Luar Ruangan 31-34°C



Spesimen D



Spesimen E



Spesimen F

Panas Langsung 38-42 °C



Spesimen G



Spesimen H



Spesimen I

- b. Ketebalan Lapisan Endapan Spesimen G,H,I

Untuk spesimen G, H, dan I yang mengalami weight gain sebesar +2 gram, estimasi ketebalan lapisan endapan $Zn(OH)_2$ dapat dihitung sebagai berikut:

Diketahui:

- Massa endapan (Δm) = 2 gram
- Luas permukaan (A) = 64 cm²

- Densitas $Zn(OH)_2$ (ρ) = 3,05 g/cm³

$$\begin{aligned} \text{Tebal lapisan} &= \Delta m / (A \times \rho) \\ &= 2 / (64 \times 3,05) \\ &= 2 / 195,2 \\ &= 0,01024 \text{ cm} = 0,1024 \text{ mm} = 102,4 \mu\text{m} \end{aligned}$$

Lapisan endapan setebal ±102,4 μm ini berfungsi sebagai lapisan pelindung tambahan (barrier layer) yang secara fisik menghambat kontak langsung antara permukaan baja dan larutan elektrolit agresif, sehingga memperkuat efek proteksi katodik yang diberikan oleh zinc anode.

c. Interpretasi Karakteristik Spesimen

Berdasarkan seluruh data yang telah dianalisis, karakteristik utama sistem galvanik dalam penelitian ini dapat dirangkum sebagai berikut:

- Pada kondisi suhu rendah (28–30°C) dengan salinitas 1% dan pH netral (spesimen A dan D), proteksi katodik berjalan parsial. Baja masih mengalami weight loss 1 gram, mengindikasikan bahwa zinc anode belum mampu memberikan proteksi penuh pada kondisi aktivitas elektrokimia rendah.
- Pada kondisi pH asam (pH 5) untuk spesimen C, F, dan I, laju korosi cenderung lebih tinggi. Pada spesimen C dan F (tanpa proteksi penuh suhu tinggi), weight loss mencapai 2 gram. Kondisi asam mempercepat disolusi zinc anode dan mempercepat reaksi korosi pada baja melalui mekanisme evolusi hidrogen.
- Pada kondisi suhu tinggi (38–42°C) untuk spesimen G, H, dan I, sistem proteksi katodik bekerja optimal. Tidak terjadi weight loss pada baja, melainkan weight gain sebesar +2 gram akibat endapan produk korosi zinc. Ini merupakan bukti paling kuat bahwa zinc anode berhasil mengalihkan seluruh reaksi oksidasi dari baja ke zinc.
- Nilai CR seluruh spesimen (0,242–0,484 mm/tahun untuk baja dan 0,351 mm/tahun untuk zinc) masuk dalam kategori Good berdasarkan standar NACE, yang menunjukkan bahwa sistem proteksi galvanik zinc anode layak diaplikasikan pada konstruksi lambung kapal dalam kondisi lingkungan laut yang bervariasi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian laju korosi galvanik baja karbon rendah ASTM A36 yang dipasangkan dengan zinc anode menggunakan metode weight loss, dapat disimpulkan bahwa:

1. Nilai laju korosi baja karbon rendah ASTM A36 yang diperoleh dari hasil pengujian berkisar antara 0–0,484 mm/tahun (0–19,06 mpy). Laju korosi tertinggi terjadi pada spesimen C, E, dan F sebesar 0,484 mm/tahun, sedangkan laju korosi terendah terjadi pada spesimen G, H, dan I sebesar 0 mm/tahun. Nilai rata-rata laju korosi yang diperoleh sebesar 0,242 mm/tahun, sehingga berdasarkan hasil pengujian baja ASTM A36 yang dipasangkan dengan zinc anode masih berada pada kategori laju korosi rendah.
2. Karakteristik korosi galvanik yang terjadi menunjukkan bahwa zinc anode mampu melindungi baja ASTM A36 selama proses perendaman. Hal ini ditunjukkan oleh rendahnya kehilangan berat baja pada sebagian besar spesimen dan adanya spesimen yang tidak mengalami kehilangan berat sama sekali. Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa efektivitas proteksi zinc anode berada pada kategori efektif hingga sangat efektif dalam menekan laju korosi baja ASTM A36.
3. Faktor eksperimental yang mempengaruhi laju korosi galvanik dalam penelitian ini adalah suhu, salinitas, dan pH larutan. Berdasarkan hasil pengujian, rata-rata laju korosi tertinggi diperoleh pada salinitas 3,5% sebesar 0,323 mm/tahun. Pada variasi suhu, kelompok spesimen dengan suhu 31–34°C menghasilkan rata-rata laju korosi tertinggi sebesar 0,403 mm/tahun, sedangkan pada suhu 38–42°C laju korosi yang terukur sebesar 0 mm/tahun. Selain itu, kondisi pH 5 menghasilkan laju korosi yang lebih tinggi dibandingkan kondisi pH netral maupun basa, sehingga menunjukkan bahwa lingkungan yang lebih asam cenderung meningkatkan korosi pada sistem yang diuji.

5.2 Saran

1. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan jumlah spesimen yang lebih banyak pada setiap variasi pengujian agar hasil yang diperoleh lebih representatif.
2. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan waktu perendaman yang lebih lama untuk mengetahui perubahan efektivitas zinc anode terhadap laju korosi baja ASTM A36 dalam jangka panjang.
3. Disarankan menggunakan metode pengujian tambahan selain weight loss untuk membandingkan hasil laju korosi yang diperoleh dan meningkatkan akurasi analisis korosi galvanik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Yani, Khairul Muslim, Nur Khamid. 2025. "ANALISIS KOROSI BAJA ASTM A 36 PENGARUH ASAM SULFAT DENGAN VARIASI WAKTU PERENDAMAN DI LINGKUNGAN LAUT." 12(1).
- Alit, Rino Ngurah, Program Studi, Teknologi Rekayasa, Operasi Kapal, Program Diploma, I V Pelayaran, and Politeknik Pelayaran Surabaya. 2024. "MENCEGAH KOROSI DI MV SELAT MAS DENGAN."
- Bayuseno, Athanasius Priharyoto. 2012. "Analisa Laju Korosi Pada Baja Untuk Material Kapal Dengan Dan Tanpa Perlindungan Cat." *Rotasi* 11(3): 32–37. doi:10.14710/rotasi.11.3.32-37.
- Delimi, Amel, Hana Ferkous, Imene Chikouche, Souad Djellali, Hana Lahbib, and Amdjed Abdennouri. 2024. "Performance of a Zinc-Based Sacrificial Anode for Cathodic Steel Protection Against Corrosion in a Salty Medium." 13(June): 2468–75.
- Dianna, Sonny Bambang, Vita Ambarwati, and Lisa Puspita Ariyanto. 2025. "Laju Korosi Baja Karbon Rendah Besi ASTM A36 Dan Paku Pada Lingkungan Perairan Manyar Gresik." 12(1): 44–50.
- Dwiyanto, Agus, Tiwi Gustria Ningsih, and Hanifah Widiastuti. 2014. "Analisis Perhitungan Kebutuhan Zinc Anode Sebagai Proteksi Katodik Pada Lambung Kapal Crane Barge Di PT XYZ."
- Hendriyanto, Ahmad Arif, Maula Nafi, and Harjo Seputro. 2025. "Mekanika : Jurnal Teknik Mesin PENGARUH PERSENTASE LARUTAN DAN WAKTU PERENDAMAN TERHADAP LAJU KOROSI DAN LIFETIME BAJA S45C." 11.
- Kaligis, Dolfie Dj, and Josua Huwae. 2018. "PEMANFAATAN ZINC ANODE BEKAS SEBAGAI BAHAN PENCEGAH KOROSI LAMBUNG KAPAL." (Alirejo 2005): 5–14.
- Kusdiyarto, Prihatno, Heri Wibowo, Muhammad Imawan, Susilo Wisnugroho, Departemen Teknik, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Yogyakarta, et al. 2025. "Mitigasi Korosi Galvanik Pada Aplikasi Sambungan Perpipaan : Rasio Area Permukaan Dan Analisis Mikroskopis." 8(1): 40–44.
- Margono Sugeng , Fajar Maulana Ismail, Januar Purbo Utomo. 2022. "LOSS DAN POLARISASI PADA PIPA DENGAN PENGUJIAN KOROSI STANDAR ASTM G59 DAN ASTM G31." 2(1): 48–56.
- Maulana, Helmy Aji. 2015. "ANALISA KECEPATAN LAJU KOROSI PADA PLAT TANK TOP." : 4–33.
- No, Vol, P Di, Perairan Pelabuhan, and Panjang Dan. 2019. "17QIF3563586 P15 IN PANJANG PORT AND BAKAUHANI PORT." 4(1): 8–18.
- R, Tumpal Ojahan, and Jefri Winata S. 2013. "PERHITUNGAN LAJU KOROSI PADA MATERIAL BAJA A36 AKIBAT PROSES PENGELASAN SMAW (SHIELDED METAL ARC WELDING)." *PERHITUNGAN LAJU KOROSI PADA MATERIAL BAJA A36 AKIBAT PROSES PENGELASAN SMAW (SHIELDED METAL ARC WELDING)* 4: 38–44.

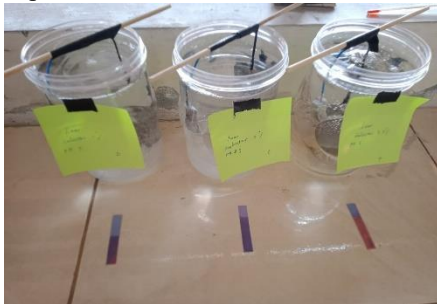
- Rizky Muchammad, Sarjito Jokosisworo, Ari Wibawa Budi Santosa. 2024. "Jurnal Teknik Perkapalan." *Pengaruh Kuat Arus dan Jenis Elektroda dengan Kandungan Nikel Terhadap Sifat Mekanis Baja Kapal Grade A pada Pengelasan FCAW*: 1–7.
- Roberto Patar Pasaribu, Anasri Tanjung, Rifal Ramadhany, Rini Handayani. 2023. "Pemodelan Parameter Salinitas Menggunakan Software Mike-21 Di Perairan Pangandaran Modeling of Salinity Parameters Using Mike-21 Software in Pangandaran Waters." *PEMODELAN PARAMETER SALINITAS MENGGUNAKAN SOFTWARE MIKE-21 DI PERAIRAN PANGANDARAN* 5(April): 55–66.
- Safitri, Mediana, Kelompok Keahlian Oseanografi, Fakultas Ilmu, and Institut Teknologi Bandung. 2009. "KONDISI KEASAMAN (Ph) LAUT INDONESIA Pendahuluan Air Laut Merupakan Air Tawar Yang Mengandung 3 , 5 % Garam-Garam . Sama Halnya Diekspresikan Melalui Suatu Parameter Kimia Yang Disebut Dengan PH . Suatu Skala Atau Nilai Bervariasi Antara 0 Sampai Dengan." : 73–87.
- Sofian, Muhammad, Vanitor Ayu, Wahyu Hidayat, Muhamad Fauzan, Ananda Yhuto, and Wibisono Putra. 2022. "PERLINDUNGAN KOROSI DI PERKAPALAN." 22(2): 50–56.
- Syafiq Nada Amru1), Sarjito Jokosisworo, Untung Budiarto2. 2023. "Analisis Pengaruh Luasan Coating Scratch Dan Kadar Salinitas." *JURNAL TEKNIK PERKAPALAN* 11(3): 39–47.
- Teddy Ihza Mahendra, Dwisetiono. 2022. "PROTEKSI KATODIK MENGGUNAKAN ZINC ANODE UNTUK MENGHAMBAT KOROSI PADA LAMBUNG KAPAL PORT LINK VII JAKARTA." 3(2): 7–12.
- Ummah, Khairul, Abdul Azis Muslim, and Irza Sukmana. 2016. "Atmospheric Corrosion of Galvanized Low-Carbon Steel at Rural , City , and Industrial Area in Bandar Lampung." *Atmospheric Corrosion of Galvanized Low-Carbon Steel at Rural, City, and Industrial area in Bandar Lampung Khairul* 9(1): 109–13.
- Utomo, Budi. 2009. "Jenis Korosi Dan Penanggulangannya." 6(2): 138–41.
- Yacob Hamdani, Wenny Marthiana. 2024. "Jurnal TEKNOSIA Vol. 18 No. 2, Bulan Desember, Hal:72 – 78." 18(2): 72–78.
- Zuo, Zeyu, Zhenhua Yu, Qingle Hou, Kai Ren, Jie Zhang, Chengjun Zhang, Ruiyong Zhang, et al. 2025. "Study on Galvanic Corrosion Caused by Coating Failure in Heat Exchangers for Chemical Cooling Water Systems." (May): 1–18. doi:10.3389/fmats.2025.1580067.

LAMPIRAN

1. Timeline Penelitian

No	Jenis Kegiatan	Waktu Penelitian Tahun 2025-2026																							
		Januari - 2026				Februari - 2026				Maret - 2026				Apr-26				Mei-26				Jun-26			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Perumusan Masalah																								
2	Studi Literatur																								
3	Pengumpulan Data																								
4	Penulisan Proposal Penelitian																								
5	Pengajian Data & Revisi Proposal																								
6	Pengolahan Data & Validasi Data																								
7	Penyusunan BAB IV & BAB V																								
8	Penyusunan Luaran																								
9	Bimbingan dengan dosen pembimbing																								

2. Eksperimen



3. Bebas Plagiasi




18% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Bibliography
- Small Matches (less than 8 words)

Top Sources

- 14%  Internet sources
 - 5%  Publications
 - 13%  Submitted works (Student Papers)
-





Modul
Perhitungan Laju Korosi
Galvanik Baja Karbon Rendah
terhadap *Zinc Anode* dengan
Metode Eksperimental



Jenni Riris Setyowati
Dr. Aulia Windyandari, S.T., M.T.

TEKNOLOGI REKAYASA KONSTRUKSI PERKAPALAN
DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS DIPONEGORO

2026

5. Sertifikat Haki Modul

 REPUBLIK INDONESIA KEMENTERIAN HUKUM	
<h1>SURAT PENCATATAN CIPTAAN</h1>	
<p>Dalam rangka perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:</p>	
Nomor dan tanggal permohonan	: EC002026079535, 5 Juni 2026
Pencipta	
Nama	: Jenni Riris Setyowati dan Dr. Aulia Windyandari, S.T., M.T.
Alamat	: Dimoro, RT/RW 030/000, Bedoro, Sambungmacan, Kab. Sragen, Jawa Tengah, 57523
Kewarganegaraan	: Indonesia
Pemegang Hak Cipta	
Nama	: UNIVERSITAS DIPONEGORO
Alamat	: Jl. Prof. Soedarto, SH Tembalang, Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah, 50275
Kewarganegaraan	: Indonesia
Jenis Ciptaan	: Modul
Judul Ciptaan	: Perhitungan Laju Korosi Galvanik Baja Karbon Rendah terhadap Zinc Anode dengan Metode Eksperimental
Tanggal dan tempat ditumunkan untuk pertama kali di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia	: 19 Mei 2026, di Kota Semarang
Jangka waktu perlindungan	: Berlaku selama 50 (lima puluh) tahun sejak Ciptaan tersebut pertama kali dilakukan Pengumuman.
Nomor Pencatatan	: 001265091
<p>adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon. Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.</p>	
	a.n. MENTERI HUKUM DIREKTUR JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL u.b Direktur Hak Cipta dan Desain Industri
	 Agung Damarsasongko, SH., MH. NIP. 196912261994031001
	<p>Disclaimer:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Dalam hal pemohon memberikan keterangan tidak sesuai dengan surat pernyataan, Menteri berwenang untuk mencabut surat pencatatan permohonan.2. Surat Pencatatan ini telah disegel secara elektronik menggunakan segel elektronik yang diterbitkan oleh Balai Besar Sertifikasi Elektronik, Badan Siber dan Sandi Negara.3. Surat Pencatatan ini dapat dibuktikan keasliannya dengan memindai kode QR pada dokumen ini dan informasi akan ditampilkan dalam browser.

6. Submit Jurnal

Submission Metadata

Metadata Field	Value
Article Title	EFFECT OF TEMPERATURE, SALINITY, AND PH ON GALVANIC CORROSION RATE OF ASTM A36 STEEL PROTECTED BY ZINC SACRIFICIAL ANODE IN MARINE ENVIRONMENT
Corresponding Author	Dr. Aulia Windyandari.S.T., M.T. , auliawindyandari@lecturer.undip.ac.id
Keywords	cathodic protection; galvanic corrosion; weight loss; zinc anode
Disciplines	
Document Type	Article
Abstract	Corrosion is one of the primary issues affecting steel materials used in the shipbuilding industry, as direct contact with the marine environment can reduce structural strength and service life. This study aims to analyze the galvanic corrosion rate of low-carbon ASTM A36 steel paired with a zinc anode and to determine the effect of variations in temperature, salinity, and pH on corrosion behavior. Testing was conducted experimentally using the weight loss method by measuring mass change of specimens before and after 30-day (720-hour) immersion in electrolyte solutions with salinity variations of 1%, 3.5%, and 5%, pH levels of 5, 7, and 9, and temperature conditions of 28–30°C, 31–34°C, and 38–42°C. Results indicate that the zinc anode protection system effectively diverts the oxidation reaction from ASTM A36 steel to the zinc, reducing corrosion rate. Increased temperature and salinity tend to increase corrosion rate due to enhanced electrochemical reaction activity and solution conductivity, while acidic pH conditions accelerate corrosion compared to neutral and basic conditions. The effectiveness of zinc anodes as sacrificial anodes is significantly influenced by the environmental conditions.
Bahasa Abstract	- empty -
Cover Page Footnote	- empty -
References	<p>[1] A.P. Bayuseno, Rotasi 11/3 (2012) 32–37.</p> <p>[2] K. Ummah, A.A. Muslim, I. Sukmana, Atm. Corr. Low-Carbon Steel 9/1 (2018) 109–113.</p> <p>[3] M. Sofian, V. Ayu, W. Hidayat, M. Fauzan, A.Y. Wibisono Putra, Perlindungan Korosi di Perkapalan 22/2 (2022) 50–56.</p> <p>[4] A. Delimi, H. Ferkous, I. Chikouche, S. Djellali, H. Lahbib, A. Abdennouri, Performance of Zinc-Based Sacrificial Anode 13 (2024) 2468–2475.</p> <p>[5] H.A. Maulana, Analisa Kecepatan Laju Korosi pada Plat Tank Top, Undergraduate Thesis, Universitas Diponegoro, Indonesia (2015).</p> <p>[6] S.B. Dianna, V. Ambarwati, L.P. Ariyanto, Laju Korosi Baja Karbon Rendah 12/1 (2025) 44–50.</p> <p>[7] T.O. R, J. Winata S., Perhitungan Laju Korosi pada Material Baja A36 4 (2013)</p>

7. Biodata Penulis

Biodata Penulis



Jenni Riris Setyowati adalah nama lengkap penulis Tugas Akhir ini. Lahir di Sragen, Provinsi Jawa Tengah, pada 1 Juni 2004. Sebagai anak pertama dari dua bersaudara, Penulis merupakan putri pasangan Bapak Priyanto dan Ibu Hartini, dan memiliki seorang adik berama Navesia Pricilya Azzahra. Perjalanan pendidikan formalnya dimulai dari SDN Bedoro 1 pada periode 2010-2016, kemudia melanjutkan ke jenjang menengah di SMP Negeri 1 Sambungmacan pada periode 2016-2019, serta SMA Negeri 1 Sragen pada periode 2019-2022. Setelah lulus dari pendidikan menengah, penulis bergabung dengan Program Studi Rekayasa Konstruksi Perkapalan, Departemen Teknologi Industri, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, Semarang, mulai tahun 2022.

Penulis telah melaksanakan program magang industri di beberapa perusahaan yang bergerak di bidang konstruksi kapal dan class, yaitu PT Janata Marina Indah, Llyod's Register Asia, PT Gamatara Trans Ocean Shipyard dan PT Samudra Marine Indonesia. Melalui kegiatan tersebut, penulis memperoleh wawasan serta pengalaman yang mendukung kompetensi di bidang rekayasa konstruksi perkapalan.

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T) pada program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan, Departemen Teknologi Industri, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, penulis menyusun Tugas Akhir dengan judul: **“Analisis Laju Korosi Galvanik Baja Karbon Rendah terhadap Zinc Anode melalui Pendekatan Eksperimental”** yang dibimbing oleh Ibu Dr. Aulia Widyandari, S.T., M.T.

Semoga dengan penulisan tugas akhir ini mampu memberikan kontribusi positif bagi dunia pendidikan dan menambah khazanah ilmu pengetahuan serta berguna dan bermanfaat bagi sesama.