



## Tinjauan Literatur Pengaruh pH dan Suhu Terhadap Korosi Baja dan Anti-Fouling Kapal

Eka Cahya Muliawati<sup>1</sup>, Nely Handayani Kusuma Hadi<sup>2\*</sup>, Chatarina Rista Widya Diana<sup>3</sup>,  
Wahyu Santoso<sup>4</sup>, Alimin<sup>5</sup>, Amirullah<sup>6</sup>, Muchlis Dermawan<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Surabaya, Surabaya Indonesia.

<sup>2,3,4,5,6,7</sup>Program Studi Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Surabaya, Indonesia.

IndonesiaEmail: ekacahya@itats.ac.id<sup>1</sup>, nely190601@gmail.com<sup>2</sup>, chatarinajoyce@gmail.com<sup>3</sup>, wahyu.santoso16@gmail.com<sup>4</sup>, aliminkhansa@gmail.com<sup>5</sup>, amirullahirul906@gmail.com<sup>6</sup>, ucisdermawan07@gmail.com<sup>7</sup>

### Abstrak

Korosi merupakan tantangan utama dalam industri maritim, di mana interaksi material logam baja dengan air laut memicu degradasi signifikan yang berdampak pada estetika, nilai ekonomis, serta umur pakai kapal. Kerusakan ini dipicu oleh faktor lingkungan, terutama tingkat keasaman (pH) dan suhu, yang memainkan peran krusial dalam menentukan kecepatan laju korosi, sehingga diperlukan pelapisan *anti-fouling* sebagai proteksi primer. Studi ini menggunakan pendekatan tinjauan sistematis terhadap 15 jurnal ilmiah relevan kurun waktu 2021-2026 untuk menganalisis pengaruh variabel tersebut dan efektivitas lapisan pelindung. Analisis menunjukkan bahwa air laut dengan pH rendah dan suhu tinggi secara signifikan mempercepat laju kerusakan, sementara pelapisan anti-fouling terbukti andal dalam mengisolasi permukaan logam. Kesimpulannya, korelasi kuat ditemukan antara pH/suhu terhadap korosi, menjadikan teknologi anti-fouling sebagai solusi vital untuk mengendalikan degradasi material baja.

**Kata Kunci:** pH; Suhu; Laju Korosi; Baja; *Anti-fouling*.

### ABSTRACT

*Corrosion is a major challenge in the maritime industry, where the interaction between steel and seawater causes significant degradation that affects a ship's aesthetics, economic value, and service life. This damage is driven by environmental factors, particularly acidity (pH) and temperature, which play a crucial role in determining the corrosion rate; therefore, anti-fouling coatings are essential for protection. This study employs a systematic review approach of 15 relevant scientific journals from 2021 to 2026 to analyze the influence of these variables and the effectiveness of protective coatings. The analysis shows that seawater with low pH and high temperature significantly accelerates the rate of damage, while anti-fouling coatings have proven reliable in isolating metal surfaces. In conclusion, a strong correlation was found between pH/temperature and corrosion, making anti-fouling technology a vital solution for controlling the degradation of steel materials.*

**Keywords:** pH; Temperature; Corrosion Rate; Steel; Antifouling.

## 1. PENDAHULUAN

Maritim merupakan sektor terbesar dari perekonomian Indonesia, hal ini tentu sangat memberikan dampak positif bagi masyarakat tentunya melibatkan transportasi laut (Muliawati et al., 2025). Kapal merupakan alat transportasi laut yang umum digunakan baik untuk perdagangan, transportasi penumpang, pengiriman barang dan alat untuk mencari hasil laut. Pada pembuatan atau proses perbaikan kapal sebagai struktur utama menggunakan baja. Dimana baja merupakan logam yang dapat bereaksi langsung dengan air sehingga terjadi sebuah reaksi kimia yang disebut dengan korosi (Nelvi Helmania Putri et al., 2024).

Korosi adalah suatu kejadian ketika material mengalami reaksi elektrokimia yang terjadi antara logam dengan lingkungan sekitar (air). Dari kejadian tersebut ada dua faktor yang dapat mempercepat laju korosi yaitu pH dan suhu. Suatu logam akan korosi apabila terjadi reaksi elektrokimia secara kontinue dan dalam jangka waktu yang lama. Akibat dari adanya korosi yaitu logam akan mengalami pelepasan struktur atau pengurangan ketebalan.

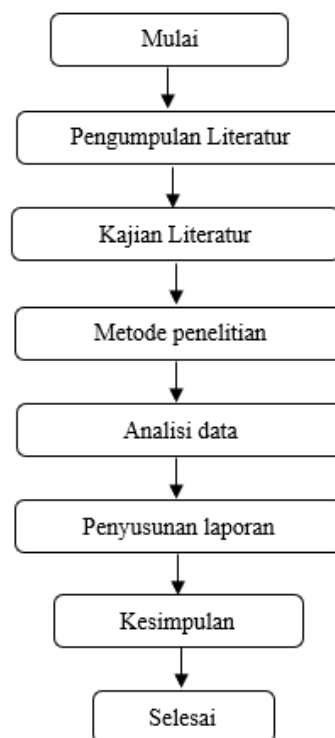
Pada dunia maritim atau perkapalan ketika kapal mengalami pengurangan ketebalan dapat merugikan baik pemilik kapal dan *crew* yang bertugas. Hal ini dikarenakan ketika logam berkurang ketebalan maka, akan menyebabkan kebocoran kapal sehingga kapal dapat tenggelam atau kapal mengalami kerusakan yang mengakibatkan kerugian secara ekonomi. Pada industri pembuatan kapal untuk menghindari hal tersebut dilakukan pencegahan untuk mengurangi laju korosi salah satunya yaitu penggunaan cat *anti-fouling*. *Anti-fouling* merupakan pelapisan pertama untuk melindungi logam dari paparan atau interaksi langsung dengan air.

Pada penelitian ini akan membahas mengenai pengaruh dari pH dan suhu terhadap laju korosi pada material baja serta mengkaji tentang penggunaan *anti-fouling* dalam mengatasi permasalahan korosi material baja di lingkungan air (Yu et al., 2026a). Meskipun efektivitas *anti-fouling* telah banyak diteliti, sebagian besar studi terdahulu cenderung menguji kinerja pelapis ini pada kondisi lingkungan yang konstan atau ideal. Terdapat keterbatasan data komprehensif mengenai bagaimana kombinasi ekstrem dari fluktuasi pH rendah (asam) dan kenaikan suhu air laut secara simultan dapat mendegradasi ketahanan lapisan anti-fouling itu sendiri dalam melindungi baja. Celah atau gap inilah yang mendasari urgensi penelitian ini. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara mendalam pengaruh simultan pH dan suhu terhadap akselerasi laju korosi baja, serta mengkaji batas efektivitas pelapisan anti-fouling dalam mengatasi kompleksitas permasalahan korosi material maritim di lingkungan perairan yang dinamis.

## 2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode studi literatur (*library research*) untuk mengumpulkan, mengidentifikasi, dan menganalisis data sekunder secara mendalam (Mariah, 2021). Teknik ini berfungsi untuk mengumpulkan referensi ilmiah yang valid guna menjawab tujuan penelitian. Gambar 1 menampilkan diagram alir penelitian. Sumber data seperti Google Scholar, Elsevier, Academia, dan Education. literatur ilmiah, berupa artikel jurnal nasional dan internasional yang membahas korelasi pH dan suhu terhadap laju korosi baja serta aplikasi teknologi *anti-fouling*. Untuk menjaga relevansi dan kualitas data, pengumpulan literatur dibatasi oleh rentang publikasi dari tahun 2021 hingga 2026. Pemilihan artikel sebagai berikut:

- a. Artikel jurnal yang memuat data kuantitatif atau kualitatif mengenai pengaruh variasi suhu dan pH terhadap material baja. Artikel yang membahas efektivitas penggunaan pelapisan (*coating*) jenis *anti-fouling* pada struktur maritim.
- b. Artikel yang terbit di luar rentang tahun 2021–2026. Literatur yang membahas korosi pada material *non-baja* (seperti aluminium atau komposit) atau metode proteksi selain *anti-fouling* (seperti proteksi katodik saja tanpa kombinasi pelapisan).



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Sumber: (Muliawati et al., 2025)

Teknik analisis data dilakukan melalui tiga tahapan interaktif, yaitu:

1. Reduksi data (menyeleksi dan memfokuskan artikel yang memenuhi kriteria)
2. Penyajian data (menyusun temuan laju korosi berdasarkan variabel pH dan suhu ke dalam matriks komparatif)
3. Serta penarikan kesimpulan (*verification*).

Peneliti membandingkan secara silang (*cross-check*) hasil temuan, grafik laju korosi, dan kesimpulan dari 15 jurnal berbeda yang menjadi sampel. Melalui pengecekan silang antar-literatur terpercaya ini, subjektivitas peneliti dapat diminimalisasi sehingga data yang disajikan memiliki tingkat validitas dan kredibilitas yang tinggi.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Pengaruh pH dan suhu pada laju korosi material baja

Laju korosi adalah reaksi yang terjadi antara media berupa logam baja dengan air. Keasaman atau pH adalah banyaknya ion  $H^+$  yang terdapat pada sistem perairan atau biasa disebut dengan tingkat keasaman. Air laut biasanya memiliki pH yang rendah (cenderung bersifat asam), yang dapat menyebabkan cepatnya korosi pada bukaan lambung akibat goresan cat lambung. Laju korosi pada kondisi asam dengan  $pH < 7$  semakin tinggi hal ini karena terjadi reaksi reduksi tambahan pada katoda yang menyebabkan semakin banyak atom logam yang teroksidasi, sehingga laju korosi pada permukaan logam semakin besar. Faktor lain terjadinya laju korosi yaitu suhu, mengingat kapal sebagian strukturnya terendam air laut dapat menyebabkan perbedaan suhu pada permukaan air laut. Dimana suhu dapat mempengaruhi kinetika korosi, konsentrasi oksigen dan difusi (Royani, 2021).

Secara kimia kondisi terjadinya sebuah korosi jika, dirumuskan melalui persamaan kimia pada Persamaan (1), (2), (3) dan (4). Ketika besi ( $Fe$ ) bereaksi dengan oksigen ( $O_2$ ) dan air ( $H_2O$ ) yang mengandung garam maka, akan terjadi reaksi anoda dan katoda.

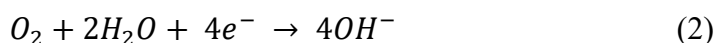
- a. Reaksi anoda yaitu saat besi mulai berkarat.

Persamaan kimia sebagai berikut:



- b. Reaksi katoda ketika oksigen bereaksi dengan air

Persamaan kimia sebagai berikut:

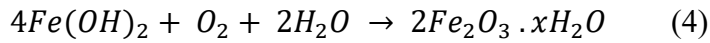


c. Reaksi pembentukan karat yaitu ion besi ( $Fe^{2+}$ ) dan ion hidroksida ( $OH^-$ )

Persamaan kimia sebagai berikut:



Senyawa yang terjadi reaksi oksidasi di udara dan terjadi pembentukan karat dengan rumus persamaan kimia sebagai berikut:



Catatan: x merupakan jumlah molekul air karena pada setiap karat memiliki jumlah molekul air yang berbeda.

**Tabel 1. Hasil Kajian Pengaruh pH dan Suhu Terhadap Laju Korosi Material Baja**

No	Judul Artikel Ilmiah	pH	Suhu	Nilai pH	Nilai Suhu	Nilai Laju Korosi	Sumber
1	Analisis Laju Korosi Pada Baja Astm A36 Dengan Variasi Temperatur Dan Waktu Perendaman Dalam Aliran Air Laut	-	✓	-	35°C	41,3223 mmpy	(Marthiana et al., 2024)
2	Ketahanan Terhadap Retak-Tegangan-Korosi Sambungan Las Dissimilar Baja ASTM A36 Dengan Baja Stainless 316L Pada Berbagai Variasi Suhu	-	✓	-	50°C	40%	(Darmadi et al., 2025)
3	Pengaruh Suhu Terhadap Laju Korosi Baja Karbon Rendah Dalam Media Air Laut	-	✓	-	50°C	14,53 mpy	(Royani, 2021)
4	Studi Korosi Plat Baja Material Kapal Terhadap Salinitas Dan Derajat Keasaman (Ph) Di Pelabuhan Pengasinan Pertamina Jakarta	✓	-	6,7	-	0,537 mpy	(Mariah, 2021)
5	Analisis Pengaruh Komposisi Garam Terhadap Laju Korosi Pada Baja Hss	✓	-	7,9	-	0,164 mpy	(Jago et al., 2024)
6	Pengaruh Suhu Pada Inhibitor Daun Pandan Terhadap Laju Korosi Pada Baja SS-304 Dalam Larutan Asam HCL 0,1M	-	✓	-	50°C	0,2730 mpy	(Laras Andria Wardani et al., 2021)
7	Analisa Pengaruh Metode Hot Dip Galvanizing Dengan Variasi Temperatur Dan Waktu Pencelupan Terhadap Laju Korosi Pipa Air Laut Kapal Material Baja AISI 1020	-	✓	-	480°C	1,81462 mmpy	(Santosa et al., 2022)
8	Pengaruh Temperatur	-	✓	-	70°C	1,9655	(Salsabillah)

No	Judul Artikel Ilmiah	pH	Suhu	Nilai pH	Nilai Suhu	Nilai Laju Korosi	Sumber
	Terhadap Kinerja Anoda Tumbal Dalam Mengendalikan Laju Korosi Baja Aisi 4340 Pengaruh Pelapisan Oli,Minyakkbimolidan					mpy	et al., 2022)
9	Resin Terhadap Laju Korosi Baja St 41 Pada Lingkungan Air Laut,Air Sumur Dan H2SO4	✓		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	609,3538 mpy	(Nafi & Nafi, 2023)
10	Efek Perlakuan Pack Carburizing Dan Media Korosif Pada Baja AISI 1045 Terhadap Laju Korosi	-	✓	-	750 <sup>o</sup> C	4,4072 mpy	(Suarsana et al., 2022)
11	Kinerja Anoda Tumbal Al Dan Zn Dalam Mengendalikan Laju Korosi Baja Astm A36 Di Lingkungan Nacl 3,5%	-	✓	-	70 <sup>o</sup> C	2,683 mpy	(Utami et al., 2023)

Keterangan: ✓ = Mempengaruhi laju korosi

Berdasarkan hasil pengumpulan data dari artikel ilmiah mengenai material baja, pH dan suhu yang disajikan pada Tabel 1, terbukti secara konsisten menjadi faktor utama dalam peningkatan laju korosi pada baja. Temuan ini menegaskan bahwa ketika material baja terendam di lingkungan air laut, interaksi elektrokimia dengan air laut tidak dapat dihindari. Korosi ini dipicu oleh lingkungan basah dengan nilai pH yang cenderung asam, tingkat salinitas air laut yang tinggi, serta tingginya konsentrasi ion klorida  $Cl^-$  yang sangat agresif dalam merusak lapisan pasif alami baja. Dampak dari fenomena ini yaitu kerusakan teknis berupa penipisan struktur pelat lambung kapal serta kerugian ekonomi akibat tingginya biaya perbaikan (*docking*) dan risiko operasional di laut. Untuk mengendalikan laju kerusakan tersebut, diperlukan pembatas fisik (*physical barrier*) berupa teknologi pelapisan cat *anti-fouling* guna memutus kontak langsung antara permukaan logam dengan elektrolit air laut (Royani, 2021).

Hasil kajian literatur ini memperkuat sekaligus memperluas teori korosi maritim yang sudah ada. Penelitian terdahulu oleh (Muliawati et al., 2025) dan (Nelvi Helmania Putri et al., 2024) sebelumnya telah menggaris bawahi bahwa korosi baja maritim merupakan fungsi dari kondisi lingkungan mikro perairan. Namun, diskusi dalam kajian ini berhasil memetakan bahwa efek antara kenaikan suhu dan penurunan pH menciptakan kondisi ekstrem yang mempercepat pergerakan ion hidrogen  $H^+$  dan perpindahan elektron pada permukaan logam.

Di sisi lain, sejalan dengan temuan (Yu et al., 2026b) mengenai perlindungan material, efektivitas lapisan anti-fouling dalam studi ini terbukti tidak hanya berfungsi sebagai racun pengendali organisme penempel (*biofouling*), tetapi juga sebagai lapisan kedap cairan (*impermeable coating*) yang menahan penetrasi ion klorida. Integrasi hasil ini membuktikan adanya konsistensi ilmiah lintas tahun (2021–2026) bahwa rekayasa permukaan melalui anti-fouling tetap menjadi pertahanan pertama yang paling krusial dalam menghadapi variabilitas lingkungan laut yang dinamis.

### 3.2 Penggunaan Antifouling sebagai Proteksi Pertama Untuk Menghambat Laju Korosi pada Material Baja

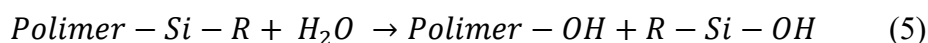
Perlindungan menggunakan metode *anti-fouling* merupakan salah satu langkah untuk mengendalikan laju korosi yang terjadi pada logam baja. Pada proses kimia terjadi reaksi hidrolisis dan pelepasan biosida (zat racun mikro) secara terkontrol saat material baja dengan air laut. Fungsi utama dari *anti-fouling* adalah sebagai pembatas antara permukaan baja dengan air sehingga dapat menghambat terjadinya laju korosi. Untuk memastikan suatu logam (baja) terlindungi secara sempurna terdapat struktur pelapisan (*coating system*). Dimana perlindungan ini terbagi atas 3 lapisan yang dapat mencegah mikroorganisme seperti tritip dan alga laut menempel pada permukaan logam. Berikut 3 lapisan untuk membentuk *anti-fouling* (Budiyanto & Yulianto, 2022):

- a. Lapisan dasar: merupakan lapisan pada permukaan baja seperti cat anti karat (*epoxy* atau *zinc rich*)
- b. Lapisan antara: berfungsi sebagai penghubung antara cat dasar dengan cat *anti-fouling*.
- c. Lapisan atas: cat *anti-fouling* sebagai pelindung terluar dari permukaan logam (baja).

Pada reaksi kimia pelepasan *anti-fouling* terdapat 3 proses dapat dilihat pada persamaan no 5 dan 6. Cat *anti-fouling* atau disebut dengan *polimer* memiliki kandungan aktif pembunuh mikroba (tembaga oksida atau seng omadine). Berikut prosesnya:

- a. Reaksi hidrolisis air laut

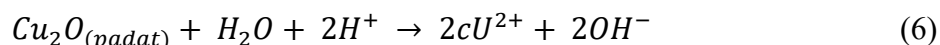
Ketika air ( $H_2O$ ) memecah struktur *polimer* sehingga *polimer* akan larut. Persamaan (5) rumus kimia sebagai berikut:



- b. Pelepasan biosida

Ketika *polimer* sudah terhidrolisis maka, senyawa tembaga atau biosida akan dilepaskan perlahan di dalam air laut. Persamaan reaksi larutan tembaga oksida di dalam air laut

(menjadi ion tembaga yang dapat membunuh biota) Persamaan (6) kimia sebagai berikut:



c. Mekanisme proteksi

Ion tembaga ( $Cu^{2+}$ ) dan biosida berfungsi sebagai lapisan cat luar untuk mengganggu produksi energi organisme laut sehingga jika ada mikroorganisme laut yang ingin menempel pada permukaan baja akan kehilangan energi dan jatuh ke dasar laut. Proses ini dapat menjaga permukaan lambung kapal tetap bersih dan terbebas dari *fouling*. Namun, pelepasan ini bersifat konstan sehingga lapisan cat perlahan akan menipis seiring kapal berjalan atau beroperasi (Laftah & Wan Abdul Rahman, 2025).

**Tabel 2. Hasil Kajian Pengendalian Laju Korosi Menggunakan *Anti-fouling***

No	Judul Artikel Ilmiah	Efisiensi	Sumber
1	Teknologi Biofouling dan Perlindungannya pada Pengecatan Kapal untuk Memperlambat Laju Korosi	pengembangan coating multifungsi yang menggabungkan sifat antifouling dan anticorrosion dinilai menjanjikan untuk efisiensi jangka panjang. Tantangan utama meliputi biaya produksi, ketahanan di lingkungan ekstrem, serta kebutuhan uji lapangan jangka panjang.	(Ismail et al., 2025)
2	Performa of Antibiotika Paints on The Growth of Biofouling Attachment Structures in Indonesian Sea Waters	Investigasi performa cat antifouling telah dilakukan oleh Kelompok Riset Korosi Pusat Riset Metalurgi Badan Riset dan Inovasi Nasional 5 tahun terakhir dimana parameter fisik air laut dan zat aktif biosida cat antifouling berperan dalam memperpanjang umur pakai cat antifouling yang diaplikasikan pada struktur terpasang di perairan laut hingga 5 tahun. Pengecatan berfungsi untuk mengurangi korosi yang terjadi pada pelat logam akibat tingginya kadar garam air laut dengan cara pelapisan cat sesuai spesifikasi masing-masing permukaan pelat logam.	(Meifina & Gadang Priyotomo, 2023)
3	Estimasi Kebutuhan Material Cat Pada Bottom dan Lambung Kapal Tongkang 300 Feet		(Diana Langgeng Mustikawati & Iman Mujiarto, 2023)
4	Studi Eksperimen Laju Pertumbuhan Biofouling Pada Pelat Baja Dan Aluminium Dengan Lapisan Pelindung Lilin Dan Minyak Di Pantai Boom Banyuwangi	efisiensi penggunaan lapisan pelindung minyak dan lilin dengan material baja maupun aluminium terhadap laju pertumbuhan marine growth	(Masruroh et al., 2023)
5	Therefore, developing efficient and environmentally friendly	Therefore, developing efficient and environmentally friendly anti-fouling coatings to protect those facilities has become extremely necessary nowadays. (pengembangan lapisan anti-fouling yang efisien dan ramah lingkungan untuk melindungi fasilitas-fasilitas tersebut kini menjadi sangat penting.)	(Yu et al., 2026a)
6	Analisa Teoritis Hasil Pengendalian Korosi Pada Instalasi Pipa Minyak Di Perusahaan X	metode coating sebagai pengendalian korosi, dan melakukan analisis komparatif terhadap metode pengendalian korosi yang digunakan pada sistem perpipaan minyak.	(Waworundeng, 2024)

No	Judul Artikel Ilmiah	Efisiensi	Sumber
7	Degradasi Lapisan Cat Pelindung Korosi Pada Plat Lambung Kapal Terhadap Aliran Air Laut, Air Tawar, dan Air Payau	Perlindungan lambung kapal dengan menggunakan pelapisan cat, menjadi metode perlindungan yang sering digunakan pada kapal. Lapisan cat mengalami penipisan akibat bergesek dengan media air yang bisa mengakibatkan rusaknya lapisan cat dan mengurangi fungsi perlindungan plat lambung kapal dari korosi.	(Budiyanto & Yulianto, 2022)
8	Polymers for anti-fouling applications	Temuan tersebut menunjukkan bahwa lapisan berbasis polimer secara signifikan mengurangi biofouling dengan mencegah menempelnya organisme laut, sehingga mengurangi biaya pemeliharaan dan meningkatkan efisiensi kapal serta struktur laut. Meskipun polimer sintesis tidak mudah terurai secara biologis, hal ini justru dapat menjadi keunggulan dalam menjaga kinerja anti-fouling dalam jangka panjang.	(Laftah & Wan Abdul Rahman, 2025)
9	The Effect of Addition of Mangrove Avicennia Marina Extract on The Biofouling Activity to Epoxy Coating	Pelapisan merupakan metode pemeliharaan bangunan yang bertujuan untuk memperlambat laju korosi dengan menciptakan lapisan pelindung yang mencegah material bersentuhan langsung dengan lingkungan. Selain itu, pelapisan ini juga bermanfaat untuk melindungi material bangunan dari penumpukan organisme laut dan meningkatkan nilai estetika bangunan.	(Aisyah et al., 2022)

Berdasarkan hasil kajian jurnal ilmiah pada Tabel 2 di atas, dijelaskan bahwa permasalahan korosi dapat menggunakan anti-fouling sebagai pengaman pertama untuk mengendalikan laju korosi akibat reaksi anantara logam dengan air. Pada pengaplikasian *anti-fouling* terdapat beberapa metode dan terdapat variasi lapisan namun, secara fungsi sama yaitu melindungi permukaan logam dengan mengorbankan lapoisan *polimer* (Aisyah et al., 2022).

#### 4. PENUTUP

##### Simpulan dan Saran

Berdasarkan hasil analisis literatur, dapat disimpulkan bahwa faktor lingkungan berupa tingkat keasaman (pH) yang rendah dan kenaikan suhu terbukti signifikan dalam mempercepat laju korosi pada material baja struktur kapal. Melalui tinjauan ini, tujuan penelitian untuk mengukur pengaruh kedua variabel tersebut telah tercapai, di mana kondisi air laut yang asam dan hangat terbukti mempercepat reaksi elektrokimia perusak logam. Di sisi lain, evaluasi terhadap metode pengendalian menunjukkan bahwa penggunaan pelapisan *anti-fouling* efektif berfungsi sebagai pembatas fisik (*physical barrier*) utama yang andal untuk mengisolasi permukaan baja dari kontak langsung dengan air laut, sehingga mampu menekan laju degradasi material secara optimal. Saran penelitian selanjutnya, selaras dengan tujuan penelitian ini yang telah memetakan dampak buruk pH dan suhu terhadap baja, maka penelitian berikutnya harus

berfokus pada rekayasa formulasi material cat *anti-fouling* yang memiliki ketahanan termal dan stabilitas kimia yang tinggi. Pengembangan ini penting agar lapisan pelindung tidak mudah tergradasi saat dihadapkan pada kondisi ekstrem pH rendah dan suhu tinggi. Dengan demikian, efisiensi serta masa pakai (*lifetime*) *anti-fouling* dapat ditingkatkan secara signifikan guna meminimalisir risiko kerusakan struktural dan menekan biaya perawatan kapal secara jangka panjang.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah, D. M., Pratikno, H., & Titah, H. S. (2022). The Effect of Addition of Mangrove Avicennia Marina Extract on The Biofouling Activity to Epoxy Coating. *International Journal of Offshore and Coastal Engineering*, 6(2), 52. <https://doi.org/10.12962/j25800914.v6i2.15609>
- Budiyanto, L., & Yulianto, Y. (2022). Degradasi Lapisan Cat Pelindung Korosi Pada Plat Lambung Kapal Terhadap Aliran Air Laut, Air Tawar, dan Air Payau. *Dinamika Bahari*, 3(1), 29–35. <https://doi.org/10.46484/db.v3i1.302>
- Darmadi, Djarot, & Utomo, S. (2025). Ketahanan terhadap Retak-Tegangan-Korosi Sambungan Las Dissimilar Baja ASTM A36 dengan Baja Stainless 316L Pada Berbagai Variasi Suhu. *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XXII 2024*, 179–184. <https://doi.org/10.71452/590650>
- Diana Langgeng Mustikawati & Iman Mujiarto. (2023). Estimasi Kebutuhan Material Cat Pada Bottom dan Lambung Kapal Tongkang 300 Feet. *Saintara : Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Maritim*, 7(2), 7–13. <https://doi.org/10.52475/saintara.v7i2.214>
- Ismail, Gilang Aji, & Prasutiyon, H. (2025). *Teknologi Biofouling dan Perlindungannya pada Pengecatan Kapal untuk Memperlambat Laju Korosi*. 7(2). J-Tropimar. <https://doi.org/https://doi.org/10.30649/jrkt.v7i2.154>
- Jago, T. A., Tsamroh, D. I., Jumiadi, & Setyawan, P. E. (2024). ANALISIS PENGARUH KOMPOSISI GARAM TERHADAP LAJU KOROSI PADA BAJA HSS. *Ring Mechanical Engineering*, 4(1), 42–48. <https://doi.org/10.33474/rm.v4i1.21748>
- Laftah, W. A., & Wan Abdul Rahman, W. A. (2025). Polymers for anti-fouling applications: A review. *Environmental Science: Advances*, 4(6), 824–841. <https://doi.org/10.1039/D5VA00034C>
- Laras Andria Wardani, Widodo, H., Lisa Adhani, Everlita Sabrina, & Amaliah Annisa. (2021). Pengaruh Suhu pada Inhibitor Daun Pandan Terhadap Laju Korosi pada Baja SS-304 dalam Larutan Asam HCL 0,1M. *Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmu dan Aplikasi Teknik*, 20(1), 31–41. <https://doi.org/10.26874/jt.vol20no1.372>
- Mariah, Y. (2021). *STUDI KOROSI PLAT BAJA MATERIAL KAPAL TERHADAP SALINITAS DAN DERAJAT KEASAMAN (PH) DI PELABUHAN PENGASINAN PERTAMINA JAKARTA*. *Jurnal Indonesia Sosial Sains*. <https://doi.org/10.36418/jiss.v2i3.219>

- Marthiana, Wenny, & Hamdani, Y. (2024). ANALISIS LAJU KOROSI PADA BAJA ASTM A36 DENGAN VARIASI TEMPERATUR DAN WAKTU PERENDAMAN DALAM ALIRAN AIR LAUT. *Teknosia*, 18(2), 72–78. <https://doi.org/10.33369/teknosia.v18i2.33425>
- Masruroh, A. H., Puspitasari, R. D. A., & Sakinah, W. (2023). Studi Eksperimen Laju Pertumbuhan Biofouling Pada Pelat Baja Dan Aluminium Dengan Lapisan Pelindung Lilin Dan Minyak Di Pantai Boom Banyuwangi. *Jurnal Manajemen Pesisir dan Laut*, 1(01), 21. <https://doi.org/10.36841/mapel.v1i01.2780>
- Meifina, & Gadang Priyotomo. (2023). *Ulasan: Performa Cat Antibiotika Terhadap Pertumbuhan Biofouling Penempel Struktur di Perairan Laut Indonesia*. *Jurnal Sumberdaya Akuatik Indopasifik*. <https://doi.org/10.46252/jsai-fpik-unipa.2023.Vol.7.No.3.287>
- Muliawati, E. C., Rianto, A. F. F., Salado, A. D., Firmansach, D. R., Rahmadhan, G., & Widodo, D. P. (2025). *Literature Review Inovasi, Analisis Kinerja dan Prospek Sel Bahan Bakar Untuk Aplikasi Maritim di Indonesia*. *JURNAL TECNOSCIENZA* <https://doi.org/10.51158/gkfxss85>
- Nafi, M., & Nafi, M. (2023). PENGARUH PELAPISAN OLI, MINYAK BIMOLI DAN RESIN TERHADAP LAJU KOROSI BAJA ST 41 PADA LINGKUNGAN AIR LAUT, AIR SUMUR DAN H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. *MEKANIKA: Jurnal Teknik Mesin*, 9(1), 9. <https://doi.org/10.30996/jm.v9i1.9461>
- Nelvi Helmania Putri, Siska Dwi Febryani, Rabena Aprilla, & Hilfi Pardi. (2024). ANALISIS PENGARUH SIFAT KIMIA AIR LAUT TERHADAP KOROSI LOGAM DAN PENGENDALIANNYA MENGGUNAKAN PROTEKSI KATODIK. *Journal of Research and Education Chemistry*, 6(1), 34. [https://doi.org/10.25299/jrec.2024.vol6\(1\).17173](https://doi.org/10.25299/jrec.2024.vol6(1).17173)
- Royani, A. (2021). PENGARUH SUHU TERHADAP LAJU KOROSI BAJA KARBON RENDAH DALAM MEDIA AIR LAUT. *JURNAL SIMETRIK*, 10(2), 344–349. <https://doi.org/10.31959/js.v10i2.493>
- Salsabillah, M. R., Busyra, M. D., & Utami, I. (2022). PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP KINERJA ANODA TUMBAL DALAM MENGENDALIKAN LAJU KOROSI BAJA AISI 4340. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, 7(2), 23. <https://doi.org/10.31942/inteka.v7i2.6653>
- Santosa, A. W. B., Bungking, R. B., & Mursid, O. (2022). Analisa Pengaruh Metode Hot Dip Galvanizing Dengan Variasi Temperatur dan Waktu Pencelupan Terhadap Laju Korosi Pipa Air Laut Kapal Material Baja AISI 1020. *TEKNIK*, 43(2), 202–210. <https://doi.org/10.14710/teknik.v43i2.45612>
- Suarsana, I. K., Astika, I. M., & Agus Suryawan, I. G. P. (2022). Efek perlakuan pack carburizing dan media korosif pada baja AISI 1045 terhadap laju korosi. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 14(2), 37. <https://doi.org/10.24843/JEM.2021.v14.i02.p01>

- Utami, I., Asrori, N. M. F., & Natania, K. (2023). KINERJA ANODA TUMBAL Al DAN Zn DALAM MENGENDALIKAN LAJU KOROSI BAJA ASTM A36 DI LINGKUNGAN NaCl 3,5%. *Jurnal Teknik Kimia*, 18(1), 1–6. [https://doi.org/10.33005/jurnal\\_tekkim.v18i1.4117](https://doi.org/10.33005/jurnal_tekkim.v18i1.4117)
- Waworundeng, T. Y. (2024). *ANALISA TEORITIS HASIL PENGENDALIAN KOROSI PADA INSTALASI PIPA MINYAK DI PERUSAHAAN X. 2*. *Journal Mechanical Engineering (JME)* . <https://doi.org/https://doi.org/10.31959/jme.v2i2.2918>
- Yu, J.-L., Hu, G.-F., Zhou, J.-P., Liang, H.-B., Zhao, C.-H., & Xiao, H.-P. (2026a). Preparation and Performance of a Photocurable Degradable Waterborne Boron-Containing Polyurethane Acrylate Anti-Fouling Coating. *Coatings*, 16(3), 393. *Coatings*. <https://doi.org/10.3390/coatings16030393>