



ISSN 2338-0322

# JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

## Analisa Pengaruh Salinitas dan Derajat Keasaman Air Laut Terhadap Laju Korosi Aluminium 5083 Sebagai Pelat Lambung Kapal

Nugroho Catur Mulyawanto<sup>1)</sup>, Ari Wibawa Budi Santosa<sup>1)</sup>, Wilma Amiruddin<sup>1)</sup>

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

\*e-mail : [nugrohocatur3332@gmail.com](mailto:nugrohocatur3332@gmail.com) [arikapal75@gmail.com](mailto:arikapal75@gmail.com) [wisilmiw@yahoo.com](mailto:wisilmiw@yahoo.com)

### Abstrak

Korosi merupakan salah satu permasalahan utama pada material lambung kapal yang beroperasi di lingkungan maritim, terutama pada material aluminium 5083 yang banyak digunakan sebagai lambung kapal karena mempunyai sifat ringan, kuat dan ketahanan terhadap korosi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh salinitas, derajat keasaman (pH), dan variasi waktu perendaman terhadap laju korosi serta estimasi umur pakai aluminium 5083 di perairan Pelabuhan Tanjung Intan Cilacap dan Pelabuhan Cirebon. Metode yang digunakan adalah eksperimen perendaman selama 336 jam, 672 jam, 1008 jam, 1344 jam dengan pengujian kehilangan berat berdasarkan standar ASTM G31-72 dan pengamatan mikroskopis menggunakan mikroskop SEM. Hasil menunjukkan salinitas air laut Cilacap sebesar 32 ppt dan pH 7,44, sedangkan air laut Cirebon salinitas sebesar 30 ppt dan pH 7,84. Laju korosi di Cilacap sebesar 0,0517 mmpy untuk perendaman 336 jam, 0,0578 mmpy untuk perendaman 672 jam, 0,0638 mmpy perendaman 1008 jam, dan 0,0700 mmpy perendaman 1344 jam, serta menghasilkan rata-rata estimasi penipisan 1 mm setiap 17 tahun, sedangkan di Cirebon laju korosi sebesar 0,0396 mmpy untuk perendaman 336 jam, 0,0424 mmpy untuk perendaman 672 jam, 0,0458 mmpy perendaman 1008 jam, dan 0,0486 mmpy perendaman 1344 jam, serta menghasilkan rata-rata estimasi penipisan 1 mm setiap 23 tahun. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan salinitas, penurunan pH, dan lamanya waktu perendaman menyebabkan laju korosi meningkat dan estimasi lifetime material menurun. Pengamatan mikroskop SEM menunjukkan bahwa jenis korosi yang terjadi adalah korosi seragam disertai penipisan permukaan logam.

Kata Kunci : Salinitas, Derajat Keasaman, Air Laut, Laju Korosi, Aluminium 5083

### 1. PENDAHULUAN

Korosi merupakan proses penurunan kualitas logam akibat interaksi elektrokimia antara permukaan logam dengan lingkungan sekitarnya, yang dapat menyebabkan hilangnya elektron sehingga melemahkan struktur material tersebut [1]. Korosi menyebabkan penurunan sifat mekanik material, mengurangi umur pakai, dan pada akhirnya membahayakan struktur pada material tersebut. Salah satu parameter dalam menghitung ketahanan suatu logam terhadap korosi adalah laju korosi, yaitu kecepatan terjadinya degradasi logam dalam satuan waktu yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti salinitas, pH, dan suhu [2].

Aluminium 5083 merupakan salah satu material logam yang banyak digunakan dalam industri maritim, terutama sebagai pelat lambung kapal. Material ini merupakan paduan logam yang

terdiri dari aluminium sebesar 92,4–95,6% dan magnesium sebesar 4–4,9% [3]. Paduan tersebut dikenal memiliki sifat ringan, kuat, serta ketahanan korosi yang baik karena mampu membentuk lapisan oksida pelindung secara alami [4]. Air laut yang mengandung ion klorida, oksigen, dan polutan lainnya dapat merusak lapisan pelindung pada aluminium sehingga memicu terjadinya korosi [5]. Ketahanan korosi material menjadi semakin krusial ketika digunakan pada bagian kapal yang selalu terendam air laut, seperti lambung kapal, karena degradasi struktur logam dapat menyebabkan kebocoran pada lambung kapal.

Beberapa penelitian terdahulu telah meneliti pengaruh lingkungan terhadap korosi logam dengan pendekatan dan metode yang beragam. Penelitian oleh [6] menerapkan metode *Response Surface Methodology* (RSM) untuk meneliti pengaruh antara salinitas dan pH terhadap korosi

pada pipa baja karbon API 5L X52. Spesimen baja dipotong berbentuk silinder dan diuji secara elektrokimia menggunakan larutan air laut buatan. Salinitas divariasikan dari 33,18 ppt hingga 61,10 ppt dan pH dari 8,50 hingga 7,00. Hasil penelitian menunjukkan kondisi paling korosif terjadi pada salinitas 61,10 ppt dan pH 7,00, dengan laju korosi mencapai 1,5874 *mmpy*. Penelitian ini berbeda dari penelitian saat ini karena tidak menggunakan aluminium 5083 serta tidak memanfaatkan air laut alami. Fokus utama dalam penelitian saat ini adalah pada aluminium 5083 dan air laut asli dari dua lokasi di Pulau Jawa. Penelitian lain oleh [7] menggunakan metode elektrokimia untuk menganalisis perilaku korosi paduan aluminium-magnesium dalam air laut buatan dengan variasi salinitas 30, 32, dan 35 ppt. Sampel diuji dalam sel elektrokimia tiga elektroda menggunakan air laut dan arus korosi dihitung menggunakan kurva tafel. Hasil menunjukkan bahwa pada salinitas 30 ppt, laju korosi tercatat sebesar 0,0015 *mmpy*, sementara pada 35 ppt, meningkat menjadi 0,0027 *mmpy*. Penelitian tersebut menunjukkan hubungan langsung antara salinitas dan peningkatan korosi pada aluminium. Penelitian ini memiliki perbedaan, yaitu penggunaan metode kehilangan berat dan pengamatan mikroskopis untuk material aluminium 5083, bukan menggunakan metode elektrokimia.

Penelitian oleh [8] dilakukan dengan merendam spesimen aluminium 5083 selama 60 hari di perairan Teluk Biscay, Perancis untuk mengamati efek mikroorganisme laut terhadap korosi pada permukaan logam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lapisan biofilm meningkatkan korosi sumuran (*pitting corrosion*) dengan rata-rata laju korosi mencapai 0,1678 *mmpy*. Penelitian ini berbeda dari penelitian yang sedang dilakukan karena fokus utama saat ini tidak berada pada pengaruh mikroorganisme, melainkan pada analisis pengaruh pH dan salinitas secara spesifik terhadap laju korosi aluminium 5083. Penelitian lain oleh [9] meneliti pengamatan jangka panjang aluminium 1060 di laut dalam China Selatan dengan metode perendaman selama 50 hari pada kedalaman 100 meter. Hasil penelitian menunjukkan adanya korosi sumuran (*pitting corrosion*), dengan laju korosi sebesar 1,1479 *mmpy*. Perbedaan utama terletak pada jenis material dan kondisi pengujian, penelitian sebelumnya menggunakan aluminium 1060 di laut dalam, sedangkan penelitian ini menggunakan aluminium 5083 dalam pengujian laboratorium.

Penelitian oleh [10] melakukan pengujian elektrokimia terhadap aluminium dalam larutan natrium klorida (NaCl) yang mengandung lithium

carbonate ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ) pada kondisi pH 4. Sampel aluminium diuji menggunakan metode *open circuit potential (OCP)* dan *tafel extrapolation*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada pH 4 laju korosi mencapai 0,1128 *mmpy*. Kondisi pH asam tersebut mampu melarutkan lapisan pasif pada aluminium dan mempercepat kerusakan permukaan logam. Penelitian tersebut memiliki perbedaan dibandingkan penelitian ini, karena media yang digunakan berupa larutan kimia sintesis dengan pH asam, sedangkan penelitian saat ini menggunakan air laut alami dengan rentang pH yang mencerminkan kondisi lingkungan aktual. Beberapa penelitian sebelumnya secara umum menyimpulkan bahwa karakteristik air laut, seperti pH dan salinitas, sangat memengaruhi laju korosi pada material aluminium.

Salinitas dan derajat keasaman (*potential of hydrogen* atau pH) memberikan pengaruh dalam menentukan tingkat kemurnian air laut. Salinitas merupakan kandungan garam terlarut dalam air laut [11], sedangkan pH menunjukkan tingkat keasaman atau kebasahan suatu larutan [12]. Kombinasi salinitas tinggi dan pH asam berpotensi mempercepat reaksi elektrokimia pada permukaan logam, sehingga mempercepat laju korosi. Kenaikan salinitas akan menambah konsentrasi ion terlarut, sedangkan pH dapat meningkatkan laju pengikisan logam [13]. Nilai pH yang terlalu asam maupun terlalu basa, berpotensi merusak lapisan pelindung oksida pada aluminium, sehingga mempercepat terjadinya korosi.



Gambar 1. Kapal Patroli Serayu di Pelabuhan Tanjung Intan Cilacap

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh fenomena korosi yang terjadi pada kapal-kapal yang menggunakan aluminium 5083 sebagai material pelat lambung kapal. Gambar 1 menunjukkan kapal Patroli Serayu milik TNI Angkatan Laut di Pelabuhan Tanjung Intan, Cilacap, yang menggunakan aluminium 5083 sebagai pelat lambung kapal.



Gambar 2. Bagian Lambung Kapal MV TMS Glory di PT. Dok Kodja Bahari Cirebon

Gambar 2 memperlihatkan kapal general kargo MV TMS Glory di Pelabuhan Cirebon yang juga menggunakan aluminium 5083 dan menunjukkan tanda-tanda awal korosi pada bagian lambung kapalnya. Kedua pelabuhan tersebut memiliki karakteristik lingkungan yang berbeda dan diduga berkontribusi terhadap perbedaan tingkat korosivitas terhadap aluminium 5083. Hingga saat ini, belum terdapat penelitian yang secara khusus membandingkan laju korosi aluminium 5083 berdasarkan perbedaan salinitas dan pH air laut di perairan Cilacap dan Cirebon.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara salinitas dan derajat keasaman (pH) air laut terhadap laju korosi aluminium 5083 di dua lokasi perairan berbeda, mengamati morfologi permukaan logam setelah perendaman menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), dan menghitung estimasi penipisan permukaan material sebesar 1 mm berdasarkan data laju korosi dan ketebalan batas minimum yang ditetapkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI).

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam memahami pengaruh salinitas dan pH terhadap laju korosi aluminium 5083, khususnya di Laut Jawa. Temuan ini juga dapat menjadi acuan bagi industri perkapalan dalam upaya mendukung manajemen dan perawatan kapal secara lebih efisien. Selain itu, hasil penelitian ini berpotensi membantu mengurangi risiko korosi guna meningkatkan umur pakai komponen kapal.

## 2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan merendam spesimen aluminium 5083 dalam air laut dari dua lokasi berbeda. Pengukuran laju korosi dilakukan menggunakan metode kehilangan berat berdasarkan standar ASTM G31-72, sedangkan pengamatan permukaan dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Metode

kehilangan berat merupakan metode konvensional yang umum digunakan karena sederhana dan mampu memberikan hasil kuantitatif berupa laju korosi dalam satuan *mmpy*, meskipun memerlukan waktu relatif lama. Penggunaan SEM bertujuan untuk mengamati pola korosi secara mikroskopis dan memperoleh informasi visual mengenai kondisi permukaan logam setelah perendaman.

### 2.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui studi literatur dari berbagai sumber seperti buku, jurnal, dan artikel ilmiah yang relevan. Sumber-sumber tersebut digunakan untuk mempelajari teori korosi dan mekanismenya, karakteristik aluminium 5083, salinitas dan pH air laut, serta prinsip metode kehilangan berat. Selain data sekunder, penelitian ini juga memperoleh data primer melalui pengujian laboratorium yang mencakup penimbangan spesimen sebelum dan sesudah perendaman, pengukuran salinitas dan pH air laut, serta pengamatan permukaan spesimen menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

### 2.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian merupakan unsur yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari guna memperoleh informasi dan menarik kesimpulan terhadap fenomena yang diamati [14]. Penelitian ini melibatkan tiga jenis variabel, yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Variabel bebas terdiri dari air laut berdasarkan lokasi pengambilan sampel dan waktu perendaman spesimen. Variabel terikat dalam penelitian ini meliputi kehilangan berat spesimen, nilai laju korosi, serta estimasi *lifetime* spesimen. Sedangkan variabel kontrol meliputi jenis material spesimen, ukuran spesimen, serta volume air laut dalam wadah.

### 2.3 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada periode 21 Februari hingga 2 Mei 2025, dengan kegiatan yang mencakup persiapan spesimen, pengambilan sampel air laut, proses perendaman, pengujian laboratorium, dan pengamatan mikroskopis. Seluruh proses dilakukan di beberapa laboratorium, di lingkungan Universitas Diponegoro, meliputi:

- Laboratorium Kimia Industri, Sekolah Vokasi: untuk proses penimbangan awal spesimen.
- Laboratorium Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan: untuk pengukuran salinitas.
- Laboratorium Terpadu Undip: untuk pengukuran pH, penimbangan akhir, dan pengujian mikroskopis permukaan spesimen menggunakan *Scanning Electron Microscopy*

(SEM).

Sampel air laut diperoleh dari dua lokasi berbeda, yaitu Pelabuhan Tanjung Intan, Cilacap dan Pelabuhan Cirebon, yang masing-masing mewakili karakteristik perairan selatan dan utara Pulau Jawa.

## 2.4 Penyediaan Apparatus

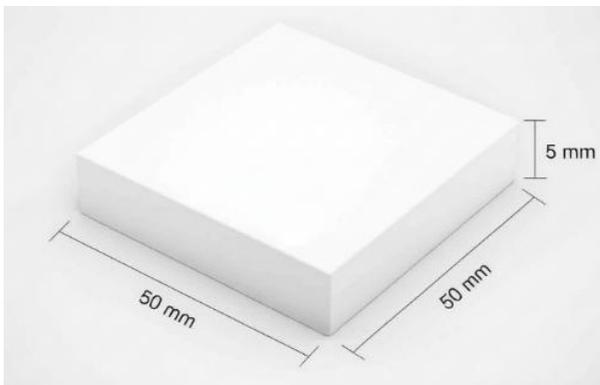
Apparatus yang digunakan dalam penelitian ini merupakan peralatan dan bahan yang diperlukan untuk melakukan pengujian korosi pada spesimen aluminium 5083. Pemilihan apparatus mengacu pada standar ASTM G31-72 [15] untuk memastikan hasil yang reliabel dan dapat dibandingkan dengan penelitian lain. Spesimen aluminium 5083 yang digunakan memiliki bentuk balok dengan dimensi panjang 50 mm, lebar 50 mm, dan tebal 5 mm, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Neraca analitik 1/10.000 gram
- pH Meter Digital
- Refraktometer
- Mikroskop SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Spesimen aluminium 5083



Gambar 3. Dimensi Spesimen

- Sampel air laut Cilacap 5000 ml
- Sampel air laut Cirebon 5000 ml

## 2.5 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini diawali dengan persiapan spesimen, yaitu memotong pelat aluminium 5083 menjadi 8 buah spesimen seperti pada Gambar 3. Kemudian permukaan setiap spesimen dibersihkan secara bertahap menggunakan kertas amplas dengan urutan grit 500, 1000, 2000, dan 5000. Proses pengamplasan ini bertujuan untuk menghilangkan kotoran sisa pemotongan serta meratakan permukaan spesimen. Selanjutnya, spesimen akan diberikan

kode identifikasi berdasarkan lokasi dan waktu perendaman, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Waktu Perendaman dan Kode Spesimen dan Wadah

Waktu Perendaman	Kode (Cilacap)	Kode (Cirebon)
336 Jam	CP168	CR168
672 Jam	CP336	CR336
1008 Jam	CP504	CR504
1344 Jam	CP730	CR730

Spesimen ditimbang menggunakan neraca analitik dengan ketelitian 1/10.000 gram untuk memperoleh data berat awal sebelum dilakukan proses perendaman. Sampel air laut diambil langsung dari lokasi pengambilan menggunakan jerigen berkapasitas 5000 ml, kemudian disaring untuk menghilangkan kotoran padat yang dapat mengganggu hasil pengujian.

Salinitas diukur menggunakan refraktometer, sedangkan pH diukur dengan pH meter digital yang telah dikalibrasi sebelumnya. Pengukuran kedua parameter dilakukan terhadap masing-masing sampel air laut sebelum proses perendaman. Proses perendaman dilakukan dengan menempatkan spesimen ke dalam setiap wadah kaca berkapasitas 1500 mL yang telah diisi dengan 1000 mL air laut dari masing-masing lokasi pengambilan.

Setelah masa perendaman berakhir, setiap spesimen dibersihkan menggunakan air bersih dan dikeringkan hingga tidak menyisakan kelembapan. Kemudian dilakukan penimbangan akhir untuk memperoleh data berat akhir spesimen. Selisih antara berat awal dan berat akhir digunakan sebagai dasar dalam perhitungan kehilangan berat ( $\Delta W$ ), sebagaimana ditunjukkan pada persamaan 1 sesuai standar ASTM G31-72 [15]:

$$\Delta W = W1 - W2 \quad 1$$

dengan:

W1 = berat awal spesimen (gram)

W2 = berat akhir spesimen (gram)

Perhitungan laju korosi dilakukan menggunakan persamaan 2 sesuai standar ASTM G31-72 [15]:

$$CR (mmpy) = \frac{534 \cdot W}{\rho \cdot A \cdot t} \quad 2$$

dengan:

W = kehilangan berat (gram)

$\rho$  = densitas aluminium 5083 (2,66 g/cm<sup>3</sup>)

A = luas permukaan spesimen (25 cm<sup>2</sup>)

t = waktu perendaman (jam)

Berdasarkan standar Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) [16], ketebalan minimum yang

diizinkan untuk pelat lambung aluminium adalah 4 mm. Ketebalan awal spesimen sebesar 5 mm memberikan toleransi korosi sebesar 1 mm sebelum mencapai batas aman. Oleh karena itu, estimasi korosi material dihitung berdasarkan waktu yang diperlukan untuk terjadinya penipisan sebesar 1 mm.

Pengukuran ulang salinitas dan pH air laut dilakukan setelah perendaman selama 1344 jam untuk mengetahui perubahan sifat kimia akibat interaksi antara logam aluminium dan air laut. Durasi perendaman tersebut dipilih karena dianggap paling mewakili perubahan maksimum yang terjadi selama proses korosi.

Pengujian mikroskopi dilakukan dengan pengamatan permukaan material dengan menggunakan mikroskop *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Dua spesimen dari perendaman 1344 jam yang masing-masing dari Cilacap dan Cirebon diamati menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dengan pembesaran 500x untuk melihat bentuk korosi yang terjadi. Hasil pengujian SEM akan menghasilkan foto hitam putih karena SEM menggunakan elektron, bukan cahaya, sehingga gambar yang dihasilkan menunjukkan intensitas sinyal, bukan warna optik [17].

## 2.6 Teknik Analisa Data

Penelitian ini menggunakan pendekatan analisis deskriptif kuantitatif yang merupakan metode analisis data yang digunakan untuk menggambarkan hasil penelitian berdasarkan data numerik yang diperoleh dari pengukuran atau eksperimen [18]. Data yang diperoleh dari hasil eksperimen diolah dalam bentuk numerik, kemudian disusun ke dalam tabel dan divisualisasikan melalui grafik.

## 2.7 Teknik Penyajian Data

Teknik penyajian data dalam penelitian ini dilakukan dengan menyusun hasil penelitian dalam bentuk tabel, gambar, grafik, dan perhitungan numerik. Penyajian data juga dilengkapi dengan deskripsi naratif agar memudahkan interpretasi dan pemahaman terhadap hasil penelitian. Pengelompokan data dilakukan berdasarkan parameter pengujian seperti lokasi, waktu perendaman, dan variabel yang diuji, sehingga pola hubungan antarvariabel dapat dianalisis secara jelas dan objektif.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Komposisi Aluminium 5083

Komposisi kimia paduan aluminium 5083 yang ditunjukkan pada Tabel 2 menunjukkan bahwa aluminium dan magnesium merupakan

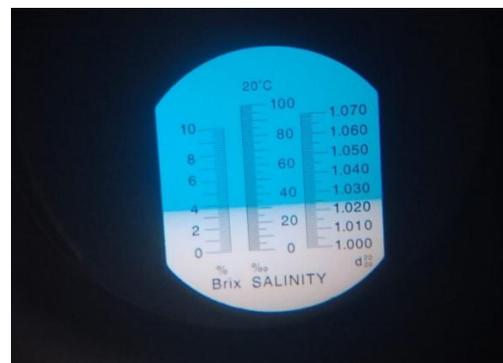
unsur utama dalam pembentukan aluminium 5083 dengan presentase aluminium sebesar 92,4-95,6% dan presentase magnesium sebesar 4-4,9%.

Tabel 2. Komposisi Kimia Aluminium Seri 5083 [3]

Unsur	Presentase
Aluminium	92,4-95,6%
Kromium	0,05-0,25%
Tembaga	< 0,1%
Besi	< 0,4%
Magnesium	4-4,9%
Mangan	0,4-1%
Silikon	< 0,4%
Titanium	< 0,15%
Zink	< 0,25%

### 3.2 Pengujian Salinitas dan Derajat Keasaman (pH)

Pengujian salinitas dan pH dilakukan untuk mengetahui nilai salinitas dan pH sebelum dan sesudah perendaman. Hasil pengukuran salinitas dan derajat keasaman (pH) air laut Cilacap disajikan pada Tabel 3. Nilai salinitas awal sebesar 32 ppt ditunjukkan pada Gambar 4 dan meningkat menjadi 38 ppt setelah perendaman, sebagaimana terlihat pada Gambar 5. Nilai pH awal sebesar 7,44 juga mengalami kenaikan menjadi 7,48. Selisih peningkatan salinitas sebesar 6 ppt, sedangkan peningkatan pH sebesar 0,04.



Gambar 4. Nilai Salinitas Awal Air Laut Cilacap



Gambar 5. Nilai Salinitas Akhir Air Laut Cilacap

Tabel 3. Nilai Salinitas dan pH Air Laut Cilacap

Parameter	Salinitas (ppt)	pH
Awal	32	7,44
Akhir	38	7,48
<b>Selisih</b>	<b>6</b>	<b>0,04</b>

Hasil pengukuran salinitas dan derajat keasaman (pH) pada air laut Cirebon ditampilkan pada Tabel 4. Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai salinitas awal sebesar 30 ppt meningkat menjadi 34 ppt setelah perendaman, sebagaimana terlihat pada Gambar 7. Gambar 8 menunjukkan bahwa nilai pH awal sebesar 7,84 naik menjadi 7,85. Selisih peningkatan salinitas sebesar 4 ppt, sedangkan perubahan nilai pH hanya sebesar 0,01.



Gambar 6. Nilai Salinitas Awal Air Laut Cirebon



Gambar 7. Nilai Salinitas Akhir Air Laut Cirebon



Gambar 8. Nilai pH Awal Air Laut Cirebon

Tabel 4. Nilai Salinitas dan pH Air Laut Cirebon

Parameter	Salinitas (ppt)	pH
Awal	30	7,84
Akhir	34	7,85
<b>Selisih</b>	<b>4</b>	<b>0,01</b>

Peningkatan salinitas dan perubahan pH setelah perendaman menunjukkan terjadinya interaksi kimia antara permukaan logam aluminium dan air laut, seperti pelepasan ion logam ke dalam larutan. Hasil ini sesuai dengan penelitian [19] yang menggunakan metode perendaman baja karbon dalam air laut Gresik selama lebih dari 30 hari meningkatkan salinitas dari 30 ppt menjadi 35 ppt, serta menyebabkan perubahan pH hingga 0,06 karena aktivitas elektrokimia di sekitar spesimen. Hal ini memperkuat proses korosi turut mengubah karakteristik kimia air laut selama perendaman berlangsung.

### 3.3 Pengujian Kehilangan Berat

Hasil pengujian berat awal spesimen ditunjukkan dalam Gambar 9 yang menghasilkan nilai berat awal spesimen sebesar 41,2206 gram.

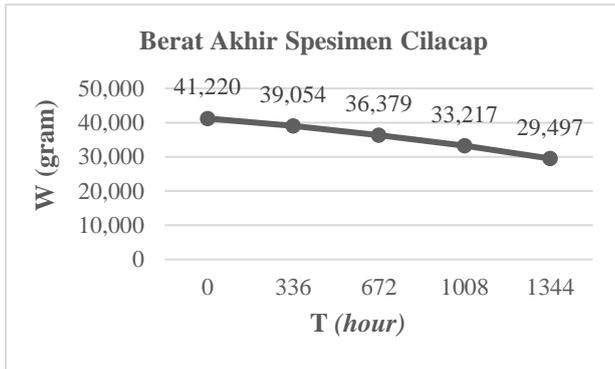


Gambar 9. Hasil Pengujian Berat Awal Spesimen

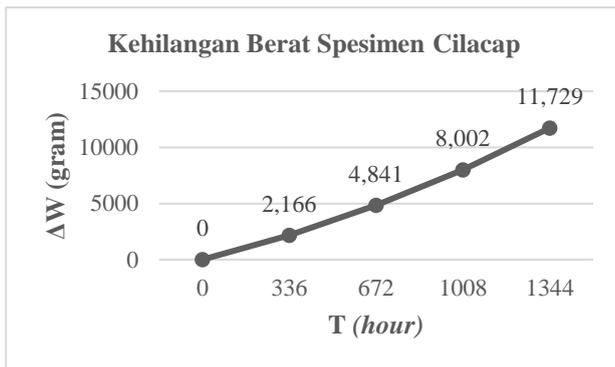
Hasil uji kehilangan berat pada perendaman spesimen aluminium 5083 di air laut Cilacap ditampilkan pada Tabel 5. Spesimen Cilacap menunjukkan penurunan berat dari 41,2206 gram menjadi 29,4971 gram setelah perendaman selama 1344 jam, dengan rata-rata kehilangan berat sebesar 6,6850 gram. Grafik penurunan berat divisualisasikan pada Gambar 10.

Tabel 5. Kehilangan Berat Spesimen pada Perendaman Air Laut Cilacap

Variasi Waktu (hour)	Berat Akhir (gram)	Kehilangan Berat (gram)
0	41,2206	0
336	39,0542	2,1664
672	36,3794	4,8412
1008	33,2177	8,0029
1344	29,4971	11,7296
<b>Rata-Rata</b>	<b>35,8738</b>	<b>6,6850</b>



Gambar 10. Grafik Berat Akhir Spesimen Cilacap  
Berdasarkan Gambar 10, didapatkan berat akhir spesimen mengalami penurunan secara bertahap seiring bertambahnya waktu perendaman. Nilai berat akhir menurun dari 41,220 gram menjadi 29,497 gram, yang berarti terjadi kehilangan massa sebesar 11,723 gram selama periode perendaman 1344 jam. Gambar 10 tersebut dapat disimpulkan bahwa air laut Cilacap bersifat korosif terhadap aluminium 5083, dan semakin lama waktu eksposur, semakin besar tingkat degradasi material yang terjadi.



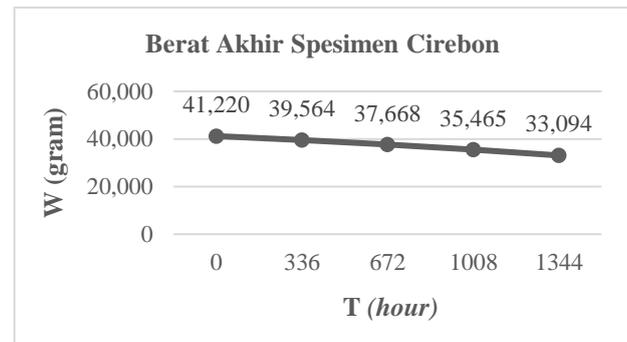
Gambar 11. Grafik Kehilangan Berat Spesimen Cilacap

Berdasarkan Gambar 11, didapatkan grafik kehilangan berat ( $\Delta W$ ) spesimen aluminium 5083 selama proses perendaman dalam air laut Cilacap. Hasil nilai kehilangan berat meningkat secara signifikan dari waktu ke waktu, dimulai dari 2,166 gram pada 336 jam hingga mencapai 11,729 gram pada 1344 jam, mengindikasikan bahwa laju kehilangan berat mengalami percepatan seiring lamanya waktu perendaman. Hal ini dapat disebabkan oleh menipisnya permukaan aluminium akibat proses korosi.

Hasil pengujian kehilangan berat pada air laut Cirebon ditunjukkan pada Tabel 6 yang menghasilkan penurunan berat dari 41,2206 gram menjadi 33,0940 gram selama periode perendaman 1344 jam, dengan rata-rata kehilangan berat sebesar 4,7726 gram.

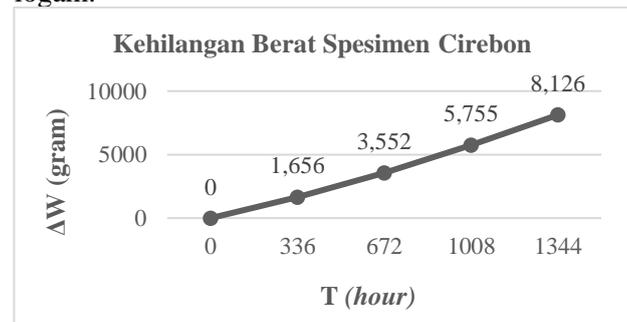
Tabel 6. Kehilangan Berat Spesimen pada Perendaman Air Laut Cirebon

Variasi Waktu (hour)	Berat Akhir (gram)	Kehilangan Berat (gram)
0	41,2206	0
336	39,5644	1,6562
672	37,6683	3,5523
1008	35,4652	5,7554
1344	33,0940	8,1266
<b>Rata-Rata</b>	<b>37,4025</b>	<b>4,7726</b>



Gambar 12. Grafik Berat Akhir Spesimen Cirebon  
Berdasarkan Gambar 12, didapatkan grafik penurunan berat akhir spesimen yang direndam dalam air laut Cirebon. Terlihat bahwa berat spesimen menurun secara bertahap dari 41,220 gram menjadi 33,094 gram selama 1344 jam perendaman. Penurunan ini menunjukkan terjadinya proses korosi, namun dengan laju yang relatif lebih lambat dibandingkan dengan spesimen yang direndam di air laut Cilacap.

Perbandingan dengan grafik berat akhir spesimen Cilacap pada Gambar 10, terlihat bahwa spesimen dari Cirebon mengalami penurunan berat yang lebih kecil, seperti pada perendaman 1344 jam, berat spesimen dari Cirebon masih lebih tinggi yaitu 33,094 gram dibandingkan Cilacap sebesar 29,497 gram. Hal ini mengindikasikan bahwa air laut Cirebon memiliki tingkat korosivitas yang lebih rendah terhadap aluminium 5083 dibandingkan Cilacap. Perbedaan ini disebabkan oleh nilai pH yang lebih basa dan nilai salinitas yang lebih rendah di perairan Cirebon, sehingga memperlambat reaksi korosi pada permukaan logam.



Gambar 13. Grafik Kehilangan Berat Spesimen Cirebon

Gambar 13 memperlihatkan grafik kehilangan berat spesimen aluminium 5083 akibat perendaman dalam air laut Cirebon selama 1344 jam. Kehilangan berat meningkat secara bertahap, mulai dari 1,656 gram pada 336 jam hingga mencapai 8,126 gram pada akhir perendaman. Pola kenaikan cenderung linier, menunjukkan bahwa proses korosi terjadi secara bertahap.



Gambar 14. Grafik Perbandingan Kehilangan Berat Spesimen Cilacap dan Cirebon

Gambar 14 menunjukkan grafik perbandingan kehilangan berat spesimen Cilacap dan spesimen Cirebon yang menunjukkan bahwa air laut Cirebon memiliki tingkat korosivitas yang lebih rendah terhadap aluminium 5083 dibandingkan Cilacap. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh faktor salinitas yang lebih rendah yaitu 30 ppt di Cirebon dan 32 ppt di Cilacap serta pH yang lebih basa di Cirebon yaitu pH 7,84 dibandingkan dengan pH air Cilacap yang sedikit lebih asam yaitu pH 7,44.

Perbedaan ini sejalan dengan penelitian [20] yang mengamati uji kehilangan berat pada aluminium 5083 dengan variasi salinitas 35 ppt dan 40 ppt. Hasil penelitian menunjukkan bahwa spesimen dalam media air laut dengan salinitas 35 ppt mengalami kehilangan berat sekitar 5,3 gram selama 30 hari, sedangkan pada media 40 ppt kehilangan mencapai 8,7 gram. Hasil penelitian ini menunjukkan kenaikan salinitas menyebabkan peningkatan kehilangan massa spesimen.

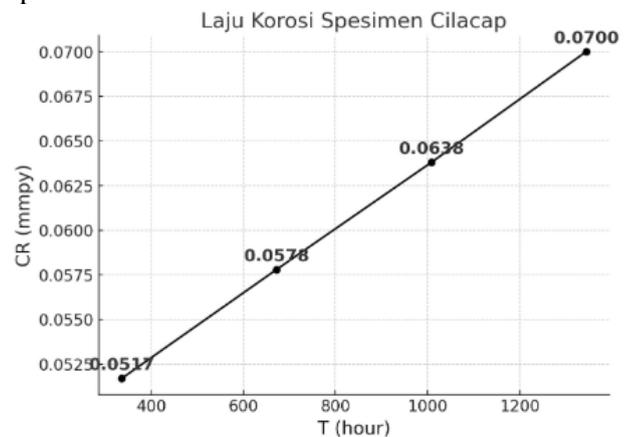
### 3.4 Perhitungan Laju Korosi

Perhitungan laju korosi dilakukan untuk mengetahui kecepatan degradasi material aluminium 5083 selama proses perendaman di air laut Cilacap dan Cirebon. Perhitungan laju korosi spesimen dari perairan Cilacap dilakukan berdasarkan nilai kehilangan berat pada setiap interval waktu. Data hasil perhitungan laju korosi spesimen Cilacap disajikan dalam Tabel 7 berikut:

Tabel 7. Laju Korosi Spesimen Cilacap

Variasi Waktu (hour)	Kehilangan Berat (gram)	Laju Korosi (mmpy)
336	2,1664	0,0517
672	4,8412	0,0578
1008	8,0029	0,0638
1344	11,7296	0,0700
<b>Rata-Rata</b>	<b>6,6850</b>	<b>0,0608</b>

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 7, terlihat bahwa laju korosi spesimen Cilacap mengalami peningkatan seiring bertambahnya waktu perendaman. Nilai laju korosi tertinggi sebesar 0,0700 mmpy terjadi pada waktu perendaman 1344 jam. Grafik peningkatan laju korosi terhadap waktu perendaman ditampilkan pada Gambar 15 yang mengindikasikan tingginya tingkat korosivitas air laut Cilacap terhadap spesimen aluminium 5083



Gambar 15. Grafik Laju Korosi Spesimen Cilacap

Berdasarkan Gambar 15, didapatkan laju korosi spesimen mengalami peningkatan secara bertahap seiring bertambahnya waktu perendaman. Nilai laju korosi meningkat dari 0,0517 mmpy menjadi 0,0700 mmpy. Peningkatan ini menunjukkan adanya proses korosi yang diindikasikan oleh penipisan lapisan permukaan aluminium. Korosi tersebut disebabkan oleh air laut Cilacap yang memiliki salinitas lebih tinggi dan pH lebih asam.

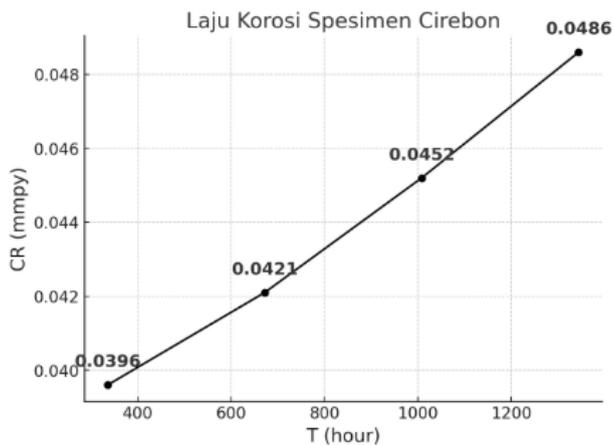
Perhitungan laju korosi spesimen Cirebon disajikan dalam Tabel 8 berikut:

Tabel 8. Laju Korosi Spesimen Cirebon

Variasi Waktu (hour)	Kehilangan Berat (gram)	Laju Korosi (mmpy)
336	1,6562	0,0396
672	3,5523	0,0424
1008	5,7554	0,0458
1344	8,1266	0,0486
<b>Rata-Rata</b>	<b>4,7726</b>	<b>0,0441</b>

Hasil perhitungan pada Tabel 8 menunjukkan bahwa laju korosi spesimen Cirebon juga meningkat secara bertahap dengan

bertambahnya waktu perendaman. Nilai tertinggi terjadi pada waktu perendaman 1344 jam dengan laju korosi sebesar 0,0486 *mmpy*.



Gambar 16. Grafik Laju Korosi Spesimen Cirebon  
Gambar 16 menunjukkan grafik laju korosi spesimen aluminium 5083 yang direndam dalam air laut Cirebon mengalami kenaikan secara bertahap, dari 0,0396 *mmpy* pada 336 jam menjadi 0,0486 *mmpy* pada 1344 jam. Meskipun mengalami peningkatan, laju kenaikannya relatif lebih landai dibandingkan dengan laju korosi spesimen Cilacap.



Gambar 17. Grafik Perbandingan Laju Korosi Spesimen Cilacap dan Cirebon

Gambar 17 menunjukkan perbandingan laju korosi spesimen Cilacap yang menghasilkan nilai laju korosi yang lebih tinggi pada semua durasi perendaman dibandingkan dengan spesimen Cirebon, Laju korosi spesimen Cirebon secara konsisten berada di bawah spesimen Cilacap pada setiap titik waktu perendaman. Sebagai contoh, pada 1344 jam, laju korosi spesimen Cilacap mencapai 0,0700 *mmpy*, sedangkan spesimen Cirebon hanya 0,0486 *mmpy*. Selisih ini menunjukkan bahwa aluminium 5083 lebih cepat mengalami degradasi di air laut Cilacap.

Perbedaan laju korosi ini sejalan dengan hasil penelitian oleh [21], yang menemukan peningkatan salinitas dari 33 ppt menjadi 45 ppt pada air laut menyebabkan peningkatan laju

korosi hingga 1,3047 *mmpy*. Penelitian tersebut juga mencatat air laut dengan pH lebih asam menghasilkan penetrasi ion klorida yang lebih cepat ke aluminium sehingga mempercepat korosi. Hasil ini menguatkan bahwa kombinasi antara pH asam dan salinitas tinggi sangat berpengaruh terhadap peningkatan laju korosi.

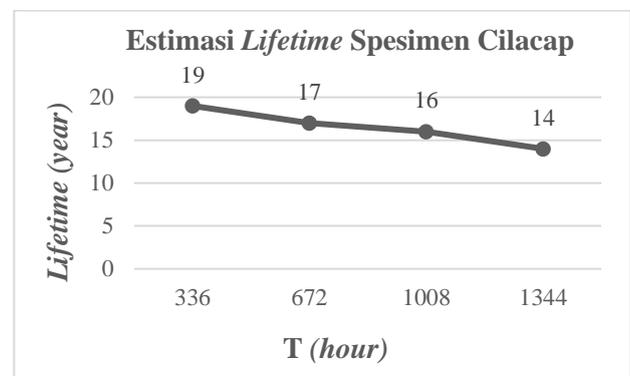
### 3.5 Perhitungan Estimasi *Lifetime* Spesimen

Perhitungan estimasi *lifetime* bertujuan untuk mengetahui masa pakai atau ketahanan spesimen terhadap korosi. Estimasi *lifetime* dihitung berdasarkan nilai laju korosi yang diperoleh pada masing-masing waktu perendaman kemudian dibagi dengan tebal spesimen. Hasil perhitungan estimasi *lifetime* spesimen Cilacap disajikan dalam Tabel 9 berikut:

Tabel 9. Estimasi *Lifetime* Aluminium 5083 – Spesimen Cilacap

Variasi Waktu (hour)	Laju Korosi (mmpy)	Estimasi <i>Lifetime</i> (year)
336	0,0517	19
672	0,0578	17
1008	0,0638	16
1344	0,0700	14
<b>Rata-Rata</b>	<b>0,0608</b>	<b>17</b>

Berdasarkan data pada Tabel 9, dapat dilihat bahwa estimasi *lifetime* spesimen Cilacap mengalami penurunan secara bertahap seiring meningkatnya waktu perendaman. Estimasi *lifetime* menurun dari 19 tahun pada perendaman 336 jam menjadi 14 tahun pada perendaman 1344 jam. Penurunan ini menunjukkan bahwa peningkatan laju korosi menyebabkan spesimen lebih cepat mengalami penipisan. Penurunan estimasi *lifetime* tersebut terjadi akibat reaksi elektrokimia pada saat proses perendaman spesimen yang menghasilkan korosi pada permukaan spesimen.



Gambar 18. Grafik Estimasi *Lifetime* Spesimen Cilacap

Gambar 18 menunjukkan bahwa estimasi *lifetime* spesimen Cilacap menurun seiring meningkatnya laju korosi akibat variasi

perendaman yang lebih lama. Estimasi *lifetime* spesimen Cilacap berkisar antara 19 tahun hingga 14 tahun, dengan rata-rata sebesar 17 tahun. Hasil ini diperoleh dari nilai laju korosi yang relatif lebih tinggi, yaitu 0,0518 hingga 0,0700 *mmpy*, yang menunjukkan bahwa proses degradasi logam berlangsung lebih cepat.

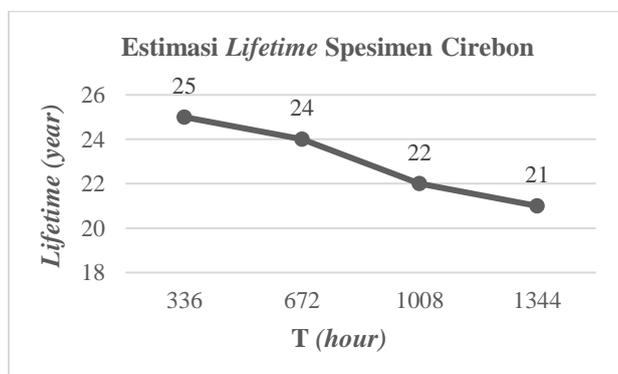
Hasil perhitungan estimasi *lifetime* spesimen Cirebon disajikan dalam Tabel 10.

Tabel 10. Estimasi *Lifetime* Aluminium 5083 – Spesimen Cirebon

Variasi Waktu (hour)	Laju Korosi (mmpy)	Estimasi Lifetime (year)
336	0,0396	25
672	0,0424	24
1008	0,0458	22
1344	0,0486	21
<b>Rata-Rata</b>	<b>0,0441</b>	<b>23</b>

Berdasarkan data pada Tabel 10, estimasi *lifetime* spesimen Cirebon menunjukkan angka yang lebih tinggi dibandingkan spesimen Cilacap. Estimasi *lifetime* menurun dari 25 tahun pada perendaman 336 jam menjadi 21 tahun pada perendaman 1344 jam. Hal ini menunjukkan bahwa air laut Cirebon yang memiliki nilai salinitas lebih rendah dan pH lebih basa memiliki nilai estimasi *lifetime* yang lebih tinggi dibandingkan spesimen Cilacap.

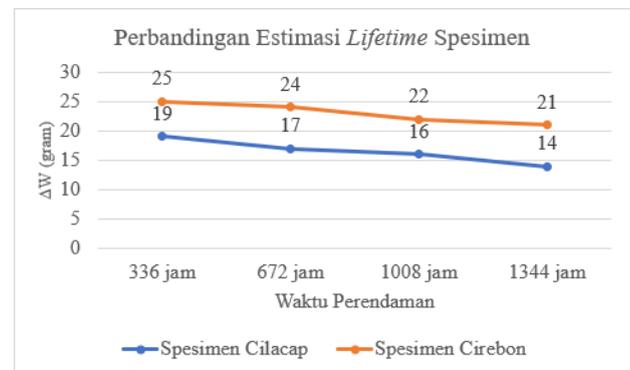
Grafik estimasi *lifetime* spesimen yang direndam dalam air laut Cirebon ditunjukkan dalam Gambar 19. Estimasi *lifetime* spesimen Cirebon menghasilkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen dari Cilacap. Estimasi *lifetime* spesimen Cirebon berkisar antara 21 tahun hingga 25 tahun, dengan rata-rata sebesar 23 tahun. Hasil ini diperoleh dari nilai laju korosi yang relatif lebih rendah, yaitu 0,0396 hingga 0,0486 *mmpy*, yang menunjukkan bahwa proses degradasi logam berlangsung lebih lambat.



Gambar 19. Grafik Estimasi *Lifetime* Spesimen Cirebon

Grafik perbandingan estimasi *lifetime* antara spesimen Cilacap dan spesimen Cirebon

terhadap waktu perendaman ditunjukkan dalam Gambar 20. Perbandingan ini mengindikasikan bahwa spesimen dari air laut Cirebon memiliki ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan Cilacap.



Gambar 20. Grafik Perbandingan Estimasi *Lifetime* Spesimen Cilacap dan Cirebon

Perbandingan kedua lokasi menunjukkan bahwa spesimen dari Cilacap memiliki estimasi *lifetime* rata-rata 17 tahun, sedangkan di Cirebon mencapai 23 tahun. Data ini konsisten dengan penelitian [22], yang menghasilkan estimasi *lifetime* aluminium-magnesium alloy di air laut Hongkong mencapai 22 tahun saat laju korosi rata-rata 0,0450 *mmpy*. Hasil ini menunjukkan bahwa laju korosi yang rendah akan menghasilkan umur pakai material yang lebih panjang.

### 3.6 Hubungan Salinitas, pH, dan Variasi Waktu Perendaman Terhadap Laju Korosi dan Estimasi *Lifetime* Spesimen

Berdasarkan data yang diperoleh dari perhitungan nilai salinitas, pH, laju korosi dan estimasi *lifetime* spesimen maka didapatkan hubungan antara salinitas, pH, dan variasi waktu perendaman terhadap laju korosi dan estimasi *lifetime* spesimen.

#### Pengaruh Salinitas Terhadap Laju Korosi dan Estimasi *Lifetime* Spesimen

Hasil penelitian menunjukkan bahwa spesimen yang direndam dalam air laut Cilacap dengan salinitas sebesar 32 ppt mengalami laju korosi lebih tinggi yaitu 0,0518 *mmpy* hingga 0,0700 *mmpy* dibandingkan spesimen di Cirebon dengan salinitas 30 ppt memiliki nilai laju korosi sebesar 0,0396 *mmpy* hingga 0,0486 *mmpy*. Rata-rata estimasi *lifetime* spesimen di Cilacap sebesar 17 tahun, sedangkan di Cirebon mencapai 23 tahun. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin tinggi salinitas air laut, semakin besar laju korosi yang terjadi, sehingga estimasi *lifetime* material menjadi lebih pendek.

### Pengaruh pH Terhadap Laju Korosi dan Estimasi Lifetime Spesimen

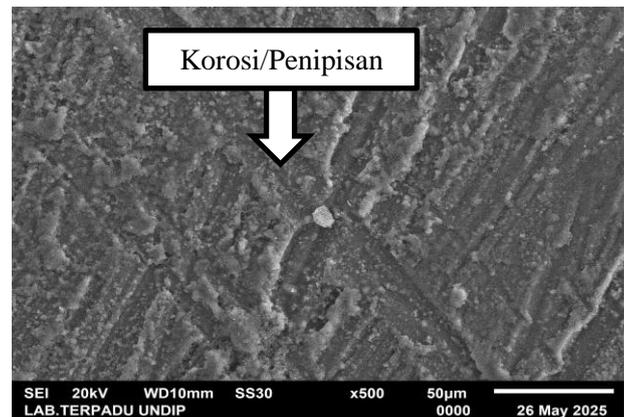
Hasil penelitian menunjukkan bahwa spesimen yang direndam dalam perairan dengan pH lebih basa, seperti di Cirebon dengan nilai pH 7,84, mengalami laju korosi yang lebih rendah dibandingkan dengan spesimen dari Cilacap yang memiliki pH cenderung sedikit asam yaitu pH 7,44. Laju korosi spesimen Cirebon berada pada kisaran 0,0396 hingga 0,0486 *mmpy*, sedangkan Cilacap berada pada kisaran 0,0518 hingga 0,0700 *mmpy*. Hasil tersebut berpengaruh terhadap estimasi umur pakai material, di mana estimasi *lifetime* spesimen di Cirebon lebih panjang, yaitu antara 25 hingga 21 tahun, dibandingkan dengan Cilacap yang hanya 19 hingga 14 tahun. Hal ini menunjukkan bahwa semakin asam pH air laut maka laju korosi akan meningkat dan estimasi *lifetime* spesimen menjadi lebih pendek. Sebaliknya, pH yang lebih netral dan basa akan menghasilkan penurunan laju korosi dan memperpanjang umur pakai material.

### Pengaruh Waktu Perendaman Terhadap Laju Korosi dan Estimasi Lifetime Spesimen

Peningkatan waktu perendaman dari 336 jam hingga 1344 jam menyebabkan peningkatan laju korosi secara bertahap baik pada spesimen Cilacap maupun Cirebon. Pada spesimen Cilacap, laju korosi naik dari 0,0518 menjadi 0,0700 *mmpy* dan estimasi *lifetime* menurun dari 19,3 menjadi 14,29 tahun. Sementara pada spesimen Cirebon, laju korosi naik dari 0,0396 menjadi 0,0486 *mmpy* dan estimasi *lifetime* menurun dari 25,25 menjadi 20,58 tahun. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu perendaman, semakin tinggi laju korosi yang terjadi, dan semakin pendek estimasi *lifetime* material.

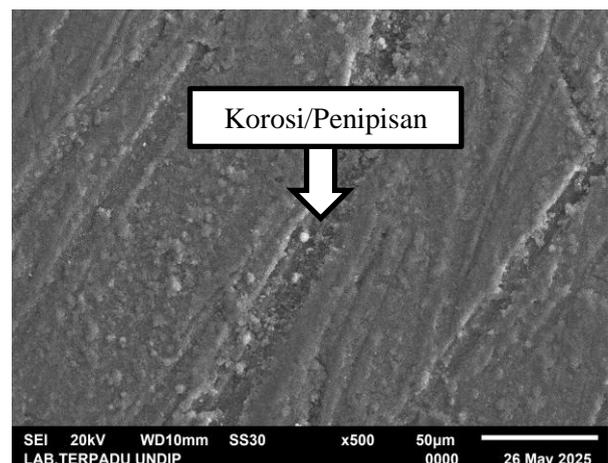
### 3.7 Pengujian Foto Mikroskopis

Pengujian mikroskopis dilakukan untuk mengamati kondisi morfologi permukaan spesimen aluminium 5083 setelah proses perendaman selama 1344 jam di air laut Cilacap dan Cirebon. Pengujian dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dengan tingkat pembesaran 500x.



Gambar 21. Foto Mikroskopis Spesimen Cilacap

Foto mikroskopis spesimen dari Cilacap pada Gambar 21 menunjukkan permukaan logam mengalami korosi seragam yang ditandai dengan pengikisan pada area permukaan spesimen. Permukaan terlihat kasar dan terdapat alur-alur halus akibat degradasi lapisan permukaan logam selama perendaman. Selain itu, tampak penipisan lapisan permukaan logam yang mengindikasikan terjadinya degradasi terus-menerus akibat terendam air laut dengan salinitas tinggi.



Gambar 22. Foto Mikroskopis Spesimen Cirebon

Sementara itu, foto mikroskopis spesimen dari Cirebon pada Gambar 22 juga menunjukkan pola korosi seragam, namun tampak lebih halus dibandingkan dengan spesimen dari Cilacap. Permukaan logam tetap mengalami pengikisan, namun dengan tingkat kekasaran dan kedalaman korosi yang lebih rendah.

Hasil pengamatan ini sejalan dengan penelitian oleh [23] yang menyatakan bahwa korosi seragam pada aluminium terjadi secara merata ketika terendam air laut dan menunjukkan pola kekasaran permukaan yang meningkat seiring lamanya waktu eksposur. Penelitian tersebut juga menghasilkan peningkatan salinitas akan mempercepat penipisan pada permukaan aluminium yang menyebabkan korosi seragam.

## KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa salinitas, pH, dan variasi waktu perendaman memiliki hubungan yang saling memengaruhi terhadap laju korosi dan estimasi *lifetime* aluminium 5083. Spesimen dari perairan Cilacap yang memiliki salinitas lebih tinggi yaitu 32 ppt dan pH lebih asam yaitu 7,44 mengalami laju korosi yang lebih tinggi, yaitu sebesar 0,0517 *mmpy* untuk perendaman 336 jam, 0,0578 *mmpy* untuk perendaman 672 jam, 0,0638 *mmpy* perendaman 1008 jam, dan 0,0700 *mmpy* perendaman 1344 jam, serta rata-rata estimasi *lifetime* yang lebih pendek yaitu 17 tahun. Sementara itu, spesimen dari perairan Cirebon dengan nilai salinitas yang lebih rendah yaitu 30 ppt dan pH yang lebih basa yaitu 7,84 menunjukkan laju korosi sebesar 0,0396 *mmpy* untuk perendaman 336 jam, 0,0424 *mmpy* untuk perendaman 672 jam, 0,0458 *mmpy* perendaman 1008 jam, dan 0,0486 *mmpy* perendaman 1344 jam, dan rata-rata estimasi *lifetime* yang lebih panjang, yaitu 23 tahun. Selain itu, peningkatan waktu perendaman dari 336 hingga 1344 jam menyebabkan peningkatan laju korosi secara bertahap dan penurunan estimasi *lifetime* pada kedua lokasi. Hasil uji mikroskopis menggunakan SEM pada perbesaran 500x menunjukkan bahwa kedua spesimen mengalami korosi seragam, dengan permukaan logam yang menipis. Kesimpulannya, semakin tinggi salinitas dan semakin asam pH, serta semakin lama waktu perendaman, maka laju korosi akan meningkat, estimasi *lifetime* aluminium 5083 akan semakin pendek, dan jenis korosi yang terjadi cenderung seragam pada seluruh permukaan material.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahmad Zaki, Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control. 1st ed. Oxford : IChemE Series Publishing, 2006.
- [2] R. Winston Revie, Uhlig's Corrosion Handbook. 3rd ed. Hoboken : John Wiley & Sons Publishing, 2011.
- [3] Franc Zupanic, "Aluminium Alloy AA5083", in *Structure and Properties of Aluminium Alloys*, 1st ed. Maribor : MDPI Publishing, 2021, Bab 2, Sub.Bab 1, pp. 15-26.
- [4] Denny A. Jones, Principles and Prevention of Corrosion. 2nd ed. Nevada : Prentice-Hall Publishing, 1966.
- [5] G. T. Burstein, Corrosion and Sea Water: An Introduction to the Subject. 2nd ed. London : Macmillan Education UK Publishing, 1985.
- [6] I. M. Chohan, *et al.*, "Effect of seawater

- salinity, pH, and temperature on external corrosion behavior and microhardness of offshore oil and gas pipeline: RSM modelling and optimization", *Sci. Rep.*, vol. 14, no. 1, pp. 1–19, 2024, doi: 10.1038/s41598-024-67463-2.
- [7] M. J. F. Marques, *et al.*, "Influence of natural seawater variables on the corrosion behaviour of aluminium-magnesium alloy", *Bioelectrochemistry*, vol. 149, no. 3, p. 108321, 2023, doi: 10.1016/j.bioelechem.2022.108321.
- [8] J. Jaume, *et al.*, "Surface modification of 5083 aluminum-magnesium induced by marine microorganisms", *Corros. Sci.*, vol. 194, 2022, doi: 10.1016/j.corsci.2021.109934.
- [9] W. Peng, *et al.*, "Long-term corrosion behaviour of 1060 aluminium in deep-sea environment of South China Sea", *Corros. Eng. Sci. Technol.*, vol. 56, no. 4, pp. 327–340, 2021, doi: 10.1080/1478422X.2020.1861732.
- [10] E. Michailidou, *et al.*, "The effect of pH on the corrosion protection of aluminium alloys in lithium-carbonate-containing NaCl solutions", *Corros. Sci.*, vol. 210, no. 2, p. 110851, 2023, doi: 10.1016/j.corsci.2022.110851.
- [11] Bruland, K. W, Chemical Oceanography. 2nd ed. New York : G.T. Csandy Publishing, 1983.
- [12] M. E. Q. Pilson, An Introduction to the Chemistry of the Sea, 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- [13] P. Roberge, Handbook of Corrosion Marine, New York: McGraw-Hill, 2008.
- [14] Sugiyono, Metodologi Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R & D. 1st ed. Bandung : Alfabeta Publishing, 2020.
- [15] American Standard Testing and Material, ASTM G31-72. 1st ed. Pennsylvania : ASTM International, 1999.
- [16] Biro Klasifikasi Indonesia, Rules for the Classification and Construction of Sea-Going Ships – Hull Structure, Jakarta: PT. Biro Klasifikasi Indonesia (Persero), 2022.
- [17] Ngnia Masta, Buku Materi Pembelajaran Scanning Electron Microscopy. 1st ed. Jakarta : Universitas Kristen Indonesia Publishing, 2020.
- [18] I. Ghozali, Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program IBM SPSS 25. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro, 2018.
- [19] Y. Prawoto, T. S. Atmaja, and D. S. Suharto, "Influence of seawater chemistry on

- corrosion behavior of metals during immersion,” *International Journal of Corrosion*, vol. 2019, pp. 1–8, 2019, doi: 10.1155/2019/5940358.
- [20] X. Zhang and Z. Liu, “Effect of salinity on weight loss corrosion behavior of Al–Mg alloy 5083 in seawater immersion tests,” *Journal of Marine Engineering & Technology*, vol. 19, no. 2, pp. 123–131, 2021.
- [21] S. Wang, *et al.*, “Effect of Chloride Ions and pH on the Corrosion Behavior of Aluminum Alloys in Marine Environments,” *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 18, pp. 2735–2746, 2022, doi: 10.1016/j.jmrt.2022.04.156.
- [22] S. Li, and J. Chen, “Prediction of service life for aluminum–magnesium alloys in marine environments based on corrosion rate,” *Corrosion Science*, vol. 195, art. 109950, 2023, doi: 10.1016/j.corsci.2023.109950.
- [23] Y. Luo, *et al.*, “Morphological evolution of corrosion in aluminum alloys under prolonged seawater exposure,” *Journal of Materials Science & Technology*, vol. 121, pp. 123–131, 2022, doi: 10.1016/j.jmst.2021.09.043.