



UNIVERSITAS TRISAKTI

**STUDI PERLINDUNGAN KOROSI PADA *SPLASH ZONE*
DENGAN ANODA KORBAN**

SKRIPSI

YUDATAMA MULIA

061001900026

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JAKARTA

2026



UNIVERSITAS TRISAKTI

STUDI PERLINDUNGAN KOROSI PADA *SPLASH ZONE*

DENGAN ANODA KORBAN

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

YUDATAMA MULIA

061001900026

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JAKARTA

2026

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Yudatama Mulia

NIM : 061001900026

Tanda Tangan : 

Tanggal : 18 Januari 2026

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Yudatama Mulia
NIM : 061001900026
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi/Tesis : Studi Perlindungan Korosi Pada Splash Zone Dengan Anoda Korban

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Dody Prayitno, M. Eng. (.....)

Penguji : Prof. Dr. Ir. Johny Wahyuadi M. Soedarsono, DEA (.....)

Penguji : Prof. Dr. Ir. Rianti Dewi Sulamet-Ariobimo, S.T., M.Eng., I.P.U. (.....)

Penguji : Dr. Ir. Triyono, MS. (.....)

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : 6 Februari 2026

KATA PENGANTAR

Puji Syukur saya ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknologi Industri Universitas Trisakti. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada masa penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Dody Prayitno, M. Eng. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
2. Sofia Debi Puspa, S.Pd., M.Si. selaku dosen koordinator tugas akhir yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
3. Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan doa, material dan moral.
4. Semua pihak yang telah membantu dan terlibat secara langsung maupun tidak langsung dalam pelaksanaan dan penyusunan yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Jakarta, Januari 2026

Yudatama Mulia

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Trisakti, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yudatama Mulia
NIM : 061001900026
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Jenis Karya : Skripsi

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Trisakti **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

STUDI PERLINDUNGAN KOROSI PADA *SPLASH ZONE* DENGAN ANODA
KORBAN

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Trisakti berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Jakarta

Pada Tanggal 18 Januari 2026

Yang Menyatakan



(Yudatama Mulia)

ABSTRAK

Nama : Yudatama Mulia

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Studi Perlindungan Korosi Pada *Splash Zone* Dengan Anoda Korban

Salah satu area yang paling rentan terhadap korosi adalah zona percikan (*splash zone*), siklus basah dan kering yang berulang meningkatkan laju korosi secara signifikan akibat kombinasi air asin, oksigen, dan gelombang air laut sehingga anoda korban menjadi kurang efektif pada *splash zone*. Tujuan penelitian adalah apakah kain linen berfungsi baik dalam membentuk elektrolit diarea *splash zone* sehingga membantu fungsi anoda korban mengevaluasi kapasitas penyerapan air bahan linen untuk menciptakan lapisan elektrolit stabil. Sampel katoda dikontakkan dengan anoda secara soldering, batang (*rod*) katoda dibungkus dengan linen lalu diikat dengan menggunakan tali tis. Sampel diletakkan dalam fram sampel untuk kemudian direndam didalam box berisi air laut. Air laut kemudian diguncangkan oleh pembuat ombak sehingga timbulah gerakan ombak, ombak akan menghempas sampel secara berulang ulang. Varian sampel yakni (A) Baja tulangan beton ASTM A615 - Linen kasar - Anoda berpori, (B) Baja tulangan beton ASTM A615 - No linen - Anoda berpori, (C) Baja tulangan beton ASTM A615 - Linen halus - Anoda berpori, (D) Baja tulangan beton ASTM A615 - No linen - Anoda solid, (E) Baja tulangan beton ASTM A615 - No linen - No anoda. waktu pengujian yaitu 7 hari, 30 hari dan 60 hari. Nilai terendah laju korosi dimiliki sampel (A) dan nilai tertinggi laju korosi dimiliki sampel (E). Efektivitas sampel (A) Baja tulangan beton - Linen kasar - Anoda berpori. didukung oleh penggunaan anoda korban aluminium berpori yang memiliki struktur metal foam dengan luas permukaan reaksi lebih besar sehingga meningkatkan kinerja proteksi katodik, serta kain linen kasar yang berdaya serap tinggi dan membantu stabilisasi lapisan elektrolit pada *splash zone*.

Kata Kunci : Air laut, Anoda korban, Kain linen, Perlindungan korosi, *Splash zone*.

ABSTRACT

Name : Yudatama Mulia

Study Program : Mechanical Engineering

Title : Corrosion Protection Study on Splash Zone with Sacrificial Anode

One of the most susceptible areas to corrosion is the splash zone, repeated wet and dry cycles significantly increase the corrosion rate due to the combination of salt water, oxygen, and sea waves so that the sacrificial anode becomes less effective in the splash zone. The purpose of the study was to determine whether linen fabric functions well in forming electrolytes in the splash zone area so that it helps the function of the sacrificial anode to evaluate the water absorption capacity of the linen material to create a stable electrolyte layer. The cathode sample was contacted with the anode by soldering, the cathode rod was wrapped with linen and then tied using a rope. The sample was placed in a sample frame and then immersed in a box filled with seawater. The seawater was then shaken by a wave maker so that wave movements arose, the waves would repeatedly hit the sample. The sample variants are (A) ASTM A615 concrete reinforcement steel - Coarse linen - Porous anode, (B) ASTM A615 concrete reinforcement steel - No linen - Porous anode, (C) ASTM A615 concrete reinforcement steel - Fine linen - Porous anode, (D) ASTM A615 concrete reinforcement steel - No linen - Solid anode, (E) ASTM A615 concrete reinforcement steel - No linen - No anode. immersion time is 7 days, 30 days and 60 days. The lowest value of corrosion rate is owned by sample (A) and the highest value of corrosion rate is owned by sample (E). The effectiveness of sample (A) Concrete reinforcement steel - Coarse linen - Porous anode. supported by the use of porous aluminum sacrificial anode which has a metal foam structure with a larger reaction surface area thereby increasing cathodic protection performance, as well as coarse linen cloth which has high absorption and helps stabilize the electrolyte layer in the splash zone.

Keywords : Corrosion protection, Linen cloth, Sea water, Splash zone, Sacrificial anode.

DAFTAR ISI

HALAMAN COVER	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	2
1.5. Manfaat Penelitian	2
1.6. Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Korosi	4

2.1.1.	Jenis-jenis Korosi	4
2.1.2.	Proses Korosi Elektrokimia	5
2.1.3.	Laju Korosi	6
2.2.	<i>Splash Zone</i>	8
2.2.1.	Proses Korosi di <i>Splash Zone</i>	9
2.3.	Perlindungan Korosi dengan Anoda Korban	10
2.3.1.	Sistem Anoda Korban	11
2.3.2.	Anoda Korban Aluminium	12
2.4.	Kain Linen Sebagai Perlindungan Korosi Pada Area <i>Splash Zone</i>	13
2.5.	Baja	14
2.5.1.	Baja Karbon	14
2.5.2.	Baja Tulangan Beton ASTM A615	15
BAB 3 METODE PENELITIAN		17
3.1.	Tempat dan Waktu Penelitian	17
3.2.	Diagram Alir Penelitian	17
3.2.1.	Pemilihan Material	19
3.2.2.	Material Uji	19
3.2.3.	Media Elektrolit	21
3.2.4.	Uji Korosi	22
3.2.5.	Pengambilan dan Analisa Data	23
3.2.6.	Kesimpulan	24

3.3.	Alat dan Bahan	24
3.4.	Prosedur Pengujian	25
3.5.	Perhitungan Laju Korosi	29
BAB 4 DATA DAN PEMBAHASAN		30
4.1.	Hasil Pengujian Sampel dan Hasil Data Kasar	31
4.1.2.	Pengujian Sampel 7 Hari (168 Jam)	32
4.1.3.	Pengujian Sampel 30 Hari (720 Jam)	35
4.1.4.	Pengujian Sampel 60 Hari (1440 Jam)	38
4.2.	Perhitungan Laju Korosi	41
4.2.1.	Perhitungan Laju Korosi Sampel 7 Hari (168 Jam)	42
4.2.2.	Perhitungan Laju Korosi Sampel 30 Hari (720 Jam)	43
4.2.3.	Perhitungan Laju Korosi Sampel 60 Hari (1440 Jam)	44
4.3.	Analisa Laju Korosi	45
4.3.1.	Analisa Laju Korosi Sampel 7 Hari (168 Jam)	45
4.3.2.	Analisa Laju Korosi Sampel 30 Hari (720 Jam)	46
4.3.3.	Analisa Laju Korosi Sampel 60 Hari (1440 Jam)	48
4.4.	Pengaruh Anoda Korban Terhadap Laju Korosi Pada <i>Splash Zone</i>	50
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		53
5.1.	Kesimpulan	53
5.2.	Saran	54
DAFTAR PUSTAKA		55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Korosi Pada <i>Splash Zone</i> di Tiang Pancang Lepas Pantai	9
Gambar 2.2 Ilustrasi Laju Korosi Pada Tiang Pancang Lepas Pantai	9
Gambar 2.3 Sel Korosi Basah Sederhana	11
Gambar 2.4 Anoda Korban Aluminium Berpori dan Solid	12
Gambar 2.5 Kain Linen	14
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	18
Gambar 3.2 Sampel Sebelum Dilakukan Pengamplasan dan Pengujian	19
Gambar 3.3 1.Anoda Korban Berpori dan 2.Anoda Korban Solid	20
Gambar 3.4 1.Kain Linen Kasar dan 2.Linen Halus	21
Gambar 3.5 Air Laut Pantai Anyer	21
Gambar 3.6 Peta Lokasi Pengambilan Air Laut Pantai Anyer	22
Gambar 3.7 Ilustrasi Peletakkan Sampel (Tampak Samping)	22
Gambar 3.8 Ilustrasi Peletakkan Sampel (Tampak Atas)	23
Gambar 3.9 Pengujian Sampel Dengan Controller Ombak Buatan	26
Gambar 3.10 Peletakan Sampel (Tampak Depan)	27
Gambar 3.11 Peletakan Sampel (Tampak Samping)	27
Gambar 3.12 Peletakan Sampel (Tampak Belakang)	28
Gambar 3.13 Peletakan Sampel (Tampak Atas)	28
Gambar 4.1 Sampel 1 (X) Sebelum Pengujian 7 Hari (168 Jam)	32
Gambar 4.2 Sampel 2 (Y) Sebelum Pengujian 7 Hari (168 Jam)	32

Gambar 4.3 Sampel 1 (X) Sesudah Pengujian 7 Hari (168 Jam)	33
Gambar 4.4 Sampel 2 (Y) Sebelum Pengujian 7 Hari (168 Jam)	33
Gambar 4.5 Sampel 1 (X) Sebelum Pengujian 30 Hari (720 Jam)	35
Gambar 4.6 Sampel 2 (Y) Sebelum Pengujian 30 Hari (720 Jam)	35
Gambar 4.7 Sampel 1 (X) Sesudah Pengujian 30 Hari (720 Jam)	36
Gambar 4.8 Sampel 2 (Y) Sesudah Pengujian 30 Hari (720 Jam)	36
Gambar 4.9 Sampel 1 (X) Sebelum Pengujian 60 Hari (1440 Jam)	38
Gambar 4.10 Sampel 2 (Y) Sebelum Pengujian 60 Hari (1440 Jam)	38
Gambar 4.11 Sampel 1 (X) Sesudah Pengujian 60 Hari (1440 Jam)	39
Gambar 4.12 Sampel 2 (Y) Sesudah Pengujian 60 Hari (1440 Jam)	39
Gambar 4.13 Grafik Laju Korosi Sampel 7 Hari (168 Jam)	45
Gambar 4.14 Grafik Laju Korosi Sampel 30 Hari (720 Jam)	46
Gambar 4.15 Grafik Laju Korosi Sampel 60 Hari (1440 Jam)	48
Gambar 4.16 Grafik Laju Korosi Pada <i>Splash Zone</i> Tanpa Linen	50
Gambar 4.17 Grafik Laju Korosi Pada <i>Splash Zone</i> Dengan Linen	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Korelasi Antara Ketahanan Korosi dan Laju Korosi	6
Tabel 2.2 Panjang hasil uji serapan air laut secara vertikal Setelah 24 Jam	13
Tabel 2.3 Komposisi Baja ASTM A615	15
Tabel 4.1 Data Sampel Pengujian 168 Jam (Zona Terendam)	34
Tabel 4.2 Data Sampel Pengujian 168 Jam (<i>Splash Zone</i>)	34
Tabel 4.3 Data Sampel Pengujian 168 Jam (Zona Atmosfer)	34
Tabel 4.4 Data Sampel Pengujian 720 Jam (Zona Terendam)	37
Tabel 4.5 Data Sampel Pengujian 720 Jam (<i>Splash Zone</i>)	37
Tabel 4.6 Data Sampel Pengujian 720 Jam (Zona Atmosfer)	37
Tabel 4.7 Data Sampel Pengujian 1440 Jam (Zona Terendam)	40
Tabel 4.8 Data Sampel Pengujian 1440 Jam (<i>Splash Zone</i>)	40
Tabel 4.9 Data Sampel Pengujian 1440 Jam (Zona Atmosfer)	40
Tabel 4.10 Perhitungan Laju Korosi Pengujian 168 Jam (Zona Terendam)	42
Tabel 4.11 Perhitungan Laju Korosi Pengujian 168 Jam (<i>Splash Zone</i>)	42
Tabel 4.12 Perhitungan Laju Korosi Pengujian 168 Jam (Zona Atmosfer)	42
Tabel 4.13 Perhitungan Laju Korosi Pengujian 720 Jam (Zona Terendam)	43
Tabel 4.14 Perhitungan Laju Korosi Pengujian 720 Jam (<i>Splash Zone</i>)	43
Tabel 4.15 Perhitungan Laju Korosi Pengujian 720 Jam (Zona Atmosfer)	43
Tabel 4.16 Perhitungan Laju Korosi Pengujian 1440 Jam (Zona Terendam)	44
Tabel 4.17 Perhitungan Laju Korosi Pengujian 1440 Jam (<i>Splash Zone</i>)	44
Tabel 4.18 Perhitungan Laju Korosi Pengujian 1440 Jam (Zona Atmosfer)	44

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Korosi merupakan proses degradasi material logam akibat reaksi kimia atau elektrokimia dengan lingkungan sekitarnya, yang menjadi tantangan signifikan pada struktur yang terpapar lingkungan laut seperti jembatan, platform offshore, dan struktur maritim lainnya. Salah satu area yang paling rentan terhadap korosi adalah zona percikan (*splash zone*), yaitu area dimana struktur bersentuhan langsung dengan air laut dan terpapar udara secara bergantian.

Pada zona ini, siklus basah–kering yang berulang menyebabkan peningkatan laju korosi secara signifikan akibat kombinasi air laut, oksigen, dan gelombang. Permasalahan yang muncul adalah bahwa sistem proteksi katodik menggunakan anoda korban sering kali tidak bekerja optimal di zona percikan karena tidak terbentuknya elektrolit yang stabil pada permukaan logam. Hal ini sejalan dengan kesimpulan penelitian (Jun Chen, 2012) yang menyatakan bahwa kain linen mampu menyerap dan mempertahankan elektrolit dengan baik, sehingga anoda korban bekerja lebih optimal dan meningkatkan tingkat proteksi korosi pada area *splash zone*[1].

Urgensi penelitian ini terletak pada pentingnya mengoptimalkan sistem proteksi katodik untuk kondisi zona percikan yang dinamis. Penelitian ini akan menganalisa berbagai faktor yang mempengaruhi kinerja sistem perlindungan seperti jenis kain linen, komposisi material anoda (aluminium), desain, serta dampak lingkungan seperti konsentrasi garam, kadar pH air laut dan variasi suhu.

Melalui studi ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai bagaimana anoda korban dapat dioptimalkan untuk melindungi struktur dari kerusakan korosi di area yang sangat menantang ini, sekaligus memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem proteksi korosi yang lebih efektif untuk aplikasi struktur maritim.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah:

- a. Rumusan masalah pada penelitian ini adalah kain linen jenis manakah yang memiliki perlindungan korosi paling efektif untuk dipermukaan *splash zone*?

1.3. Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan dengan memperhatikan beberapa hal berikut ini:

- a. Material yang digunakan baja tulangan beton ASTM A615
- b. Jenis anoda korban yang digunakan aluminium
- c. Media elektrolit air laut yang diambil dari Pantai Anyer
- d. Kain linen kasar dan linen halus
- e. Waktu pengujian 7 hari (168 jam), 30 hari (720 jam) dan 60 hari (1440 jam)

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

- a. Tujuan penelitian ini untuk menjawab pertanyaan ‘apakah kain linen berfungsi baik dalam membentuk elektrolit diarea *splash zone* sehingga membantu fungsi anoda korban’?

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini membantu dalam merancang sistem perlindungan yang efektif untuk memperpanjang umur struktur yang terpapar lingkungan agresif pada *splash zone*. Dengan perlindungan yang lebih baik, struktur dapat lebih tahan lama, mengurangi frekuensi perbaikan dan penggantian.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir dibagi menjadi lima bab, secara garis besar diuraikan sebagai berikut:

BAB 1: PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan dari tugas akhir, ruang lingkup, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan

BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan teori-teori yang berkaitan dan dijadikan acuan pada tugas akhir ini serta berisi terkait penelitian-penelitian relevan yang telah dilakukan sebelumnya

BAB 3 : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan secara rinci tentang langkah-langkah dan metodologi penyelesaian masalah pada tugas akhir ini

BAB 4 : HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Bab Pembahasan dilakukan analisis terhadap semua hasil pengujian (data primer) dan data lain (data sekunder) yang diperoleh yang mendukung penelitian tugas akhir. Data atau hasil pengujian yang disampaikan adalah data atau hasil penelitian yang sudah diolah, bukan data mentah

BAB 5 : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini terdiri dari kesimpulan yang mengacu pada tujuan dalam bab pendahuluan, tingkat keberhasilan yang diraih, juga kendala apa saja yang terjadi selama pengerjaan tugas akhir, dan saran untuk penerus yang akan membuat tugas akhir di tahun-tahun berikutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Korosi

Korosi adalah proses perusakan pada permukaan logam yang disebabkan oleh terjadinya reaksi kimia (reaksi elektrokimia) pada permukaan logam. Pada hakikatnya korosi adalah suatu reaksi dimana suatu logam dioksidasi sebagai akibat dari serangan kimia oleh lingkungan (uap air, oksigen di atmosfer, oksida asam yang terlarut dalam). Dalam bahasa sehari-hari korosi disebut dengan perkaratan. Kata korosi berasal dari bahasa latin “corrodere” yang artinya pengrusakan logam atau perkaratan jadi jelas korosi dikenal sangat merugikan [2].

Korosi merupakan sistem termodinamika logam dengan lingkungannya, yang berusaha untuk mencapai titik kesetimbangannya. Sistem ini dikatakan setimbang bila logam telah membentuk oksida atau senyawa kimia lain yang lebih stabil. Adapun prosesnya merupakan reaksi redoks antara suatu logam dengan berbagai zat disekelilingnya sehingga menimbulkan perkaratan atau korosi. Dalam bahasa sehari-hari korosi disebut dengan perkaratan. Pencegahan korosi merupakan salah satu masalah penting dalam ilmu pengetahuan dan teknologi modern. Sebagian besar orang mengartikan korosi sebagai karat, sesuatu yang hampir dianggap musuh umum masyarakat. Karat tentu saja adalah sebutan yang belakangan ini hanya dikhususkan bagi korosi pada besi, sedangkan korosi adalah gejala destruktif yang mempengaruhi hampir semua logam [3].

2.1.1. Jenis-jenis Korosi

Klasifikasi korosi pada umumnya berdasarkan penampilan yang dapat dilihat dari permukaan yang berkarat secara visual. Berdasarkan bentuk permukaannya, korosi dapat dibedakan bawah : [4]

- Korosi Seragam (*uniform/general corrosion*)
- Korosi Galvanik (*galvanic corrosion*)

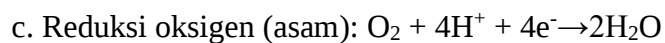
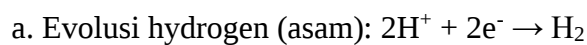
- Korosi Selektif (*selective leaching corrosion*)
- Korosi Celah (*Crevice Corrosion*)
- Korosi Sumuran (*Pitting Corrosion*)
- Korosi Batas Butir (*intergranular corrosion*)
- Korosi Retak Tegangan (*stress corrosion cracking*)
- Korosi Erosi (*erosion corrosion*)
- Korosi Mikroba (*bacterial & bio-fouling corrosion*)

2.1.2. Proses Korosi Elektrokimia

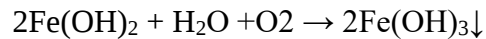
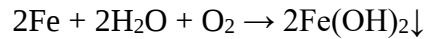
Korosi dapat dikatakan sebagai suatu peristiwa elektrokimia antara logam dengan lingkungannya. Secara sederhana, korosi dapat terjadi jika adanya sel, yaitu sel yang terdiri dari 4 faktor, yaitu : [5]

- logam yang menjadi anoda
- logam yang menjadi katoda
- adanya larutan elektrolit
- adanya konduktor listrik

Reaksi korosi logam melibatkan dua reaksi setengah sel, yaitu reaksi oksidasi pada anoda dan reaksi reduksi pada katoda. Reaksi katoda dan anoda yang terjadi dalam proses korosi adalah sebagai berikut: [6]



Reaksi terbentuknya karat pada baja :



2.1.3. Laju Korosi

Kecepatan perambatan atau laju kerusakan material dari waktu ke waktu dikenal sebagai laju korosi. Tingkat korosi biasanya diperkirakan dalam mil per tahun (mpy, standar Inggris) atau milimeter per tahun (mmpy, standar internasional). Nilai ketahanan korosi material biasanya berkisar antara 1 hingga 200 mpy. Berdasarkan laju korosi, ketahanan material dikategorikan dalam tabel di bawah ini. Hubungan antara laju korosi dan ketahanan korosi ditunjukkan pada Tabel 2.1.3. di bawah ini [7].

Tabel 2.1 Korelasi Antara Ketahanan Korosi dan Laju Korosi

Relative Corrosion resistance	Approximate Metric Equivalent				
	mpy	mm/year	μm/yr	nm/yr	pm/sec
Outstanding	< 1	< 0.02	< 25	< 2	< 1
Excellent	1 - 5	0.02 - 0.1	25 - 100	2 - 10	1 - 5
Good	5 - 20	0.1 - 0.5	100 - 500	10 - 50	5 - 20
Fair	20 - 50	0.5 - 1	500 - 1000	50 - 100	20 - 50
Poor	50 - 200	42125	1000 - 5000	150 - 500	50 -200
Unacceptable	200+	5+	5000+	500+	200+

Berdasarkan metode pengukurannya, laju korosi diukur dalam satuan milimeter per year (mmpy) dan mewakili laju penetrasi logam pada suatu permukaan atau penurunan diameter. Besarnya laju korosi dapat dihitung atau digambarkan dengan rumus perhitungan di bawah ini :

$$CR = \frac{87600 \times ((D_0^2 - D_1^2))}{(4 \times D_0 \times t)}$$

Keterangan :

CR = Millimeter per year (mmpy)

87600 = Konstanta

D_0 = Diameter awal (cm)

D_1 = Diameter akhir rata-rata (cm)

t = Waktu pengujian (jam)

Secara awam hal yang mempengaruhi korosi adalah air, ketika logam terkena air dan berada di lingkungan udara bebas akan menyebabkan logam menjadi cepat korosi. Namun, ada banyak faktor lain selain air yang berdampak pada laju korosi. Berikut ini beberapa di antaranya:[8]

a. Faktor Gas Terlarut

O₂ atau oksigen dan adanya oksigen terlarut dapat menjadi sebab suatu logam mengalami korosi. Sebuah logam dapat mengalami korosi dengan adanya oksigen terlarut. Misalnya, laju korosi paduan baja ringan akan makin besarnilainya sejalan dengan semakin naiknya kadar oksigen. Berikut ini ringkasan umum respon korosi pada besi yang disebabkan oleh larutnya O₂ atau oksigen:

- Reaksi anoda : $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$
- Reaksi katoda : $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$

Ketika karbon dioksida (CO₂) dilarutkan dalam air, menghasilkan asam karbonat (H₂CO₃), yang dapat menyebabkan tingkat keasaman atau nilai pH dari air turun dan menaikkan tingkat korosivitas. Pada umumnya, korosinya berbentuk pitting, dan reaksinya secara umum adalah sebagai berikut:

- $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$
- $\text{Fe} + \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{FeCO}_3 + \text{H}_2$

b. Faktor Temperatur

Peningkatan suhu atau temperatur cenderung mempercepat terjadinya korosi, meskipun pada faktanya peningkatan suhu membuat oksigen kurang larut. Logam mungkin akan mengalami korosi jika suhunya tidak seragam.

c. Faktor pH

pH normal adalah 7, tetapi pH 7 sifatnya asam dan korosif, dan pH lebih dari 7 pun juga sifatnya korosif terhadap basa. Namun terhadap besi, kisaran pH untuk laju korosi yang rendah adalah kisaran 7 hingga 13. Nilai dari laju korosi sendiri akan naik di pH 7 serta lebih dari 13.

- d. Faktor Bakteri Pereduksi atau Sulfat Reducing Bacteria (SRB) Jika ada bakteri pereduksi sulfat, mereka akan mengubah ion sulfat menjadi gas H_2S , yang akan menimbulkan korosi pada besi saat bersentuhan dengan gas.
- e. Faktor Padatan Terlarut
Klorida (Cl) adalah unsur yang merusak lapisan baja tahan karat serta baja ringan. Partikel-partikel ini merusak paduan dengan menyebabkan korosi pada celah, lubang, dan korosi celah. Lalu kalsium karbonat atau CO_3 kerap digunakan untuk mengendalikan proses korosi dengan mendepositkan film karbonat yang digunakan untuk lapisan pelindung pada permukaan logam, sebagai akibatnya proses produksi minyak sering mengalami masalah kerak. Minyak sering mengandung ion sulfat sulfat (SO_4). Ion sulfat, yang merupakan kontaminan, juga cukup banyak di dalam air. Bakteri SRB mengubah sulfat menjadi sulfida korosif.

2.2. *Splash Zone*

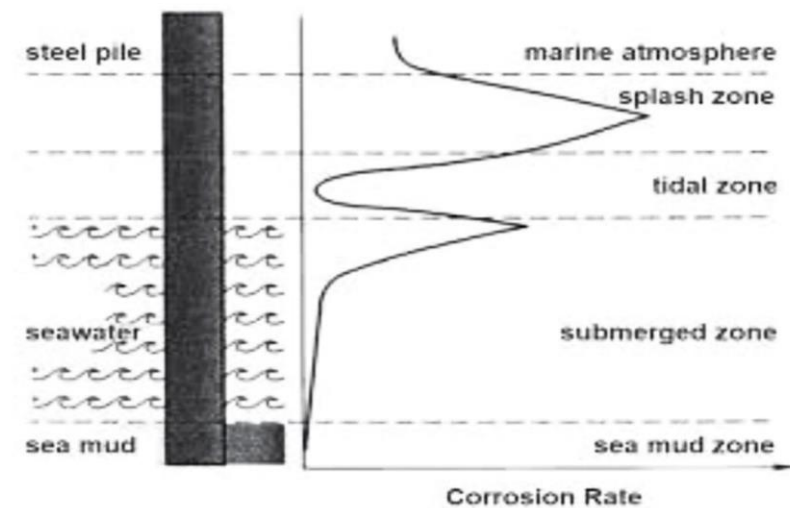
Splash zone area adalah struktur marine yang terekspose oleh ombak, garam laut, perbedaan suhu siang malam paparan sinar matahari, oxygen, pasang surut air laut, biota laut. Dampak hal tersebut diatas membuat *splash zone* area adalah daerah yang paling rawan korosi dan melemahkan struktur [9]. Paparan terhadap air laut yang mengandung ion klorida, bersama dengan fluktuasi suhu dan kelembapan, meningkatkan laju korosi pada material logam. Oleh karena itu, *splash zone* menjadi area yang memerlukan perhatian khusus dalam perlindungan korosi untuk memastikan integritas struktural dari infrastruktur seperti jembatan, pelabuhan, pipa bawah laut dan Gambar 2.2. tiang pancang.



Gambar 2.1 Korosi Pada *Splash Zone* di Tiang Pancang Lepas Pantai

2.2.1. Proses Korosi di *Splash Zone*

Splash zone merupakan daerah yang rawan akan terjadinya korosi. Hal ini dikarenakan letak dari *splash zone* ini yang terkadang terendam air dan tidak. Letak *splash zone* berada pada berbatasan antara daerah amospheric dan immersed (daerah terendam air) [10].



Gambar 2.2 Ilustrasi Laju Korosi Pada Tiang Pancang Lepas Pantai [11]

Korosi di *splash zone* merupakan fenomena yang terjadi pada struktur yang terpapar langsung air laut dan udara secara bergantian. Area ini sangat rentan terhadap

korosi karena siklus basah-kering yang terus menerus, yang meningkatkan interaksi antara material logam dan lingkungan korosif. Di dalam zona ini, kombinasi faktor seperti salinitas, oksigen, dan gelombang laut berkontribusi terhadap laju korosi yang lebih tinggi dibandingkan dengan area lain. Korosi dapat terjadi melalui proses elektrokimia, di mana reaksi redoks menyebabkan material logam terdegradasi [12].

Karakteristik utama *splash zone* meliputi:

- Fluktuasi Lingkungan: Struktur dalam zona ini sering terpapar air asin dan oksigen, yang meningkatkan risiko korosi.
- Siklus Basah-Kering: Proses ini menyebabkan konsentrasi garam yang tinggi saat air menguap, memperburuk kondisi korosi.
- Pengaruh Gelombang: Energi dari gelombang laut dapat menyebabkan erosi mekanis dan mempercepat kerusakan material.

2.3. Perlindungan Korosi dengan Anoda Korban

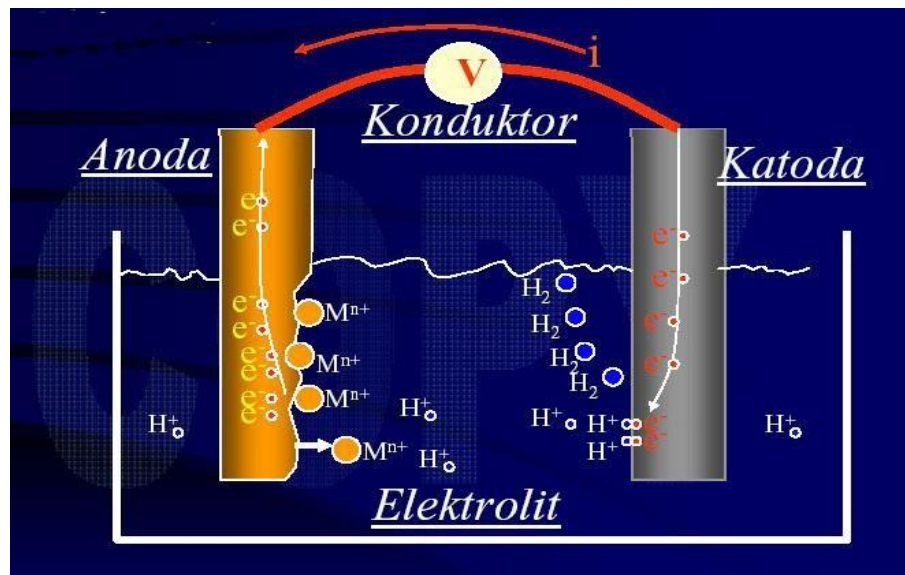
Prinsip dari proteksi katodik dengan sistem anoda korban adalah memperlakukan logam yang akan dilindungi sebagai katoda dengan cara menghubungkan logam tersebut dengan logam yang memiliki potensial yang lebih rendah (*more active*). Logam yang memiliki potensial yang lebih rendah ini akan berfungsi sebagai anoda sehingga disebut sebagai anoda korban [13].

Ada dua jenis proteksi katodik, yaitu dengan metoda anoda korban (*sacrificial anode*) dan dengan metoda arus tanding (*impressed current*). Anoda korban relatif lebih murah, mudah dipasang bila dibandingkan dengan metoda arus tanding. Keuntungan lainnya adalah tidak diperlukannya peralatan listrik yang mahal dan tidak ada kemungkinan salah arah dalam pengaliran arus [14].

Salah satu metode perlindungan yang banyak digunakan adalah sistem katodik dengan menggunakan anoda korban. Anoda korban adalah elemen yang terbuat dari bahan yang lebih reaktif, seperti zinc, magnesium, atau aluminum, yang berfungsi untuk mengorbankan diri dalam proses korosi. Mekanisme kerja anoda korban melibatkan aliran elektron dari anoda ke struktur logam yang dilindungi, sehingga mengurangi potensi korosi pada struktur tersebut.

2.3.1. Sistem Anoda Korban

paling sederhana untuk menjelaskan cara kerja proteksi katodik dengan anoda korban adalah menggunakan konsep tentang sel korosi basah seperti Gambar 2.3.1. Kaidah umum dari sel korosi basah adalah bahwa dalam suatu sel, anodal adalah yang terkorosi, sedangkan yang tidak terkorosi adalah katoda. Anoda-anoda yang dihubungkan ke struktur dengan tujuan mengefektifkan perlindungan terhadap korosi dengan cara ini disebut anoda anoda korban (*sacrificial anodes*) [14].



Gambar 2.3 Sel Korosi Basah Sederhana

Keuntungan :

- Tidak perlu tenaga listrik dari luar.
- Pemasangan relatif mudah
- Tidak ada bahaya interaksi.
- Murah untuk struktur kecil.
- Daerah padat struktur.
- Bahaya over-proteksi ringan.
- Distribusi arus merata.
- Tidak perlu pemeliharaan.
- Tidak perlu biaya operasi.

Kerugian :

- Keluaran arus anoda terbatas, pada hal makin lama makin diperlukan arus lebih besar karena degradasi lapis lindung.
- Tidak efektif untuk lingkungan dengan resistivitas lingkungan tinggi.
- Untuk struktur yang besar diperlukan anoda banyak jumlahnya.
- Keluaran arus tidak dapat dikontrol, namun self regulating.

2.3.2. Anoda Korban Aluminium

Pemilihan anoda korban aluminium (Al) dapat didasari oleh beberapa kelebihan yang dimilkinya antara lain adalah anoda korban aluminium lebih ringan dibandingkan dengan anoda korban jenis lain, dan juga memiliki kapasitas arus yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan anoda korban jenis seng (Zn) dan magnesium (Mg) [15].

Salah satu pendekatan untuk meningkatkan performa aluminium sebagai anoda korban adalah dengan memodifikasi struktur fisiknya menjadi material berpori (*metal foam*). Struktur berpori memungkinkan peningkatan luas permukaan spesifik (m^2/kg), yang dapat memperluas area reaksi elektrokimia secara signifikan, pada anoda korban aluminium berbentuk kubus dengan variasi porositas hingga 30% dan diameter pori 3 mm [16].



Gambar 2.4 Anoda Korban Aluminium Berpori dan Solid

Dalam konteks wilayah *splash zone*, yang merupakan zona paling kritis terhadap serangan korosi akibat siklus basah-kering yang terus menerus, peningkatan luas permukaan anoda sangat strategis. Material anoda aluminium berpori dengan porositas terkontrol dapat memberikan perlindungan korosi yang lebih merata dan

efisien, serta memperpanjang masa pakai anoda tanpa meningkatkan volume material secara signifikan. Oleh karena itu, penerapan anoda korban berbasis aluminium foam atau berpori merupakan salah satu inovasi potensial dalam peningkatan efektivitas sistem proteksi katodik pada struktur logam yang terekspos di daerah *splash zone*.

2.4. Kain Linen Sebagai Perlindungan Korosi Pada Area *Splash Zone*

Alasan mengapa anoda korban tidak dapat bekerja dengan baik di area *splash zone* adalah karena tidak ada elektrolit stabil di sekitar logam untuk memungkinkan anoda berfungsi. Dalam makalah ini air daya serap bahan dievaluasi untuk memilih bahan yang cocok untuk diaplikasikan ke *splash zone* untuk membentuk lapisan elektrolit yang stabil. Kemudian pengaruh anoda korban pada korosi di *splash zone* dipelajari dengan paparan lapangan dan metode siklik basah dan kering.[1]

Jika anoda korban dapat berfungsi dengan baik di *splash zone* laut, ini akan menjadi alternatif penting untuk mengatasi masalah korosi. Salah satu alasan mengapa anoda korban tidak berfungsi optimal di area tersebut adalah kurangnya elektrolit stabil di sekitar logam. Jika lapisan air laut yang stabil dapat terbentuk di permukaan struktur logam di *splash zone*, anoda korban dapat digunakan untuk melindungi struktur tersebut. Dengan memilih bahan berkualitas yang memiliki sifat menyerap dan melindungi dari cipratan air laut, kita dapat membungkus struktur agar anoda korban dapat berfungsi dengan baik. Dalam tulisan ini kami mengevaluasi kapasitas penyerapan air dari bahan tersebut dan mempelajari pengaruh anoda korban terhadap korosi di *splash zone* dengan menggunakan metode pengujian lapangan serta siklus basah dan kering.

Tabel 2.2 menunjukkan hasil uji serapan air laut secara vertikal. Dari keempat jenis kain tersebut, linen mempunyai daya serap air laut yang paling baik. Air laut tidak naik sama sekali untuk kapas setelah 24 jam. Fenomena tersebut menunjukkan bahwa linen adalah yang terbaik di antara empat jenis kain yang mungkin digunakan penyerapan air laut untuk mengaktifkan fungsi proteksi katodik anoda korban di zona percikan.[1]

Tabel 2.2 Panjang hasil uji serapan air laut secara vertikal Setelah 24 Jam

Kain	Linen	Dakron	Kapas	Serat Kimia
Panjang Basah	24.5cm	14.0cm	0.0cm	2.0cm

Kain linen pada gambar 2.5 memiliki daya serap air yang lebih baik dibandingkan dengan kapas, dakron dan serat kimia dapat digunakan sebagai bahan yang membantu pembentukan lapisan elektrolit pada struktur baja di *splash zone*. Efisiensi proteksi dengan anoda korban di *splash zone* laut tinggi dan merupakan alternatif teknik perlindungan korosi di *splash zone*.



Gambar 2.5 Kain Linen

2.5. Baja

Besi murni (ferit) tentulah tidak mengandung karbon. Besi ini relatif lunak dan liat serta mampu tempa, tetapi tidak begitu kuat. Hampir semua besi murni mempunyai suatu kekuatan tarik batas sekitar 40.000 psi. Penambahan karbon ke dalam besi murni dalam jumlah yang berkisar dari 0,05 sampai 1,7 persen, menghasilkan apa yang dikenal sebagai baja [7].

2.5.1. Baja Karbon

Baja karbon merupakan baja dengan paduan utamanya adalah karbon. Berdasarkan kadar karbon, baja karbon dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu:[17]

- Baja Karbon Rendah (Low Karbon Steel) yaitu Baja dengan kadar karbon (0,05 % - 0,30 % C);
- Baja Karbon Sedang (Medium Karbon Steel) yaitu Baja karbon dengan kadar karbon (0,30 % - 0,60 % C);
- Baja Karbon Tinggi (High Karbon Steel) yaitu Baja karbon dengan kadar karbon (0,60 % - 2,0 % C).

2.5.2. Baja Tulangan Beton ASTM A615

Baja tulangan beton ASTM A615 umumnya termasuk jenis baja karbon rendah, dengan kadar karbon (C) kurang dari 0,25%–0,50%. Kandungan karbon pada baja karbon rendah ini biasanya $< 0,25\%$, dengan kandungan mangan (Mn) $\leq 0,8\%$, silikon (Si) $\leq 0,5\%$, dan tembaga (Cu) $\leq 0,6\%$. Baja dengan kandungan karbon rendah dan struktur ferit-perlit ini memiliki keuletan dan ketangguhan tinggi, cocok untuk aplikasi struktural seperti tulangan beton, tiang pancang baja lepas pantai, jembatan dan bangunan [18].

Baja karbon struktural yang umum digunakan sebagai tulangan beton adalah baja ASTM A615. Baja ini tergolong sebagai baja karbon rendah hingga menengah dengan kandungan karbon sekitar 0,29%, serta mengandung unsur mangan, silikon, fosfor, dan belerang dalam jumlah tertentu. Komposisi kimia tersebut menunjukkan bahwa baja ASTM A615 memiliki karakteristik yang mendekati baja karbon struktural pada umumnya, sehingga banyak digunakan sebagai material tulangan beton. Informasi mengenai komposisi kimia baja ASTM A615 disajikan pada Tabel 2.3: [19]

Tabel 2.3 Komposisi Baja ASTM A615

Unsur	C	Si	Mn	S	P	Cr
(%)	0,29	0,33	0,83	0,005	0,008	0,01

Korosi pada baja tulangan beton ASTM A615 adalah fenomena yang memengaruhi daya tahan, layanan struktur, dan bahkan aspek ekonomi negara, sehingga seringkali memaksa perbaikan atau rekonstruksi tiang pancang baja lepas pantai, jembatan dan bangunan. Baja tulangan beton dapat mengalami korosi pada baja tulangan beton sedang dapat terjadi dalam berbagai bentuk yang paling umum meliputi:

- Korosi Uniform: Penipisan material secara merata di seluruh permukaan akibat paparan kelembapan atau air.
- Korosi Pitting: Pembentukan lubang-lubang kecil di permukaan baja, seringkali disebabkan oleh keberadaan ion klorida dalam lingkungan.

- Korosi Galvanik: Terjadi ketika baja karbon sedang bersentuhan dengan logam lain dalam kehadiran elektrolit, menyebabkan salah satu logam terkorosi lebih cepat.
- Korosi Oksidasi: Terjadi pada suhu tinggi, di mana baja bereaksi dengan oksigen dan membentuk karat.

Korosi merupakan peristiwa elektrokimia, yaitu adanya aliran elektron dari anoda menuju katoda atau pengaruh derajat keasaman (pH). Ketika lapisan pasif rusak, karat akan mulai terbentuk pada tulangan. Reaksi anodik adalah reaksi oksidasi atau pelepasan elektron, sedangkan reaksi katodik adalah reaksi reduksi atau penarikan elektron. Kedua reaksi ini terjadi secara bersamaan [20].

BAB 3

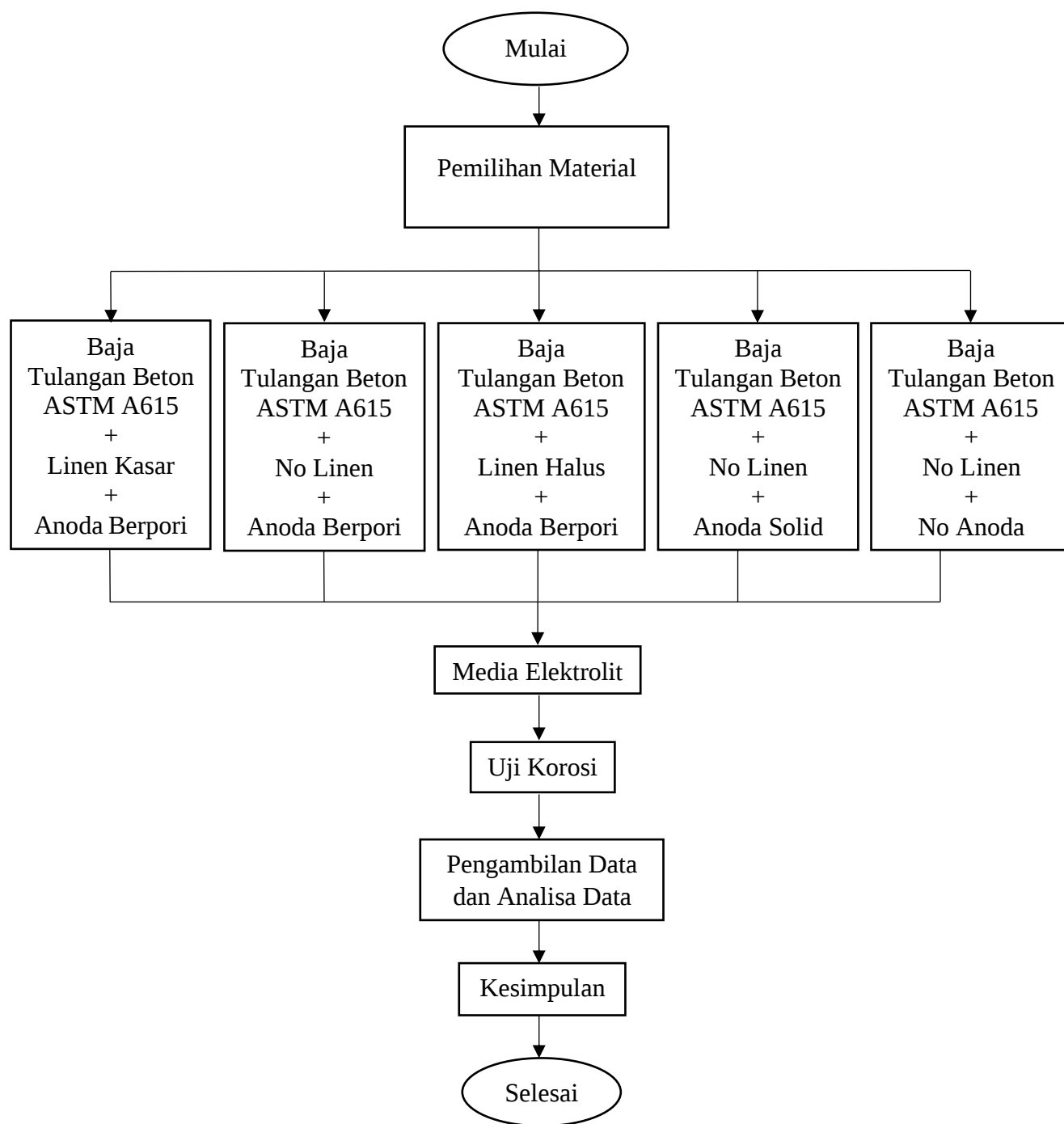
METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2024 hingga Januari 2025 yang bertempat di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Trisakti dari mulai persiapan, pengujian, pengambilan data, perhitungan, analisa data sampai kesimpulan

3.2. Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan dalam beberapa langkah, secara garis besar tahapan tersebut seperti pada diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1 sebagai berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2.1. Pemilihan Material

Tahap pemilihan ini dilakukan untuk menentukan hal-hal yang perlu diperhatikan dalam memilih material baja yang akan diuji simulasi, sehingga tidak perlu melakukan simulasi pada terlalu banyak material, yang dapat menghabiskan waktu dan biaya.

3.2.2. Material Uji

Pada tahapan ini setelah melakukan perhitungan sederhana dalam menentukan perlindungan korosi yang akan digunakan dengan anoda korban dan kain linen maka dipilih lah 1 jenis material yang memenuhi persyaratan perlindungan tersebut yaitu :

- Baja tulangan beton ASTM A615

Jenis baja karbon struktural yang umum digunakan dalam pembuatan dan konstruksi adalah merupakan jenis baja yang dapat disebut baja tulangan beton ASTM A615 karena mengandung 0,29% karbon, fosfor 0,008% & sulfur 0,005% [19]. Baja yang digunakan dalam penelitian ini batang (*rod*) dengan diameter 6,85mm dan panjang 250mm



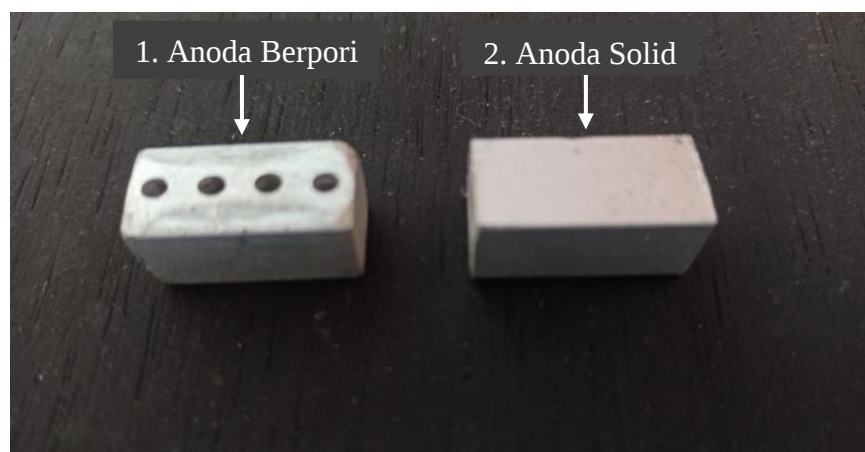
Gambar 3.2 Sampel Sebelum Dilakukan Pengamplasan dan Pengujian

- Anoda korban

Pemilihan anoda korban aluminium (Al) dapat didasari oleh beberapa kelebihan yang dimilikinya antara lain adalah anoda korban aluminium lebih ringan dibandingkan dengan anoda korban jenis lain [15]. Anoda korban yang digunakan dalam penelitian ini adalah anoda korban aluminium dengan ukuran panjang 20 mm x lebar 10 mm x tinggi 10 mm.

Ada 2 jenis anoda korban aluminium yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Anoda Berpori : Memiliki 4 pori lubang yang di bor berdiameter 3 mm. dengan ukuran panjang 20 mm x lebar 10 mm x tinggi 10 mm.
2. Anoda Solid : Tidak memiliki pori atau lubang. dengan ukuran panjang 20 mm x lebar 10 mm x tinggi 10 mm.



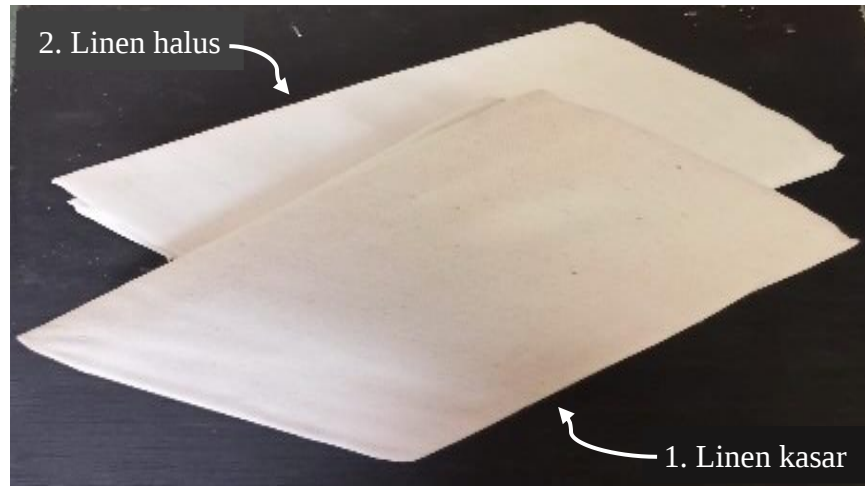
Gambar 3.3 1.Anoda Korban Berpori dan 2.Anoda Korban Solid

- Kain linen

Pemilihan kain linen karena memiliki daya serap air yang lebih baik digunakan sebagai bahan yang membantu pembentukan lapisan elektrolit pada struktur baja di *splash zone* [1].

Ada 2 jenis kain line yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Linen Kasar (*Coarse Linen*): Memiliki tekstur yang lebih kasar dan biasanya digunakan untuk barang-barang seperti tas.
2. Linen Halus (*Fine Linen*): Memiliki tekstur yang lebih halus dan lembut, sering digunakan untuk pakaian formal.



Gambar 3.4 1.Kain Linen Kasar dan 2.Linen Halus

3.2.3. Media Elektrolit

Air laut digunakan sebagai media elektrolit untuk pengujian sampel. Pemakaian air laut ini bermanfaat untuk pengujian dalam kondisi sebenarnya. pH untuk air laut di perairan anyer adalah 7,4 hingga 7,6 [21]. Lokasi pengambilan air laut terlihat pada gambar 3.4 dan peta lokasi pengambilan air laut pantai anyer gambar 3.5



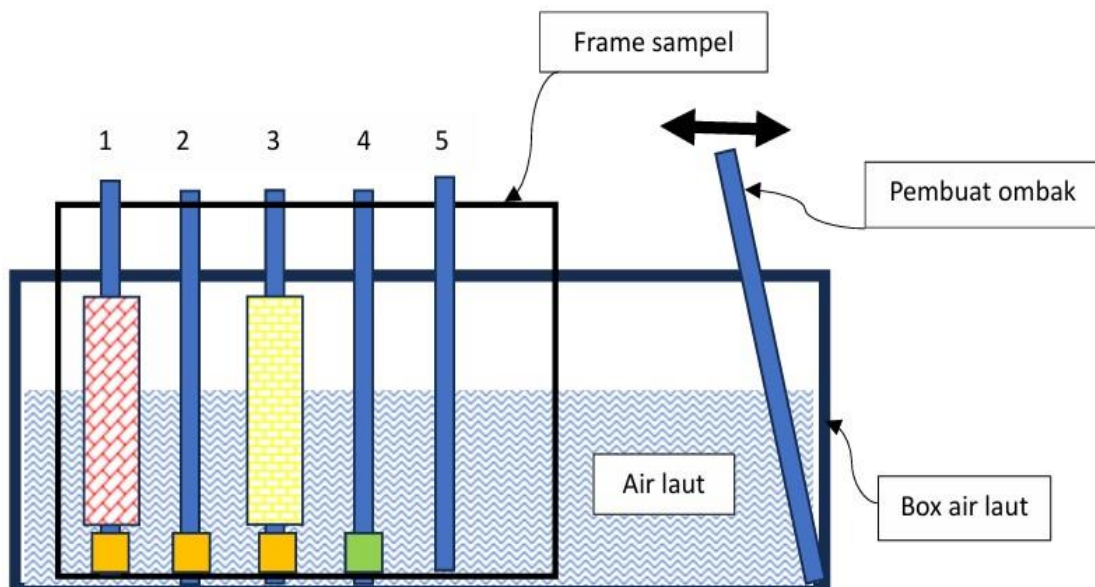
Gambar 3.5 Air Laut Pantai Anyer



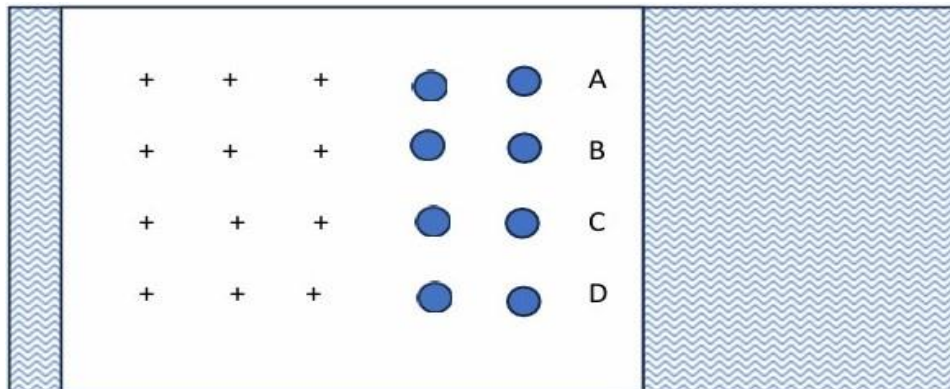
Gambar 3.6 Peta Lokasi Pengambilan Air Laut Pantai Anyer

3.2.4. Uji Korosi

Pada penelitian yang penulis lakukan tahapan uji korosi berperan sangat penting karena memang tujuan utama dari penelitian ini adalah mencari material yang memiliki perlindungan korosi paling tinggi. Berikut adalah ilustrasi dan contoh peletakan sampel pada frame pengait sampel diatas box yang nantinya akan direndam atau digantung pada simulator ombak buatan.



Gambar 3.7 Ilustrasi Peletakan Sampel (Tampak Samping)



Gambar 3.8 Ilustrasi Peletakkan Sampel (Tampak Atas)

Media yang digunakan dalam penelitian ini adalah air laut yang ditempatkan dalam wadah atau bak, dilengkapi dengan ombak buatan yang dihasilkan oleh controller seperti di gambar 3.6. Controller ini dirancang menggunakan dinamo motor wiper mobil untuk menggerakkan papan akrilik maju mundur, menciptakan ombak di dalam wadah air laut. Desain ini akan dijelaskan dalam prosedur pengujian di bawah ini, sebagai simulasi untuk material yang diuji, yang nantinya akan berada di laut dan terpapar ombak. Penelitian ini dirancang sedemikian rupa agar mendekati kondisi nyata di lapangan, sehingga hasilnya lebih akurat.

3.2.5. Pengambilan dan Analisa Data

pengambilan data dapat dilakukan setelah semua alat dan bahan yang diperlukan tersedia. Data perhitungan laju korosi menggunakan dengan metode kehilangan berat. Pengukuran berat dapat di konversi dengan selisih diameter sampel. Proses pengujian dilaksanakan sesuai dengan prosedur yang ditetapkan. Setelah pengujian selesai, data yang diperoleh akan dianalisa. Analisa data mencakup perhitungan laju korosi serta dampak yang terjadi setelah pengujian, sehingga dapat ditentukan nilai dari hasil pengujian yang dilakukan.

3.2.6. Kesimpulan

Kesimpulan diperoleh setelah menganalisa data. Hasil dari keseluruhan penelitian dapat mengidentifikasi sampel mana yang memiliki nilai perlindungan korosi paling efektif dibandingkan dengan sampel lainnya. Kesimpulan tersebut disajikan dalam bentuk data hasil penelitian yang telah dirangkum dalam analisa.

3.3. Alat dan Bahan

Berikut merupakan alat dan bahan yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian ini :

- Baja tulangan beton ASTM A615 6 buah sampel + linen kasar + anoda berpori (aluminium)
- Baja tulangan beton ASTM A615 6 buah sampel + no linen + anoda berpori (aluminium)
- Baja tulangan beton ASTM A615 6 buah sampel + linen halus + anoda berpori (aluminium)
- Baja tulangan beton ASTM A615 6 buah sampel + no linen + anoda solid (aluminium)
- Baja tulangan beton ASTM A615 6 buah sampel + no linen + no anoda
- Anoda korban aluminium
- Kain linen kasar
- Kain linen halus
- Kabel ties
- Spidol
- Amplas grit 200
- Amplas grit 400
- Amplas grit 600
- Jangka sorong
- Air laut pantai anyer

3.4. Prosedur Pengujian

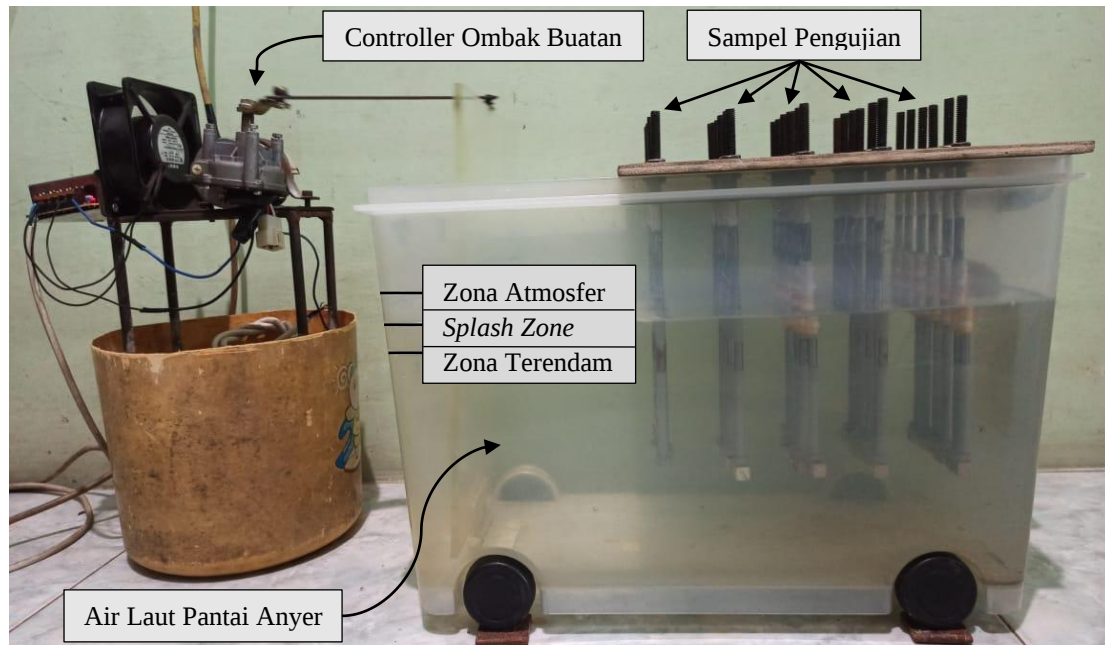
Batang (*rod*) sampel diletakan pada fram sampel. Ukuran sampel diameter 6,85mm × panjang 250mm. Sampel katoda dikontakkan dengan anoda secara soldering. Batang katoda mengaplikasikan kain linen pada area *splash zone* lalu diikat dengan menggunakan kabeltis. Sampel dikaitkan pada fram penutup box untuk kemudian direndam didalam box berisi air laut. Air laut kemudian diguncangkan oleh pembuat ombak sehingga timbulah gerakan ombak. ombak akan menghempas sampel secara berulang ulang.

Adapun langkah-langkah dalam melakukan pengujian berikut adalah :

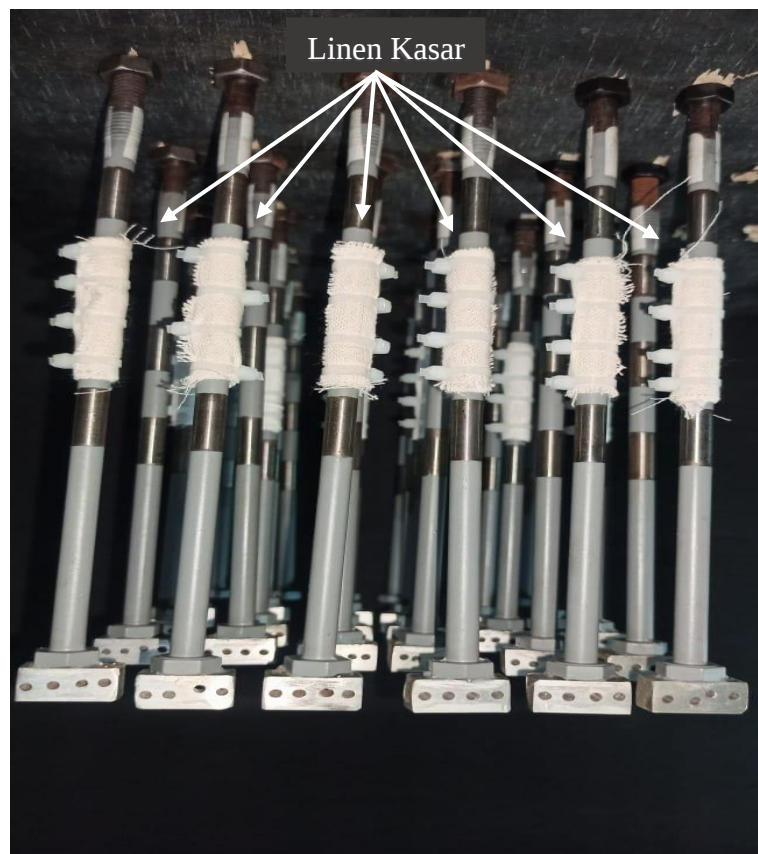
1. Menyiapkan semua sampel baja yang akan diuji sebanyak 40 buah, haluskan dengan amplas grade 200, 400 dan 600. dan dikaitkan di atas frame penutup box plastik yang akan di rendam kedalam box air laut.
2. Sampel katoda dikontakkan dengan anoda secara soldering.
3. Dari 40 buah sampel hanya 16 buah sampel yang dilapisi kain linen, bahan linen masing-masing dipotong dengan ukuran 5cm×10cm lalu gulung atau di bungkus hingga melapisi baja lalu ikat dengan kabel ties
4. Berikan label kode pada semua sampel dengan jenis sampel dan waktu awal peletakkan sampel pada frame penutup box uji.
5. Menyiapkan box plastik yang diisi air laut dan dipasang controller ombak buatan.
6. Mengaitkan sampel baja ke frame penutup box dan biarkan terendam selama jangka waktu yang ditentukan.
7. Angkat sampel yang telah diuji dan keringkan.
8. Ukur diameter sampel baja yang telah diuji pada jangka waktu tersebut dan hitung perubahan diameternya.
9. Lalu hitung laju korosinya dengan menggunakan metode berdasarkan diameter.
10. Lakukan pengujian tersebut dengan jangka waktu pengujian 7 hari, 30 hari dan 60 hari.

Lalu setelah semua sampel selesai diuji dilanjutkan dengan menganalisa perhitungan laju korosinya.

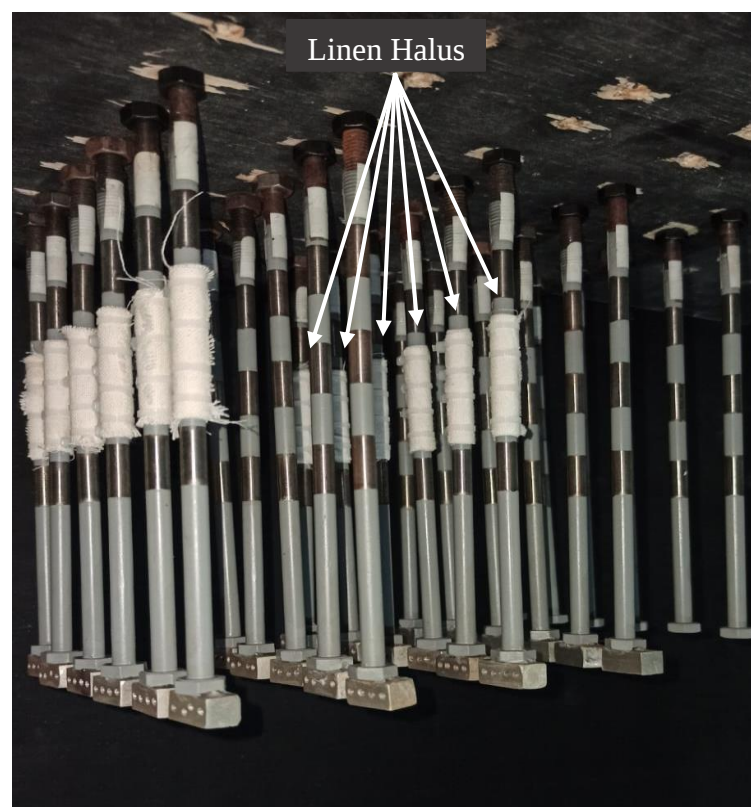
Berikut adalah bukti dalam pengujian korosi beserta foto peletakan sampel pada frame penutup box yang direndam media elektrolit air laut pantai anyer dengan penggerak controller ombak buatan seperti di gambar 3.8.



Gambar 3.9 Pengujian Sampel Dengan Controller Ombak Buatan



Gambar 3.10 Peletakan Sampel (Tampak Depan)



Gambar 3.11 Peletakan Sampel (Tampak Samping)



Gambar 3.12 Peletakan Sampel (Tampak Belakang)



Gambar 3.13 Peletakan Sampel (Tampak Atas)

3.5. Perhitungan Laju Korosi

Metode pengujian korosi berdasarkan diameter sampel digunakan untuk menghitung laju korosi dan mengevaluasi ketahanan logam terhadap lingkungan dengan membandingkan diameter awal dan diameter akhir setelah paparan selama waktu tertentu diameter sampel diukur menggunakan sismat dalam satuan milimeter (mm) dan dikonversi ke sentimeter (cm) sebelum digunakan dalam perhitungan laju korosi.

Berikut adalah rumus untuk menghitung nilai dari laju korosi:

$$CR = \frac{87600 \times ((D_0 \text{rerata}^2 - D_1 \text{rerata}^2))}{(4 \times D_0 \times t)}$$

Keterangan :

CR = Millimeter per year (mmpy)

87600 = Konstanta

D_0 = Diameter awal (cm)

D_1 = Diameter akhir rata-rata (cm)

t = Waktu pengujian (jam)

BAB 4

DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dipaparkan hasil dari penelitian beserta analisa dan pembahasan untuk laju korosi dari percobaan simulasi yang telah dilakukan dengan merendam material di simulator ombak buatan yang terisi air laut didapatkan beberapa data yang akan digunakan dalam menghitung laju korosi. Dalam bab ini juga akan digunakan beberapa kode sampel yang mana cara pembacaannya sebagai berikut, karakter pertama menunjukkan varian sampel yakni :

- (A) = Baja tulangan beton ASTM A615 - Linen kasar - Anoda berpori
- (B) = Baja tulangan beton ASTM A615 - No linen - Anoda berpori
- (C) = Baja tulangan beton ASTM A615 - Linen halus - Anoda berpori
- (D) = Baja tulangan beton ASTM A615 - No linen - Anoda solid
- (E) = Baja tulangan beton ASTM A615 - No linen - No anoda

Lalu karakter kedua menunjukkan sampel yaitu :

- (X) = Sampel 1
- (Y) = Sampel 2

Selanjutnya karakter ketiga menunjukkan waktu pengujian yaitu :

- (7) = 7 hari / 168 jam
- (30) = 30 hari / 720 jam
- (60) = 60 hari / 1440 jam

Contohnya untuk kode AX7 artinya adalah varian sampel: Baja tulangan beton ASTM A615 - Linen kasar - Anoda berpori, Sampel 1, Waktu pengujian 7 hari / 168 jam

4.1. Hasil Pengujian Sampel dan Hasil Data Kasar

Berikut adalah foto sampel sebelum dan sesudah pengujian. Sebelum dilakukan pengujian dilakukan pengukuran diameter awal dicatat kedalam tabel lalu diuji selama 7 hari (168 Jam), 30 hari (720 Jam) dan 60 hari (1440 Jam). Pada pengukuran diameter akhir untuk memperoleh data kasar setelah pengujian dilakukan pengukuran 3 kali di setiap zona dicatat kedalam tabel, lalu data diolah untuk mendapatkan nilai rata – rata.

Di bawah adalah rumus atau penjelasan dari hasil 3 kali pengukuran untuk memperoleh nilai rata-rata pada data kasar tersebut ;

$$D_1 \text{ rerata} = \frac{D_1 1 + D_1 2 + D_1 3}{3}$$

Keterangan :

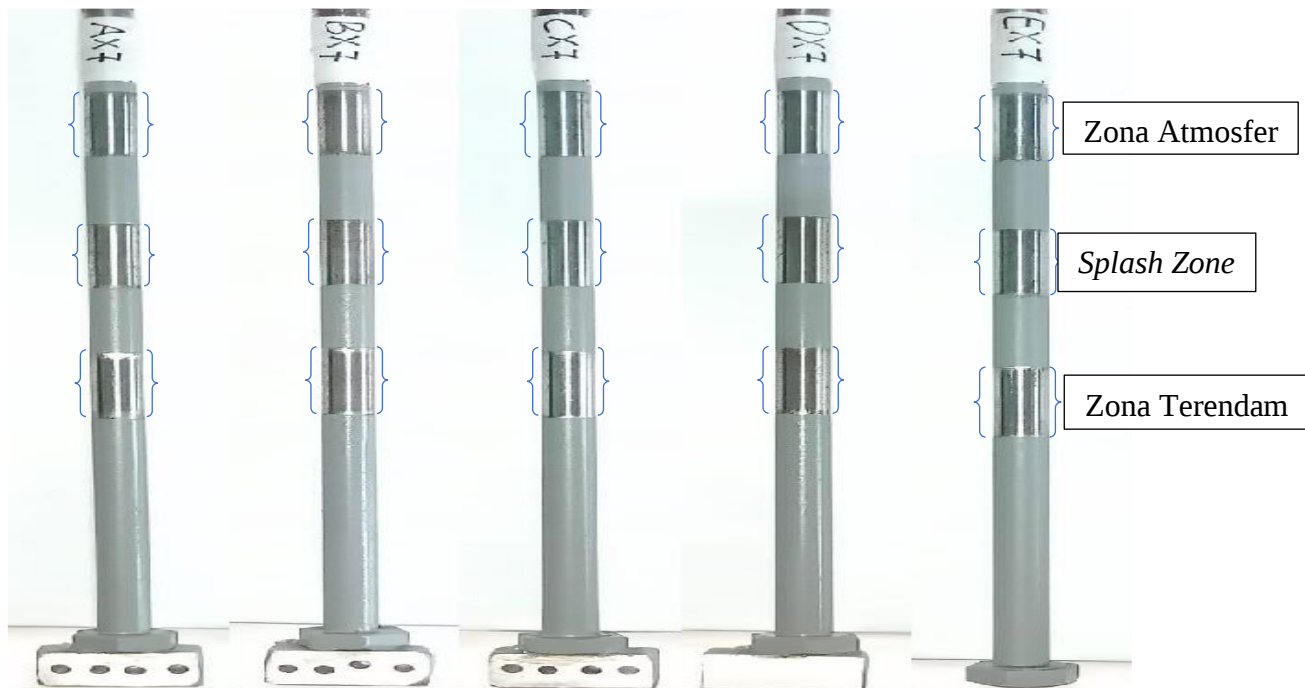
$D_1 \text{ rerata}$	: Diameter akhir rata-rata (mm)
$D_1 1$	: Diameter pengukuran pertama (mm)
$D_1 2$	: Diameter pengukuran kedua (mm)
$D_1 3$	: Diameter pengukuran ketiga (mm)
3	: Jumlah titik pengukuran diameter akhir

Contohnya : Untuk sampel AX60 pada zona *splash zone* memperoleh 3 hasil pengukuran. Pengukuran pertama memperoleh 6,77 mm, pengukuran kedua memperoleh 6,77 mm dan pengukuran ketiga memperoleh 6,77 mm. lalu dihitung diameter akhir rata-rata dengan rumus diatas ;

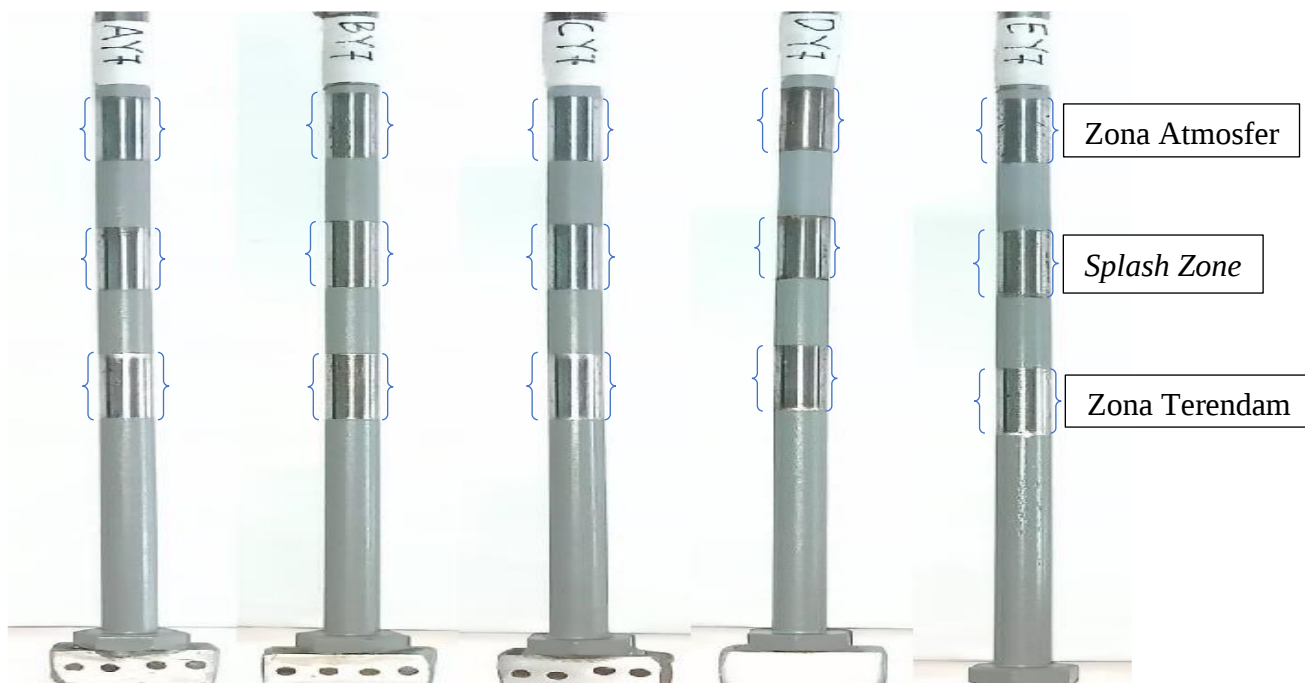
$$D_1 \text{ rerata} = \frac{6,77 + 6,77 + 6,77}{3} = \frac{20,31}{3} = 6,77 \text{ mm}$$

4.1.2. Pengujian Sampel 7 Hari (168 Jam)

- Sampel Sebelum Pengujian 7 Hari (168 Jam)



Gambar 4.1 Sampel 1 (X) Sebelum Pengujian 7 Hari (168 Jam)



Gambar 4.2 Sampel 2 (Y) Sebelum Pengujian 7 Hari (168 Jam)

- Sampel Sesudah Pengujian 7 Hari (168 Jam)



Gambar 4.3 Sampel 1 (X) Sesudah Pengujian 7 Hari (168 Jam)



Gambar 4.4 Sampel 2 (Y) Sebelum Pengujian 7 Hari (168 Jam)

- Data Kasar Hasil Pengujian 7 Hari (168 Jam)

Tabel 4.1 Data Sampel Pengujian 168 Jam (Zona Terendam)

KODE	Terendam				
	Diameter Awal D_0 (mm)	Diameter Akhir D_1 (mm)			
		1	2	3	<i>rerata</i>
AX7	6,85	6,85	6,85	6,85	6,85
AY7	6,85	6,85	6,85	6,85	6,85
BX7	6,85	6,85	6,85	6,85	6,85
BY7	6,85	6,85	6,85	6,85	6,85
CX7	6,85	6,85	6,85	6,85	6,85
CY7	6,85	6,84	6,85	6,85	6,847
DX7	6,85	6,84	6,84	6,85	6,843
DY7	6,85	6,85	6,84	6,84	6,843
EX7	6,85	6,82	6,82	6,83	6,823
EY7	6,85	6,82	6,83	6,82	6,823

Tabel 4.2 Data Sampel Pengujian 168 Jam (*Splash Zone*)

KODE	<i>Splash Zone</i>				
	Diameter Awal D_0 (mm)	Diameter Akhir D_1 (mm)			
		1	2	3	<i>rerata</i>
AX7	6,85	6,85	6,84	6,84	6,843
AY7	6,85	6,85	6,84	6,85	6,847
BX7	6,85	6,83	6,83	6,83	6,83
BY7	6,85	6,83	6,83	6,83	6,83
CX7	6,85	6,85	6,84	6,84	6,843
CY7	6,85	6,84	6,84	6,84	6,84
DX7	6,85	6,84	6,83	6,83	6,833
DY7	6,85	6,84	6,81	6,82	6,823
EX7	6,85	6,82	6,82	6,81	6,817
EY7	6,85	6,82	6,82	6,81	6,817

Tabel 4.3 Data Sampel Pengujian 168 Jam (Zona Atmosfer)

KODE	Atmosfer				
	Diameter Awal D_0 (mm)	Diameter Akhir D_1 (mm)			
		1	2	3	<i>rerata</i>
AX7	6,85	6,84	6,85	6,85	6,847
AY7	6,85	6,85	6,85	6,84	6,847
BX7	6,85	6,84	6,85	6,85	6,847
BY7	6,85	6,85	6,85	6,85	6,85
CX7	6,85	6,84	6,84	6,84	6,84
CY7	6,85	6,84	6,85	6,85	6,847
DX7	6,85	6,84	6,85	6,85	6,847
DY7	6,85	6,85	6,85	6,85	6,85
EX7	6,85	6,85	6,84	6,84	6,843
EY7	6,85	6,85	6,85	6,84	6,847

4.1.3. Pengujian Sampel 30 Hari (720 Jam)

- Sampel Sebelum Pengujian 30 Hari (720 Jam)



Gambar 4.5 Sampel 1 (X) Sebelum Pengujian 30 Hari (720 Jam)



Gambar 4.6 Sampel 2 (Y) Sebelum Pengujian 30 Hari (720 Jam)

- Sampel Sesudah Pengujian 30 Hari (720 Jam)



Gambar 4.7 Sampel 1 (X) Sesudah Pengujian 30 Hari (720 Jam)



Gambar 4.8 Sampel 2 (Y) Sesudah Pengujian 30 Hari (720 Jam)

- Data Kasar Hasil Pengujian 30 Hari (720 Jam)

Tabel 4.4 Data Sampel Pengujian 720 Jam (Zona Terendam)

KODE	Terendam				
	Diameter Awal D_0 (mm)	Diameter Akhir D_1 (mm)			
		1	2	3	<i>rerata</i>
AX30	6,85	6,82	6,82	6,82	6,82
AY30	6,85	6,83	6,83	6,83	6,83
BX30	6,85	6,83	6,83	6,83	6,83
BY30	6,85	6,80	6,80	6,81	6,803
CX30	6,85	6,83	6,83	6,83	6,83
CY30	6,85	6,82	6,81	6,81	6,813
DX30	6,85	6,79	6,79	6,79	6,79
DY30	6,85	6,78	6,78	6,78	6,78
EX30	6,85	6,73	6,73	6,74	6,733
EY30	6,85	6,73	6,73	6,74	6,733

Tabel 4.5 Data Sampel Pengujian 720 Jam (*Splash Zone*)

KODE	<i>Splash Zone</i>				
	Diameter Awal D_0 (mm)	Diameter Akhir D_1 (mm)			
		1	2	3	<i>rerata</i>
AX30	6,85	6,81	6,83	6,82	6,82
AY30	6,85	6,80	6,81	6,80	6,803
BX30	6,85	6,78	6,77	6,76	6,77
BY30	6,85	6,77	6,75	6,75	6,757
CX30	6,85	6,81	6,80	6,81	6,807
CY30	6,85	6,79	6,80	6,79	6,793
DX30	6,85	6,75	6,76	6,76	6,757
DY30	6,85	6,74	6,75	6,74	6,743
EX30	6,85	6,71	6,70	6,70	6,703
EY30	6,85	6,70	6,70	6,70	6,70

Tabel 4.6 Data Sampel Pengujian 720 Jam (Zona Atmosfer)

KODE	Atmosfer				
	Diameter Awal D_0 (mm)	Diameter Akhir D_1 (mm)			
		1	2	3	<i>rerata</i>
AX30	6,85	6,81	6,82	6,82	6,817
AY30	6,85	6,82	6,82	6,83	6,823
BX30	6,85	6,82	6,82	6,82	6,82
BY30	6,85	6,81	6,81	6,82	6,813
CX30	6,85	6,82	6,82	6,83	6,823
CY30	6,85	6,81	6,81	6,81	6,81
DX30	6,85	6,81	6,82	6,82	6,817
DY30	6,85	6,82	6,82	6,82	6,82
EX30	6,85	6,82	6,82	6,83	6,823
EY30	6,85	6,82	6,82	6,82	6,82

4.1.4. Pengujian Sampel 60 Hari (1440 Jam)

- Sampel Sebelum Pengujian 60 Hari (1440 Jam)

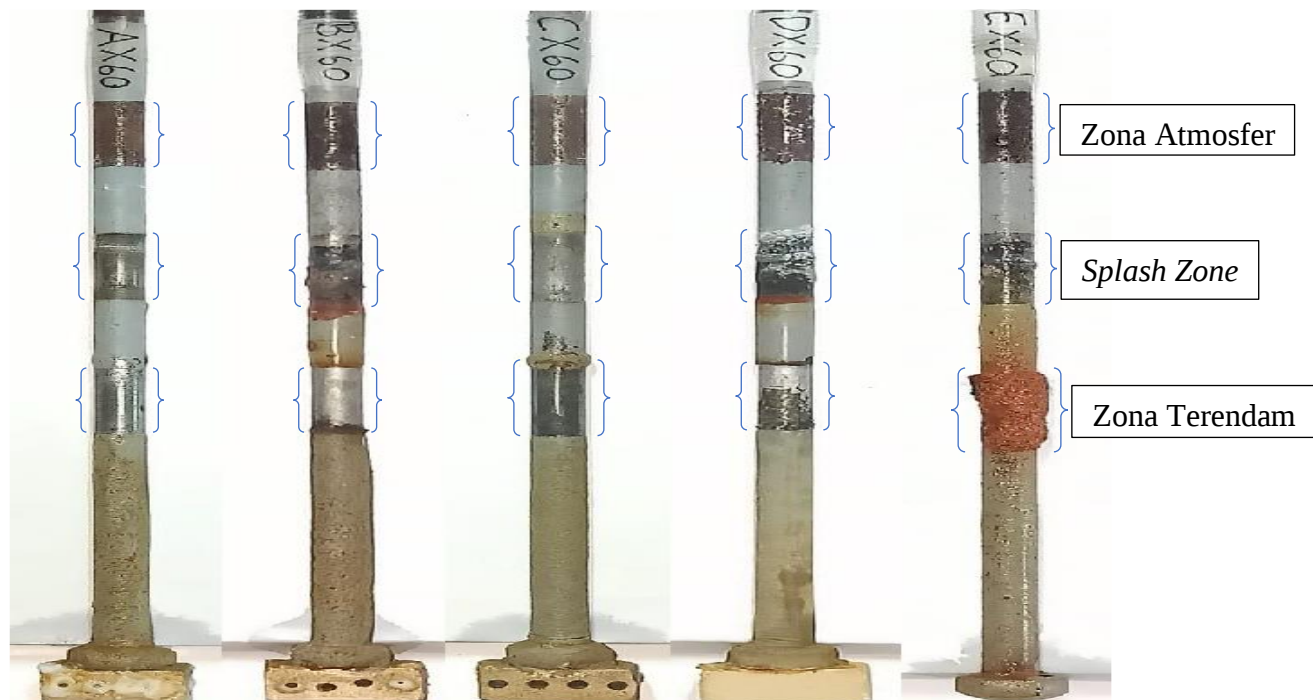


Gambar 4.9 Sampel 1 (X) Sebelum Pengujian 60 Hari (1440 Jam)



Gambar 4.10 Sampel 2 (Y) Sebelum Pengujian 60 Hari (1440 Jam)

- Sampel Sesudah Pengujian 60 Hari (1440 Jam)



Gambar 4.11 Sampel 1 (X) Sesudah Pengujian 60 Hari (1440 Jam)



Gambar 4.12 Sampel 2 (Y) Sesudah Pengujian 60 Hari (1440 Jam)

- Data Kasar Hasil Pengujian 60 Hari (1440 Jam)

Tabel 4.7 Data Sampel Pengujian 1440 Jam (Zona Terendam)

KODE	Terendam				
	Diameter Awal D_0 (mm)	Diameter Akhir D_1 (mm)			
		1	2	3	<i>rerata</i>
AX60	6,85	6,80	6,80	6,80	6,80
AY60	6,85	6,78	6,79	6,80	6,79
BX60	6,85	6,78	6,78	6,78	6,78
BY60	6,85	6,78	6,77	6,78	6,777
CX60	6,85	6,80	6,80	6,80	6,80
CY60	6,85	6,78	6,78	6,78	6,78
DX60	6,85	6,68	6,69	6,70	6,69
DY60	6,85	6,72	6,72	6,72	6,72
EX60	6,85	6,60	6,61	6,62	6,61
EY60	6,85	6,60	6,60	6,60	6,60

Tabel 4.8 Data Sampel Pengujian 1440 Jam (Splash Zone)

KODE	Splash Zone				
	Diameter Awal D_0 (mm)	Diameter Akhir D_1 (mm)			
		1	2	3	<i>rerata</i>
AX60	6,85	6,77	6,77	6,77	6,77
AY60	6,85	6,76	6,76	6,76	6,76
BX60	6,85	6,67	6,68	6,69	6,68
BY60	6,85	6,66	6,66	6,66	6,66
CX60	6,85	6,73	6,73	6,73	6,73
CY60	6,85	6,74	6,73	6,73	6,733
DX60	6,85	6,66	6,63	6,64	6,643
DY60	6,85	6,65	6,64	6,63	6,64
EX60	6,85	6,56	6,55	6,56	6,557
EY60	6,85	6,54	6,53	6,54	6,537

Tabel 4.9 Data Sampel Pengujian 1440 Jam (Zona Atmosfer)

KODE	Atmosfer				
	Diameter Awal D_0 (mm)	Diameter Akhir D_1 (mm)			
		1	2	3	<i>rerata</i>
AX60	6,85	6,79	6,79	6,78	6,787
AY60	6,85	6,79	6,78	6,78	6,783
BX60	6,85	6,79	6,79	6,79	6,79
BY60	6,85	6,79	6,79	6,80	6,793
CX60	6,85	6,79	6,79	6,79	6,79
CY60	6,85	6,78	6,78	6,78	6,78
DX60	6,85	6,78	6,79	6,79	6,787
DY60	6,85	6,78	6,78	6,79	6,783
EX60	6,85	6,78	6,79	6,79	6,787
EY60	6,85	6,79	6,79	6,79	6,79

4.2. Perhitungan Laju Korosi

Berikut adalah hasil perhitungan laju korosi pada keseluruhan sampel. Waktu pengujian 168 jam, 720 jam dan 1440 jam dengan kondisi zona terendam, zona *splash zone*, zona atmosfer.

Di bawah adalah rumus atau penjelasan dari hasil data yang telah diambil tentang cara menghitung laju korosi dari tiap spesimen per zona yang hilang akibat proses korosi berdasarkan perubahan selisih diameter ;

$$CR = \frac{87600 \times ((D_0 \text{ rerata}^2 - D_1 \text{ rerata}^2))}{(4 \times D_0 \times t)}$$

Keterangan :

CR = Millimeter per year (mmpy)

87600 = Konstanta

D_0 = Diameter awal (cm)

D_1 = Diameter akhir rata-rata (cm)

t = Waktu pengujian (jam)

Contohnya : Untuk sampel AX60 pada zona *splash zone* mempunyai diameter awal 6.85mm → 0.685cm setelah dilakukan pengujian selama 60 hari diameter akhir rata-rata menjadi 6.77mm → 0.677cm. lalu dihitung laju korosi dengan rumus diatas;

$$\begin{aligned} CR &= \frac{87600 \times ((0.685^2 - 0.677^2))}{(4 \times 0.685 \times 1440)} \\ &= \frac{87600 \times 0.010896}{3950.4} \\ &= \frac{954.4896}{3950.4} \\ &= 0.242 \text{ mmpy} \end{aligned}$$

4.2.1. Perhitungan Laju Korosi Sampel 7 Hari (168 Jam)

Tabel 4.10 Perhitungan Laju Korosi Pengujian 168 Jam (Zona Terendam)

KODE	Terendam						
	D_0 (cm)	D_1 rerata (cm)	faktor geometri	Waktu (Jam)	K	CR (mmpy)	CR rerata (mmpy)
AX7	0,685	0,685	4	168	87600	0,000	0,000
AY7	0,685	0,685	4	168	87600	0,000	
BX7	0,685	0,685	4	168	87600	0,000	0,000
BY7	0,685	0,685	4	168	87600	0,000	
CX7	0,685	0,685	4	168	87600	0,000	0,043
CY7	0,685	0,6847	4	168	87600	0,087	
DX7	0,685	0,6843	4	168	87600	0,174	0,174
DY7	0,685	0,6843	4	168	87600	0,174	
EX7	0,685	0,6823	4	168	87600	0,694	0,694
EY7	0,685	0,6823	4	168	87600	0,694	

Tabel 4.11 Perhitungan Laju Korosi Pengujian 168 Jam (Splash Zone)

KODE	Splash Zone						
	D_0 (cm)	D_1 rerata (cm)	faktor geometri	Waktu (Jam)	K	CR (mmpy)	CR rerata (mmpy)
AX7	0,685	0,6843	4	168	87600	0,174	0,130
AY7	0,685	0,6847	4	168	87600	0,087	
BX7	0,685	0,683	4	168	87600	0,521	0,521
BY7	0,685	0,683	4	168	87600	0,521	
CX7	0,685	0,6843	4	168	87600	0,174	0,217
CY7	0,685	0,684	4	168	87600	0,261	
DX7	0,685	0,6833	4	168	87600	0,434	0,564
DY7	0,685	0,6823	4	168	87600	0,694	
EX7	0,685	0,6817	4	168	87600	0,867	0,867
EY7	0,685	0,6817	4	168	87600	0,867	

Tabel 4.12 Perhitungan Laju Korosi Pengujian 168 Jam (Zona Atmosfer)

KODE	Zona Atmosfer						
	D_0 (cm)	D_1 rerata (cm)	faktor geometri	Waktu (Jam)	K	CR (mmpy)	CR rerata (mmpy)
AX7	0,685	0,6847	4	168	87600	0,087	0,087
AY7	0,685	0,6847	4	168	87600	0,087	
BX7	0,685	0,6847	4	168	87600	0,087	0,043
BY7	0,685	0,685	4	168	87600	0,000	
CX7	0,685	0,684	4	168	87600	0,261	0,174
CY7	0,685	0,6847	4	168	87600	0,087	
DX7	0,685	0,6847	4	168	87600	0,087	0,043
DY7	0,685	0,685	4	168	87600	0,000	
EX7	0,685	0,6843	4	168	87600	0,174	0,130
EY7	0,685	0,6847	4	168	87600	0,087	

4.2.2. Perhitungan Laju Korosi Sampel 30 Hari (720 Jam)

Tabel 4.13 Perhitungan Laju Korosi Pengujian 720 Jam (Zona Terendam)

KODE	Zona Terendam						
	D_0 (cm)	D_1 rerata (cm)	faktor geometri	Waktu (Jam)	K	CR (mmpy)	CR rerata (mmpy)
AX30	0,685	0,682	4	720	87600	0,182	0,152
AY30	0,685	0,683	4	720	87600	0,121	
BX30	0,685	0,683	4	720	87600	0,121	0,202
BY30	0,685	0,6803	4	720	87600	0,283	
CX30	0,685	0,683	4	720	87600	0,121	0,172
CY30	0,685	0,6813	4	720	87600	0,222	
DX30	0,685	0,679	4	720	87600	0,363	0,394
DY30	0,685	0,678	4	720	87600	0,424	
EX30	0,685	0,6733	4	720	87600	0,704	0,704
EY30	0,685	0,6733	4	720	87600	0,704	

Tabel 4.14 Perhitungan Laju Korosi Pengujian 720 Jam (Splash Zone)

KODE	Splash Zone						
	D_0 (cm)	D_1 rerata (cm)	faktor geometri	Waktu (Jam)	K	CR (mmpy)	CR rerata (mmpy)
AX30	0,685	0,682	4	720	87600	0,182	0,233
AY30	0,685	0,6803	4	720	87600	0,283	
BX30	0,685	0,677	4	720	87600	0,484	0,524
BY30	0,685	0,6757	4	720	87600	0,564	
CX30	0,685	0,6807	4	720	87600	0,263	0,303
CY30	0,685	0,6793	4	720	87600	0,343	
DX30	0,685	0,6757	4	720	87600	0,564	0,604
DY30	0,685	0,6743	4	720	87600	0,644	
EX30	0,685	0,6703	4	720	87600	0,883	0,893
EY30	0,685	0,670	4	720	87600	0,903	

Tabel 4.15 Perhitungan Laju Korosi Pengujian 720 Jam (Zona Atmosfer)

KODE	Zona Atmosfer						
	D_0 (cm)	D_1 rerata (cm)	faktor geometri	Waktu (Jam)	K	CR (mmpy)	CR rerata (mmpy)
AX30	0,685	0,6817	4	720	87600	0,202	0,182
AY30	0,685	0,6823	4	720	87600	0,162	
BX30	0,685	0,682	4	720	87600	0,182	0,202
BY30	0,685	0,6813	4	720	87600	0,222	
CX30	0,685	0,6823	4	720	87600	0,162	0,202
CY30	0,685	0,681	4	720	87600	0,243	
DX30	0,685	0,6817	4	720	87600	0,200	0,191
DY30	0,685	0,682	4	720	87600	0,182	
EX30	0,685	0,6823	4	720	87600	0,162	0,172
EY30	0,685	0,682	4	720	87600	0,182	

4.2.3. Perhitungan Laju Korosi Sampel 60 Hari (1440 Jam)

Tabel 4.16 Perhitungan Laju Korosi Pengujian 1440 Jam (Zona Terendam)

KODE	Zona Terendam						
	D_0 (cm)	D_1 rerata (cm)	faktor geometri	Waktu (Jam)	K	CR (mmpy)	CR rerata (mmpy)
AX60	0,685	0,680	4	1440	87600	0,152	0,167
AY60	0,685	0,679	4	1440	87600	0,182	
BX60	0,685	0,678	4	1440	87600	0,212	0,217
BY60	0,685	0,6777	4	1440	87600	0,222	
CX60	0,685	0,680	4	1440	87600	0,152	0,182
CY60	0,685	0,678	4	1440	87600	0,212	
DX60	0,685	0,669	4	1440	87600	0,481	0,436
DY60	0,685	0,672	4	1440	87600	0,392	
EX60	0,685	0,661	4	1440	87600	0,717	0,732
EY60	0,685	0,660	4	1440	87600	0,747	

Tabel 4.17 Perhitungan Laju Korosi Pengujian 1440 Jam (Splash Zone)

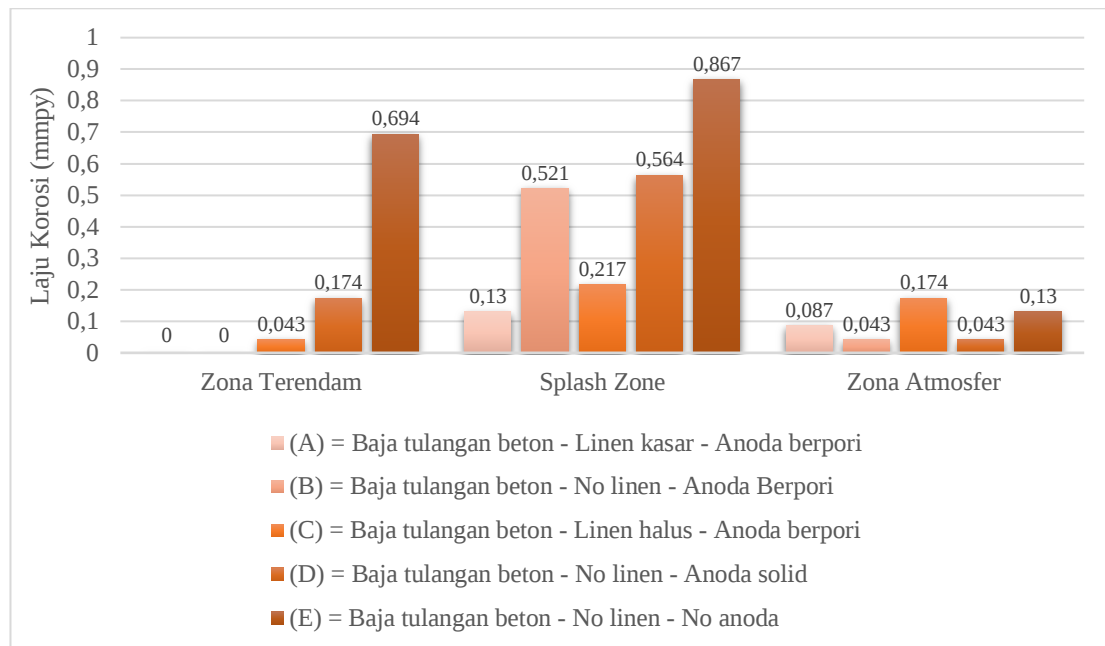
KODE	Splash Zone						
	D_0 (cm)	D_1 rerata (cm)	faktor geometri	Waktu (Jam)	K	CR (mmpy)	CR rerata (mmpy)
AX60	0,685	0,677	4	1440	87600	0,242	0,257
AY60	0,685	0,676	4	1440	87600	0,272	
BX60	0,685	0,668	4	1440	87600	0,511	0,540
BY60	0,685	0,666	4	1440	87600	0,570	
CX60	0,685	0,673	4	1440	87600	0,362	0,357
CY60	0,685	0,6733	4	1440	87600	0,352	
DX60	0,685	0,6643	4	1440	87600	0,619	0,624
DY60	0,685	0,664	4	1440	87600	0,629	
EX60	0,685	0,6557	4	1440	87600	0,873	0,902
EY60	0,685	0,6537	4	1440	87600	0,931	

Tabel 4.18 Perhitungan Laju Korosi Pengujian 1440 Jam (Zona Atmosfer)

KODE	Zona Atmosfer						
	D_0 (cm)	D_1 rerata (cm)	faktor geometri	Waktu (Jam)	K	CR (mmpy)	CR rerata (mmpy)
AX60	0,685	0,6787	4	1440	87600	0,192	0,197
AY60	0,685	0,6783	4	1440	87600	0,202	
BX60	0,685	0,679	4	1440	87600	0,182	0,177
BY60	0,685	0,6793	4	1440	87600	0,172	
CX60	0,685	0,679	4	1440	87600	0,182	0,197
CY60	0,685	0,678	4	1440	87600	0,212	
DX60	0,685	0,6787	4	1440	87600	0,192	0,197
DY60	0,685	0,6783	4	1440	87600	0,202	
EX60	0,685	0,6787	4	1440	87600	0,192	0,187
EY60	0,685	0,679	4	1440	87600	0,182	

4.3. Analisa Laju Korosi

4.3.1. Analisa Laju Korosi Sampel 7 Hari (168 Jam)



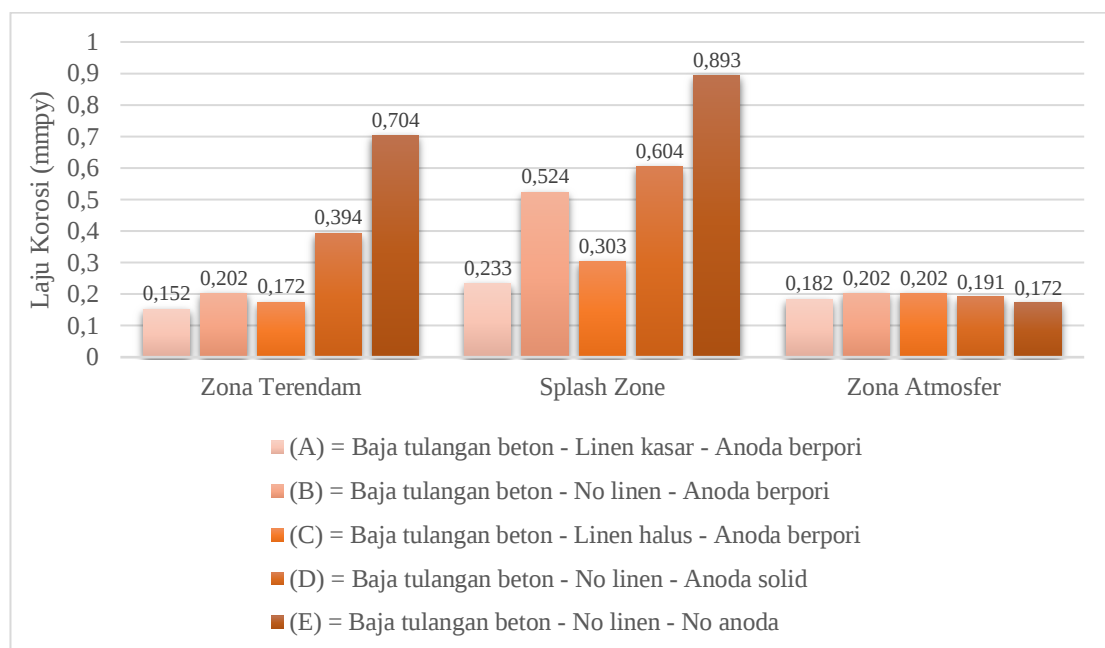
Gambar 4.13 Grafik Laju Korosi Sampel 7 Hari (168 Jam)

Gambar 4.13 Hasil pengujian selama 7 hari (168 jam) menunjukkan bahwa zona terpapar sangat mempengaruhi laju korosi pada baja tulangan beton ASTM A615. *Splash zone* menjadi area paling korosif, sejalan dengan literatur yang menyatakan bahwa zona ini terekspose oleh ombak, garam laut, perbedaan suhu siang malam paparan sinar matahari, oxygen, pasang surut air laut, biota laut. Dampak hal tersebut diatas membuat *splash zone* area adalah daerah yang paling rawan korosi dan melemahkan struktur [9]. Pada zona ini, varian sampel E (No linen – No anoda) menunjukkan laju korosi tertinggi yaitu 0,867 mmpy, sedangkan nilai terendah dimiliki sampel A (Linen kasar – Anoda berpori) sebesar 0,13 mmpy. Efektivitas sampel A didukung oleh penggunaan anoda korban aluminium berpori, yang memiliki struktur metal foam dengan luas permukaan reaksi lebih besar sehingga meningkatkan kinerja proteksi katodik [16], serta kain linen yang berdaya serap tinggi dan membantu stabilisasi lapisan elektrolit pada *splash zone* [1].

Pada zona terendam, laju korosi cenderung lebih rendah karena terbatasnya oksigen, namun sampel E (No linen – No anoda) tetap menunjukkan nilai tertinggi yaitu 0,694 mmpy, sedangkan yang terendah adalah sampel A (Linen kasar – Anoda berpori) dengan 0 mmpy, menegaskan peran penting anoda berpori dan media linen dalam memperlambat reaksi korosi. Sementara itu, zona atmosfer menunjukkan laju korosi menengah dengan nilai tertinggi pada sampel C (Linen halus – Anoda berpori) sebesar 0,174 mmpy dan terendah pada sampel B (No linen – Anoda berpori) sebesar 0,043 mmpy. Kondisi lingkungan yang relatif lebih kering serta pH air laut Indonesia yang sedikit basa (7,4–7,6) turut memengaruhi perilaku korosi pada zona ini [21].

Secara keseluruhan, data memperlihatkan bahwa perlindungan anoda berpori dan penggunaan linen mampu menurunkan laju korosi secara signifikan, terutama pada *splash zone* yang paling agresif.

4.3.2. Analisa Laju Korosi Sampel 30 Hari (720 Jam)



Gambar 4.14 Grafik Laju Korosi Sampel 30 Hari (720 Jam)

Gambar 4.14 Hasil pengujian selama 30 hari (720 jam) menunjukkan bahwa zona terpapar sangat mempengaruhi laju korosi pada baja tulangan beton ASTM A615. *Splash zone* menjadi area paling korosif, sejalan dengan literatur yang menyatakan bahwa zona ini terekspose oleh ombak, garam laut, perbedaan suhu siang malam

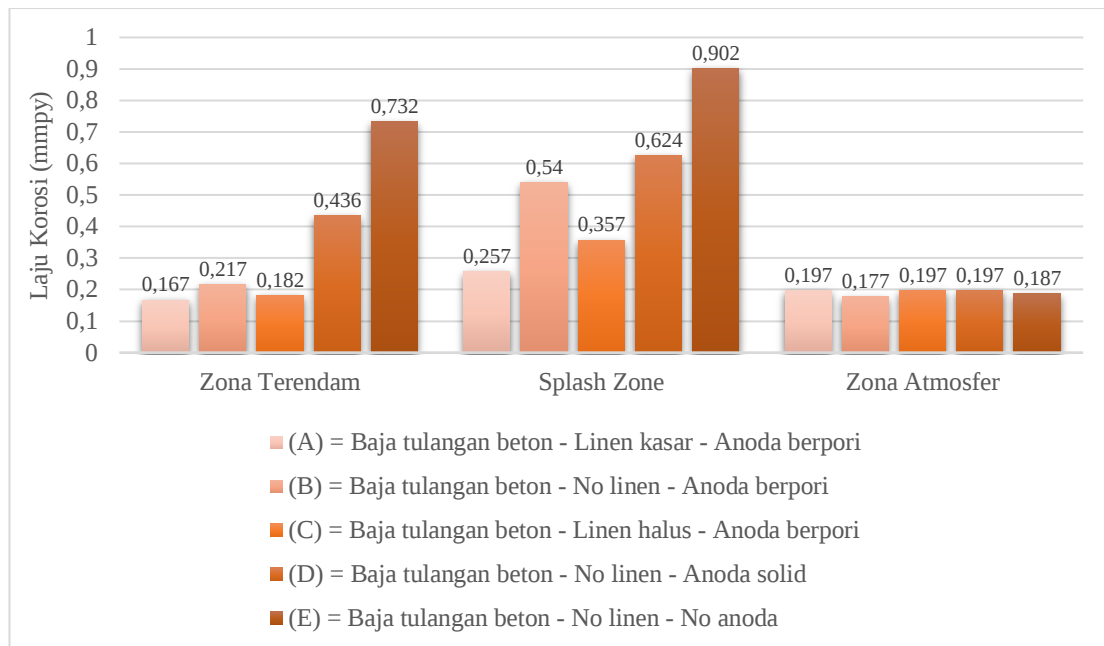
paparan sinar matahari, oxygen, pasang surut air laut, biota laut. Dampak hal tersebut diatas membuat *splash zone* area adalah daerah yang paling rawan korosi dan melemahkan struktur [8]. Pada zona ini, varian sampel E (No linen – No anoda) menunjukkan laju korosi tertinggi yaitu 0,893 mmpy, sedangkan nilai terendah dimiliki sampel A (Linen kasar – Anoda berpori) sebesar 0,233 mmpy. Efektivitas sampel A didukung oleh penggunaan anoda korban aluminium berpori, yang memiliki struktur metal foam dengan luas permukaan reaksi lebih besar sehingga meningkatkan kinerja proteksi katodik [15], serta kain linen kasar yang berdaya serap tinggi dan membantu stabilisasi lapisan elektrolit pada *splash zone* [16].

Pada zona terendam, laju korosi cenderung lebih rendah karena terbatasnya oksigen, namun sampel E (No linen – No anoda) tetap menunjukkan nilai tertinggi yaitu 0,704 mmpy, sedangkan yang terendah adalah sampel A (Linen kasar – Anoda berpori) dengan 0,152 mmpy, menegaskan peran penting anoda berpori dan media linen dalam memperlambat reaksi korosi.

Sementara itu, zona atmosfer menunjukkan laju korosi menengah dengan nilai tertinggi pada sampel B (No Linen – Anoda berpori) sebesar 0,202 mmpy dan terendah pada sampel E (No linen – No Anoda) sebesar 0,172 mmpy. Kondisi lingkungan yang relatif lebih kering serta pH air laut Indonesia yang sedikit basa (7,4–7,6) turut memengaruhi perilaku korosi pada zona ini [21].

Secara keseluruhan, data memperlihatkan bahwa perlindungan anoda berpori dan penggunaan linen mampu menurunkan laju korosi secara signifikan, terutama pada *splash zone* yang paling agresif.

4.3.3. Analisa Laju Korosi Sampel 60 Hari (1440 Jam)



Gambar 4.15 Grafik Laju Korosi Sampel 60 Hari (1440 Jam)

Gambar 4.15 Hasil pengujian selama 60 hari (1440 jam) merupakan pengujian terakhir dan waktu paling lama dalam pengujian. Pada rentang waktu 2 bulan ini menunjukkan bahwa zona terpapar sangat mempengaruhi laju korosi pada baja tulangan beton ASTM A615. *Splash zone* menjadi area paling korosif, sejalan dengan literatur yang menyatakan bahwa zona ini terekspose oleh ombak, garam laut, perbedaan suhu siang malam paparan sinar matahari, oxygen, pasang surut air laut, biota laut. Dampak hal tersebut diatas membuat *splash zone* area adalah daerah yang paling rawan korosi dan melemahkan struktur [8]. Pada zona ini, varian sampel E (No linen – No anoda) menunjukkan laju korosi tertinggi yaitu 0,902 mmpy, sedangkan nilai terendah dimiliki sampel A (Linen kasar – Anoda berpori) sebesar 0,257 mmpy. Efektivitas sampel A didukung oleh penggunaan anoda korban aluminium berpori, yang memiliki struktur metal foam dengan luas permukaan reaksi lebih besar sehingga meningkatkan kinerja proteksi katodik [15], serta kain linen yang berdaya serap tinggi dan membantu stabilisasi lapisan elektrolit pada *splash zone* [16]. Penurunan laju korosi dengan pemakain linen kasar dan anoda berpori adalah $(0,902 - 0,257)/(0,902) \times 100\% = 71\%$. Keberadaan linen pada permukaan sampel di daerah *splash zone* menurunkan laju korosi karena sifatnya yang mampu menyerap dan

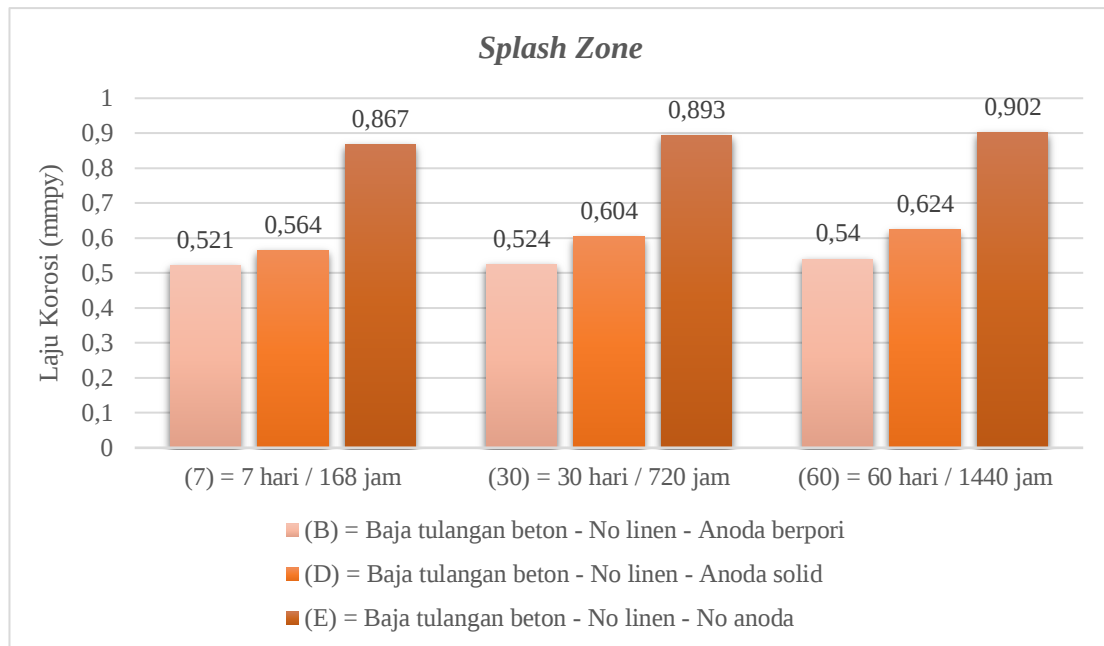
mempertahankan kelembapan air laut. Lapisan linen yang basah menciptakan media elektrolit yang stabil, sehingga anoda korban dapat bekerja secara lebih efektif dalam melindungi permukaan baja pada zona tersebut. Dengan demikian, kain linen berperan sebagai penjaga kelembapan yang memungkinkan sistem proteksi katodik berfungsi optimal, sehingga laju korosi pada *splash zone* menjadi lebih rendah.

Pada zona terendam, laju korosi cenderung lebih rendah karena terbatasnya oksigen, namun sampel E (No linen – No anoda) tetap menunjukkan nilai tertinggi yaitu 0,732 mmpy, sedangkan yang terendah adalah sampel A (Linen kasar – Anoda berpori) dengan 0,167 mmpy, menegaskan peran penting anoda berpori dan media linen dalam memperlambat reaksi korosi.

Sementara itu, zona atmosfer menunjukkan laju korosi menengah dengan nilai tertinggi pada sampel A (Linen Kasar – Anoda berpori) sebesar 0,197 mmpy dan terendah pada sampel B (No linen – Anoda berpori) sebesar 0,177 mmpy. Kondisi lingkungan yang relatif lebih kering serta pH air laut Indonesia yang sedikit basa (7,4–7,6) turut memengaruhi perilaku korosi pada zona ini [21].

Secara keseluruhan, data memperlihatkan bahwa perlindungan anoda berpori dan penggunaan linen mampu menurunkan laju korosi secara signifikan, terutama pada *splash zone* yang paling agresif.

4.4. Pengaruh Anoda Korban Terhadap Laju Korosi Pada *Splash Zone*

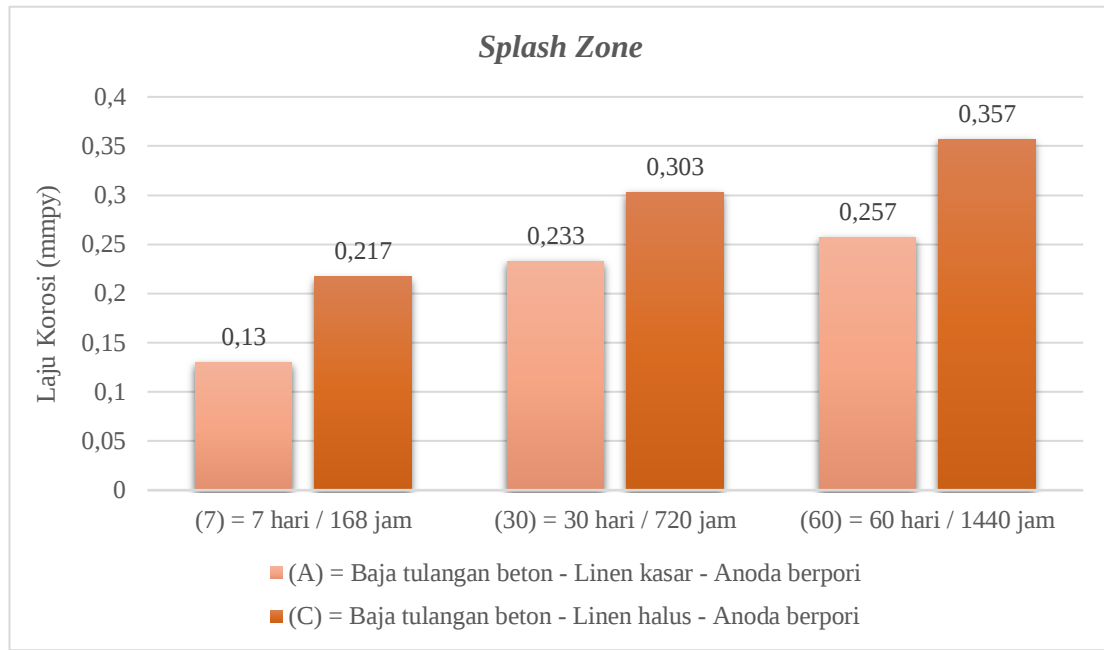


Gambar 4.16 Grafik Laju Korosi Pada *Splash Zone* Tanpa Linen

Berdasarkan Gambar 4.16 laju korosi baja tulangan beton ASTM A615 pada *splash zone* tanpa linen menunjukkan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya waktu pengujian, yaitu pada 7 hari (168 jam), 30 hari (720 jam), dan 60 hari (1440 jam). Laju korosi di daerah terpercik (*splash zone*) adalah tertinggi dibandingkan daerah terendam dan daerah atmosfer. Hal ini disebabkan permukaan baja di *splash zone* sering kali terpapar udara dan air laut secara bergantian [11].

Pada kondisi tanpa linen di *splash zone*, perbandingan laju korosi menunjukkan bahwa penggunaan anoda korban aluminium berpori (B) secara konsisten memberikan efisiensi proteksi tertinggi dibandingkan anoda korban aluminium solid (D) dan tanpa anoda (E). Pada waktu pengujian 7, 30, dan 60 hari, anoda berpori mampu menurunkan laju korosi masing-masing sekitar 39,9–41,3% dibandingkan tanpa anoda, sedangkan anoda solid hanya mencapai penurunan sekitar 30,8–34,9%, dengan selisih efektivitas proteksi antara keduanya meningkat hingga $\pm 13,5\%$ seiring waktu. Efektivitas ini berkaitan dengan karakteristik aluminium (Al) sebagai material anoda korban yang memiliki massa jenis lebih ringan dan kapasitas arus lebih tinggi dibandingkan seng (Zn) dan magnesium (Mg) [15], serta dengan struktur berpori (metal foam) yang meningkatkan luas permukaan spesifik sehingga memperbesar area reaksi

elektrokimia pada anoda aluminium [16]. Secara prinsip, mekanisme ini bekerja melalui proteksi katodik, di mana baja tulangan dipaksa berperan sebagai katoda dan anoda aluminium yang lebih aktif mengalami korosi terlebih dahulu sebagai anoda korban [13].



Gambar 4.17 Grafik Laju Korosi Pada *Splash Zone* Dengan Linen

Berdasarkan Gambar 4.17, laju korosi baja tulangan beton ASTM A615 pada *splash zone* menunjukkan bahwa penggunaan kain linen kasar (A) yang dikombinasikan dengan anoda korban aluminium berpori menghasilkan laju korosi yang secara konsisten lebih rendah dibandingkan linen halus (C). Selisih penurunan laju korosi masing-masing tercatat sebesar 40,1% pada 7 hari, 23,1% pada 30 hari, dan 28,0% pada 60 hari, yang mengindikasikan efektivitas perlindungan yang lebih baik pada seluruh durasi pengujian.

Perbedaan kinerja ini menunjukkan bahwa struktur linen kasar lebih efektif dalam mempertahankan lapisan elektrolit air laut yang kontinu pada permukaan baja selama siklus basah–kering, sehingga reaksi elektrokimia proteksi katodik dapat berlangsung lebih stabil. Chen et al. melaporkan bahwa anoda korban tidak dapat bekerja secara optimal di *splash zone* tanpa keberadaan elektrolit yang kontinu, serta bahwa linen memiliki kemampuan serap dan retensi air laut yang lebih baik dibandingkan material kain lainnya, sehingga mampu menjaga kontinuitas arus

proteksi katodik [1]. Dalam kondisi elektrolit yang stabil tersebut, anoda aluminium berpori memberikan peningkatan kinerja melalui luas permukaan spesifik yang lebih tinggi akibat porositas, yang meningkatkan jumlah lokasi aktif reaksi elektrokimia serta menstabilkan distribusi arus proteksi. Peningkatan luas permukaan spesifik pada aluminium foam dilaporkan berbanding lurus dengan porositas dan berkontribusi terhadap efisiensi serta umur pakai anoda dalam sistem elektrokimia [16].

Dengan demikian, sinergi antara linen kasar sebagai media stabilisasi elektrolit dan anoda aluminium berpori sebagai sumber arus proteksi menghasilkan kondisi proteksi katodik yang lebih homogen dan efektif pada lingkungan *splash zone* yang sangat agresif.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil analisa penelitian di bab sebelumnya dapat disimpulkan bahwa ;

1. Pengendalian laju korosi baja atau bisa disebut proteksi katodik metode anoda korban dengan menggunakan aluminium berpori terbukti efektif dibandingkan anoda korban aluminium solid dalam menurunkan nilai laju korosi baja, karena pada penelitian ini seluruh sampel baja yang dilindungi anoda korban aluminium memiliki nilai laju korosi yang lebih rendah bila dibandingkan dengan material baja yang sama jenisnya akan tetapi tidak diberi perlindungan anoda korban aluminium.
2. Zona atau area sampel *splash zone* sangat berpengaruh terhadap nilai laju korosi karena sampel yang berada pada kondisi *splash zone* memiliki nilai laju korosi yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan sampel material yang sejenis tetapi pada posisi terendam dan atmosfer dikarenakan jika sampel berada pada posisi *splash zone* semakin tinggi kadar oksigen dan terpapar gelombang laut di sekelilingnya sehingga mempercepat laju korosi pada material baja.
3. Nilai laju korosi tertinggi adalah pada area *splash zone* di antara area terendam dan atmosfer dimiliki oleh sampel varian sampel (E) yang tidak mengaplikasikan kain linen pada area *splash zone* dan tidak dikombinasikan dengan anoda korban, Apabila dibandingkan dengan varian sampel (A), (B), (C) dan (D) yang dikombinasikan dengan anoda korban akan tetapi varian sampel (B) dan (D) pada area *splash zone* tidak mengaplikasikan kain linen hanya anoda korban saja. Sebaliknya untuk nilai laju korosi pada area *splash zone* terendahnya dimiliki oleh varian sampel (A) yang mengaplikasikan kain linen kasar pada area *splash zone* dan dikombinasikan dengan anoda korban berpori, Lapisan linen kasar yang basah menciptakan media elektrolit yang stabil,

sehingga anoda korban berpori dapat bekerja secara lebih efektif dalam melindungi area *splash zone*.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan pada penelitian laju korosi ini yaitu;

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai dampak korosi pada *splash zone* pada baja tulangan beton ASTM A615 yang terpapar gelombang, oksigen dan pasang surut air laut untuk dapat diketahui nilai laju korosinya secara pasti.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang jenis bahan kain lain untuk membentuk lapisan elektrolit yang stabil sebagai perlindungan korosi pada area *splash zone* dengan anoda korban.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang perlindungan korosi pada *splash zone* dengan memanfaatkan material anoda korban lain sebagai alternatif sistem proteksi korosi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Chen, Y. Huang, and X. Dong, "Study on the splash zone corrosion protection of carbon steel by sacrificial anode," *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 7, no. 5, pp. 4114–4120, 2012, doi: 10.1016/s1452-3981(23)19524-1.
- [2] R. T. Jurnal, "Penanggulangan Korosi Pada Pipa Gas Dengan Metode Cathodic Protection (Anoda Korban) Pt Pgn Solution Area Tangerang," *Power Plant*, vol. 5, no. 1, pp. 40–50, 1970, doi: 10.33322/powerplant.v5i1.109.
- [3] D. G. H. Adoe, W. Bunganaen, B. K. A. Mandala, P. Studi, and T. Mesin, "Analisis Pengaruh Temperatur Dan Perlakuan Korosi Terhadap Ketahanan Putus Tabung Silinder Asetilin Bermaterial Drum Besi Bekas (Baja AISI 1045)," *Lontar J. Tek. Mesin Undana*, vol. 07, no. 02, pp. 22–27, 2020.
- [4] M. Tampubolon, R. G. Gultom, L. Siagian, P. Lumbangaol, and C. Manurung, "Laju Korosi Pada Baja Karbon Sedang Akibat Proses Pencelupan Pada Larutan Asam Sulfat (H₂SO₄) dan Asam Klorida (HCl) dengan Waktu Bervariasi," *Sprocket J. Mech. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 13–21, 2020, doi: 10.36655/sproket.v2i1.294.
- [5] A. Serbuk *et al.*, "Analisis Pengaruh Variasi Sudut Blasting dengan Coating Campuran Epoxy dan," vol. 8, no. 1, 2019.
- [6] Amri Abdulah, A. Solehudin, and H. Nugraha, "Analisa Dampak Laju Korosi Terhadap Kekuatan Oven Wire Belt (Baja Karbon AISI 1065)," *Teknologika*, vol. 9, no. 2, 2019, [Online]. Available: <http://jurnal.stt-wastukancana.ac.id/index.php/teknologika/article/view/12/8>
- [7] Eka Febriyanti, Amin Suhadi, Dedi Priadi, and Rini Riastuti, "ANALISIS MAMPU BENTUK BAHAN BAKU SELONGSONG MUNISI Cu-Zn 70/30 SETELAH DEFORMASI PADA SUHU 500Â°C = ANALYSIS FORMABILITY OF RAW MATERIALS CU - ZN MUNITIONS CASINGS 70/30 AFTER DEFORMATION AT TEMPERATURE 500Â°C," *Maj. Ilm. Pengkaj. Ind.*, vol. 9, no. 3, pp. 175–178, 2023, doi: 10.29122/mipi.v9i3.1648.

- [8] D. Rika Widianita, “Annas_Yuniar_Konsinyawan_-_061002104007,” *AT-TAWASSUTH J. Ekon. Islam*, vol. VIII, no. I, pp. 1–19, 2023.
- [9] PT Ranadityo Sukses Makmur, “PT. RANADITYO SUKSES MAKMUR Conveyor System & Corrosion Protection,” 2022. [Online]. Available: <http://www.ranadityo.co.id/>
- [10] P. Ardianto, “Pengaruh Cacat Coating dan Perbedaan Salinitas Terhadap laju Korosi Pada Daerah Splash Zone Menggunakan Material Baja A36,” *Undergrad. Thesis ITS*, pp. 12–15, 2017.
- [11] Dody Prayitno; Yudatama Mulia, “Diseminasi: Mesin Simulasi Splash Zone (Zona Terpercik) untuk Uji Korosi,” *KOCENIN J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 4, no. 2, pp. 47–53, 2024, [Online]. Available: <https://publikasi.kocenin.com/index.php/pkm>
- [12] C. G. Soares and T. A. Santos, *Advances in Maritime Technology and Engineering*, vol. 13. 2024. doi: 10.1201/9781003508762.
- [13] A. Goffar, “Rancangan Dasar Perhitungan Proteksi Katodik dengan Menggunakan Anoda Korban Pada Struktur Baja Anjungan Minyak di Lingkungan Air Laut,” *Lembaran Publ. Miny. dan gas bumi*, vol. 45, no. 1, pp. 79–90, 2022, doi: 10.29017/lpmgb.45.1.686.
- [14] E. J. Sasono, *Efektivitas Penggunaan Anoda Korban Paduan Aluminium pada Pelat Baja Kapal AISI 2512 terhadap Laju Korosi di dalam Media Air Laut*. 2010.
- [15] A. Rahman, “Pengaruh Kadar Seng (Zn) Pada Anoda Korban Aluminium Terhadap Struktur Mikro dan Karakteristik Proteksi,” *Inst. Teknol. Sepuluh Nop.*, vol. 21, no. 1, pp. 1–9, 2020.
- [16] Dody Prayitno, “METAL FOAM: HUBUNGAN LUAS PERMUKAAN SPESIFIK (m²/Kg) DENGAN POROSITAS,” *Metr. Ser. Teknol. Dan Sains*, vol. 5, no. 2, pp. 111–117, 2024, [Online]. Available: <https://publikasi.kocenin.com/index.php/teksi>

- [17] Romania, S. Mizhar, Yulfitra, and Suherman, “Kajian Perubahan Distribusi Kekerasan dan Perubahan Struktur Mikro Pada Proses Quench Terhadap Variasi Diameter Dalam Dari Baja Karbon Sedang Tipe SAE 1040,” *J. Mek.*, vol. 3, no. 2, pp. 78–85, 2017.
- [18] I. Nur Fathoni, “Baja Karbon Rendah dan Baja Tulangan Beton,” 2023.
- [19] X. Lv, “Corrosion behavior of ASTM A615 steel rebars embedded in concrete with ceramic waste dusts a partial replacement of portland cement,” *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 15, pp. 7754–7762, 2020, doi: 10.20964/2020.08.36.
- [20] Peto Anggun Wicaksono, “Analisis Kerusakan Struktur Tiang Pancang Baja Lepas Pantai Akibat Korosi,” Institut Teknologi Bandung (ITB), 2006.
- [21] I. Saefuloh *et al.*, “The study of corrosion behaviour api 5l steel in sea water using immersion test method,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 909, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/909/1/012030.