

**SKRIPSI**

**ANALISIS KEBUTUHAN DAN PELETAKAN ZINC ANODE  
BANGUNAN BARU KAPAL FERRY**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**MUH. SYAIFULLAH. A  
D081191021**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KELAUTAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ANALISIS KEBUTUHAN DAN PELETAKAN ZINC ANODE  
BANGUNAN BARU KAPAL FERRY

Disusun dan diajukan oleh

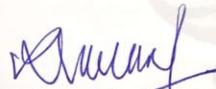
Muh. Syaifullah. A  
D081191021

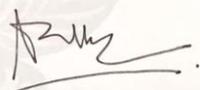
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana pada Program Studi Teknik Kelautan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 29/08/2023  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Utama,

  
Prof. Daeng Paroka, ST., MT., Ph.D  
NIP. 19720118 199802 1 001

  
Ir. Juswan, MT.  
NIP. 19621231 198903 1031

Ketua Program Studi,

  
  
Dr. Ir. Chairul Haetonan, ST., MT.  
NIP. 19750605 200212 1003

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;  
Nama : Muh. Syaifullah. A  
NIM : D081191021  
Program Studi : Teknik Kelautan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

*Analisis Kebutuhan dan Peletakan Zinc Anode Bangunan Baru Kapal Ferry*

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 20 Agustus 2023

Yang Menyatakan,

  
Muh. Syaifullah. A  
D081191021

## ABSTRAK

**MUH. SYAIFULLAH. A.** Analisis Kebutuhan dan Peletakan *Zinc Anode* Bangunan Baru Kapal Ferry. (dibimbing oleh Prof. Daeng Paroka, ST., MT., Ph.D dan Ir. Juswan, MT.)

Struktur bangunan laut (kapal, anjungan lepas pantai, pipa bawah laut dan bangunan apung lainnya) yang beroperasi tidak terhindar dari korosi. Salah satu sumber kerusakan terbesar pada kapal laut adalah disebabkan oleh korosi air laut. Sampai saat ini penggunaan besi dan baja sebagai bahan utama pembuatan kapal masih dominan. Korosi merupakan suatu proses degradasi dari suatu logam yang dikarenakan terjadinya reaksi kimia antara logam tersebut dengan lingkungannya. Tujuan dari penelitian ini adalah bagaimana mengetahui kebutuhan *zinc anode* dan jarak pemasangan yang efisien serta biaya yang dibutuhkan dalam pengadaan proteksi katodik tersebut. Kavitasasi merupakan faktor yang sering terjadi di sekitar baling-baling atau propeller. Saat baling-baling atau propeller berputar di dalam air, tekanan rendah di sekitar permukaan baling-baling dapat menyebabkan uap air terbentuk dan berubah menjadi gelembung-gelembung kavitasasi. Ketika gelembung-gelembung ini sudah pecah, efek erosi pada permukaan benda yang terkena akan cepat terkorosi. Sehingga pemasangan anoda korban pada bagian buritan dipasang sedikit rapat. Metode yang digunakan dalam mengendalikan laju korosi yaitu dengan cara melindungi pelat baja menggunakan proteksi katodik (*cathodic protection*). Oleh karena itu setiap kapal yang dibangun perlu dilakukan perencanaan *zinc anode* untuk mengendalikan laju korosi pada pelat baja kapal. Jumlah *zinc anode* yang dibutuhkan pada kapal bangunan baru dengan panjang 72,76 m, lebar 14 m dan tinggi sarat 3,30 m sebanyak 55 buah dengan penambahan 30% dari jumlah total pada bagian buritan akibat faktor kavitasasi. Umur desain proteksi *zinc anode* selama 2,5 tahun dengan bentuk *longated flush mounted (welded type)* tipe s-8 dimensi (300 mm × 150 mm × 25 mm) berat 8 kg. Jarak pemasangannya adalah 3 m dan 1,3 m dengan biaya yang dibutuhkan pada instalasinya sebesar Rp. 40.530.000.

Kata Kunci: Kavitasasi, Korosi, *Zinc Anode*

## **ABSTRACT**

**MUH. SYAIFULLAH. A.** *Analysis of Needs and Placement of Zinc Anode for New Ferry Ship Buildings. (Mentored Prof. Daeng Paroka, ST., MT., Ph.D dan Ir. Juswan, MT.)*

*Marine structures (ships, offshore platforms, underwater pipelines and other floating structures) that are in operation cannot avoid corrosion. One of the biggest sources of damage to ships is caused by seawater corrosion. Until now, the use of iron and steel as the main material for shipbuilding is still dominant. Corrosion is a process of degradation of a metal due to a chemical reaction between the metal and its environment. The purpose of this research is how to find out the need for zinc anode and the efficient installation distance as well as the costs required in procuring the cathodic protection. Cavitation is a factor that often occurs around the propeller or propeller. When the propeller or propeller rotates in water, the low pressure around the surface of the propeller can cause water vapor to form and turn into cavitation bubbles. When these bubbles have burst, the erosion effect on the surface of the object it hits will be quickly corroded. So that the installation of the sacrificial anode on the stern is installed a little tight. The method used in controlling the corrosion rate is by protecting the steel plate using cathodic protection. Therefore, every ship that is built needs to be carried out with zinc anode planning to control the corrosion rate on the ship's steel plate. The amount of zinc anode needed on a newly built ship with a length of 72.76 m, a width of 14 m and a draft height of 3.30 m is 55 pieces with an addition of 30% of the total amount in the stern due to the cavitation factor. The design life of the zinc anode protection is 2.5 years with the longated flush mounted (welded type) type s-8 dimensions (300 mm x 150 mm x 25 mm) weighing 8 kg. The installation distance is 3 m and 1.3 m with the cost required for the installation of Rp. 40.530.000.*

Keywords: *Cavitation, Corrosion, Zinc Anode*

## DAFTAR ISI

### SAMPUL

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI ..** .....Error! Bookmark not defined.

**PERNYATAAN KEASLIAN .....** **i**

**ABSTRAK .....** **ii**

**ABSTRACT .....** **iv**

**DAFTAR ISI .....** **v**

**DAFTAR GAMBAR .....** **vii**

**DAFTAR TABEL .....** **viii**

**DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL .....** **ix**

**DAFTAR LAMPIRAN .....** **x**

**KATA PENGANTAR .....** **xi**

**BAB I PENDAHULUAN .....** **1**

1.1 Latar Belakang ..... 1

1.2 Rumusan masalah ..... 3

1.3 Tujuan Penelitian ..... 4

1.4 Manfaat penelitian ..... 4

1.5 Batasan Masalah ..... 4

**BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....** **5**

2.1 Sistem Produksi ..... 5

2.2 Korosi ..... 6

2.3 Mekanisme Korosi ..... 8

2.4. Pasivitas ..... 11

2.5. Sistem Proteksi ..... 12

2.6. Proteksi Katodik ..... 12

2.7. Perencanaan Proteksi Katodik Pada Kapal ..... 16

2.8 Proteksi Katodik Anoda Korban ..... 20

**BAB III METODE PENELITIAN .....** **24**

3.1 Lokasi Penelitian ..... 24

3.2 Sumber dan Jenis Penelitian ..... 24

3.3 Prosedur Penelitian ..... 24

3.4 Diagram Alir Penelitian ..... 26

**BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....** **27**

4.1. Data Utama Kapal .....	27
4.2. Perhitungan Luasan Proteksi .....	27
4.3. Menghitung Laju Korosi dan Kebutuhan Arus .....	29
4.4. Menentukan Kebutuhan <i>Zinc Anode</i> .....	32
4.5. Rencana Peletakan <i>Zinc Anode</i> .....	35
4.6. Estimasi Pengadaan dan Instalasi <i>Zinc Anode</i> .....	36
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>37</b>
5.1 Kesimpulan .....	37
5.2 Saran .....	37

#### **DAFTAR PUSTAKA**

#### **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Ilustrasi Korosi .....	2
Gambar 2.1 Korosi Pada Pelat .....	6
Gambar 2.2 Korosi pada Pelat Kapal .....	7
Gambar 2.3 Mekanisme Korosi .....	9
Gambar 2.4 Ilustrasi Korosi Besi .....	10
Gambar 2.5 Ilustrasi Korosi pada Seng .....	10
Gambar 2.6 Kurva pasivitas .....	11
Gambar 2.7 Skema Sistem CP SACP .....	15
Gambar 2.8 Skema Sistem ICCP .....	16
Gambar 2.9 <i>Longated flush-mounted zinc anode</i> .....	21
Gambar 2.10 Korosi pada Buritan Kapal .....	23
Gambar 3.1 Lokasi penelitian PT. Industri Kapal Indonesia (Persero) .....	24
Gambar 4.1 Bagian Perhitungan Luas .....	28
Gambar 4.2 Hasil Pengujian Ketebalan Pelat .....	31

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Anoda korban zink dalam aplikasi media air laut .....	17
Tabel 2.2 Desain arus rata-rata densitas berdasarkan kedalaman dan iklim.....	19
Tabel 2.3 Konstanta ( $k_1$ dan $k_2$ ) untuk perhitungan faktor kerusakan pelapis ...	19
Tabel 2.4 Desain nilai efisiensi elektrokimia anoda korban Al dan Zn .....	20
Tabel 2.5 Data Desain Anoda .....	21
Tabel 3.1 Ukuran Utama Kapal .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4.4 Perhitungan estimasi biaya <i>zinc anode</i> pada kapal bangunan baru ..	36

## DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan	Satuan
$\Sigma AK_{total}$	Jumlah total anoda korban	Buah
K	Keliling Kapal	m
$J_{AK}$	Jarak antar anoda korban	m
$m_{AK}$	Massa per-unit anoda korban	Kg
m	Massa anoda korban	Kg
$\Sigma AK$	Jumlah anoda korban	Buah
$\epsilon$	Efisiensi elektrokimia (Ah/kg)	Ah/Kg
$\mu$	Faktor guna anoda korban = 0,85	-
T	Umur proteksi yang direncanakan	Tahun
$I_c$	Kebutuhan arus proteksi	Ampere
p	Faktor guna untuk kapal	-
B	Lebar kapal	Meter
T	Sarat air	m
Lbp	Panjang antar garis tegak	m
$\rho$	Massa jenis pelat baja	gram/cm <sup>3</sup>
k	Konstanta = $8,76 \times 10^4$	-
A	Luas pelat kapal yang tercelup air	m <sup>2</sup>
$m\Delta$	Selisih massa awal dan massa akhir	m <sup>2</sup>
$C_R$	Laju korosi	mm/tahun
h	Jarak antar gading	m
$\Sigma$	Jumlah kali ordinat dengan faktor sipmson	m <sup>2</sup>
A	Luas proteksi	m <sup>2</sup>
Ah	Ampere per jam	-

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Simpson

Lampiran 2. Rencana Peletakan *Zinc Anode*

Lampiran 3. Rencana Peletakan *Zinc Anode* Bukan Kulit

Lampiran 4. Data Anoda dan Harga Satuan *Zinc Anode*

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.*

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadiran Allah SWT bahwasanya penulis dapat menyelesaikan Skripsi. Salawat serta salam penulis panjatkan kehadiran Nabi Muhammad SAW. Skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan di Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, dengan judul:

### “ANALISIS KEBUTUHAN DAN PELETAKAN *ZINC ANODE* BANGUNAN BARU KAPAL FERRY”

Teristimewa penulis haturkan terima kasih kepada kedua orang tua penulis Bapak **Amiruddin** dan Ibu **Fitiriani** yang selalu memberikan dukungan, motivasi, doa, nasehat, serta kesabaran yang luar biasa dalam setiap langkah penulis sampai tahap skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

Keberhasilan skripsi ini, tak luput pula berkat bantuan dari berbagai pihak yang diterima penulis, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Untuk itu dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan secara tulus dan ikhlas kepada yang terhormat:

1. Bapak **Prof. Daeng Paroka, ST., MT., Ph.D** selaku pembimbing utama yang telah meluangkan waktu dan pikiran untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga terselesaikannya penulisan skripsi ini.
2. Bapak **Ir.H.Juswan, MT.** selaku dosen pembimbing pendamping sekaligus kepala laboratorium riset manajemen produksi bangunan lepas pantai dan pekerjaan bawah air yang telah meluangkan waktu dan pikiran untuk memberikan bimbingan dan skripsi ini.
3. Bapak **Dr. Ir. Taufiqur Rachman, ST., MT., IPM.** Dan Bapak **Fuad Mahfud Assidiq, ST., MT** selaku dosen penguji yang memberikan kritik dan saran yang membangun pada skripsi ini.
4. Bapak **Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT.,** selaku Ketua Departemen Teknik Kelautan yang telah mengesahkan skripsi ini.
5. Seluruh **Dosen Departemen Teknik Kelautan** yang telah memberikan pengalaman dan pengetahuannya kepada penulis selama proses perkuliahan.

6. **Staf Administrasi Departemen Teknik Kelautan** yang telah membantu segala aktivitas administrasi selama perkuliahan.
7. Untuk **Risal, Sriwahdana, Jalil, Ahmad Faiq, Muhahmmad Fadhil Arsy dan Rahmadani Japri** selaku teman labo, terkhusus **Natasha Dewanti Tuharea dan Andika Sarifuddinn** selaku teman angkatan 2019 penulis yang selalu memberikan dukungan dan semangat dalam penegerjaan skripsi ini.
8. **Teman-teman Mahasiswa khususnya Teknik Kelautan 2019** yang telah menjadi keluarga penulis selama perkuliahan dan selalu memberikan motivasi dan dukungannya membantu penulis hingga menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Kepada seluruh pihak yang tak sempat penulis ucapkan satu per satu, terima kasih yang sebesar-besarnya untuk segala sumbangsih selama proses penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu saran dan kritik sangat penulis harapkan sebagai bahan untuk menutupi kekurangan dari penulisan skripsi ini. Penulis berharap semoga tulisan ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu Teknik Kelautan, bagi pembaca umumnya dan penulis pada khususnya.

*Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.*

Gowa, 20 Agustus 2023

Muh. Syaifullah. A



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Struktur bangunan laut (kapal, anjungan lepas pantai, pipa bawah laut dan bangunan apung lainnya) yang beroperasi tidak terhindar dari korosi. Salah satu sumber kerusakan terbesar pada kapal laut adalah disebabkan oleh korosi air laut. Sampai saat ini penggunaan besi dan baja sebagai bahan utama pembuatan kapal masih dominan (Widianingrum, 2021).

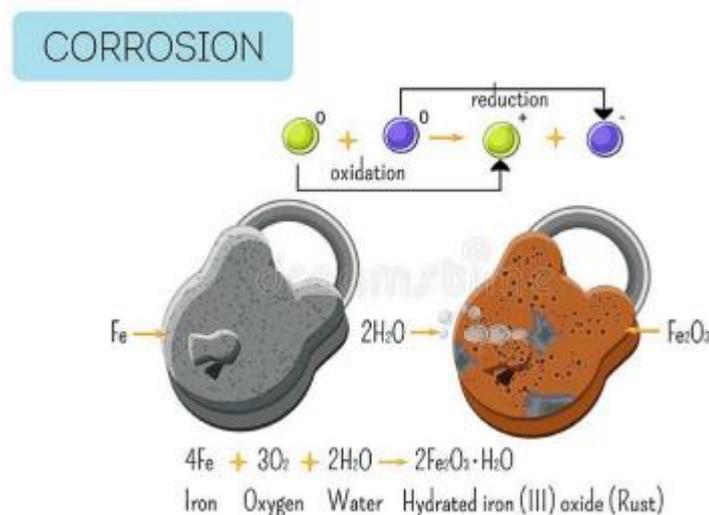
Korosi menjadi hal yang penting untuk diperhatikan dalam dunia industri dan perkapalan karena menjadi salah satu tantangan yang menyebabkan kegagalan baik fungsi maupun operasional sebuah peralatan dalam menjalankan fungsinya. Peristiwa korosi dapat menimbulkan beberapa hal seperti fasilitas produksi berhenti diluar jadwal perawatan, plat bocor sehingga fluida yang ada didalamnya mencemari lingkungan dan sering terjadi kerusakan yang bahkan fatal dan menimbulkan jatuhnya korban jiwa (Ariani, 2021)

Korosi adalah suatu peristiwa alamiah yang tidak dapat dihilangkan atau ditiadakan namun dapat dikendalikan dengan memproteksi material dari reaksi dengan lingkungan. Salah satunya adalah dengan proteksi katodik baik sistem proteksi katodik anoda korban (*Sacrificial anode*) maupun proteksi katodik arus tanding (*Impressed current*). Proteksi katodik sistem anoda korban dan proteksi katodik sistem arus tanding telah digunakan secara meluas dalam industri dan konstruksi. Desain yang digunakan merupakan perpaduan antara pengalaman dan data eksperimen (Darmawi dkk, 2022).

Korosi merupakan suatu proses degradasi dari suatu logam yang dikarenakan terjadinya reaksi kimia antara logam tersebut dengan lingkungannya (Roberge,2008). Penggunaan besi dan baja untuk bangunan kapal memang cukup memadai. Tetapi besi dan baja sangat reaktif dan mempunyai kecenderungan yang besar untuk terserang korosi air laut. Teori terbentuknya korosi dalam jabaran teori klasik dan modern. Terori klasik mendasarkan proses elektrokimia sedangkan teori modern pada hukum termodinamika. Dalam teori klasik penyebab korosi terbagi atas 3 hal penyebab yaitu reaksi elektrokimia, lingkungan dan faktor sifat metalurgi dari logam – logam. Proses elektrokimia terbagi menjadi 3 hal yaitu elektrokimia, polarisasi dan pasivitasi. Reaksi elektrokimia menjelaskan bahwasanya korosi timbul akibat ketidakhomogen

unsur penyusun dalam material itu sendiri. Polarisation dalam suatu reaksi elektrokimia dapat terjadi karena adanya proses yang berkurang laju reaksinya dari kondisi semula, polarisation menjadi pelapis yang berpengaruh terhadap tingkat pH dan konsentrasi ion elektrolit. Sedangkan senyawa oksida logam dapat terjadi melalui proses pasivitas, dalam proses ini senyawa oksida logam terbentuk di permukaan.

Pasivitas dinilai menguntungkan walaupun sebenarnya peristiwanya sama dengan perkaratan yang dapat dilihat pada Gambar 1.1 akan tetapi terjadi hanya pada permukaannya saja. Faktor lingkungan merupakan faktor eksternal yang secara logika seharusnya menjadi faktor yang dapat mengendalikan karena sifatnya sebagai pengaruh luar, sedangkan faktor sifat metalurgi material adalah sifat bawaan material yang sulit dikendalikan kecuali dengan rekayasa khusus.



Gambar 1.1 Ilustrasi Korosi  
 Sumber: <https://dreamstime.com>

Dari segi konstruksi pada kapal laut, pelat lambung kapal adalah daerah yang pertama kali terkena air laut. Pada daerah lambung ini bagian bawah air ataupun daerah atas air rentang terkena korosi. Korosi pada pelat badan kapal dapat mengakibatkan turunnya kekuatan dan umur pakai kapal, mengurangi kecepatan kapal serta mengurangi jaminan keselamatan dan keamanan muatan barang dan penumpang. Untuk menghindari kerugian yang lebih besar akibat korosi air laut, maka perawatan dan pemeliharaan kapal harus dilakukan secara berkala.

Korosi pada logam terjadi karena adanya aliran arus listrik dari satu bagian logam ke bagian yang lain di permukaan logam akibat adanya perbedaan potensial antara kedua bagian. Aliran arus ini akan menyebabkan hilangnya metal pada bagian dimana arus dilepaskan ke lingkungan (reaksinya disebut oksidasi atau reaksi anodik), dipihak lain terjadi reaksi reduksi, yaitu penerimaan elektron oleh bagian katodik logam. Akseptor elektron ini bisa juga dilakukan oleh ion  $H^+$  dalam lingkungan (media), sehingga terjadi gas  $H_2$ . Selain itu, tidak diantisipasi korosi dari awal dapat mengakibatkan banyak kerugian baik dalam segi materi maupun kefatalan yang menelan korban jiwa. Presentase kerugian yang terjadi karena proses korosi diperkirakan terus meningkat setiap tahunnya, dari beberapa sumber data dan laporan dari negara –negara dapat dikatakan bahwa angka kerugian yang terjadi berbanding lurus dengan perhitungan meningkatnya perkaratan yang terjadi (Darmawi dkk, 2022).

PT. Industri Kapal Indonesia adalah perusahaan galangan kapal milik pemerintahan Indonesia yang berkantor pusat di Makassar, Sulawesi Selatan. PT. IKI sebagai Pusat Industri Maritim bagi Indonesia Timur terutama untuk kapal perikanan, Kapal Penumpang, Ferry (RO-RO), Cargo dan setiap industri proyek terkait. Kapal yang beroperasi tentunya akan mengalami proses korosi. Akibatnya akan terjadi penurunan ketebalan dari pelat baja dan efektivitas kerja kapal. Dalam menunjang kinerja kapal pada saat beroperasi, agar tetap berjalan lebih baik perlu didukung fasilitas yang memadai dalam mengendalikan korosi pada pelat baja.

Metode yang digunakan dalam mengendalikan laju korosi yaitu dengan cara melindungi pelat baja menggunakan proteksi katodik (*cathodic protection*). Oleh karena itu setiap kapal yang dibangun perlu dilakukan perencanaan *zinc anode* untuk mengendalikan laju korosi pada pelat baja kapal.

## 1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah yang menjadi kajian dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana menentukan kebutuhan *Zinc Anode* sebagai proteksi katodik pelat baja pada bangunan kapal baru ?
2. Bagaimana menentukan peletakan/pemasangan *Zinc Anode* pada bangunan kapal baru ?

3. Berapa besar biaya yang dibutuhkan dalam proses instalasi proteksi katodik pada bangunan kapal baru ?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan kebutuhan *zinc anode* untuk proteksi katodik pada bangunan kapal baru.
2. Menentukan peletakan/pemasangan *zinc anode* pada bangunan kapal baru.
3. Menentukan biaya yang dibutuhkan dalam pengadaan dan instalasi *zinc anode* pada bangunan kapal baru.

### 1.4 Manfaat penelitian

Manfaat penelitian ini adalah :

1. Memberikan analisis kebutuhan *zinc anode* untuk proteksi katodik pada pelat baja.
2. Memberikan saran komposisi *zinc anode* dalam perencanaan proteksi katodik.
3. Memberikan analisis peletakan kebutuhan *zinc anode*.
4. Sebagai bahan pertimbangan dari pihak pengelola industri galangan maupun *owner surveyor* dalam perencanaan.

### 1.5 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah diatas, permasalahan dibatasi oleh hal – hal sebagai berikut :

1. Analisis kebutuhan proteksi katodik hanya pada bagian sarat kapal.
2. Menggunakan metode proteksi katodik dengan anoda korban yaitu *zinc anode*.
3. Estimasi biaya yang dihitung hanya biaya *zinc anode* dan biaya instalasi.
4. Kapal bangunan baru yang diinvestigasi di PT. Industri Kapal Indonesia, Makassar.
5. Luasan yang dihitung berdasarkan bukaan kuliat.
6. Jenis *Zinc Anode* yang digunakan secara bebas dalam perencanaan.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sistem Produksi

#### 2.1.1. Bangunan Kapal Baru

Pembangunan kapal baru (*Ship Building*) merupakan salah satu kegiatan industri perkapalan yakni melakukan kegiatan produksi untuk menghasilkan suatu kapal baru sesuai kontrak atau perjanjian yang disepakati. Dalam membangun sebuah kapal dibutuhkan sebuah metode pembangunan kapal untuk menyelesaikan proses pembuatan kapal tersebut. Metode proses produksi kapal ini berkembang setiap saat. Perkembangan metode ini bertujuan untuk mempermudah dalam proses pengerjaan agar kapal dapat diselesaikan dengan waktu yang cepat.

Pembuatan kapal adalah merupakan suatu industri assembling (*assembly industry*). Prinsip utamanya terletak pada usaha untuk membeli berbagai material pabrikan setengah jadi dan siap pakai serta peralatan dari berbagai perusahaan serta menggabungkan material tersebut secara efisien untuk membentuk suatu kapal. Terdapat lima kategori utama untuk *marine manufacturing*, yaitu: mesin propulsi (*propulsion machinery*), alat pendorong (*propulsors*), sistem pelayanan muatan (*cargo-handling systems*), sistem olah gerak dan tambat (*steering and mooring systems*) dan sistem navigasi (Hetharia, 2019).

#### 2.1.2. Tahap Pembangunan Kapal Baru

Untuk membangun sebuah kapal dibutuhkan perencanaan yang berisi tahap-tahap pengerjaan pembangunan sebuah kapal, diantaranya :

- a. Proses perencanaan kapal (perhitungan dan gambar kapal)
- b. Proses *mouldloft* (lantai gambar)
- c. Proses *sand blasting* dan *primer coating*
- d. Proses *keel laying* (peletakan lunas)
- e. Proses fabrikasi (*marking, cutting, forming*)
- f. Proses *Sub Assembly/Assembly*
- g. Proses *erection*, metode pembangunan
- h. Proses *outfitting (electrical, & piping instalation)*
- i. Proses *painting*

- j. Proses tes kebocoran (las dan tanki)
- k. Proses peluncuran kapal (*launching*)
- l. Proses *sea trial*.

Fase kedua dalam suatu program pengadaan kapal adalah berhubungan dengan desain. Desain, dalam konteks ini berarti proses persiapan perhitungan, model teknis (gambar-gambar), spesifikasi dan mendukung pekerjaan-pekerjaan ini dengan *test experimen* jika diperlukan. Fase desain membentuk suatu transisi dari persyaratan-persyaratan fase perencanaan. Fase desain menetapkan suatu konfigurasi, bentuk, dimensi, layout/susunan dan karakter lainnya yang dapat direpresentasi secara visual yang dapat dipresentasikan pada cetakan kertas, atau di komputer sebagai hasil model 3-D (Hetharia, 2019).

## 2.2 Korosi

Korosi adalah proses degradasi material yang disebabkan oleh reaksi kimia dengan lingkungan sekitarnya. Korosi terjadi ketika suatu material bereaksi dengan gas, cairan, atau zat padat tertentu yang menyebabkan perubahan pada sifat fisik dan kimianya. Korosi dapat terjadi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 dengan berbagai jenis material, termasuk logam, polimer, dan keramik. Beberapa faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi proses korosi antara lain kelembaban, pH, suhu, tekanan, dan adanya zat korosif seperti oksigen, asam, atau garam (Roberge , 2008).



Gambar 2.1 Korosi Pada Pelat

Korosi dapat menyebabkan kerusakan pada struktur dan komponen yang terbuat dari material yang korosif, seperti pipa, tangki, dan mesin. Oleh karena itu, penting untuk memahami sifat korosi dan teknik perlindungan untuk mencegah kerusakan dan memperpanjang umur material dan struktur tersebut.

Proses korosi melibatkan serangkaian reaksi elektrokimia, dimana logam yang teroksidasi (anoda) melepaskan elektron dan berubah menjadi ion positif, sedangkan elektron yang terlepas mengalir melalui elektrolit menuju logam yang dilindungi (katoda). Korosi terjadi ketika reaksi ini berlangsung secara terus-menerus, mengakibatkan kerusakan dan degradasi material (Roberge, 2008) yang dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Korosi pada Pelat Kapal

Korosi didefinisikan sebagai kehancuran atau kerusakan material karena adanya reaksi dengan lingkungannya. Korosi merupakan suatu kerusakan pada material (umumnya logam) dikarenakan reaksi elektrokimia antara material dengan lingkungannya. Korosi terjadi akibat adanya proses transfer elektron dari logam ke lingkungannya. Logam bertindak sebagai anoda dan lingkungan sebagai penerima elektron. Proses korosi terjadi secara alami dan tidak dapat dicegah, namun dapat dikendalikan dengan cara memperlambat laju korosinya.

Proses ini menyebabkan logam akan hilang membentuk senyawa yang lebih stabil. Korosi adalah reaksi kimia yang dihasilkan dari dua reaksi setengah sel yang melibatkan elektron sehingga menyebabkan suatu reaksi elektrokimia. Dua

reaksi setengah sel tersebut berupa reaksi oksidasi pada anoda dan reaksi reduksi pada katoda. Terjadinya pertukaran elektron menunjukkan hubungan antara massa yang dibebaskan (Gapsari, 2017).

Korosi tidak dapat dicegah maupun dihentikan langsung, karena korosi adalah salah satu proses alamiah dalam suatu reaksi elektrokimia. Korosi hanya bisa dikendalikan atau diperlambat lajunya sehingga memperlambat proses perusakannya.

Dampak yang ditimbulkan korosi dapat dibagi menjadi dua yaitu :

- a. Kerugian langsung adalah berupa terjadinya kerusakan pada peralatan, permesinan atau struktur bangunan. Kerugian langsung berakibat timbulnya biaya penggantian part maupun kerugian karena terhentinya aktivitas produksi. Beberapa fatal mengakibatkan kerugian materi dan jiwa.
- b. Kerugian tidak langsung dapat diilustrasikan sebagai akibat sekunder yang timbul dari proses korosi. Seperti terhambatnya proses produksi karena kegagalan komponen yang terkorosi, penurunan efisiensi perpindahan panas karena terkorosinya *heat exchanger* maupun penurunan produktifitasnya.

Akan tetapi selain kerugian yang ditimbulkan sangat banyak dampak positif dari korosi juga ada yaitu :

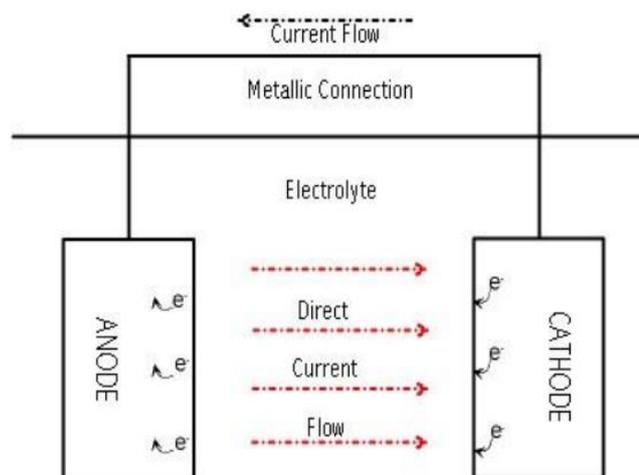
- a. Bermunculannya industri cat, pekerjaan *coating dan blasting*
- b. Munculnya pekerjaan proteksi katodik

### **2.3 Mekanisme Korosi**

Proses pengikisan atau kerusakan pada material yang terjadi karena adanya reaksi kimia atau elektrokimia antara material dan lingkungan korosif. Mekanisme korosi yang terjadi pada material seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3, antara lain :

- a. Korosi Umum (*General Corrosion*) terjadi secara merata pada seluruh permukaan material yang terkena lingkungan korosif.
- b. Korosi Elektrokimia (*Electrochemical Corrosion*) terjadi karena adanya proses elektrokimia antara material dan lingkungan korosif. Mekanisme ini meliputi korosi sel, korosi galvanik, dan korosi celah.

- c. Korosi Sel (*Pitting Corrosion*) terjadi pada permukaan material yang terkena lingkungan korosif yang mengandung ion – ion yang berbeda disekitarnya. Terjadi reaksi elektrokimia pada area kecil yang menyebabkan terbentuknya celah permukaan material.
- d. Korosi Galvanik (*Galvanic Corrosion*) terjadi karena adanya kontak antar dua jenis material yang berbeda dan terkena lingkungan korosif. Terjadi proses elektrokimia di antara kedua material tersebut, yang menyebabkan material yang lebih reaktif terkorosi lebih cepat
- e. Korosi Celah (*Crevice Corrosion*) terjadi pada permukaan material yang terletak di dalam celah atau retakan, yang membuat lingkungan di dalamnya menjadi berbeda dengan lingkungan sekitarnya. Terjadi reaksi elektrokimia pada area kecil yang menyebabkan pengikisan pada permukaan material.

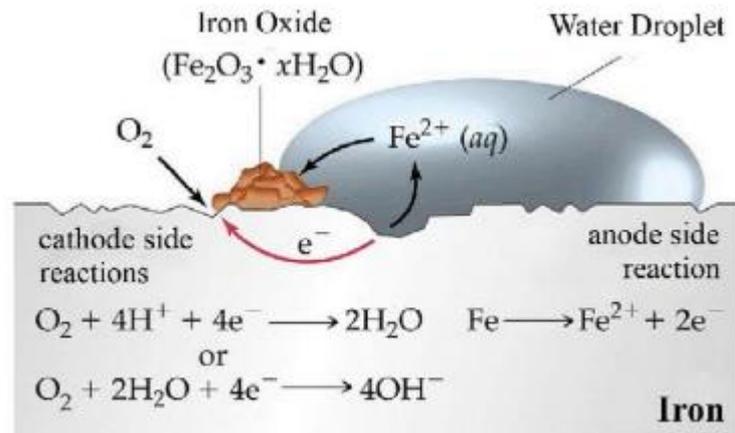


Gambar 2.3 Mekanisme Korosi

Korosi dapat pula diartikan sebagai perubahan struktur logam atau sebagai kerusakan logam akibat adanya interaksi dengan lingkungan yang korosif seperti larutan asam. Syarat terjadinya korosi adalah adanya bahan yang berperan sebagai anoda dan katoda sehingga terjadi perbedaan nilai potensial, elektrolit sebagai penghubung pertukaran elektron dan kontak antar logam yang secara jelas dapat dilihat pada Gambar 2.4 dan Gambar 2.5.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan korosi, seperti suhu, pH, kelembaban, kecepatan aliran, dan konsentrasi ion-ion korosif di lingkungan sekitar material. Semua faktor ini perlu diperhatikan dalam mencegah korosi dan

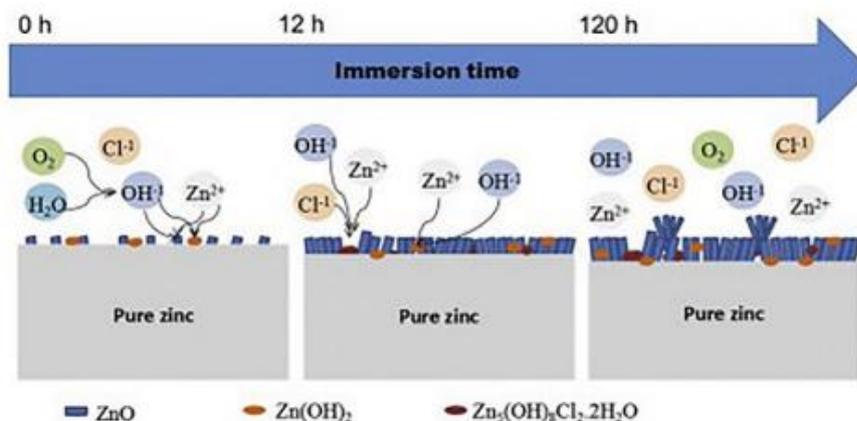
memilih teknik perlindungan yang tepat untuk material yang terkena dampak korosi (Gapsari, 2017)



Gambar 2.4 Ilustrasi Korosi Besi  
Sumber: Buku Pengantar Korosi Perkapalan, 2021

Agar sebuah proses korosi terjadi maka harus ada empat elemen yang dipenuhi yaitu :

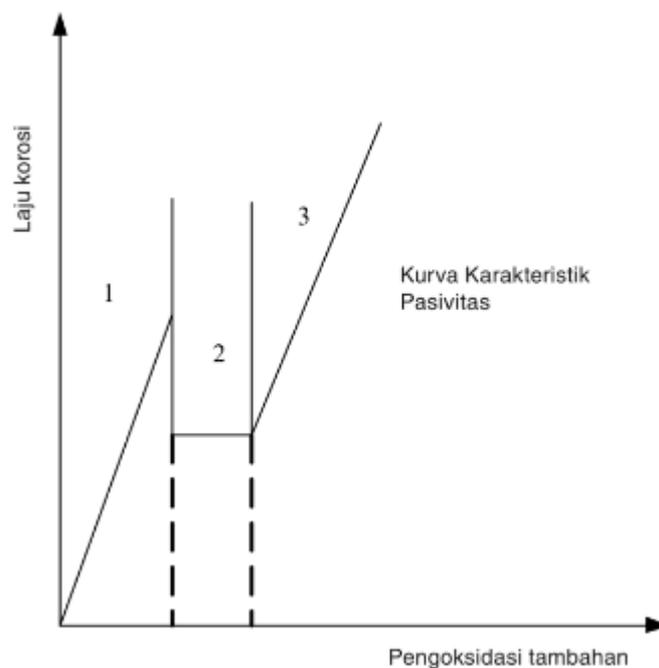
- Adanya Anode, didaerah ini merupakan tempat terjadinya reaksi oksidasi, daerah ini merupakan daerah yang terkorosi.
- Adanya Katode, tempat dimana terjadi reaksi reduksi, daerah ini merupakan wilayah pengkonsumsi elektron.
- Adanya hubungan/*Metalic Pathways*, adanya tempat arus mengalir dari katoda ke anoda.
- Adanya larutan elektrolit, larutan korosif yang mengalirkan arus.



Gambar 2.5 Ilustrasi Korosi pada Seng  
Sumber: Yao Meng, 2019

## 2.4. Pasivitas

Pasivitas adalah proses pengurangan daya reaktivitas suatu elemen korosi atau dapat juga disebut sebagai contoh reaksi antara logam terhadap kondisi lingkungan tertentu. Dengan proses pasivitas dan argenterium dikarenakan bersifat pasif. Namun, dengan keterbatasan ilmu logam, unsur kandungan logam masih sulit untuk membuat pasivitas secara sempurna. Hal ini dikarenakan adanya unsur penghambat pasivitas pada logam paduan yang cenderung kompleks. Unsur penghambat pasivitas ini diantaranya seperti uranium, zink, silicon, aluminium, magnesium, dan sebagainya (Roberge, 2008). Proses pasivitas ini dapat dilihat secara jelas pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Kurva pasivitas

Kondisi yang dimaksud dalam kurva dengan ditunjukkan angka 1, 2, 3, adalah kondisi karakteristik logam terhadap lingkungannya. Sebuah logam normal yang diletakkan pada media oksidator, akan mengalami reaksi oksidasi. Jika kadar oksidator ditambah secara periodik dan terus – menerus, akan menghasilkan kecepatan korosi yang bertambah juga. Tetapi jika terus ditambah lagi jumlah oksidatornya, setelah mencapai konsentrasi tertentu kecepatan korosi akan turun secara drastis. Selanjutnya dengan penambahan oksidator yang tidak dihentikan akan berakibat stabil pada kondisi tertentu. Keadaan inilah yang dalam keterangan diatas disebut kondisi pasif. Namun, untuk penambahan

oksidator yang diteruskan, maka kondisi pasivitas akan hilang dan timbul kenaikan laju korosi.

Selain itu bagaimana komposisi logam tersebut juga merupakan hal yang mendasar dalam hubungannya dengan proses korosi. Di samping sifat kimia, fisika, sifat mekanik sebuah logam, seperti kekuatan tarik (*tensile strength*), kekuatan tekuk (*flexure strength*), juga akan berpengaruh terhadap korosi. (Supomo, 2023).

## **2.5. Sistem Proteksi**

Sistem proteksi korosi adalah teknik-teknik yang digunakan untuk melindungi material dari kerusakan akibat korosi. Tujuan utama dari sistem proteksi korosi adalah untuk memperpanjang masa pakai material dengan mengurangi atau menghindari kerusakan akibat korosi. Sistem proteksi merupakan rangkaian metode dan teknik yang digunakan untuk melindungi struktur dan komponen yang terpapar lingkungan laut dari korosi atau karat. Korosi adalah proses degradasi logam yang disebabkan oleh reaksi dengan air laut dan elemen-elemen kimia lainnya (Dahlstrom, 2021).

Sistem proteksi korosi dapat dikelompokkan menjadi dua kategori, yaitu proteksi aktif dan proteksi pasif. Proteksi aktif melibatkan penggunaan sumber energi eksternal, seperti arus listrik atau senyawa kimia, untuk menghambat atau mencegah korosi. Sedangkan proteksi pasif melibatkan penggunaan lapisan pelindung atau inhibisi kimia untuk melindungi material dari korosi.

Proteksi katodik melibatkan penggunaan katoda sebagai sumber elektron untuk melindungi material anoda dari korosi. Proteksi anodik melibatkan penggunaan anoda sebagai sumber elektron untuk mengurangi laju korosi pada material katoda. Elektrolisis melibatkan penggunaan arus listrik untuk menghambat atau mencegah korosi.

## **2.6. Proteksi Katodik**

Proteksi katodik dilakukan dengan menempatkan logam yang lebih mudah terkorosi (anoda) secara elektrokimia di dekat logam yang akan dilindungi (katoda). Dalam proteksi katodik, arus listrik dialirkan melalui anoda yang terkorosi, sehingga logam anoda akan korosi daripada logam katoda.

Korosi terjadi di anoda dan tidak di katoda kecuali logam di katoda diserang oleh basa. Anoda dan katoda dalam proses korosi dapat berupa dua logam yang

berbeda yang terhubung satu sama lain, atau seperti yang terjadi pada baja yang berkarat, keduanya berdekatan di permukaan logam yang sama (Hermawan, 2019).

Dengan cara ini, logam katoda dilindungi dari korosi. Sistem proteksi katodik dapat diterapkan pada berbagai struktur pada bangunan kapal. Proteksi katodik dapat dilakukan dengan dua cara yaitu, Proteksi katodik anoda korban (*SACP*) dan proteksi katodik dengan arus listrik (*ICCP*) dapat dilihat pada Gambar 2.7 dan Gambar 2.8

#### 2.6.1. *Sacrificial Anode Cathodic Protection (SACP)*

Metode ini melibatkan penggunaan anoda yang lebih mudah terkorosi dari logam yang akan dilindungi. Anoda yang terkorosi akan berfungsi sebagai sumber arus listrik, sehingga logam yang akan dilindungi (katoda) dari korosi. Anoda korban dapat berupa magnesium, aluminium, atau seng.

Proteksi katodik dengan anoda korban sering digunakan pada struktur bawah air seperti kapal dan bangunan air. Anoda korban yang umum digunakan adalah magnesium, aluminium, atau seng. Anoda korban dipasang pada bagian logam yang lebih mudah terkorosi, dan diperiksa secara berkala untuk memastikan bahwa anoda masih berfungsi dengan baik dan belum habis terkorosi.

Adapun keunggulan dan kekurangan dari metode *SACP* ini adalah sebagai berikut :

1. Keunggulan dari metode *Sacrificial Anode Cathodic Protection*
  - a. Anoda korban dapat dipasang dengan mudah dan cepat, tanpa memerlukan keterampilan teknis yang khusus.
  - b. Lebih murah daripada sistem proteksi katodik yang lebih canggih.
  - c. Tidak memerlukan listrik untuk berfungsi, sehingga dapat digunakan di lokasi yang tidak memungkinkan pemasangan sistem proteksi katodik yang lebih canggih.
  - d. Dapat memberikan perlindungan yang sangat efektif terhadap korosi pada kapal karena terbuat dari bahan yang tepat dan dipasang dengan benar dapat mengurangi kecepatan korosi.

## 2. Kekurangan dari metode *Sacrificial Anode Cathodic Protection*

- a. Anoda korban memiliki umur pakai yang terbatas dan perlu diganti secara berkala untuk memastikan perlindungan yang efektif
- b. Anoda korban dapat kehilangan efisiensinya seiring dengan berjalannya waktu dan digunakan untuk melindungi logam di sekitarnya.

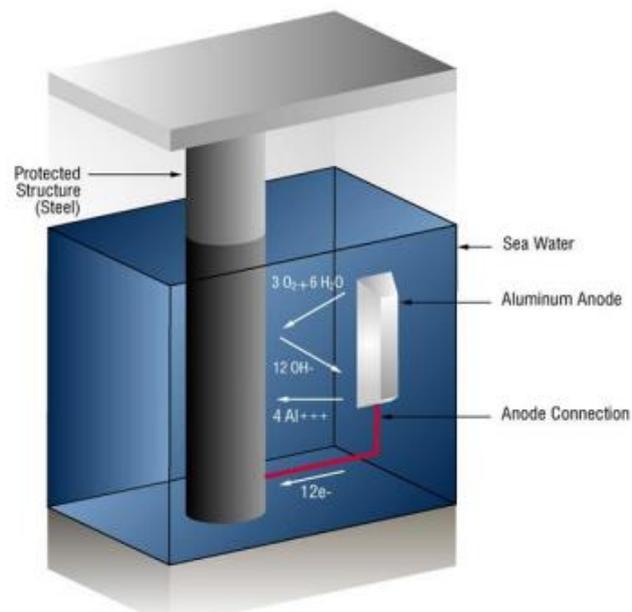
### 2.6.2. *Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)*

Metode ini melibatkan penggunaan arus listrik untuk melindungi logam dari korosi. Arus listrik dialirkan dari sumber eksternal ke logam yang akan dilindungi, sehingga logam tersebut menjadi katoda dan terlindungi dari korosi. Arus listrik dapat dihasilkan oleh baterai atau catu daya listrik.

Proses ini dapat dijelaskan dengan prinsip elektrokimia, dimana logam yang teroksidasi akan melepaskan elektron ke anoda, sedangkan logam yang direduksi akan menerima elektron dari anoda. Dalam proteksi katodik dengan arus listrik, anoda yang terhubung dengan logam yang akan dilindungi akan menjadi titik korosi yang dominan, sehingga mengurangi kecepatan korosi pada logam yang dilindungi.

Adapun keunggulan dan kekurangan metode *Impressed Current Cathodic Protection* adalah sebagai berikut :

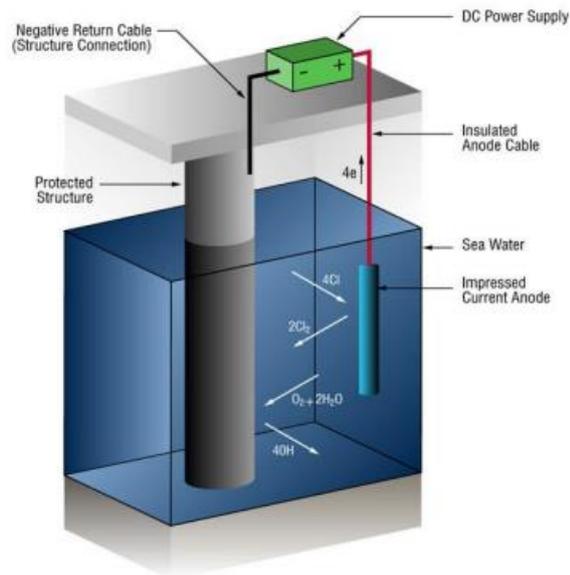
1. Keunggulan dari metode *Impressed Current Cathodic Protection*
  - a. Sistem *ICCP* lebih fleksibel dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan spesifik kapal.
  - b. Sistem *ICCP* dapat dipantau dengan mudah untuk memastikan bahwa sistem tersebut berfungsi dengan baik
  - c. Tidak memiliki komponen yang terbatas umur pakainya.
2. Kekurangan dari metode *Impressed Current Cathodic Protection*
  - a. Instalasi sistem *ICCP* memerlukan biaya yang lebih tinggi.
  - b. memerlukan sumber daya listrik yang cukup besar untuk menghasilkan arus listrik.



Gambar 2.7 Skema Sistem CP SACP  
Sumber: Deepwater Corrosion Services Ltd.

*Sacrificial Anode Cathodic Protection* menggunakan logam reaktif sebagai anoda luar yang dihubungkan secara elektrik kepada baja yang dilindungi. Perbedaan potensial alamiah antara anoda dan baja, seperti diindikasikan dengan posisi relatif mereka dalam deret galvanik, menyebabkan arus positif mengalir dari anoda ke dalam elektrolit lalu ke baja. Akibatnya semua permukaan baja menjadi bermuatan lebih negatif dan menjadi katoda. Logam reaktif yang umum digunakan sebagai anoda korban adalah aluminium (Al), seng (Zn) dan magnesium (Mg). Logam-logam ini kemudian dipadukan dengan unsur lain untuk meningkatkan performa jangka panjang dan karakteristik pelarutannya.

Keunggulan utama *Cathodic Protection* dibanding teknik pengendalian korosi lainnya adalah kesederhanaan aplikasi yang hanya melibatkan pemeliharaan sebuah sirkit DC dan efektifitasnya dapat dimonitor terus menerus. *Cathodic Protection* sangat umum diterapkan pada struktur yang dilapis (*coated*) untuk mengendalikan korosi di daerah lapisan tak berfungsi (cacat), dapat dilihat pada Gambar 2.8 sebagai berikut.



Gambar 2.8 Skema Sistem ICCP  
Sumber: Deepwater Corrosion Services Ltd.

ICCP menggunakan anoda inert (pelarutan nol atau rendah) dan sumber tenaga DC luar (AC yang disearahkan, *rectified*) untuk mengalirkan arus dari anoda luar ke permukaan katoda (baja) (Hermawan, 2019).

## 2.7. Perencanaan Proteksi Katodik Pada Kapal

Luas permukaan basah merupakan bagian dari luas bangunan permukaan desain bangunan bagian bawah kapal (*Bottom*) adalah bangunan yang terendam air laut, dibutuhkan berapa banyak anoda untuk yang diperlukan. tempat peletakan anoda korban dan lain sebagainya.

Prinsip *Cathodic Protection* ialah mengubah semua daerah di permukaan logam menjadi katoda dengan cara menghubungkan anoda dari luar kepada logam yang dilindungi dan melewatkan arus listrik DC. Anoda luar bisa berupa anoda galvanik dimana arus yang mengalir adalah hasil dari perbedaan potensial dua logam, atau berupa anoda arus tanding (*impressed current*) dimana arus dialirkan dari sumber tenaga DC dari luar. Dalam istilah elektrokimia, potensial listrik antara logam dan larutan elektrolit dibuat menjadi lebih negatif, dengan memberikan elektron (bermuatan negatif), ke sebuah nilai dimana reaksi korosi (anodik) tertahan dan hanya reaksi katodik yang berlangsung (Hermawan, 2019).

Rumus-rumus dan Tabel-Tabel yang diperlukan dalam perhitungan, mengacu pada standar DNV dan BKI yang terdapat pada Tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2.1 Anoda korban zink dalam aplikasi media air laut

Elemen	KI – Zn1	KI – Zn2
Al	0,001 – 0,500	≤ 0,010
Cd	0,025 – 0,070	≤ 0,004
Cu	≤ 0,005	≤ 0,005
Fe	≤ 0,005	≤ 0,0014
Pb	≤ 0,006	≤ 0,006
Zn	>99,220	≥ 99,880
Potential (T=20°C)	-1,030 Volt Ag/AgCl/See	-1,030 Volt Ag/AgCl/See
Qg (T=20°C)	780 Ah/kg	780 Ah/kg
Efficiency (T=20°C)	95%	95%

Sumber : BKI, 2004

### 2.7.1. Metode Simpson

Metode Simpson ini merupakan metode numerik yang digunakan untuk mengestimasi luas pada fungsi kontinu. Metode ini sering digunakan dalam perhitungan integral numerik. Volume kapal yang dihitung menggunakan aturan Simpson dapat mewakili volume yang sebenarnya sehingga dapat diterapkan pada bidang permukaan tidak beraturan. Setelah diketahui sifat-sifatnya maka akan dapat diterapkan pada bidang permukaan yang tidak beraturan. Rumus aturan simpson yang digunakan sebagai berikut (Made Rai Ratih Cahya, 2018)

$$A = 2 \times \frac{1}{3} \times h \times \sum (m^2) \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana : A = Luas proteksi  
 $\sum$  = Jumlah kali ordinat dengan faktor simpson  
h = Jarak antar gading

### 2.7.2. Perhitungan Laju Korosi

Untuk mengetahui laju korosi sebuah pelat baja maka hal yang perlu diperhitungkan adalah luas relatif dari anoda dan katoda, karena jika anoda telah habis terkorosi maka katodapun akan segera ikut terkorosi.

Laju korosi pada kapal adalah kecepatan terjadinya pengikisan atau kerusakan pada material kapal akibat reaksi kimia dengan lingkungan sekitarnya, seperti air laut dan udara. Laju korosi dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti suhu, kelembaban, kadar garam, pH, serta jenis material dan lapisan pelindung yang digunakan pada kapal. Dalam perlindungan korosi dengan metode anoda korban, laju korosi dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$C_R = \frac{K \times m}{A \times \rho \times T} \text{ (mm/tahun) .....(2.2)}$$

Dimana :

- $C_R$  = Laju korosi (mm/tahun)
- $m$  =  $\Delta m$  = Selisih massa awal dan massa akhir (gram)
- $A$  = Luas pelat badan kapal yang tercelup air laut (cm<sup>2</sup>)
- $K$  = Konstanta =  $8,76 \times 10^4$
- $T$  = Umur proteksi (jam)
- $\rho$  = massa jenis pelat baja =  $7,85 \text{ (gram/cm}^3\text{)}$

### 2.7.3. Kebutuhan Arus

Jika daerah masing-masing ( $A_c$ ) tiap unit yang diproteksi dikalikan dengan desain arus densitas ( $i_c$ ), dan faktor kerusakan lapisan ( $f_c$ ), maka akan diperoleh:

$$I_c = A_c \times f_c \times i_c \text{ ..... (2.3)}$$

Dimana  $I_c$  adalah permintaan arus,  $A_c$  area yang akan diproteksi,  $f_c$  faktor kerusakan lapisan dan  $i_c$  faktor desain arus densitas, mengacu pada Tabel 2.1 Sedangkan area individu atau area yang akan diproteksi, diperoleh dengan menggunakan rumus :

$$A_c = (2T + B) \times L_{bp} \times p \text{ .....(2.4)}$$

Dimana :

- $L_{bp}$  : Panjang antara garis tegak (m)
- $T$  : Sarat air (m)

- B : Lebar Kapal (m)
- p : Faktor, untuk kapal kargo nilainya 0.85

Tabel 2. 2 Desain arus rata-rata densitas berdasarkan kedalaman dan iklim

Kedalaman (m)	Desain arus densitas (Rata-rata) dalam A/m <sup>2</sup>			
	Tropical (>20°C)	Sub Tropical (12-20°C)	Beriklim Sedang (7-12°C)	Sangat dingin (<7°C)
0 ≤ 30	0,070	0,080	0,100	0,120
>30	0,060	0,070	0,080	0,100

Sumber : Det Norske Veritas Industry Norway, 2010

Tabel 2.2 merupakan desain untuk katodik rata – rata dan terakhir faktor kerusakan pelapis dihitung dengan memperhatikan desain umur.

$$f_{C(rata-rata)} = k_1 + k_2 \dots\dots\dots(2.5)$$

$$f_{C(terakhir)} = k_1 + k_2 \cdot tf \dots\dots\dots(2.6)$$

Jika nilai yang di hitung lebih dari 1,  $f_c = 1$  harus digunakan di dalam desain. Persamaan diatas didasarkan untuk maksud desain saja, dan tidak diharapkan untuk memvisualisasi model sesungguhnya sebagai faktor kerusakan pelapis (*coating breakdown*) dimana desain sistem proteksi katodik melebihi dari usia sistem pelapisan pada Tabel 2.3.  $f_c$  (rata – rata ) mungkin dihitung menggunakan :

$$f_{C(rata-rata)} = 1 - \frac{(1-k_1)}{2k_2tf} \dots\dots\dots(2.7)$$

Tabel 2.3 Konstanta untuk perhitungan faktor kerusakan pelapis

Kedalaman (m)	Kategori pelapis			
	(k1 = 0,1) k2	(k1 = 0,050) k2	(k1 = 0,020) k2	(k1 = 0,010) k2
0 < 30	0,100	0,030	0,015	0,012
>30	0,050	0,020	0,012	0,012

Sumber : Det Norske Veritas, 2010

2.7.4. Kemampuan Material Anoda Korban

Dalam Tabel 2.4 memberikan nilai efisiensi elektrokimia ( $\epsilon$ ) anoda korban yang digunakan dalam perhitungan desain untuk berat anoda

korban yang diisyaratkan. Prinsip utama sistem proteksi katodik adalah menekan arus eksternal ke dalam material sehingga potensial material turun ke daerah imun (Einar, 2004). Proteksi katodik metode anoda korban dapat dilakukan dengan menghubungkan anoda korban terhadap material yang akan diproteksi. Material yang akan diproteksi diatur agar berperan sebagai katoda dalam suatu sel korosi dan pasangan yang dihubungkan adalah logam lain yang memiliki potensial yang lebih negatif sehingga berperan sebagai anoda dapat dilihat pada Tabel 2.4 (Parker, 1999).

Tabel 2.4 Desain nilai efisiensi elektrokimia anoda korban Al dan Zn

<b>Type Material Type</b>	<b>Efisiensi Elektrokimia (Ah/kg)</b>
Al	2000 (max 25°C)
Zn	700 (max 50°C)

## 2.8 Proteksi Katodik Anoda Korban

Proteksi katodik metode anoda zink (*Zinc Anode*) dapat dilakukan dengan menghubungkan anoda zink terhadap material yang akan diproteksi. Material yang akan diproteksi diatur agar berperan sebagai katoda dalam suatu sel korosi dan pasangan yang dihubungkan adalah logam lain yang memiliki potensial yang lebih negatif sehingga berperan sebagai anoda. Elektron akan mengalir dari anoda ke katoda melalui kabel penghubung sehingga terjadi penerimaan elektron di katoda.

Dengan adanya penerimaan elektron tersebut, katoda mengalami reaksi reduksi dan terproteksi dari proses korosi. Berikut adalah kelebihan penerapan sistem proteksi katodik metode anoda korban :

- a) Pemasangan relatif mudah dan murah.
- b) Tidak membutuhkan sumber energi listrik dari luar.
- c) Distribusi arus merata.
- d) Cocok untuk daerah berstruktur padat.
- e) Tidak membutuhkan biaya operasional.
- f) Perawatan mudah.
- g) Resiko *overprotection* rendah.

Namun metode ini juga mempunyai beberapa kekurangan sebagai berikut :

- a) Keluaran arus terbatas.
- b) Tidak efektif bila resistivitas elektrolit tinggi.
- c) Tidak cocok untuk struktur besar yang perlu arus proteksi besar.

Desain perlindungan katodik pada kapal bangunan baru yang digunakan berdasarkan Biro Klasifikasi Indonesia dalam *Regulation for the Corrosion Protection and Coating System*. Sistem perlindungan katodik yang akan digunakan adalah *Longated flush-mounted (Welded Type)* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 *Longated flush-mounted zinc anode*

#### 2.8.1. Data Anoda Korban

Perencanaan proteksi katodik yang akan digunakan pada kapal bangunan baru untuk ukuran dan dimensi dapat dilihat pada lampiran 4. Adapun data anoda yang digunakan *Welding Type* pada Tabel 2.5 berikut ini.

Tabel 2.5 Data Desain Anoda

Parameter	Nilai
Panjang zinc anode	300 mm
Lebar zinc anode	150 mm
Tebal zinc anode	30 mm
Massa desain	8,75 kg
Desain umur zinc anode	5 Tahun
Bahan zinc anode	Paduan Zinc
Efisiensi elektrokimia dalam air laut pada suhu > 20°C	780 Ah/kg

### 2.8.2. Massa Anoda

Perlindungan katodik dapat dilakukan dengan menggunakan anoda korban atau dengan sistem arus tanding. Perlindungan katodik dengan menggunakan anoda korban harus didesain untuk 1 periode pengedokan. Adapun untuk menghitung massa kebutuhan anoda korban dengan menggunakan Persamaan berikut :

$$m = \frac{I_c \times T \times 8760}{\mu \times \varepsilon} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana:

- m = Massa anoda korban paduan seng (kg)
- $I_c$  = Kebutuhan arus proteksi (Ampere)
- T = Umur proteksi (tahun), T = 5 tahun (Peraturan BKI)
- $\mu$  = Faktor guna anoda korban,  $\mu = 0.85$
- $\varepsilon$  = Efisiensi elektrokimia (Ah/kg),  $\varepsilon = 780$

### 2.8.3. Jumlah Anoda Korban

Kebutuhan massa anoda korban yang telah dihitung pada Persamaan (2.8) kemudian dapat ditentukan kebutuhan anoda korban yang akan dipasang di badan kapal. Sehingga jumlah anoda korban yang dibutuhkan dalam sistem proteksi katodik pada kapal adalah :

$$\Sigma AK = \frac{m}{m_{AK}} \dots \text{(buah)} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana:

- $\Sigma AK$  = Jumlah anoda korban
- m = Massa anoda korban yang dibutuhkan
- $m_{AK}$  = Massa per-unit anoda korban

Setelah didapatkan jumlah anoda yang akan digunakan untuk memproteksi maka dapat ditentukan peletakan pada badan kapal dengan menggunakan Persamaan berikut :

$$J_{AK} = \frac{K - (\text{Panjang Anoda} \times \text{Jumlah Anoda})}{\Sigma AK_{\text{total}}} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana:

$J_{AK}$  = jarak antar anoda korban (m)

$K$  = Keliling kapal (m)

$\Sigma AK_{total}$  = Jumlah total anoda korban yang dipasang (buah)

#### 2.8.4. Kavitasasi Bagian Buritan

Kavitasi sering terjadi di sekitar baling-baling atau propeller. Saat baling-baling atau propeller berputar di dalam air, tekanan rendah di sekitar permukaan baling-baling dapat menyebabkan uap air terbentuk dan berubah menjadi gelembung-gelembung kavitasi. Ketika gelembung-gelembung ini pecah, mereka menghasilkan suara berdengung dan menyebabkan efek erosi pada permukaan benda yang terkena kavitasi. Korosi pada bagian buritan kapal dapat dilihat Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Korosi pada Buritan Kapal

Kavitasi juga meningkatkan hambatan hidrodinamik pada kapal, yang mengurangi kecepatan dan efisiensi keseluruhan. Korosi di buritan lebih cepat dibandingkan bagian lainnya karena adanya getaran – getaran yang dapat mempercepat laju korosi. Sehingga jumlah dan pemasangan *zinc anode* semakin rapat. Untuk kapal bagian buritan yang dilindungi, sekitar 25% atau 30% dari total berat anoda harus diterapkan dalam cakupan perlindungan lengkap (BKI, 2019).