

# ANALISIS PENEMPATAN ZINC ANODE UNTUK PERLINDUNGAN KOROSI PADA KAPAL TUGBOAT



MELATI PUTRI ZABINA  
D081 20 1062



Optimized using  
trial version  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

PROGRAM STUDI TEKNIK KELAUTAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2024

**ANALISIS PENEMPATAN ZINC ANODE UNTUK PERLINDUNGAN  
KOROSI PADA KAPAL TUGBOAT**

**MELATI PUTRI ZABINA  
D081 20 1062**



Optimized using  
trial version  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

**PROGRAM STUDI TEKNIK KELAUTAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2024**

# ANALISIS PENEMPATAN *ZINC ANODE* UNTUK PERLINDUNGAN KOROSI PADA KAPAL *TUGBOAT*

MELATI PUTRI ZABINA  
D081 20 1062

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana  
Teknik Kelautan

Pada

Departemen Teknik Kelautan  
Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin  
Gowa



**ROGRAM STUDI TEKNIK KELAUTAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2024**

Optimized using  
trial version  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

**SKRIPSI**

**ANALISIS PENEMPATAN ZINC ANODE UNTUK PERLINDUNGAN  
KOROSI PADA KAPAL TUGBOAT**

**MELATI PUTRI ZABINA**

**D081 20 1062**

Skripsi,

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana Teknik Kelautan pada  
Tanggal 26 Juni 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan  
pada

Program Studi Teknik Kelautan  
Departemen Teknik Kelautan  
Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin  
Gowa

Mengesahkan:  
**Pembimbing Utama,**



98903 1 031

Mengetahui:  
**Ketua Departemen,**



**Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT.,**  
**NIP. 19750605 200212 1 003**

## PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi berjudul "**Analisis Penempatan Zinc Anode untuk Perlindungan Korosi pada Kapal Tugboat**". Adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing (Ir. Juswan, MT.). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 31 Mei 2024



Melati Putri Zabina  
D081201062



## UCAPAN TERIMA KASIH

*Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.*

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadirat Allah SWT bahwasanya karena berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi. Shalawat dan salam tak lupa juga penulis kirimkan kepada baginda Nabi Muhammad SAW yang telah mengantarkan dari zaman kegelapan menuju zaman yang terang-benderang. Skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan di Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, dengan judul:

“ANALISIS PENEMPATAN ZINC ANODE UNTUK PERLINDUNGAN KOROSI  
PADA KAPAL TUGBOAT”

Teristimewa penulis mengucapkan dengan segala kerendahan hati terima kasih kepada kedua orang tua penulis **Bapak Moh Alka Luwas** dan **Ibu Rita Sabria** yang telah berjuang dan terus mendoakan serta mengusahakan melakukan apapun untuk anaknya bisa berada di titik lebih darinya, selalu memberikan dukungan, motivasi, nasehat, serta kesabaran yang luar biasa dalam setiap langkah penulis sampai tahap skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Penulis percaya bahwa setiap langkah yang dimudahkan oleh-Nya adalah hasil pengijabahan doa kedua orang tua penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penelitian hingga penyusunan skripsi ini telah banyak pihak yang membantu dalam bentuk apapun itu. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak dengan segala keikhlasannya yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini terutama kepada:

1. Bapak **Ir. Juswan, MT.**, selaku dosen Pembimbing sekaligus kepala laboratorium riset manajemen produksi bangunan lepas pantai dan pekerjaan bawah air. Terima kasih atas segala keikhlasannya yang telah meluangkan waktu dan pikiran, kesabaran, ketulusannya serta dukungan tak terhingga dalam mengarahkan, memberikan bimbingan, bantuan dan motivasi serta masukan-masukan kepada penulis sampai dengan hari ini.
2. Bapak **Dr. Ir. Taufiqur Rachman, ST., MT.**, dan Bapak **Prof. Daeng Paroka, ST., MT., Ph.D** selaku dosen penguji yang memberikan kritik dan saran yang membangun pada skripsi ini.
3. Bapak **Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT.**, selaku Ketua Departemen Teknik Kelautan yang telah mengesahkan skripsi ini.
4. Bapak **Dr. Eng. Firman Husain, ST., MT.**, selaku penasehat akademik (PA) selama menjadi mahasiswa Teknik Kelautan sehingga saya dapat menyelesaikan studi.



**Departemen Teknik Kelautan** yang telah memberikan pengetahuannya kepada penulis selama proses perkuliahan. **Asi Departemen Teknik Kelautan** yang telah membantu administrasi selama perkuliahan serta dalam penyelesaian

7. Semua pihak **PT. Dewa Ruci Agung Dry Dock and Shipyard Surabaya** yang telah memberikan izin dan bantuan kepada penulis serta kontribusi kepada penulis untuk melakukan penelitian.
8. Teman-teman Labo MANPRO yang selalu memberikan semangat kepada saya, terkhusus **Amar Ma'ruf** dan **Gabriel Pratama Ginting** selaku teman kerja praktik di Surabaya, penulis mengucapkan banyak terima kasih juga kepada salah satu Alumni Labo MANPRO 19 yang selalu bersedia direpotkan memberikan saran serta masukan dalam proses pengerjaan skripsi ini.
9. **Teman-teman Mahasiswa khususnya Teknik Kelautan 2020** yang telah menjadi keluarga penulis selama perkuliahan yang membersamai waktu yang telah kita lalui bersama dalam suka dan duka, selalu memberikan motivasi dan dukungannya membantu penulis hingga menyelesaikan tugas akhir ini. Terkhusus teman-teman **kantin Naval** yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, terima kasih selalu memberikan hiburan, canda tawa serta waktu yang diluangkan untuk selalu berkumpul bersama.
10. Sahabat penulis sejak dari bangku SMA hingga saat ini, terima kasih selalu meluangkan waktu disela-sela kesibukannya untuk menemani, menghibur, mengarahkan, memberikan masukan, motivasi serta semangat yang tak henti-hentinya.
11. Dan yang terakhir saya mengucapkan terima kasih banyak kepada **diri saya sendiri** yang sudah berjuang sampai sejauh ini, terima kasih untuk tubuh yang selalu kuat, berusaha keras, mengatur waktu, tenaga, pikiran, serta rasa malas dalam menyelesaikan sebaik dan semaksimal mungkin penulisan skripsi ini. Kepada diri sendiri terima kasih sekali lagi telah berjuang karna hanya dirimu sendiri yang tau jatuh bangun dan susahny otak berpikir bersatu melawan *overthinking* setiap malam. Ini merupakan pencapaian yang patut dibanggakan untuk diri sendiri.
12. Serta semua pihak yang turut serta dalam penyelesaian pendidikan, penelitian, dan penyusunan skripsi yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu. Penulis menyampaikan ucapan Terima Kasih yang sebesar-besarnya untuk seluruh bantuan yang diberikan.

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.*

Penulis,

Melati Putri Zabina



## ABSTRAK

MELATI PUTRI ZABINA. **Analisis penempatan *zinc anode* untuk perlindungan korosi pada kapal *tugboat*** (dibimbing oleh Ir. Juswan, MT.,)

*Tugboat* merupakan salah satu jenis kapal yang biasa digunakan untuk menarik dan mendorong kapal-kapal besar di pelabuhan. Pelat lambung kapal merupakan area yang pertama kali bersentuhan dengan air laut, pada daerah lambung ini bagian bawah air ataupun daerah atas air rentan terkena korosi. Akibatnya menimbulkan kerugian material yang cukup besar, oleh karena itu diperlukan proteksi untuk mencegah terjadinya korosi. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui penempatan *zinc anode* dalam mengurangi tingkat korosi, serta mengetahui jumlah *zinc anode* di area tertentu pada kapal *tugboat*. Sehingga diperlukan pemahaman yang baik tentang pemilihan dan penempatan *zinc anode* merupakan aspek penting dalam menjaga struktural lambung kapal dan mencegah kerusakan akibat korosi. Metode yang digunakan dalam mengendalikan laju korosi yaitu dengan cara melindungi pelat baja menggunakan proteksi katodik (*cathodic protection*). Penempatan *zinc anode* pada kapal *tugboat* dengan panjang 26,00 m, lebar 8 m dan tinggi sarat 2,80 m. *Type zinc anode* S8 dimensi (P x L x T) (300 mm x 150 mm x 25 mm) berat 8 kg jarak penempatan *zinc* yang digunakan pada bagian sarat kapal adalah 1,76 m dan pada bagian buritan karena faktor kavitasi adalah 0,73 m dengan total 29 *zinc anode*. Jumlah *zinc anode* yang optimal di area tertentu pada kapal *tugboat*, seperti *kort nozzle* dan daun kemudi, menggunakan *type zinc anode* S3 dengan berat 3 kg dengan jumlah *zinc anode* di kedua area pada *kort nozzle* sebanyak 4 buah dan jumlah *zinc anode* di kedua area daun kemudi sebanyak 2 buah. Dengan total kebutuhan *zinc anode* pada area tersebut sebanyak 6 buah.

Kata Kunci: Korosi, *Tugboat*, *Zinc Anode*



## ABSTRACT

**MELATI PUTRI ZABINA. Analysis of zinc anode placement for corrosion protection on tugboats** (guided by Ir. Juswan, MT.,)

*Tugboat is a type of ship that is usually used to tow and push large ships in ports. The ship's hull plate is the area that first comes into contact with sea water. In this area of the hull, the underwater or above-water areas are susceptible to corrosion. As a result, it causes quite large material losses, therefore protection is needed to prevent corrosion. The aim of this research is to determine the placement of zinc anodes to reduce the level of corrosion, as well as to determine the number of zinc anodes in certain areas on tugboats. So it is necessary to have a good understanding of the selection and placement of zinc anode, which is an important aspect in maintaining the structure of the ship's hull and preventing damage due to corrosion. The method used to control the rate of corrosion is by protecting the steel plate using cathodic protection. Placement of zinc anode on a tugboat with a length of 26.00 m, width of 8 m and draft height of 2.80 m. Type zinc anode S8 dimensions (L x W x H) (300 mm x 150 mm x 25 mm) weight 8 kg zinc placement distance used on the draft part of the ship is 1.76 m and on the stern because the cavitation factor is 0.73 m with a total of 29 zinc anodes. The optimal amount of zinc anode in certain areas on a tugboat, such as the nozzle cort and rudder leaf, uses the S3 zinc anode type weighing 3 kg with the number of zinc anodes in both areas on the nozzle cort being 4 pieces and the number of zinc anodes in both areas of the rudder leaf as many as 2 pieces. With a total requirement of 6 zinc anodes in this area.*

**Keywords:** Corrosion, Tugboat, Zinc Anode



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>PERNYATAAN PENGAJUAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI</b> .....	<b>iv</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Teori Dasar Korosi .....	3
1.3 Sistem Proteksi .....	8
1.4 Perlindungan Katodik dengan Anoda Karbon.....	9
1.5 Teori <i>Zinc Anode</i> .....	10
1.6 Rumusan Masalah .....	11
1.7 Tujuan dan Kegunaan.....	11
<b>BAB II METODE PENELITIAN</b> .....	<b>12</b>
2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	12
2.2 Sumber dan Jenis Penelitian .....	12
2.3 Prosedur Penelitian.....	12
2.4 Analisis Data .....	14
2.5 Diagram Alir Penelitian .....	18
<b>BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>19</b>
3.1 Hasil .....	19
3.2 Pembahasan .....	28
<b>BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>36</b>
4.1 Kesimpulan .....	36
4.2 Saran.....	36
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>37</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>39</b>



## DAFTAR TABEL

Nomor urut	Halaman
1. Anoda korban <i>zinc</i> dalam aplikasi media air laut.....	10
2. Jenis anoda dengan resistivitas lingkungan .....	11
3. Data desain anoda .....	13
4. Tabel perhitungan luas proteksi dengan metode simpson.....	15
5. Desain arus rata-rata densitas berdasarkan kedalaman dan iklim.....	16
6. Konstanta untuk perhitungan faktor kerusakan pelapis .....	16
7. Perhitungan estimasi biaya <i>zinc anode</i> pada kapal <i>tugboat</i> .....	27



## DAFTAR GAMBAR

Nomor urut	Halaman
1. Kapal <i>tugboat</i> yang sedang melakukan <i>docking</i> .....	1
2. Korosi pada pelat lambung kapal.....	4
3. Mekanisme terjadinya korosi .....	4
4. Korosi pada bagian buritan kapal .....	8
5. Sel korosi basah sederhana .....	9
6. <i>Quadpod zinc anode</i> .....	13
7. Aturan komposisi simpson .....	14
8. Kapal Tb. Varia Usaha 09 .....	19
9. Bagian perhitungan luasan yang terproteksi .....	19
10. Pengujian ketebalan pelat.....	30
11. Penempatan <i>zinc anode</i> pada area lambung kapal dan buritan.....	33
12. Penempatan <i>zinc anode</i> pada area <i>kort nozzle</i> .....	34
13. Penempatan <i>zinc anode</i> pada area daun kemudi .....	34



## DAFTAR LAMPIRAN

Nomor urut	Halaman
1. Data kapal <i>tugboat</i> dan <i>shell expansion</i> (bukaan kulit kapal).....	40
2. Data anoda.....	41
3. Harga <i>zinc anode</i> dan elektroda kawat las .....	42
4. Hasil perhitungan simpson.....	43
5. Dokumentasi tahap pengerjaan dan peletakan <i>zinc anode</i> .....	45



## DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

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



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Transportasi laut sebagai penghubung antar pulau di Indonesia yang menjamin adanya mobilitas manusia ataupun barang yang dilakukan melalui jalur laut/perairan untuk menjangkau daerah terpencil, apabila akses ke daerah tujuan masih sedikit sarana transportasi darat dan udara. Salah satu jenis transportasi laut adalah kapal (Huda & Sutjahjo, 2017). Kapal merupakan salah satu alat transportasi di laut, dimana kapal mempunyai peranan yang sangat penting dalam berbagai aspek sosial ekonomi melalui fungsi dan distribusi antara satu wilayah dengan wilayah lainnya. Salah satu bagian kapal yang sering mengalami kerusakan adalah lambung kapal. Penyebab kerusakan lambung kapal adalah korosi, tinggi rendahnya tingkat korosi pada lambung kapal adalah kandungan salinitas dalam air laut (Budiyanto, 2021).

*Tugboat* merupakan salah satu jenis kapal yang biasa digunakan untuk menarik dan mendorong kapal-kapal besar di pelabuhan, memandu kapal besar pada jalur yang berbahaya, memperbaiki kapal dilaut, melakukan penyelamatan pada air seperti memadamkan api dan *salvage*. Selain itu, kapal *tugboat* merupakan kapal yang tugasnya menarik atau mendorong kapal lain. Kapal *tugboat* terbagi menjadi beberapa jenis antara lain kapal *tugboat* samudra, kapal *tugboat* pelabuhan dan lain-lain. Medan yang dilalui kapal *tugboat* biasanya cukup rumit, mulai dari sungai-sungai kecil yang berkelok-kelok dan laut dangkal berbatu hingga lautan antar pulau-pulau besar sehingga *tugboat* harus melakukan manuver yang baik (Damanik et al., 2016). Lambung kapal *tugboat* yang terkorosi dapat membahayakan integritas struktural dan kinerja kapal. Korosi lambung kapal dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti paparan air laut, kondisi cuaca ekstrem, dan lingkungan laut yang keras. Pengendalian korosi pada lambung kapal *tugboat* merupakan bagian penting dari pemeliharaan kapal yang efektif dan memastikan kelangsungan pengoperasian kapal. Tindakan pencegahan dan perawatan rutin dapat membantu meminimalkan risiko korosi dan menjaga integritas struktural kapal, salah satu unsur pencegahan ataupun perawatan adalah pemasangan *zinc anode* pada saat kapal melakukan *docking* seperti yang ditunjukkan pada Gambar (1).



Optimized using  
trial version  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)



1. Kapal *tugboat* yang sedang melakukan *docking*

Pelat kapal merupakan area yang pertama kali bersentuhan dengan air laut. Pada daerah lambung ini bagian bawah air ataupun daerah atas air rentan karena korosi. Akibat korosi ini menimbulkan kerugian material yang cukup besar, oleh karena itu diperlukan proteksi untuk mencegah terjadinya korosi dengan menggunakan sistem proteksi katodik yang menggunakan anoda (Sudjasta et al., 2018).

Proteksi katodik merupakan salah satu metode pengendalian laju korosi secara termodinamika dengan memperlakukan struktur logam sebagai katoda. Proteksi katodik sangat penting untuk mengurangi laju korosi kapal pada permukaan bawah pelat lambung kapal. Perlindungan ini diterapkan pada bagian-bagian kapal yang sangat sensitif terhadap korosi air laut, lebih khusus lagi pada bagian-bagian yang terletak di bawah permukaan garis air. Sebagian besar kerusakan pada pelat lambung kapal disebabkan oleh proses korosi (Dwi Setiono, 2023).

Pada dasarnya korosi merupakan peristiwa pelepasan elektron-elektron dari suatu logam (besi atau baja) dalam larutan elektrolit seperti air laut. Sementara itu, atom logam yang bermuatan positif ( $\text{Fe}^{+3}$ ) akan bereaksi dengan ion hidroksil ( $\text{HO}^-$ ) membentuk besi hidroksida [ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ] yang disebut sebagai karat (Sudjasta et al., 2018). Korosi merupakan fenomena alamiah yang biasa terjadi pada material logam. Korosi merusak material karena terjadi reaksi elektrokimia antara bahan kimia dan lingkungan. Lingkungan yang bersangkutan adalah lingkungan asam, embun, udara, air tawar, air laut, air danau, air sungai, dan air tanah. Air laut mempunyai sifat korosif karena kandungan klorida ( $\text{CL}^-$ ) yang cukup tinggi dan merusak pelat dasar lambung kapal. Laju korosi juga meningkat akibat arus dan gelombang laut yang tinggi. Dampak lainnya merusak lapisan anti karat dan membuka rongga dipermukaan pelat dasar lambung kapal (Pongky et al., 2021).

Korosi adalah hasil destruktif dari reaksi kimia antara logam atau panduan logam dan lingkungannya. Atom logam dialam terdapat dalam senyawa kimia (yaitu mineral). Jumlah energi yang sama yaitu dibutuhkan untuk mengekstraksi logam dari mineral dipancarkan selama reaksi kimia yang menghasilkan korosi. Korosi mengembalikan logam ke keadaan gabungan dalam senyawa kimia yang serupa atau bahkan identik dengan mineral dari mana logam diekstaksi. Dengan demikian, korosi disebut metalurgi ekstraktif secara terbalik (Nucci et al., 2014).

Proteksi katodik menggunakan metode *zinc anode* dapat dilakukan dengan menghubungkan *zinc anode* terhadap material yang akan diproteksi. Material yang r agar berperan sebagai katoda dalam suatu sel korosi dan ungkan adalah logam lain yang memiliki potensial yang lebih peran sebagai anoda. *Zinc anode* dipasang secara strategis di i lambung kapal, khususnya di daerah rawan korosi. Seiring erkikis dan terkorosi serta lambung kapal tetap terlindungi. *zinc anode* secara berkala merupakan langkah penting untuk ya fungsi katodik. Oleh karena itu, perlindungan yang efektif



seperti penggunaan *zinc anode*, sangat penting untuk memperpanjang umur dan keandalan kapal di lingkungan laut yang korosif (Sudjasta et al., 2018).

Keuntungan utama proteksi katodik *zinc anode* meliputi efektivitasnya dalam melindungi lambung kapal, keterjangkauan material, dan kinerjanya di lingkungan laut yang korosif. Oleh karena itu diperlukan pemahaman yang baik tentang pemilihan, penempatan dan pemeliharaan *zinc anode* merupakan aspek penting dalam menjaga struktural lambung kapal dan mencegah kerusakan akibat korosi. Penelitian ini memiliki relevansi yang signifikan dalam konteks perlindungan korosi pada kapal *tugboat*. Dengan menganalisis penempatan *zinc anode* dalam pengendalian korosi, penelitian ini dapat memberikan wawasan tentang bagaimana melindungi kapal tersebut dari kerusakan korosi di lingkungan laut. Hasil penelitian dapat membantu mengembangkan strategi perlindungan yang lebih efektif, mengurangi waktu perbaikan, dan meminimalkan biaya pemeliharaan jangka panjang. Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan dampak positif terhadap ketahanan dan efisiensi operasional kapal *tugboat*, sehingga relevan dalam konteks industri maritim yang mengandalkan kinerja kapal yang optimal di lingkungan laut.

## 1.2 Teori Dasar Korosi

Kata korosi berasal dari bahasa latin "*Corrosion*" yang berarti rusaknya logam atau karat. Karat sudah dikenal sejak lama dan sangat merugikan, karat merupakan salah satu permasalahan yang sering terjadi pada kapal dalam penggunaannya, dimana karat dapat merusak bagian-bagian tertentu terutama bagian yang mengalami kontak langsung dengan air laut yang merupakan faktor penyebab terjadinya korosi (By et al., 2005).

Korosi merupakan kerusakan material yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan sekitar. Selain reaksi kimia, proses korosi ditimbulkan juga oleh proses elektrokimia, yang meliputi perpindahan elektron, baik melalui reduksi ion logam maupun pengendapan logam dari lingkungan sekitarnya. Menurut (Ispandriatno, 2015) bahwasanya faktor lingkungan disebut faktor luar yang disebabkan oleh konsentrasi oksigen dalam air atau dalam udara bebas, pH, temperatur, komposisi kimia atau konsentrasi larutan.

Dampak ancaman korosi yang begitu berbahaya sehingga perlu dikembangkan berbagai metode untuk melindungi baja dari kerusakan yang terjadi dan agar umur panjang. Serangan korosi (karat) adalah masalah umum yang dialami material terdegradasi saat interaksi dengan lingkungannya. Korosi tidak hanya memperburuk bentuk tetapi juga memperpendek umur pakai. Jika lama digunakan dalam industri pembuatan kapal sebagai lambung kapal maupun lambung kapal. Dalam industri pembuatan kapal, material baja merupakan bagian utama dalam pembuatan lambung kapal, mesin utama maupun mesin bantu kapal. Di sisi lain,



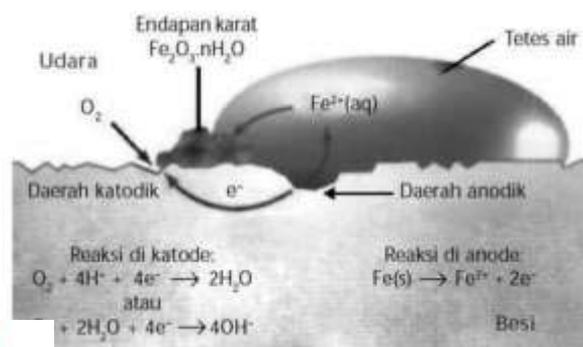
material baja sangat rentan terhadap serangan korosi sehingga dapat menurunkan kualitas material kapal, Korosi dapat terjadi seperti yang ditunjukkan pada Gambar (2) berikut (Bayuseno, 2009).



**Gambar 2.** Korosi pada pelat lambung kapal

### 1.2.1 Mekanisme korosi

Mekanisme terjadinya korosi secara umum yang terjadi di dalam suatu larutan diawali dengan oksidasi logam dan melepaskan elektron sehingga membentuk ion logam bermuatan positif. Larutan tersebut kemudian bertindak sebagai katoda dimana reaksi keseluruhannya adalah pelepasan  $H_2$  dan reduksi  $O_2$ , akibat ion  $H^+$  dan  $H_2O$  yang tereduksi. Reaksi ini terjadi pada permukaan logam, menyebabkan pengelupasan akibat pelarut logam ke dalam larutan secara berulang-ulang. Mekanisme korosi dapat dilihat pada gambar berikut ini (Putra, 2021).



**Gambar 3.** Mekanisme terjadinya korosi



002) terdapat empat unsur pokok yang harus dipenuhi agar  
 Jika salah satunya tiada, maka korosi tidak dapat terjadi.  
 tersebut adalah:

- a. Terdapat anoda (*Anode*), tempat terjadinya reduksi oksidasi. Anoda biasanya melepaskan elektron-elektron dari atom-atom logam netral untuk membentuk ion-ion yang bersangkutan. Ion-ion ini mungkin tetap tinggal dalam larutan atau bereaksi membentuk hasil korosi yang tidak larut.
- b. Terdapat katoda (*Cathode*), tempat terjadinya reaksi reduksi. Katoda biasanya tidak mengalami korosi, walaupun mungkin menderita kerusakan dalam kondisi-kondisi tertentu.
- c. Terdapat Elektrolit, Elektrolit adalah larutan yang mempunyai sifat menghantar listrik. Elektrolit dapat berupa larutan asam, basa dan larutan garam. Larutan elektrolit mempunyai peranan penting dalam korosi logam karena larutan ini dapat menjadikan kontak listrik antara anoda dan katoda.
- d. Terdapat sambungan logam, Antara anoda dan katoda harus ada hubungan listrik agar arus dalam sel korosi dapat mengalir. Hubungan secara fisik tidak diperlukan jika anoda dan katoda merupakan bagian dari logam yang sama.

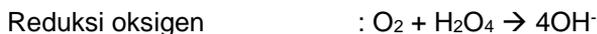
Menurut (Wiraraja, 2012) mekanisme korosi tidak lepas dari reaksi elektrokimia, reaksi elektrokimia melibatkan perpindahan elektron-elektron. Perpindahan elektron merupakan hasil reaksi redoks (reduksi-oksidasi). Mekanisme korosi melalui reaksi elektrokimia melibatkan reaksi anodik pada daerah anodik. Reaksi anodik yang terjadi pada proses korosi adalah :



Proses korosi dari logam M adalah proses oksidasi logam menjadi satu ion ( $n^+$ ) dalam pelepasan  $n$  elektron. Harga dari  $n$  berhubungan dari sifat logam seperti besi.



Reaksi katodik juga terjadi pada proses korosi. Reaksi katodik ditandai dengan penurunan nilai valensi atau konsumsi elektron-elektron akibat reaksi anodik. Reaksi katodik terletak di daerah katoda. Beberapa jenis reaksi katodik pada proses korosi logam antara lain:



ana oksigen dari udara akan larut dalam larutan terbuka.

### 1.2.2 Jenis-jenis korosi

Menurut (Wiraraja, 2012) beberapa jenis korosi dapat dikelompokkan sebagai berikut: korosi merata, korosi sumuran, korosi celah, korosi galvanik, korosi selektif, korosi tegang dan korosi erosi.

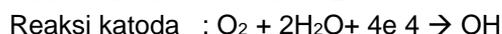
1. Korosi Merata (*Uniform Corrosion*), adalah bentuk umum korosi. Pada korosi ini, logam mengalami kerusakan dengan laju yang sama (hampir sama) di seluruh permukaan. Salah satu penyebab korosi merata adalah disebabkan oleh atmosfer.
2. Korosi sumuran (*Pitting Corrosion*) terjadi karena suatu serangan yang intensif secara setempat, membentuk suatu sumuran. Umumnya diameter sumuran ini relatif kecil dan tumbuh mengikuti arah gravitasi, dengan diameter lebih kecil daripada kedalamannya.
3. Korosi celah (*Crevice Corrosion*) adalah korosi yang terjadi pada celahan atau daerah yang tersembunyi pada permukaan logam yang berada dalam lingkungan korosif.
4. Korosi galvanik (*Galvanic Corrosion*) terjadi karena adanya kontak antar dua jenis material yang berbeda dan terkena lingkungan korosif.
5. Korosi erosi adalah gejala percepatan korosi atau peningkatan laju kerusakan logam karena adanya aliran fluida yang bersifat korosif pada permukaan logam.

### 1.2.3 Faktor-faktor yang mempengaruhi laju korosi

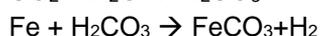
Menurut (Sidiq, 2002), permasalahan korosi biasanya disebabkan oleh air, namun beberapa faktor selain air mempengaruhi laju korosi, antara lain:

#### 1. Faktor gas terlarut

- a. Oksigen (O<sub>2</sub>), adanya oksigen terlarut menyebabkan terjadinya korosi pada logam, misalnya laju korosi pada paduan baja ringan meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi oksigen. Reaksi korosi umum pada besi terhadap kelarutan oksigen adalah sebagai berikut:



- b. Karbondioksida (CO<sub>2</sub>), jika karbon dioksida dilarutkan dalam air maka akan terbentuk asam karbonat (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) yang dapat menurunkan pH air dan korosifitas, biasanya bentuk korosinya berupa pitting yang eaksinya adalah:



## 2. Faktor suhu

Peningkatan suhu biasanya meningkatkan laju korosi, meskipun pada kenyataannya kelarutan oksigen menurun dengan meningkatnya suhu, jika suhu logam tidak seragam, kemungkinan akan terbentuknya korosi.

## 3. Faktor pH

pH netral adalah 7, sedangkan  $pH < 7$  bersifat asam dan korosif, sedangkan untuk  $pH > 7$  bersifat basa juga korosif. Tetapi untuk besi, laju korosi rendah pada pH antara 7 sampai 13. Laju korosi akan meningkat pada  $pH < 7$  dan pada  $pH > 13$ .

## 4. Faktor Bakteri Pereduksi atau *Sulfat Reducing Bacteria* (SRB) Adanya bakteri pereduksi sulfat akan mereduksi ion sulfat menjadi gas H<sub>2</sub>S, yang mana jika gas tersebut kontak dengan besi akan menyebabkan terjadinya korosi.

## 5. Faktor Padatan Terlarut

- Klorida (Cl), klorida menyerang lapisan *mild steel* dan lapisan *stainless steel*. Padatan ini menyebabkan terjadinya pitting, *crevice corrosion*.
- Karbonat (CO<sub>3</sub>), kalsium karbonat sering digunakan sebagai pengontrol korosi dimana film karbonat diendapkan sebagai lapisan pelindung permukaan metal, tetapi dalam produksi minyak hal ini cenderung menimbulkan masalah *scale*.
- Sulfat (SO<sub>4</sub>), ion sulfat ini biasanya terdapat dalam minyak.

### 1.2.4 Dampak korosi pada kapal

Menurut (Bayuseno, 2009) dalam (Sofian et al., 2022) korosi berdampak besar pada umur kapal karena karat akan menimbulkan kebocoran pada lokasi korosi dan lambat laun membuat kapal rapuh. Bagi pemilik kapal atau bisnis manajemen kapal. Korosi akan memakan biaya yang cukup mahal, karena kapal harus sering menjalani inspeksi dan perawatan mahal.

Adapun faktor yang dapat mempengaruhi terjadinya korosi pada kapal:

#### 1. Sifat-sifat logam

Unsur-unsur lain seperti C, Si, Mn, Ni, S, dan P, selain Fe sebagai unsur dasar, berdampak pada komposisi kimia logam. C, Mn, S, dan P khususnya berdampak pada munculnya korosi air laut pada pelat lambung kapal.

#### 2. Sifat fisik kimia air laut

Sifat kimia dan fisik air laut dengan salinitas relatif menentukan daya hantar listrik air laut.



laut

sebagai akibat dari Mikroorganisme bersel tunggal menempel t lambung kapal dengan bantuan perekat cat, menghasilkan dah terkelupas (Salim, 2019) dalam (Sofian et al., 2022).

### 1.2.5 Kavitasasi Bagian Buritan

Kavitasi sering terjadi di sekitar baling-baling atau propeller. Hal ini karena kecepatan cairan yang tinggi menciptakan area bertekanan tinggi dan rendah yang berulang pada permukaan permukaan perangkat tempat cairan tersebut mengalir. Dengan demikian gelembung uap air terbentuk dipermukaan, memberikan dampak yang cukup besar pada permukaan untuk memecahkan lapisan oksida yang melindungi permukaan. Akibatnya, permukaan yang tidak terlindungi akan terkena korosi. Karena bagian tersebut menjadi anodik terhadap bagian yang dilindungi. Korosi pada bagian buritan kapal dapat dilihat pada Gambar (4).



**Gambar 4.** Korosi pada bagian 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).

### 1.3 Sistem Proteksi

Proteksi merupakan suatu perlakuan yang melindungi suatu benda dari benda-benda yang dapat merusaknya sehingga benda tersebut tidak dapat berfungsi secara maksimal. Dalam hal ini proteksi sangat diperlukan dalam dunia industri karena fungsinya untuk melindungi struktur, salah satu proteksi yang digunakan adalah proteksi katodik untuk melindungi struktur dari korosi. Proteksi katodik



digunakan untuk melindungi logam dari korosi. Sistem ini menggunakan logam yang bertindak sebagai katoda untuk proteksi, sistem proteksi katodik umumnya digunakan untuk tangki, tiang pancang, dan lambung kapal.

perlindungan katodik ini adalah menggabungkan logam yang lebih tahan terhadap korosi, seperti seng dan

aluminium. Dengan mendistribusikan material bahan anoda langsung pada permukaan logam yang akan dilindungi memungkinkan polarisasi katodik dapat mencapai energi yang lebih negatif. Metode ini disebut anoda karbon (Ispandriatno, 2015).

#### 1.4 Perlindungan Katodik dengan Anoda Karbon

Luas permukaan basah merupakan bagian dari luas bangunan permukaan desain bangunan bagian bawah kapal (*Bottom*) adalah bangunan yang terendam air laut. Menurut (Ofori et al., 2020) dalam (Sofian et al., 2022) bahwasanya baja menjadi bahan bangunan utama untuk kapal hingga saat ini. Baja adalah bahan yang cocok untuk pembuatan kapal dalam hal kualitas dan biaya pemeliharaan. Besi dan baja, bagaimanapun, sangat reaktif dan rentan terhadap korosi dari air laut. Korosi di kapal pada dasarnya adalah fenomena yang melibatkan penangkapan elektron dari logam (besi atau baja) dalam larutan elektrolit (air laut).

Ada dua jenis proteksi katodik, yaitu dengan metode anoda karbon (*sacrificial anode*) dan dengan metode arus tanding (*impressed current*). Anoda karbon relatif lebih murah, mudah dipasang bila dibandingkan dengan metode arus tanding. Keuntungan lainnya adalah tidak diperlukannya peralatan listrik yang mahal dan tidak ada kemungkinan salah arah dalam pengalihan arus (Trethewey, 1991).

Cara paling sederhana untuk menjelaskan cara kerja proteksi katodik pada anoda korban adalah dengan menggunakan konsep sel oksidasi basah, seperti ditunjukkan pada Gambar (5). Kaidah umum dari sel korosi basah adalah bahwa dalam suatu sel, anodalah yang terkorosi, sedangkan yang tidak terkorosi adalah katoda. Anoda yang dihubungkan ke struktur dengan tujuan mengefektifkan perlindungan terhadap korosi dengan cara ini disebut anoda-anoda karbon (*sacrificial anodes*). Kita dapat memanfaatkan pengetahuan mengenai deret galvanik untuk memilih suatu bahan yang akan menjadi anoda. Anoda karbon yang biasa digunakan di lingkungan pantai diantaranya adalah seng dan aluminium (Trethewey, 1991).



**Gambar 5.** Sel korosi basah sederhana  
Sumber: (Trethewey, 1991)

Komposisi kimia anoda korban yang dianjurkan untuk dipakai pada kapal berdasarkan Biro Klasifikasi Indonesia dalam *Regulation for the Corrosion Protection and Coating Systems* 2019 sesuai tabel berikut ini:

**Tabel 1. Anoda korban *zinc* dalam aplikasi media air laut**

Elemen	KI – Zn1	KI – Zn2
Al	0,10 – 0,50	≤ 0,10
Cd	0,025 – 0,07	≤ 0,004
Cu	≤ 0,005	≤ 0,005
Fe	≤ 0,005	≤ 0,0014
Pb	≤ 0,006	≤ 0,006
Zn	>99,22	≥ 99,88
Potential (T = 20°C)	-1,03 Volt Ag/AgCl/See	-1,03 Volt Ag/AgCl/See
Q <sub>g</sub> (T = 20°C)	780 Ah/kg	780 Ah/kg
Efficiency (T = 20°C)	95%	95%

Sumber: (BKI, 2019)

### 1.5 Teori *Zinc Anode*

*Zinc anode* adalah logam *zinc* dalam bentuk batangan atau bentuk lain, ditempelkan ke bagian-bagian kapal yang rawan terhadap korosi air laut. Kapal-kapal modern yang mengutamakan kekuatan fisik, daya angkut beban besar, dan kecepatan tinggi, menggunakan baja disebagian besar konstruksi fisik dan permesinannya. Baja yang merupakan bagian terbesar dari konstruksi kapal, mudah mengalami korosi yang disebabkan oleh air laut. Untuk menurunkan laju korosi yang tinggi, maka baja harus mendapat perlindungan yang baik. Perlindungan didapat melalui pelapisan permukaan baja menggunakan cat anti korosi, dan perlindungan bagian-bagian yang penting menggunakan logam-logam yang lebih reaktif sebagai anoda. Proteksi katoda adalah cara pengendalian korosi suatu logam menggunakan reaksi elektrokimia, di mana reaksi oksidasi dalam sel galvanik terkonsentrasi pada anoda, yang mampu menekan laju korosi katoda dalam sel yang sama (Susilowati & Simbolon, 2019).

Menurut (Sudjasta et al., 2018) berikut ini adalah kelebihan penerapan sistem proteksi katodik metode anoda korban:

a) Pemasangan relatif mudah dan murah.



tuhkan sumber energi listrik dari luar.

; merata.

laerah berstruktur padat.

tuhkan biaya operasional.

udah.

rotection 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.

### 1.5.1 Jenis *zinc anode* dan karakteristiknya

Penentuan material yang digunakan sebagai anoda *zinc* dilakukan berdasarkan kemampuan material tersebut dalam menurunkan potensial logam yang diproteksi dengan cara membanjiri struktur dengan arus searah melalui lingkungan. Faktor lainnya yaitu biayanya murah, mampu dibentuk sesuai ukuran, dan dapat terkorosi secara merata. Anoda *zinc* yang biasa digunakan adalah magnesium (Mg), seng (Zn), dan aluminium (Al) dengan resistivitas lingkungan seperti yang ditunjukkan pada Tabel (2) (Sudjasta et al., 2018).

**Tabel 2. Jenis anoda dengan resistivitas lingkungan**

Anoda	Resistivitas Lingkungan (ohm/cm)
Aluminium (Al)	< 150
Seng (Zn)	150 - 500
Magnesium (Mg)	> 500

Sumber : (Sudjasta et al., 2018)

### 1.6 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana menentukan penempatan *zinc anode* dalam mengurangi laju korosi pada kapal *tugboat*?
2. Bagaimana jumlah *zinc anode* yang diperlukan diarea tertentu pada kapal *tugboat*?

### 1.7 Tujuan dan Kegunaan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui penempatan *zinc anode* dalam mengurangi tingkat korosi pada kapal *tugboat*.
2. Mengetahui jumlah *zinc anode* diarea tertentu pada kapal *tugboat*.



1 dari penelitian ini agar data penelitian ini dapat memberikan bagi pemilik kapal *tugboat* untuk meningkatkan efisiensi korosi, mengoptimalkan penggunaan *zinc anode* dengan rataan yang efektif dalam mengendalikan laju korosi, serta saran komposisi *zinc anode* yang efektif dalam perencanaan sebagai rekomendasi dari pihak pengelola industri galangan yor dalam perencanaan.

## BAB II METODE PENELITIAN

### 2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Labo Riset Manajemen Produksi Bangunan Lepas Pantai dan Pekerjaan Bawah Air Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin Gowa dengan waktu penelitian dilaksanakan dari bulan Februari 2024.

### 2.2 Sumber dan Jenis Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah secara kuantitatif. Dalam penelitian ini data – data yang dikumpulkan berdasarkan data di PT. Dewa Ruci Agung *Dry Dock and Shipyard* Surabaya dan berbagai sumber dari daftar pustaka dalam mendukung penelitian ini.

### 2.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan dalam “Analisis Penempatan *Zinc Anode* Untuk Perlindungan Korosi pada Kapal *Tugboat*” sebagai berikut:

#### 2.3.1 Identifikasi dan perumusan masalah

Dalam melakukan sebuah penelitian tahap awal yang perlu dilakukan adalah mengidentifikasi masalah yang akan diangkat dalam topik penelitian ini. Dari latar belakang masalah kemudian ditentukan tujuan penelitian, sehingga penelitian menjadi jelas dan terarah. Perumusan dilakukan dengan berdiskusi bersama pembimbing kerja praktik di PT. Dewa Ruci Agung *Dry Dock and Shipyard* Surabaya sehingga mendapatkan permasalahan yang akan di teliti.

#### 2.3.2 Studi literatur

Untuk membatu dalam penulisan penelitian ini diperlukan banyak literatur-literatur yang mendukung seperti buku dan jurnal yang terkait, hal ini berfungsi sebagai pengembangan wawasan dan analisis. Membaca dan meninjau literatur terkait teori korosi, perlindungan katodik, dan penempatan *zinc anode* pada kapal.

#### 2.3.3 Pengumpulan data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data yang diperlukan sebagai bahan dalam penelitian data yang dikumpulkan dalam tugas akhir ini adalah data di kapal *tugboat* yang sedang *repaired* dan data *zinc anode* yang digunakan. Pengumpulan data ini dilakukan penulis saat melaksanakan program kerja di PT. Dewa Ruci Agung *Dry Dock and Shipyard* Surabaya pada bulan Desember 2023. Berikut adalah data yang didapatkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya:



### 1) Data Anoda Karbon

Perencanaan proteksi katodik yang akan digunakan pada kapal *tugboat* dengan ukuran dan dimensi tertentu menggunakan *type quadpod zinc anode* ukuran S3 dan S8, untuk rincian spesifikasi anoda yang digunakan dapat dilihat pada tabel berikut ini:

**Tabel 3. Data desain anoda**

Parameter	Nilai <i>type</i> S3	Nilai <i>type</i> S8
Panjang <i>zinc anode</i>	200 mm	300 mm
Lebar <i>zinc anode</i>	100 mm	150 mm
Tebal <i>zinc anode</i>	20 mm	25 mm
Massa desain	3 kg	8 kg
Desain umur <i>zinc anode</i>	3 Tahun	3 Tahun
Bahan <i>zinc anode</i>	Paduan Zinc	Paduan Zinc
Efisiensi elektrokimia dalam air laut pada suhu > 20°C	780 Ah/kg	780 Ah/kg

Desain perlindungan katodik yang digunakan pada kapal *tugboat* yaitu *quadpod zinc anode type* merupakan salah satu jenis *zinc anode* yang memiliki empat kaki atau tiang yang digunakan untuk memperkuat dan meningkatkan kestabilannya ketika dipasang dibawah air. Anoda ini sering digunakan dalam aplikasi proteksi katodik pada kapal dan struktur maritim lainnya. Keunggulan *zinc anode quadpod* adalah kemampuannya bertahan dalam lingkungan air yang korosif dan memberikan perlindungan korosi yang efektif pada struktur baja dan logam yang berada di bawah air, dengan empat kaki anoda ini biasanya lebih stabil dan dapat dipasang dengan aman. *Type quadpod zinc anode* dapat dilihat pada Gambar (6).



**Gambar 6.** *Quadpod zinc anode*



lengkap kapal *tugboat* dan *shell expansion* (bukaan kulit kapal) pada Lampiran (1), sedangkan untuk detail lengkap ukuran dan detail dapat dilihat pada Lampiran (2) dan (3).

## 2.4 Analisis Data

Setelah mengadakan pengumpulan data dan pemahaman data yang dikumpulkan, dilanjutkan dengan pengelolaan data berupa :

### 2.4.1 Penyajian data

Untuk menghitung kebutuhan proteksi kapal, memerlukan data karakteristik terkait dimensi struktur kapal dan data anoda yang meliputi jenis anoda dan material yang digunakan.

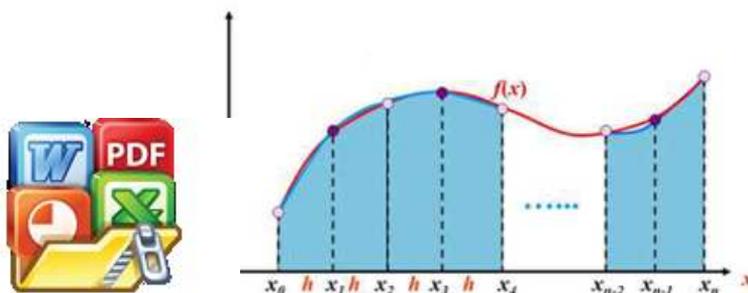
### 2.4.2 Perhitungan luasan proteksi pada kapal

Tujuan dari perhitungan luasan proteksi adalah untuk menentukan luas kapal yang tercelup air sebagai tempat pemasangan proteksi katodik anoda karbon dengan menggunakan 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. Dapat dilihat pada Gambar (7) bagaimana aturan komposisi simpson yang diaplikasikan, serta rumus aturan simpson yang digunakan seperti pada persamaan berikut (Perbani & Rinaldy, 2018).

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

Dimana : A = Luas proteksi (m<sup>2</sup>)  
 $\sum$  = Jumlah kali ordinat dengan faktor simpson (m)  
 h = Jarak antar gading (m)

### Aturan Komposisi Simpson



**Gambar 7.** Aturan komposisi simpson

umber: <https://slideplayer.info/slide/2751573/>

Dengan menggunakan metode simpson maka didapatkan estimasi luas permukaan kapal yang perlu dilindungi, berikut ini adalah contoh tabel yang menunjukkan perhitungan luasan proteksi kapal menggunakan metode simpson.

**Tabel 4. Tabel perhitungan luas proteksi dengan metode simpson**

No.	Ordinat Bukan Kulit dari Keel sampai Sarat (m)	FS	Hasil Kali (m)
	(1)	(2)	(1.2)
1.	...	1	...
2.	...	4	...
3.	...	2	...
4.	...	4	...
5.	...	1	...
		Σ	...

#### 2.4.3 Perhitungan laju korosi dan kebutuhan permintaan arus

Sebagai hasil dari luasan proteksi yang diperoleh kapal, selanjutnya dilakukan perhitungan laju korosi dan kebutuhan permintaan arus berdasarkan koefisien dalam *rules Det Norske Veritas*.

##### a) Perhitungan laju korosi

Faktor yang perlu diperhatikan dalam menentukan laju korosi pada pelat baja adalah letak anoda dan katoda. Ketika anoda terkorosi, katoda juga terkorosi. Jadi laju korosi anoda harus diperhitungkan untuk memperkirakan penggantian anoda. Oleh karena itu, laju korosi anoda harus diperhitungkan ketika penggantian anoda. Parameter untuk menghitung laju korosi adalah hasil arus per satuan luas permukaan terbuka yang juga disebut laju pengausan (*wastage*). Hal ini juga dinyatakan sebagai laju hilangnya logam dalam satuan volume dan satuan perluasan permukaan per tahun. Dalam metode proteksi korosi anoda korban ini, laju korosi dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$C_R = \frac{K \times m}{A \times \rho \times T} \dots (\text{mm/th}) \quad (2)$$

Dimana :

- $C_R$  = Laju korosi (mm/th)
- $\Delta m$  = 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 =  $7,85$  (gram/cm<sup>3</sup>)



b) Kebutuhan arus ( $I_c$ )

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:

$$I_c = A_c \times f_c \times i_c \dots (\text{Ampere}) \quad (3)$$

**Tabel 5. 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 (5) merupakan desain untuk katodik rata – rata berdasarkan kedalaman dan iklim, dan terakhir faktor kerusakan pelapis dihitung dengan memperhatikan desain umur dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$f_{C(\text{rata-rata})} = k_1 + k_2 \quad (4)$$

$$f_{C(\text{terakhir})} = k_1 + k_2 \cdot t_f \quad (5)$$

Jika nilai yang dihitung 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 (6),  $f_c$  (rata – rata) mungkin dihitung menggunakan:

$$f_{C(\text{rata-rata})} = 1 - \frac{(1-k_1)}{2k_2 t_f} \quad (6)$$

**Tabel 6. Konstanta untuk perhitungan faktor kerusakan pelapis**

Kedalaman (m)	Kategori pelapis			
	( $k_1 = 0,1$ ) $k_2$	( $k_1 = 0,050$ ) $k_2$	( $k_1 = 0,020$ ) $k_2$	( $k_1 = 0,010$ ) $k_2$
0 < 30	0,100	0,030	0,015	0,012
>30	0,050	0,020	0,012	0,012

*Veritas Industry Norway, 2010*



### kebutuhan massa anoda

laju korosi, menentukan umur anoda dan kebutuhan ta menentukan kebutuhan massa anoda untuk jenis 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:

$$m = \frac{I_c \times T \times 8760}{\mu \times \varepsilon} \dots (\text{kg}) \quad (7)$$

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),  $\varepsilon = 780$

#### 2.4.5 Analisis kebutuhan proteksi katodik *zinc anode*

Pada langkah ini, massa dan anoda yang dibutuhkan digunakan untuk menentukan jumlah anoda pelindung yang akan dipasang. Kebutuhan massa anoda korban yang telah dihitung pada Persamaan (7) kemudian dapat ditentukan kebutuhan anoda korban yang akan dipasang dibadan kapal. Sehingga jumlah anoda korban yang dibutuhkan dalam sistem proteksi katodik pada kapal dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\Sigma AK = \frac{m}{m_{AK}} \dots (\text{buah}) \quad (8)$$

Dimana:

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

#### 2.4.6 Analisis penempatan *zinc anode*

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

$$J_{AK} = \frac{K - (\text{Panjang Anoda} \times \text{Jumlah Anoda})}{\Sigma AK_{\text{total}}} \dots (\text{m}) \quad (9)$$

Dimana:

- $J_{AK}$  = Jarak antar anoda korban (m)
- K = Keliling kapal (m)
- $\Sigma AK_{\text{total}}$  = Jumlah total anoda korban yang dipasang (buah)

#### Estimasi biaya

menentukan berapa besar biaya yang dibutuhkan dalam metode sebagai proteksi katodik pada kapal *tugboat* beserta biaya



## 2.5 Diagram Alir Penelitian

Dalam mengetahui prosedur penelitian dengan jelas dilakukan skema sebagai berikut:

