

**SKRIPSI**

**PENGARUH VARIASI TEGANGAN TERHADAP  
PENGENDALIAN LAJU KOROSI MENGGUNAKAN  
*IMPRESSED CURRENT CATHODIC PROTECTION* PADA  
PELAT KAPAL *MILD STEEL GRADE A36***

**Disusun dan diajukan oleh:**

**ANDI MUH USAMAH DWI PUTRA  
D091191007**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SISTEM  
PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
2024**

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### PENGARUH VARIASI TEGANGAN TERHADAP PENGENDALIAN LAJU KOROSI MENGGUNAKAN *IMPRESSED CURRENT CATHODIC PROTECTION* PADA PELAT KAPAL *MILD STEEL GRADE A36*

Disusun dan diajukan oleh

**Andi Muhammad Usamah Dwi Putra**  
D091191007

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 07.. Maret 2024  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Rahimuddin, S.T., M.T., Ph.D  
NIP. 19710825 199903 1 002



Hariyanti Rivai, S.T., M.T., Ph.D  
NIP 19790225 200212 2 001

Ketua Program Studi,



Df. Ing Faisal Mahmuddin, ST, M.Inf. Tech., M.Eng  
NIP. 19810311 200501 1 003



## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Andi Muhammad Usamah Dwi Putra

NIM : D091191007

Program Studi : Teknik Sistem Perkapalan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**PENGARUH VARIASI TEGANGAN TERHADAP PENGENDALIAN LAJU  
KOROSI MENGGUNAKAN *IMPRESSED CURRENT CATHODIC  
PROTECTION* PADA PELAT KAPAL *MILD STEEL GRADE A36***

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, 07 Maret 2024

Yang Menyatakan



Andi Muhammad Usamah Dwi Putra



## ABSTRAK

**ANDI MUHAMMAD USAMAH DWI PUTRA.** *Pengaruh Variasi Tegangan Terhadap Pengendalian Laju Korosi Menggunakan Impressed Current Cathodic Protection Pada Pelat Kapal Mild Steel Grade A36* (dibimbing oleh Rahimuddin, S.T., M.T., Ph.D dan Hariyanti Rivai, S.T., M.T., Ph.D)

Pembangunan kapal di Indonesia perlu mematuhi standar keamanan dan keselamatan yang ketat, terutama karena kapal laut yang terbuat dari baja, rentan terhadap korosi di lingkungan laut yang korosif. Korosi pada pelat lambung kapal dapat mengancam kekuatan dan kecepatan kapal, serta keselamatan muatan dan penumpang. Metode pencegahan korosi, seperti penggunaan lapisan pelindung, *zinc anode*, dan *ICCP*, menjadi penting. Meskipun *zinc anode* umum digunakan, metode potensial proteksi katodik khususnya *ICCP*, jarang diterapkan pada kapal yang dirancang di Indonesia. Metode ini menggunakan sumber daya listrik eksternal dengan konsumsi anoda rendah, cocok untuk lingkungan laut yang sangat korosif, dan dapat menggunakan berbagai jenis anoda. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan membandingkan dampak proteksi *zinc anode* dan *ICCP* pada variasi tegangan tertentu terhadap laju korosi pada pelat baja yang mengalami gerakan relatif dalam lingkungan yang menyebabkan korosi. Berdasarkan pengujian selama 240 jam perendaman pelat baja, ditemukan bahwa laju korosi tertinggi terjadi pada pelat tanpa proteksi, mencapai 0,920 mm/y selama 10 hari dengan perendaman aliran rendah. Penggunaan *zinc anode*, terutama pada kecepatan 0,117 m/s, berhasil mengurangi laju korosi menjadi 0,353 mm/y dibandingkan tanpa proteksi dengan kondisi yang sama. Sebaliknya, metode *ICCP* pada tegangan 10,06 Volt pada spesimen dengan kecepatan aliran 0,183 m/s, menunjukkan tingkat laju korosi terendah sebesar 0,180 mm/y. Efektivitas metode *ICCP* dipengaruhi oleh posisi anoda yang sangat dekat dengan spesimen, menekankan peran signifikan posisi anoda dalam melindungi dari korosi. Dengan demikian metode *ICCP* lebih efektif dalam menghambat laju korosi pada pelat baja dibandingkan dengan *zinc anode*. Proses pengujian menunjukkan bahwa tegangan listrik berdampak signifikan terhadap proteksi luasan permukaan pelat, dengan peningkatan tegangan menyebabkan peningkatan aliran elektrolit ke permukaan struktur dan meningkatkan tingkat proteksi.

Kata kunci: Korosi, Pelat Baja, *Zinc Anode*, *ICCP*, Variasi Tegangan



## ABSTRACT

**ANDI MUHAMMAD USAMAH DWI PUTRA.** *The Influence of Voltage Variation on Controlling Corrosion Rate Using Impressed Current Cathodic Protection on Ship Mild Steel Plates Grade A36 (supervised by Rahimuddin, S.T., M.T., Ph.D., and Hariyanti Rivai, S.T., M.T., Ph.D)*

*Shipbuilding in Indonesia needs to adhere to strict safety and security standards, especially since ships made of steel are vulnerable to corrosion in corrosive marine environments. Corrosion on ship hull plates can jeopardize the strength and speed of the vessel, as well as the safety of cargo and passengers. Corrosion prevention methods, such as the use of protective coatings, zinc anodes, and ICCP, are crucial. Although zinc anodes are commonly used, cathodic protection potential methods, particularly ICCP, are rarely applied to ships designed in Indonesia. This method utilizes external electrical power with low anode consumption, suitable for highly corrosive marine environments, and can use various types of anodes. This study aims to evaluate and compare the effects of zinc anode and ICCP protection at specific voltage variations on the corrosion rate of steel plates experiencing relative motion in a corrosive environment. Based on tests conducted over 240 hours of immersion of steel plates, it was found that the highest corrosion rate occurred on unprotected plates, reaching 0.920 mm/year during 10 days of low flow immersion. The use of zinc anodes, especially at a speed of 0.117 m/s, successfully reduced the corrosion rate to 0.353 mm/year compared to unprotected conditions at the same speed. Conversely, the ICCP method at 10.06 volts on specimens with a flow rate of 0.183 m/s showed the lowest corrosion rate at 0.180 mm/year. The effectiveness of the ICCP method is influenced by the close proximity of the anode to the specimen, emphasizing the significant role of the anode position in corrosion protection. Thus, the ICCP method is more effective in inhibiting the corrosion rate on steel plates compared to zinc anodes. The testing process also showed that electrical voltage significantly impacts the protection of the plate surface area, with increasing voltage resulting in increased electrolyte flow to the structure's surface and increasing the level of protection.*

*Keywords: Corrosion, Steel Plate, Zinc Anode, ICCP, Voltage Variation*



## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....</b>	<b>i</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>x</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Definisi Korosi .....	5
2.1.1 Mekanisme Terjadinya Korosi .....	5
2.1.2 Faktor Umum Terjadinya Korosi .....	7
2.1.3 Jenis-Jenis Korosi.....	8
2.1.4 Laju Korosi.....	11
2.2 <i>Zinc Anode Protection</i> .....	12
2.2.1 Parameter Kebutuhan <i>Zinc Anode</i> .....	13
2.2.2 Kelebihan dan Kekurangan <i>Zinc Anode</i> .....	14
2.3 <i>Impressed Current Cathodic Protection</i> .....	14
2.3.1 Desain Parameter <i>Impressed Current Cathodic Protection</i> .....	16
2.3.2 Kelebihan dan Kekurangan <i>Impressed Current Cathodic Protection</i> ...	17
2.3.3 Material Anoda.....	18
2.3.4 Power Supply (DC).....	19
<b>BAB 3 METODOLOGI .....</b>	<b>20</b>
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	20
3.2 Data Penelitian.....	20
3.2.1. Data Primer.....	20
3.2.2. Data Sekunder .....	21
Perakitan Pengujian .....	24
3.3.1 Bahan Uji.....	24
3.3.2 Alat .....	24
3.3.3 Susunan Spesimen Uji.....	25



3.3.4 Variasi Pengujian .....	26
3.4 Prosedur Pengujian.....	26
3.5 Analisa Data .....	27
3.6 Kerangka Penelitian.....	28
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>29</b>
4.1 Perbandingan Pengaruh Penggunaan <i>Zinc Anode</i> Dengan Proteksi <i>ICCP</i> Terhadap Pengendalian Laju Korosi Pada Pelat Baja <i>Mild Steel</i> .....	29
4.1.1. Pengujian Laju Korosi Tanpa Proteksi.....	30
4.1.2. Pengujian Pengendalian Laju Korosi Menggunakan Proteksi <i>Zinc Anode</i> .....	31
4.1.3. Pengujian Pengendalian Laju Korosi Menggunakan Proteksi <i>ICCP</i> ....	32
4.1.4. Tabel Hasil Perbandingan Pengujian Pengendalian Laju Korosi Pada Pelat Baja <i>Mild Steel</i> .....	35
4.1.5. Grafik Hasil Perbandingan Pengendalian Pengujian Laju Korosi Pada Pelat Baja <i>Mild Steel</i> .....	37
4.2 Pengaruh Tegangan Listrik Terhadap Perubahan Laju Korosi Pelat Baja <i>Mild Steel</i> .....	39
4.2.1. Perbandingan Struktur Permukaan Pelat Tiap Kenaikan Voltase .....	41
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>44</b>
5.1. Kesimpulan.....	44
5.2. Saran .....	44
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>45</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>47</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Mekanisme Korosi.....	7
Gambar 2 Korosi Yang Diakibatkan Karena Faktor Lingkungan Air Laut .....	8
Gambar 3 Korosi Galvanik Pada Kapal .....	9
Gambar 4 Korosi Sumuran Pada Permukaan Roll Bearing.....	10
Gambar 5 Korosi Yang Terjadi Pada Graind Boundary Sebuah logam.....	10
Gambar 6 Propeller Yang Mengalami Korosi Erosi .....	11
Gambar 7 Proses Perlindungan Korosi Menggunakan Zinc Anode.....	12
Gambar 8 Skema Rangkaian Aliran Arus Pada Sistem ICCP Badan Kapal .....	15
Gambar 9 Lokasi Penelitian .....	20
Gambar 10 Dimensi Spesimen Uji .....	21
Gambar 11 Foto Mikro Pelat Tanpa Proteksi Sebelum Pengujian.....	21
Gambar 12 Foto Mikro Pelat Sebelum Pengujian Zinc Anode.....	21
Gambar 13 Foto Mikro Pelat Sebelum Pengujian ICCP 5,16 Volt .....	22
Gambar 14 Foto Mikro Pelat Sebelum Pengujian ICCP 7,80 Volt .....	22
Gambar 15 Foto Mikro Pelat Sebelum Pengujian ICCP 10,06 Volt .....	22
Gambar 16 Susunan Spesimen Uji Tanpa Proteksi .....	25
Gambar 17 Susunan Spesimen Uji Menggunakan Zinc Anode .....	25
Gambar 18 Susunan Spesimen Uji Menggunakan ICCP .....	25
Gambar 19 Foto Mikro Pelat Setelah Pengujian Tanpa Proteksi .....	31
Gambar 20 Foto Mikro Pelat Setelah Pengujian Zinc Anode .....	32
Gambar 21 Foto Mikro Pelat Setelah Pengujian ICCP 5,16 Volt .....	34
Gambar 22 Foto Mikro Pelat Setelah Pengujian ICCP 7,80 Volt .....	34
Gambar 23 Foto Mikro Pelat Setelah Pengujian ICCP 10,06 Volt .....	35
Gambar 24 Grafik Laju Korosi (mm/y) Pada Pelat A .....	37
Gambar 25 Grafik Laju Korosi (mm/y) Pada Pelat B .....	37
Gambar 26 Grafik Laju Korosi (mm/y) Pada Pelat C .....	38
Gambar 27 Grafik Perubahan Weight Loss Pada Pelat A .....	39
Gambar 28 Grafik Perubahan Weight Loss Pada Pelat B .....	39
Gambar 29 Grafik Perubahan Weight Loss Pada Pelat C .....	40
Gambar 30 Fotomikro Perubahan Struktur Korosi Tiap Kenaikan Voltase Pelat a.....	41
Gambar 31 Fotomikro Perubahan Struktur Korosi Tiap Kenaikan Voltase Pelat b.....	42
Gambar 32 Fotomikro Perubahan Struktur Korosi Tiap Kenaikan Voltase Pelat c.....	43



## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Tingkat Ketahanan Korosi Berdasarkan Laju Korosi .....	12
Tabel 2 Komposisi Kimia Mild Steel SS400.....	22
Tabel 3 Sifat Mekanis Mild Steel SS400.....	23
Tabel 4 Variasi Pengujian Kehilangan Berat dan Laju Korosi .....	26
Tabel 5 Kecepatan Aliran Dalam Wadah Pengujian.....	30
Tabel 6 Laju Korosi Spesimen Uji Tanpa Proteksi .....	31
Tabel 7 Laju Korosi Spesimen Pada Proteksi Zinc Anode .....	32
Tabel 8 Laju Korosi Spesimen Pada Proteksi ICCP.....	34
Tabel 9 Kehilangan Berat dan Laju Korosi Spesimen Uji .....	35



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Nilai Perhitungan Kecepatan Aliran Setiap Jarak Spesimen Uji.....	47
Lampiran 2 Hasil Perhitungan Laju Korosi Pada Spesimen Uji Tanpa Proteksi .....	48
Lampiran 3 Hasil Perhitungan Laju Korosi Spesimen Uji Menggunakan Zinc Anode ....	49
Lampiran 4 Hasil Perhitungan Laju Korosi Spesimen Uji Menggunakan Proteksi ICCP 50	
Lampiran 5 Nilai Salinitas Air Laut .....	52
Lampiran 6 Zinc Anode dan Anoda Grafit Yang digunakan .....	53
Lampiran 7 Perakitan Wadah dan Pembersihan Sampel Uji.....	54
Lampiran 8 Pengecekan Air Laut dan Proses Fotomikro Sampel Uji.....	55
Lampiran 9 Proses Pengujian dan Pengecekan Variasi.....	56
Lampiran 10 Proses Pengangkatan Sampel Uji.....	57
Lampiran 11 Proses Pengambilan Data Hasil Spesimen Yang Telah Diuji.....	58



## KATA PENGANTAR

Dengan penuh rasa syukur yang mendalam, penulis menyajikan pengantar ini sebagai ungkapan terimakasih dan apresiasi kepada semua yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan motivasi selama proses penyusunan skripsi ini. Penulisan skripsi berjudul “Pengaruh Variasi Tegangan Terhadap Pengendalian Laju Korosi Menggunakan *Impressed Current Cathodic Protection* Pada Pelat Kapal *Mild Steel Grade A36*” tidak hanya menjadi bagian dari perjalanan akademik, melainkan juga manifestasi dari keinginan untuk mengeksplorasi dan mendalami suatu bidang pengetahuan terutama bidang pengujian bahan di Teknik Sistem Perkapalan. Meskipun proses ini penuh dengan tantangan, namun di dalamnya tersimpan pengalaman berharga dan pemahaman yang mendalam terhadap penelitian yang dikerjakan.

Pertama-tama, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada Ayah, Ibu, dan seluruh keluarga, yang selalu memberikan doa, dukungan, dan pengertian sepanjang perjalanan ini. Keberadaan mereka menjadi sumber kekuatan dan inspirasi yang tak tergantikan. Kemudian terima kasih kepada Bapak Rahimuddin, S.T., M.T., Ph.D dan Ibu Hariyanti Rivai, S.T., M.T., Ph.D atas bimbingan yang telaten, kesabaran, dan dedikasi penuh. Dukungan tersebut menjadi landasan utama dalam perjalanan penulisan skripsi ini. Penghargaan juga diberikan kepada seluruh dosen dan staf di Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah berkontribusi dengan ilmu pengetahuan dan bimbingan sepanjang perjalanan kuliah. Rasa terimakasih juga disampaikan kepada rekan-rekan sejawat yang memberikan dukungan moril, semangat, dan inspirasi selama proses akademik. Kebersamaan angkatan 2019 ini menjadi pendorong utama untuk konsistensi dan perkembangan dalam pengerjaan skripsi ini.

Harapannya, skripsi ini dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan menjadi referensi bermanfaat bagi pembaca. Penulis sadar bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, namun dengan kerendahan hati, diharapkan tulisan ini dapat memberikan sumbangan positif untuk pengembangan bidang ilmu yang dikaji.

Sebagai penutup, penulis berharap bahwa kata pengantar ini mampu menyampaikan rasa terima kasih yang tulus kepada semua yang telah berperan dalam penyelesaian skripsi ini. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat dan inspirasi bagi pembaca serta menjadi langkah awal untuk penelitian-penelitian berikutnya.



# BAB 1 PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Transportasi laut adalah salah satu media pendistribusi yang sangat efektif dan merupakan unsur vital dalam kehidupan bangsa dalam memupuk kesatuan dan persatuan bangsa Indonesia sebagai negara kepulauan. Tercatat bahwa pada tahun 2021 jumlah armada kapal laut di Indonesia sebanyak 72.313 unit dan angka tersebut meningkat 13,9% dari tahun sebelumnya yang sebanyak 63.490 unit (dataIndonesia. id 2022). Seiring dengan peningkatan kebutuhan transportasi laut maka pembangunan suatu kapal di wilayah Indonesia juga harus dituntut agar memenuhi standar yang ditentukan, terutama yang berkaitan dengan aspek keamanan dan keselamatan. Merupakan suatu kenyataan yang kurang menguntungkan bahwa kapal laut yang kebanyakan terbuat dari baja harus beroperasi di laut yang merupakan media korosif, sehingga baja akan sangat rentan terhadap serangan korosi (Rosadi, 2003).

Kapal laut secara langsung akan bersentuhan dengan air laut, dimana air laut dengan kandungan garam mampu mempercepat laju korosi walaupun telah diberi lapisan anti korosi. Korosi merupakan fenomena alamiah yang terjadi pada material logam, dimana korosi merupakan proses kerusakan material karena reaksi kimia atau elektrokimia dengan lingkungannya. Lingkungan tersebut yaitu lingkungan asam, udara, embun, air tawar, air laut, air danau, air sungai dan air tanah. Air laut mempunyai sifat korosif sehubungan dengan kandungan di dalamnya meliputi ion klorida, daya hantar listrik, oksigen, kecepatan aliran, temperatur, fouling, tegangan, pencemaran, silt dan sedimen tersuspensi, deposit yang terbentuk sehingga menyebabkan kerusakan pada plat lambung kapal (Fontana, 1986). Korosi dapat menyebabkan kerusakan serius pada pelat baja kapal, mengancam integritas struktural, kekuatan, dan kinerja keseluruhan kapal sehingga dapat menyebabkan kecelakaan transportasi laut atau kapal "*Ship Accident*" yang tercatat sebagai



an berskala Peristiwa Luar Biasa Hebat (PLH). Dari data kecelakaan yang oleh Komite Nasional Kecelakaan Transportasi (KNKT) kecelakaan adalah salah satu yang mengalami fluktuasi penurunan dan peningkatan

tiap tahunnya, berdasarkan data KNKT 2010 - 2016. Oleh karena itu, perlindungan terhadap korosi menjadi sangat penting dalam memastikan keberlangsungan operasional kapal dan keselamatan pelayaran. Untuk menghindari kerugian lebih besar akibat korosi air laut, pelat lambung kapal perlu diberi perlindungan dari serangan korosi secara berkala. Pada dasarnya korosi tidak bisa dicegah secara menyeluruh, tapi masih memungkinkan untuk mengurangi laju korosi dan akibat yang bisa ditimbulkan oleh korosi. Sumber yang menyebabkan kerusakan terbesar pada lambung kapal laut adalah disebabkan oleh korosi air laut.

Metode perlindungan dalam mencegah korosi pada lambung kapal dapat dilakukan dengan berbagai cara antara lain dengan menggunakan pemberian lapisan pelindung (*coating*), anoda tumbal (*sacrificial anodes / zinc anode*), dan pemberian potensial proteksi katodik (*impressed current*). *Impressed current cathodic protection* adalah metode proteksi katodik yang menggunakan sumber daya listrik dari luar. Metode ini mempunyai laju konsumsi anoda yang rendah. Metode ini hanya dipakai pada kondisi lingkungan yang sangat korosif, sehingga memerlukan arus proteksi yang besar.

Proteksi katodik dalam kasus ini adalah dengan mengaplikasikan katodik pada permukaan yang terkorosi dengan memberikan sumber daya listrik eksternal, seperti penyearah (*rectifier*), digunakan untuk menyediakan arus DC yang diperlukan untuk menggerakkan sistem *ICCP*. Penyearah mengubah arus listrik AC dari jaringan listrik menjadi arus listrik DC yang diperlukan untuk melindungi struktur logam. Saat katodik ada di permukaan yang dilapisi, potensi di permukaan akan turun. Alasan yang paling umum untuk memilih *Impressed Current Cathodic Protection* yaitu karena efektivitasnya dalam melindungi struktur logam dari korosi dalam lingkungan yang beragam. Anoda yang digunakan sebagai proteksi mempunyai keunggulan yaitu mempunyai masa aktif yang lama. Dengan demikian, material seperti platinum titanium, magnet, baja silikon, dan grafit biasanya digunakan pada pengaplikasian tersebut. Anoda berbahan magnet mempunyai rasio pemakaian rendah, dimana mempunyai masa aktif yang relatif

da penelitian ini pengujian korosi mengarah pada menganalisis dan lingkkan laju korosi pada sampel yang bergerak relatif pada media korosif yaitu air laut agar dapat mengetahui dan menganalisis



perbandingan pengaruh proteksi *zinc anode* dengan proteksi pada pelat yang dipengaruhi oleh variasi tegangan (*ICCP*) terhadap laju korosi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh penggunaan *Zinc Anode* dibandingkan dengan penggunaan *Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)* terhadap pengendalian laju korosi pada pelat baja *Mild Steel* ?
2. Bagaimana pengaruh tegangan listrik terhadap perubahan laju korosi pada pelat baja *Mild Steel* ?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang akan dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa efektifitas *ICCP* dibandingkan *Zinc Anode* terhadap pengendalian laju korosi pada pelat baja *Mild Steel*.
2. Menganalisa pengaruh tegangan listrik terhadap perubahan laju korosi pada pelat baja *Mild Steel*.

## 1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, beberapa batasan telah ditetapkan untuk memastikan pembahasan tidak terlalu luas, yaitu:

1. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen.
2. Material pelat kapal yang dianalisis menggunakan bahan material *Mild Steel* A36 / SS400 dan diasumsikan memiliki struktur pelat yang homogen.
3. Air laut yang digunakan berasal dari perairan yang terletak di antara Makassar dan Pulau Gusung dengan nilai salinitas 33 ppm.
4. Faktor *coating* tidak diperhatikan untuk mengetahui keadaan normal plat kapal.
5. Metode perhitungan laju korosi yang digunakan adalah *Weight Loss* (merujuk ASTM G31-72 untuk mengetahui kehilangan berat dan NACE/DNV sebagai standar perhitungan laju korosi menggunakan proteksi katodik).



6. Validasi pengujian dengan melampirkan fotomikro pelat sebelum dan sesudah diuji.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini ditujukan bagi beberapa pihak sebagai berikut.

1. Bagi pelaku industri dapat menjadi referensi untuk menerapkan sistem kerja *Impressed Current Cathodic Protection*.
2. Dapat menjadi referensi dalam mengaplikasikan ilmu-ilmu Teknik Sistem Perkapalan khususnya dalam bidang kelistrikan dalam memecahkan permasalahan yaitu efisiensi *Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)* terhadap perubahan laju korosi pada pelat kapal.
3. Sebagai bentuk evaluasi yang ditampilkan agar pihak lain dapat menjadikan referensi penyusunan regulasi tingkat pengetahuan terhadap penggunaan *ICCP* dan meramalkan laju korosi pada pelat kapal.



## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Definisi Korosi

Korosi adalah degradasi pada suatu logam oleh reaksi kimia dengan lingkungannya. Korosi merupakan sumber dari kerusakan terbesar yang terjadi pada kapal karena mengakibatkan *fatigue life* dan berkurangnya kecepatan kapal (Bialystocki & Konovessis, 2016; Hu et al., 2021). Menurut Alvina (2016) korosi secara umum diartikan sebagai proses penurunan kualitas material akibat interaksi dengan lingkungan sekitarnya. Interaksi yang dimaksud adalah menimbulkan reaksi korosi yang umumnya merupakan reaksi elektrokimia. Korosi sebagai suatu reaksi elektrokimia yang memberikan dampak kerusakan fisik suatu material secara signifikan sehingga perlu perhatian untuk mencegah dan meminimalisasi kerugian yang timbul akibat efek korosi. Jumlah logam dan paduannya merupakan fungsi dari lingkungan sehingga saling mempengaruhi kedua parameter tersebut antara lain lingkungan air tawar, air laut, tanah (Chandler, 1985).

Korosi terjadi dalam berbagai macam bentuk, mulai dari korosi merata pada seluruh permukaan logam sampai dengan korosi yang terkonsentrasi pada bagian tertentu saja. Korosi pada logam terjadi karena adanya aliran arus listrik dari satu bagian pada ke bagian yang lain di permukaan logam. Aliran arus ini akan menyebabkan hilangnya metal pada bagian dimana arus dilepaskan ke lingkungan (oksidasi atau reaksi anoda). Proteksi terjadi di titik dimana arus kembali ke permukaan logam (reaksi katoda). Adapun beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam proses korosi ini, diantaranya adalah sebagai berikut :

#### 2.1.1 Mekanisme Terjadinya Korosi

Menurut Trethewey (1991) (dalam Hanif, 2018), mekanisme reaksi korosi pada besi dalam baja lingkungan basa adalah sebagai berikut :

- 1 Pada anoda terjadi pelarutan besi (Fe) menjadi ion  $Fe^{2+}$  yaitu :



Pada katoda terjadi reaksi :



- 3 Pada katoda untuk lingkungan (larutan) netral maka reaksi yang terjadi adalah :



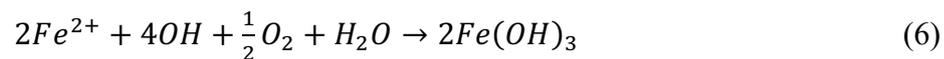
- 4 Pada katoda untuk lingkungan (larutan) asam maka reaksi yang terjadi adalah :



Reaksi pada persamaan di atas terjadi secara bertahap dan sebenarnya terjadi juga beberapa reaksi lanjutan dalam larutan. Pada peristiwa korosi, Ion Ferro (Fe) yang terbentuk di anoda akan teroksidasi membentuk Ferrokksida (FeO) berbentuk lapisan sangat tipis menempel pada permukaan logam dan mencegah larutnya besi lebih lanjut :



Demikian juga pada katoda oksigen harus mencapai permukaan logam agar reaksi (1) dan (2) terjadi. Ion Hidroksil (OH) yang terbentuk juga dapat terserap pada permukaan membentuk lapisan yang menghalangi penyerapan oksigen. Pada keadaan ini terjadi polarisasi katoda dan proses korosi berjalan lambat. Pada peristiwa korosi yang cepat, lapisan ion Fe bereaksi dengan ion OH :

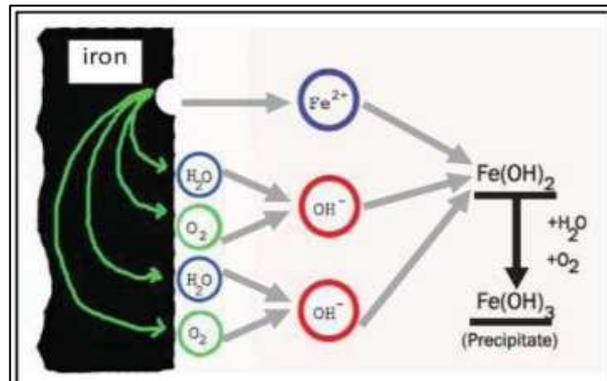


Dapat ditarik kesimpulan bahwa korosi akan terjadi apabila terdapat 4 komponen :

1. Anoda yang merupakan elektroda yang akan mengalami reaksi oksidasi.
2. Katoda yang merupakan elektroda mengalami reaksi proteksi, tempat katodik terjadi.
3. Ada media untuk transfer elektron / penghantar arus kontak metalik antar anoda dan katoda sehingga electron dapat mengalir dari anoda menuju katoda.
4. Ada lingkungan / larutan yang bersifat elektrolit.

Secara umum mekanisme korosi yang terjadi di dalam suatu larutan berawal dari Fe yang teroksidasi di dalam larutan dan melepaskan elektron untuk ion logam yang bermuatan positif. Dimana material yang terkorosi dan menghasilkan produk korosi berupa  $Fe(OH)_2$  sesuai pada gambar 3.





Gambar 1 Mekanisme Korosi

Sumber : Haryono (2010) (dalam Hanif, 2018)

### 2.1.2 Faktor Umum Terjadinya Korosi

Salah satu sumber kerusakan terbesar pada pelat kapal laut adalah korosi air laut. Air laut mempunyai sifat korosif sehubungan dengan kandungan di dalamnya meliputi ion klorida, kehantaran listrik, oksigen, kecepatan aliran, temperatur, *fouling*, tegangan, pencemaran, *silt* dan sendimen tersuspensi, deposit yang terbentuk (Fontana, 1986). (Sulaiman, et al., 2014) menyebutkan bahwa baja karbon dan logam besi di dalam air laut tidak dapat dipasifkan sehubungan karena garam air laut mengandung klorida lebih dari 55%. Berdasarkan konstruksi di galangan kapal, pelat lambung kapal adalah daerah yang pertama kali terkena air laut. Pada daerah lambung ini bagian bawah garis air ataupun daerah atas garis air rentan terkena korosi sehingga perlu diperhatikan salah satu faktor penyebab korosi pada lambung kapal yang paling umum adalah faktor lingkungan. Baja karbon dan logam besi akan mudah terkena korosi di lingkungan atmosfer, apabila menghadapi lingkungan air laut maka akan mengalami korosi yang cukup hebat karena kehantaran yang tinggi sehingga peluang terkena korosi meningkat tajam dibanding dalam air tawar.





Gambar 2 Korosi Yang Diakibatkan Karena Faktor Lingkungan Air Laut  
(Sumber : <http://surl.li/qkcpq>)

Korosi sendiri terjadi karena adanya interaksi antara logam dengan lingkungannya.

Beberapa contoh lingkungan yang dimaksud adalah antara lain:

- a) Air Laut
- b) Air Tawar
- c) Cairan asam dan basa
- d) Tanah
- e) Uap

### 2.1.3 Jenis-Jenis Korosi

Berdasarkan bentuk dan tempat terjadinya, korosi terbagi dalam beberapa jenis antara lain, korosi seragam (*uniform corrosion*), korosi sumuran, korosi antar butir, korosi erosi, korosi *galvanic*, korosi celah dan masih banyak lainnya. Korosi seragam atau korosi umum merupakan proses independen dari mikro material dan desain komponen. Hal ini sangat tergantung pada kondisi lingkungan dan komposisi materialnya, umumnya terjadi pada tingkat yang lambat. Semua bentuk sisa korosi terlokalisasi, tergantung pada lingkungan, komponen dan sistem desain, dan/atau struktur mikro bahan. Bentuk ini biasanya menghasilkan laju korosi lebih tinggi dari korosi seragam, dan dalam beberapa kasus bisa sangat cepat. Masing-masing dari berbagai bentuk korosi harus dievaluasi untuk bahan dan lingkungannya ketika merancang suatu sistem bangunan yang baru. Bagian berikut



p semua bentuk korosi yang juga mengamati kerentanan beberapa bahan  
na proteksi untuk berbagai bentuk korosi. (Benjamin D. Craig, 2006)  
ni merupakan penjelasannya :

## 1. Korosi Galvanik

Menurut M. Fajar Sidiq (2013), korosi galvanik terjadi ketika dua logam yang berbeda terhubung melalui elektrolit, menyebabkan salah satu logam mengalami korosi sementara yang lain terlindungi. Untuk menentukan logam mana yang akan mengalami korosi dalam korosi galvanik, dapat merujuk pada deret galvanik.



Gambar 3 Korosi Galvanik Pada Kapal  
(Sumber : <http://surl.li/qkcoi>)

## 2. Korosi Sumuran

Korosi sumuran merupakan korosi yang muncul dan terkonsentrasi pada daerah tertentu. Bentuk korosi ini biasanya disebabkan oleh klorida. Mekanisme terbentuknya korosi sumuran sama dengan korosi celah. Hanya saja korosi sumuran ukurannya lebih kecil jika dibandingkan dengan korosi celah. Karena jaraknya yang saling berdekatan satu sama lain, korosi sumuran akan mengakibatkan permukaan logam menjadi kasar. Korosi sumuran ini diawali dengan pembentukan lapisan pasif dipermukaan, kemudian diantara lapisan pasif dan elektrolit terjadi penurunan pH, sehingga lapisan pasif larut secara perlahan-lahan, dan akhirnya pecah. Korosi sumur ini sangat berbahaya karena areanya kecil (spot) membentuk sumur. Pengendalian korosi dengan pemilihan protective coating, memperhalus desain permukaan material, penggunaan inhibitor dan sedapat mungkin meletakkan material dengan posisi vertikal untuk mengurangi genangan air pada permukaan logam. (Edi Marwanto S, 2017).

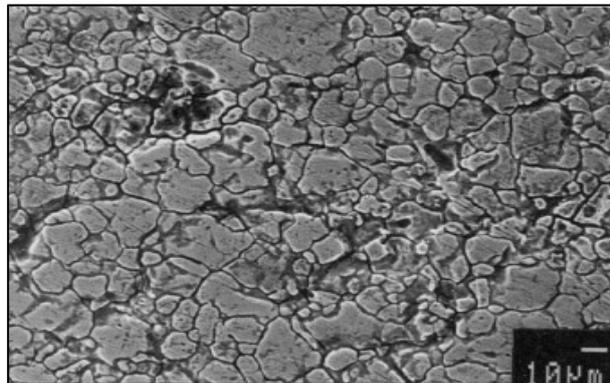




Gambar 4 Korosi Sumuran Pada Permukaan Roll Bearing  
(Sumber : *M.I. Mat. Kons. Vol. 11 No. 2 Desember 2011 : 123 – 130*)

### 3. Korosi Antar Butir

Korosi antar butir atau *intergranular corrosion* merupakan korosi yang terjadi pada *grain boundary* sebuah logam atau *alloy*. Korosi tipe ini biasanya disebabkan karena adanya impuritas atau pengotor pada batas butir dan terjadi secara lokal disepanjang batas butir pada logam paduan. (Karyono, et al., 2017)



Gambar 5 Korosi Yang Terjadi Pada Grain Boundary Sebuah logam  
(Sumber : <https://www.ssina.com/education/corrosion/intergranular-corrosion/>)

### 4. Korosi Erosi

Korosi Erosi merupakan gabungan dari kerusakan elektrokimia dan kecepatan fluida yang tinggi pada permukaan logam. Korosi erosi dapat pula terjadi karena adanya aliran fluida yang sangat tinggi melewati benda yang diam atau statis. Atau bisa juga terjadi karena sebuah objek bergerak cepat di dalam fluida yang diam, misalnya baling-baling kapal laut. (Karyono, et al., 2017)





Gambar 6 Propeller Yang Mengalami Korosi Erosi  
(Sumber :<https://nadyameichristinakil7.wordpress.com/2018/11/20/korosi/>)

### 2.1.4 Laju Korosi

Laju korosi adalah kecepatan degradasi material terhadap waktu. Pengukuran laju korosi (*Corrosion Rate*) secara eksperimen dapat dilakukan dengan beberapa metode yaitu :

1. Metode pengukuran kehilangan berat (*Weight Loss*)
2. Metode elektrokimia (*Tafel Potential*)
3. Metode *Salt Spray*
4. Metode *Coupon Test*

Pada metode penelitian kali ini berfokus pada pengukuran kehilangan berat (*weight loss*), besarnya korosi dinyatakan sebagai besarnya kehilangan berat kupon logam yang diuji per-satuan luas permukaan per-satuan waktu. Menurut NACE (*National Association of Corrosion Engineers*) persamaan umumnya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$CR = \frac{K W}{DAT} \quad (7)$$

Dimana :

- CR = Laju Korosi (mm/year)  
 K = Konstanta  $8,76 \times 10^4$  (mm/year)  
 D = Massa jenis sampel uji (gram/cm<sup>3</sup>)  
 W = Berat yang hilang (gram)  
 A = Luas permukaan (cm<sup>2</sup>)  
 T = Waktu (jam)



Menurut (Hanif, 2018) tingkat ketahanan suatu material terhadap korosi umumnya memiliki nilai laju korosi antara 1 – 200 mpy. Berikut tabel penggolongan tingkat ketahanan material berdasarkan laju korosinya.

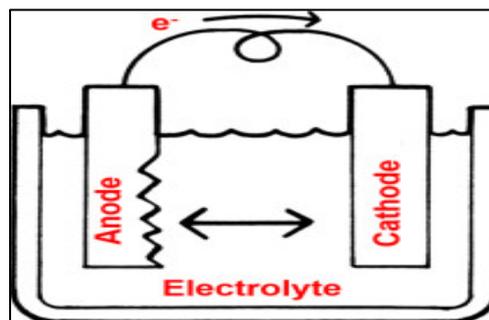
*Tabel 1 Tingkat Ketahanan Korosi Berdasarkan Laju Korosi*

Relative Corrosion Resistance	Approximate Metric Equivalent				
	mpy	mm/year	$\mu\text{m}/\text{yr}$	nm/yr	pm/sec
Outstanding	<1	<0,02	<25	<2	<1
Excellent	1-5	0,02-0,1	25-100	2-10	1-5
Good	5-20	0,1-0,5	100-500	10-50	5-20
Fair	20-50	0,5-1	500-1000	50-100	20-50
Poor	50-200	42125	1000-5000	150-500	50-200
Unacceptable	200+	5+	5000+	500+	200+

(Sumber: Hanif, A.K., 2018)

## 2.2 Zinc Anode Protection

Proteksi *zinc anode* merupakan salah satu metode perlindungan yang digunakan untuk melindungi logam dari korosi. Dalam metode ini, sebuah anoda terbuat dari seng (*zinc*) ditempatkan di dekat logam yang ingin dilindungi. Ketika logam ini terendam dalam lingkungan yang korosif, seng akan bereaksi lebih aktif secara elektrokimia daripada logam yang dilindungi. Akibatnya, seng akan terkorosi terlebih dahulu (menjadi anoda) dan melindungi logam yang dilindungi (menjadi katoda) dari korosi. Metode proteksi dengan menggunakan *zinc anode* dapat dilakukan dengan menghubungkan *zinc anode* ke material yang ingin diproteksi.



Gambar 7 Proses Perlindungan Korosi Menggunakan Zinc Anode  
(Sumber : <http://surl.li/qkctg>)



Proses kimiawi perlindungan menggunakan *zinc anode* tanpa aliran listrik ini terjadi melalui reaksi redoks antara *zinc anode* dan lingkungan korosif, seperti air laut. Ketika *zinc anode* berada di lingkungan tersebut, secara alami akan mengalami oksidasi, melepaskan elektron, dan membentuk ion zinc positif ( $Zn^{2+}$ ). Reaksi ini menghasilkan lapisan oksida pada permukaan zinc anode yang mencegah korosi lebih lanjut. Selama proses ini berlangsung, *zinc anode* secara bertahap akan terkikis dan habis, mengorbankan dirinya sendiri untuk melindungi logam yang akan diproteksi. Ini adalah prinsip dasar dari perlindungan katodik dengan anoda korban atau "*sacrificial anode*". Secara umum, *zinc anode* lebih umum digunakan daripada alumunium karena sifat-sifat moderatnya dan oksidasi yang lebih rendah daripada alumunium.

### 2.2.1 Parameter Kebutuhan Zinc Anode

Untuk menghitung kebutuhan *Zinc Anode* perlu diperhatikan luasan pada area yang akan dilindungi, berdasarkan (DnV, 2010) maka kebutuhannya dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini :

1. Kebutuhan Berat Anoda (*Zinc*)

$$Aw = \frac{A \times CD \times Immersion}{U \times 1000} \quad (8)$$

Dimana :

$Aw$  = Anode Weight (lbs)

$A$  = Luasan Spesimen ( $cm^2$ )

$CD$  = Current Density ( $mA/ft^2$ )

Immersion = Umur Perencanaan (8766 hours/year)

$U$  = Energy Content (A.Hours/lbs)

2. Kebutuhan Jumlah Anoda (*Zinc*)

$$N = \frac{Aw}{W_{Zinc}} \quad (9)$$

Dimana :

$N$  = Kebutuhan jumlah anoda

$W_{zinc}$  = Berat *Zinc Anode* per-unit (lbs)

Jarak Anoda (*Zinc*)

$$S = \frac{Lwl}{N} \quad (10)$$



Dimana :

$S$  = Jarak (m)

$Lwl$  = Panjang area yang tercelup (m)

### 2.2.2 Kelebihan dan Kekurangan *Zinc Anode*

Berikut beberapa kelebihan dan kekurangan daripada penggunaan *Zinc Anode Protection* :

#### A. Kelebihan

1. Dapat digunakan bahkan tanpa arus listrik.
2. Membutuhkan pengawasan sistem yang lebih sedikit dibanding sistem *ICCP*.
3. Instalasi anoda tambahan mudah dilakukan untuk mengatasi kekurangan anoda sebelumnya.
4. Anoda tidak mungkin terpasang secara tidak benar, dan tidak ada risiko proteksi berlebihan jika terlalu banyak anoda yang dipasang.

#### B. Kekurangan

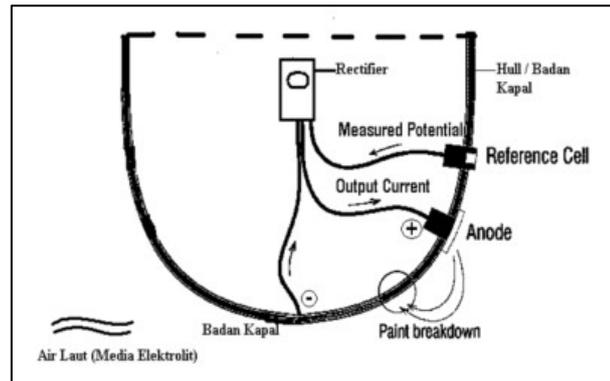
1. Konduktivitas tinggi bisa menjadi masalah jika anoda dipasang di dalam tanah.
2. Kemampuan melindungi struktur dari korosi tergantung pada ukuran anoda.

### 2.3 *Impressed Current Cathodic Protection*

Pada metode *ICCP (Impressed Current Cathodic Protection)* atau arus terpasang, perlindungan akan diberikan dengan adanya jalan menggunakan sumber arus DC yang dialirkan dari luar sistem. Arus yang dialirkan ke logam kemudian diproteksi melalui anoda dan elektrolit, dimana anodanya boleh apabila tidak terkorosi. (Rosadi, 2003). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Dwinhasari pada tahun 2016 menyimpulkan bahwa metode ini adalah metode proteksi dengan menggunakan sumber arus yang berasal dari luar. Biasanya dari arus AC yang

di dengan sistem penyearah arus (*rectifier*) sehingga menjadi arus DC.





Gambar 8 Skema Rangkaian Aliran Arus Pada Sistem ICCP Badan Kapal  
 Sumber : Wiludin A (2013)

Kutub negatif akan dihubungkan ke struktur yang dilindungi dan kutub positif akan dihubungkan ke anoda. Arus mengalir dari anoda melalui elektrolit ke permukaan struktur, kemudian mengalir sepanjang struktur dan kembali ke *rectifier* melalui konduktor listrik. Karena struktur menerima arus dari elektrolit, maka struktur menjadi terproteksi. Keluaran (*output*) arus *rectifier* diatur untuk mengalirkan arus yang cukup sehingga dapat mencegah arus korosi yang akan meninggalkan daerah anoda pada struktur yang dilindungi. Dengan keluaran arus dari anoda ini maka anoda tersebut terkonsumsi. Untuk itu maka sebaiknya menggunakan bahan yang laju konsumsinya lebih rendah dari magnesium, zinc dan aluminium yang biasa dipakai untuk sistem tersebut, umumnya digunakan paduan kombinasi bahan yang khusus. (Hanif, 2018).

Secara konseptual, *ICCP* bekerja dengan menjadikan struktur logam yang dilindungi sebagai katoda dalam suatu sel elektrokimia. Arus listrik dari sumber eksternal dipasok ke struktur ini melalui anoda yang terhubung. Ketika arus ini mengalir, reaksi kimia terjadi di permukaan struktur logam yang dilindungi. Dengan meningkatkan tegangan, lebih banyak elektron yang dialirkan ke struktur tersebut, yang mempercepat proses reaksi kimia dan membentuk lapisan pelindung yang lebih tebal. Peningkatan tegangan dalam metode *ICCP* (*Impressed Current Cathodic Protection*) cenderung meningkatkan perlindungan korosi. Hal ini terjadi karena peningkatan tegangan meningkatkan jumlah elektron yang dialirkan ke yang dilindungi. Dengan elektron yang banyak mengalir maka lebih reaksi reduksi terjadi di permukaan logam yang dilindungi, menghasilkan



lebih banyak perlindungan pada katodik dan mempercepat perlindungan dari korosi.

### 2.3.1 Desain Parameter *Impressed Current Cathodic Protection*

Untuk mendesain *ICCP* maka diperlukan analisa dari segi teknis yang berfungsi sebagai nilai efektifitas pada saat memberikan proteksi katodik pada baja. Berdasarkan Aridansyah (2015) (dalam Rizky, 2010), perhitungan desain *ICCP* dapat menggunakan tahapan sebagai berikut :

1. Kondisi *Coating* /Lapis Lindung

Data ini penting untuk analisa awal perhitungan pada desain *ICCP*. Material lapis lindung yang digunakan dan ketebalan lapisannya perlu ditinjau untuk dianalisa.

2. Luas Permukaan Material yang diproteksi

$$A = P \times L \quad (11)$$

Dimana :

A = Luas permukaan material yang diproteksi (m<sup>2</sup>)

L = Lebar (m)

P = Panjang material (m)

3. Kebutuhan Arus Proteksi

$$I_c = A \times f_c \times i_c \quad (12)$$

Dimana :

I<sub>c</sub> = Kebutuhan arus proteksi (A)

f<sub>c</sub> = Faktor *breakdown coating* (Nilai 1 karena kondisi sampel pada pengujian dalam keadaan tidak ada *coating*)

i<sub>c</sub> = Densitas arus proteksi (A/m<sup>2</sup>)

4. Kebutuhan Jumlah Anoda

$$N = \frac{I_c}{I_o} \quad (13)$$

Dimana :

N = Kebutuhan jumlah anoda

I<sub>o</sub> = Kebutuhan arus tiap anoda (A)

ahanan Anoda

$$R_H = \frac{\rho}{2\pi L} \times \left[ \ln \frac{4L}{r} - 1 \right] \quad (14)$$



Dimana :

- $R_H$  = Tahanan anoda (ohm)  
 $\rho$  = Resistivitas (ohm.m)  
 $L$  = Panjang anoda (m)  
 $r$  = Jari-jari anoda (m)

### 2.3.2 Kelebihan dan Kekurangan *Impressed Current Cathodic Protection*

Berikut beberapa kelebihan dan kekurangan daripada penggunaan sistem *Impressed Current Cathodic Protection* :

#### A. Kelebihan

1. Kapasitas keluaran atau *output* yang sangat tinggi, dengan jumlah arus yang dapat dirancang pada sistem bervariasi mulai dari ampere yang kecil hingga ratusan ampere. Dari hal tersebut dapat dikatakan bahwa jangkauan proteksi ini dapat lebih besar.
2. Kapasitas *output* lebih fleksibel mulai dari sumber arus (*rectifier*) yang dapat diatur dengan mudah untuk mengakomodasi perubahan tahanan sirkuit atau kebutuhan arus. Sehingga level proteksi juga dapat dikontrol sesuai kebutuhan.
3. Cocok untuk semua nilai resistivitas.
4. Biaya awal dapat lebih murah.
5. Sesuai riwayatnya, jumlah anoda yang digunakan lebih sedikit, bahkan untuk elektrolit dengan tahanan yang tinggi.
6. Sistem dapat didesain untuk masa guna lebih dari 20 tahun lamanya.

#### B. Kekurangan

1. Biaya perawatan lebih tinggi atau mahal dibandingkan sistem anoda korban (*zinc anode*).
2. Resiko yang didapatkan relatif tinggi sehingga menyebabkan efek interferensi arus. Biasa terjadi pada struktur terproteksi yang berdekatan.
3. Pengaruh *supply* energi dari *rectifier* yang vital. Kerusakan sedikit saja dapat berakibat fatal pada kinerja sistem produksinya.

Biaya instalasi peralatan listrik lebih mahal dan membutuhkan perlengkapan yang kompleks.



### 2.3.3 Material Anoda

Anoda yang digunakan dalam sistem *ICCP*, harus mempunyai elektroda potensial yang tinggi agar dapat melindungi area yang luas dengan anoda yang kecil. Berikut beberapa material dari anoda yang dapat digunakan :

1. Grafit

Anoda permanen yang pertama kali dibuat adalah grafit dan karbon. Material tersebut tidak memiliki sifat-sifat mekanik dan elektrokimia yang ideal. Grafit merupakan material yang cepat rapuh dan keropos. Grafit yang memiliki tingkat kemurnian yang cukup tinggi akan memiliki performansi tinggi pula.

2. Besi Silikon Tinggi

Secara ekonomis anoda besi silikon tinggi sama halnya dengan anoda grafit serta memiliki tingkat kesulitan pada faktor-faktor tertentu yang juga dimiliki oleh jenis anoda lain. Kelebihan daripada jenis ini adalah mudah dipakai pada air tawar dan cepat beradaptasi dengan elektrolit yang dipakai.

3. Anoda Magnetite

Anoda magnetite memiliki rumus kimia  $Fe_3O_4$  dan merupakan golongan oksida yang dipakai dalam rancangan bentuk anoda. Dalam hal ini anoda. Dalam hal ini anoda magnetite memiliki sifat yang sama dengan jenis anoda yang lain dan secara umum dapat ditunjukkan sebagai magnetite. Anoda semacam ini dinamakan ebonite yang berasal dari keramik titanium dioksida yang diperkirakan memiliki karakteristik elektrolit yang sama.

4. Platinum dan Campuran Platinum

Platinum telah dipakai sebagai anoda di dalam suatu elektrokimia serta dipakai sebagai anoda dalam proses proteksi katoda. Logam ini dapat berfungsi dengan menggunakan teknik-teknik tertentu sebagai fungsinya anoda ini memiliki kelebihan dimana bila anoda ini berada di air laut memiliki efisiensi 10% jika ditambahkan dengan rodium atau palladium.

Titanium yang dilapisi oleh platina

Jika sebuah lapisan tipis dilapisi oleh sebuah substrat titanium maka platinum dapat berfungsi sebagai anoda dan titanium tersebut dalam prses



ini akan membentuk *insulation film* melalui proses anoda. Dalam hal ini platinum memberikan suatu kelembabam dengan suatu perantaraan dasar agar dipakai sebagai anoda. Behubung pemakaian platinum ketika bertindak sebagai anoda di dalam elektrolit maka platinum dengan *insulation film* membutuhkan proses yang sangat panjang.

#### 2.3.4 *Power Supply (DC)*

Catu daya DC, atau *power supply* adalah suatu rangkaian elektronik yang mengubah arus listrik bolak-balik menjadi arus listrik searah. Catu daya memiliki peran signifikan dalam bidang elektronika sebagai penyedia tenaga listrik, dan juga dapat berfungsi sebagai perangkat untuk menyuplai energi listrik ke satu atau lebih beban listrik.

Secara umum, prinsip dasar dari rangkaian catu daya melibatkan komponen utama seperti transformator, dioda, dan kondensator. Selain itu, pembuatan rangkaian catu daya juga memerlukan komponen pendukung untuk memastikan kinerjanya yang optimal. Beberapa komponen pendukung tersebut mencakup sakelar, sekering (*fuse*), lampu indikator, *jack* dan *plug*, *Printed Circuit Board* (PCB), serta kabel. Baik komponen utama maupun komponen pendukung memiliki peran penting dalam menjalankan fungsi catu daya dengan baik. (Yulianto, et al., 2018) menyebutkan bahwa *Power Supply* merupakan sumber tegangan yang paling ekonomis dan *reliable* untuk proteksi katodik dengan metode *ICCP*.

