

**ANALISIS PELETAKAN DAN KEBUTUHAN SISTEM PROTEKSI
KATODIK DENGAN MENGGUNAKAN METODE *SACRIFICIAL*
ANODE PADA KAKI *JACKET* MDA DI SELAT MADURA**

SKRIPSI

Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan Untuk Meraih Gelar Strata 1 (S1)

Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin



OLEH:

ANDRE SENOBUA'

D081 18 1006

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2022

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ANALISIS PELETAKAN DAN KEBUTUHAN SISTEM PROTEKSI
KATODIK DENGAN MENGGUNAKAN METODE *SACRIFICIAL*
ANODE PADA KAKI JACKET MDA DI SELAT MADURA**

Disusun dan diajukan oleh

ANDRE SENOBUA'


D081 18 1006

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Program Sarjana Program Studi Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 26 Agustus 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

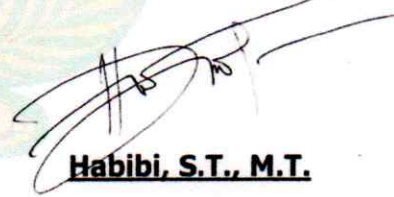
Pembimbing utama,

Pembimbing pendamping,



Ir. Juswan, M.T.

NIP.196212311989031031



Habibi, S.T., M.T.

NIP. 198704252019031012

Ketua Departemen Teknik Kelautan



Dr. Ir. Chairul Paotonan, S.T., M.T.

NIP. 197506052002121003

LEMBAR PENGESAHAN KOMISI PENGUJI

"ANALISIS PELETAKAN DAN KEBUTUHAN SISTEM PROTEKSI KATODIK DENGAN MENGGUNAKAN METODE *SACRIFICIAL* *ANODE* PADA KAKI *JACKET* MDA DI SELAT MADURA"

Disusun dan diajukan oleh

ANDRE SENOBUA'

D081181006

Telah diperiksa dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Tanggal : 26 Agustus 2022

Di : Gowa

Dengan Panel Ujian Skripsi

1. Ketua : Ir. Juswan, MT.
2. Sekretaris : Habibi, ST., MT.
3. Anggota 1 : Prof. Daeng Paroka, S.T., MT. Ph. D.
4. Anggota 2 : Dr. Taufiqur Rachman, ST., MT.

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Kelautan



Dr. Ir. Chairul Paotonan, S.T., MT.
NIP.197506052002121003

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Andre Senobua'
NIM : D081181006
Program Studi : Teknik Kelautan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

**"Analisis Peletakan dan Kebutuhan Sistem Proteksi Katodik
Dengan Menggunakan Metode *Sacrificial Anode* Pada Kaki *Jacket*
MDA di Selat Madura"**

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

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, 26 Agustus 2022

Yang Menyatakan,



Andre Senobua'

ABSTRAK

ANDRE SENOBUA'. *Analisis Peletakan dan Kebutuhan Sistem Proteksi Katodik Dengan Menggunakan Metode Sacrificial Anode Pada Kaki Jacket MDA di Selat Madura* (dibimbing oleh **Juswan** dan **Habibi**).

Korosi adalah salah satu penyebab kerusakan yang umum terjadi pada bangunan lepas pantai khususnya pada tipe *fixed jacket platform* akibat adanya oksidasi pada permukaan baja. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kebutuhan dan peletakan proteksi katodik serta biaya yang dibutuhkan dalam pengadaan proteksi katodik pada anjungan MDA dengan menggunakan aturan DNV (Det Norske Veritas Industry Norway). Dalam sistem proteksi katodik terdapat dua metode proteksi katodik yaitu *Sacrificial Anode Cathodic Protection* (Anoda Korban) dan *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP). Penelitian ini menggunakan metode anoda korban karena instalasi lebih sederhana sehingga tidak memerlukan keahlian khusus dan penghubung anoda telah terlindungi secara katodik. Kaki *Jacket* Anjungan MDA dengan tinggi 96 m, berdiameter 1,093 m dengan umur desain proteksi katodik yaitu 10 tahun. Anoda yang digunakan pada penelitian ini adalah anoda dengan bentuk *standoff anode* tipe YX-AL-SSF1 dengan dimensi 1500 x 178 x 170 mm. Dari hasil penelitian ini didapatkan total massa anoda yang dibutuhkan adalah 1175 kg dengan jarak pemasangan antar anoda pada bagian kaki *jacket* adalah 7,23 m dan jumlah anoda yang dipakai sebanyak 132 buah serta estimasi biaya yang dibutuhkan dalam pengadaan proteksi katodik adalah Rp. 108.983.576.

Kata Kunci: Kaki *Jacket*, Korosi, *Aluminium Anode*

ABSTRACT

ANDRE SENOBUA'. *Analysis of Placement and Needs for Cathodic Protection System Using the Sacrificial Anode Method on Jacket Legs of MDA at Madura Strait (supervised by **Juswan** and **Habibi**)*

Corrosion is one of the most common causes of damage to offshore buildings, especially on the type of fixed jacket platform due to oxidation on the steel surface. The purpose of this study was to determine the need and placement of cathodic protection as well as the costs involved in providing cathodic protection for MDA platform using the rules of DNV (Det Norske Veritas Industry Norway). In the cathodic protection system, there are two methods of cathodic protection, namely Sacrificial Anode Cathodic Protection (SACP) and Impressed Current Cathodic Protection (ICCP). In this study, the Sacrificial Anode method was used because the installation is simpler so that it does not require special skills and the anode connector is cathodically protected. MDA platform 96 meters high, 1,093 meters in diameter with a cathodic protection design life of 10 years. The anode used in this study was a standoff anode YX-AL-SSF1 with dimensions of 1500 x 178 x 170 mm. From the results of this study, the total anode mass needed to protect the mooring buoy is 1586 kg with the distance between the anodes on jacket legs is 7,23 m and number of anode is 132 pieces and the estimated cost required in providing cathodic protection is Rp. 108.983.576.

Keywords: Jacket legs, Corrosion, Aluminium Anode

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala limpahan rahmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Dan atas kehendak-Nya lah segala hambatan dalam penelitian serta penulisan skripsi ini dapat diatasi. Skripsi ini dibuat penulis sebagai syarat untuk menyelesaikan pendidikan di Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, dengan judul:

“ANALISIS PELETAKAN DAN KEBUTUHAN SISTEM PROTEKSI KATODIK
DENGAN MENGGUNAKAN METODE *SACRIFICIAL ANODE* PADA KAKI
JACKET MDA DI SELAT MADURA”

Doa, dorongan moril dari kedua orang tua (Bapak **Tamsir S. Senobua'** dan Ibu **Tabita Tappi'**) dan Saudara tercinta (**Sufenty S.Pd**, dan **Sulaiman, S.Pd**) merupakan dukungan yang selalu menguatkan hati untuk setiap tahapan penelitian dan penulisan skripsi ini, serta keberhasilan penulis sampai tahap skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

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

1. Bapak **Ir. Juswan, MT.** selaku dosen pembimbing utama yang ditengah-tengah kesibukannya telah meluangkan waktu dan pikiran untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga terselesaikannya penulisan Skripsi ini.
2. Bapak **Habibi, ST. MT.** selaku dosen pembimbing pendamping yang di tengah-tengah kesibukannya telah meluangkan waktu dan pikiran untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga terselesaikannya penulisan Skripsi ini.

3. Bapak **Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT.** selaku Ketua Departemen Teknik Kelautan yang telah mengesahkan skripsi ini.
4. Bapak **Dr. Taufiqur Rachman, ST., MT.** selaku penasehat akademik (PA) selama menjadi mahasiswa Teknik Kelautan sehingga saya dapat menyelesaikan studi.
5. **Dosen–Dosen Teknik Kelautan** yang telah memberikan ilmu serta pengalamannya selama dalam proses perkuliahan.
6. **Tenaga Kependidikan Program Studi Teknik Kelautan**, yang telah membantu segala aktivitas administrasi baik selama perkuliahan serta dalam penyelesaian skripsi ini.
7. Bapak **Fachmi Iswanto, ST., MT.** dari PT. Bakrie Construction selaku pembimbing penulis selama penyusunan skripsi yang telah memberikan arahan dan saran.
8. **Teman-teman Mahasiswa khususnya Teknik Kelautan Angkatan 2018** yang selalu memberi motivasi dan dukungannya serta waktu yang telah kita lalui bersama dalam suka dan duka. Tak lupa pula penulis sampaikan banyak terima kasih kepada kanda Senior dan dinda Junior atas motivasi dan dukungannya.
9. **Teman Laboratorium Riset Manajemen Produksi Bangunan Lepas Pantai dan Pekerjaan Bawah Air Departemen Teknik Kelautan FT-UH 2018**, terima kasih atas dukungan dan saran serta kritik yang membangun.
10. **Generasi Baru Indonesia (GenBI) Wilayah Sulawesi Selatan dan GenBI Komisariat Universitas Hasanuddin 2021**, yang selalu memberikan semangat dan arti kebahagiaan dalam perbedaan. Terima kasih karena selalu ada di setiap titik terendah dan puncak dari setiap momen yang aku jalani selama ini.

11. **Keluarga Mahasiswa Kristen Oikumene FT-UH**, Terima kasih telah menjadi tempat untuk pulang dan menjadi penyemangat dari setiap momen yang aku jalani selama ini.
12. Kawan **Kerja Praktek di PT. Bakrie Construction**, geng bakrie yang turut memberikan dukungan selama kerja praktek dan berbagi pengalaman bersama di PT. Bakrie Construction tercinta. Jangan lupakan perjuangan selama dua bulan dan sukses terus buat kalian (Dila, Tina, Makbul, Bagas, Ojan).
13. Teman-teman **KKN TEMATIK UNHAS GEL. 107 WILAYAH TANA TORAJA** yang telah memberikan pengalaman yang berharga dalam masa pengabdian di masyarakat.

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

Gowa, 17 Agustus 2022

Andre Senobua'

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR ISTILAH	xiv
DAFTAR NOTASI	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Anjungan Lepas Pantai	5
2.1.1 <i>Fixed Jacket Platform</i>	5
2.1.2 Bagian-Bagian Utama <i>Fixed Jacket Platform</i>	6
2.1.3 Kerusakan Yang Terjadi Pada <i>Fixed Jacket Platform</i>	7

2.2 Korosi	8
2.3 Sistem Proteksi.....	10
2.4 Proteksi Katodik.....	10
2.4.1 <i>Sacrificial Anode Cathodic Protection</i> (Anoda Korban)	12
2.4.2 <i>Impressed Current Cathodic Protection</i> (ICCP).....	13
2.5 Detail Perencanaan Proteksi Katodik pada Struktur Kaki <i>Jacket</i>	14
2.5.1 Dasar-Dasar Perlindungan Katodik	15
2.5.2 Perlindungan Laju Korosi.....	15
2.5.3 Perhitungan Arus (I_c).....	17
2.5.4 Faktor Kerusakan Lapisan.....	18
2.5.5 Kemampuan Material Anoda Korban.....	19
2.5.6 Resistivitas	19
2.5.7 Faktor Pemanfaatan Anoda	20
2.6 Proteksi Katodik Anoda Korban.....	20
2.7 Lokasi dan Karakteristik Anjungan MDA.....	22
2.8 Perhitungan Biaya Desain Proteksi Katodik	26
BAB III METODE PENELITIAN	27
3.1 Lokasi Penelitian	27
3.2 Diagram Alir Penelitian	27
3.3 Prosedur Penelitian	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1 Perhitungan Luasan Proteksi Katodik.....	31
4.1.1 Luasan Proteksi Katodik Untuk Kaki <i>Jacket, Brace</i> , Pada <i>Row A</i>	31

4.1.2 Luasan Proteksi Katodik Untuk Kaki <i>Jacket, Brace</i> , Pada <i>Row B</i>	32
4.1.3 Luasan Proteksi Katodik Untuk <i>Brace</i> Pada <i>Row 1</i>	35
4.1.4 Luasan Proteksi Katodik Untuk <i>Brace</i> Pada <i>Row 2</i>	37
4.2 Perhitungan Kebutuhan Arus Proteksi	43
4.3 Perhitungan Laju Korosi	45
4.4 Perhitungan Kebutuhan Massa Anoda	45
4.5 Perhitungan Kebutuhan Jumlah Anoda	47
4.6 Perhitungan Jarak Antar Anoda Korban Pada Kaki <i>Jacket</i> , dan <i>Brace</i>	50
4.7 Usulan Peletakan Anoda Korban	54
4.8 Perhitungan Harga Pengadaan Anoda Korban.....	55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	56
5.1 Kesimpulan	56
5.2 Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta Lokasi Anjungan MDA	2
Gambar 2.1 Anjungan tipe <i>Fixed Jacket Platform</i>	5
Gambar 2.2 Mekanisme Korosi	9
Gambar 2.3 Korosi pada permukaan logam	9
Gambar 2.4 Reaksi elektrokimia pada logam	10
Gambar 2.5 <i>Cathodic Protection (CP) Methods</i>	11
Gambar 2.6 Perlindungan katodik pada bangunan laut	15
Gambar 2.7 <i>General Arrangement</i> Anjungan MDA	22
Gambar 2.8 <i>Standoff Anode</i>	23
Gambar 2.9 Harga <i>Aluminium anode</i>	26
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	28
Gambar 4.1 MDA <i>Wellhead Platform</i> pada <i>Row A</i>	31
Gambar 4.2 MDA <i>Wellhead Platform</i> pada <i>Row B</i>	34
Gambar 4.3 MDA <i>Wellhead Platform</i> pada <i>Row 1</i>	36
Gambar 4.4 MDA <i>Wellhead Platform</i> pada <i>Row 2</i>	38
Gambar 4.5 Rencana Penempatan Anoda Korban MDA <i>Wellhead Platform</i>	54

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Anoda korban Aluminium aplikasi dalam air laut	14
Tabel 2.2 Tingkat ketahanan korosi berdasarkan Laju Korosi.....	16
Tabel 2.3 Desain arus rata-rata densitas berdasarkan kedalaman dan iklim	17
Tabel 2.4 Nilai konstanta a dan b yang direkomendasikan.....	18
Tabel 2.5 Desain nilai efisiensi elektrokimia untuk bahan anoda korban berbasis Al dan Zn.....	19
Tabel 2.6 Faktor Utilitas Anoda Yang Direkomendasikan	20
Tabel 2.7 Data Properti kaki <i>jacket</i> dan material yang digunakan	24
Tabel 2.8 Data Lingkungan Anjungan MDA	25
Tabel 2.9 Data Anoda Yang Digunakan	25
Tabel 4.1 Luasan Proteksi Katodik Pada <i>Row A</i>	32
Tabel 4.2 Luasan Proteksi Katodik Pada <i>Row B</i>	35
Tabel 4.3 Luasan Proteksi Katodik Pada <i>Row 1</i>	37
Tabel 4.4 Luasan Proteksi Katodik Pada <i>Row 2</i>	39
Tabel 4.5 Total luasan proteksi katodik anjungan MDA	41
Tabel 4.6 Total kebutuhan arus proteksi anjungan MDA.....	45
Tabel 4.7 Total massa anoda yang dibutuhkan tiap bagian anjungan.....	47
Tabel 4.8 Jumlah Anoda Tiap Bagian Anjungan	49
Tabel 4.9 Jarak antar anoda korban.....	50
Tabel 4.10 Harga Pengadaan Anoda Korban.....	55

DAFTAR ISTILAH

- Wellhead Platforms* : Bangunan lepas pantai yang didesain untuk menerima dan men-support produksi minyak dan gas dari subsea wells / reservoir, kemudian mengirim produksi minyak dan gas tersebut ke production platform untuk diolah.
- Cathodic Protection* : Teknik yang digunakan untuk mengendalikan korosi pada permukaan logam dengan menjadikan permukaan logam tersebut sebagai katode dari sel volta
- Mud Mat* : Bagian terbawah struktur untuk memberikan pijakan yang cukup dan mengurangi beban lingkungan selama proses instalasi
- Conductor pipe* : Pipa berdiameter besar yang dipasang ke dalam tanah untuk memberikan fondasi struktural awal yang stabil untuk lubang bor atau sumur minyak
- General Arrangement* : Gambar rencana umum untuk mendeskripsikan suatu bangunan atau struktur

DAFTAR NOTASI

mm/year	=	<i>millimeters per year</i>
Si	=	<i>Silicon/Silikon</i>
Fe	=	Ferrum/Besi
Cu	=	<i>Cuprum/Tembaga</i>
Cd	=	<i>Cadmium/Kadmium</i>
Mn	=	<i>Mangan/Mangan</i>
Zn	=	<i>Zincum/Seng</i>
Ti	=	<i>Titanium</i>
In	=	<i>Indium</i>
Sn	=	<i>Stannum/Timah</i>
Al	=	Alumunium
Ac	=	Luas Permukaan Struktur yang Diproteksi
L	=	Panjang Struktur Tiap Kaki
CPR	=	<i>Corrosion Penetration Rate/Laju Korosi</i>
K	=	Konstanta (0,129 untuk mpy, 0,00327 untuk mmpy)
A	=	Berat atom logam terkorosi
I	=	Kerapatan arus
N	=	Jumlah electron valensi logam terkorosi
D	=	Densitas logam terkorosi
Ic	=	Kebutuhan Arus
Ic	=	Desain Arus Densitas
Fc	=	Faktor Kerusakan Lapisan
T	=	Umur konstruksi/umur proteksi
M	=	Faktor guna anoda korban
E	=	Efisiensi elektrokimia
Na	=	<i>not applicable</i>

BAB I

PENDAHULUAN

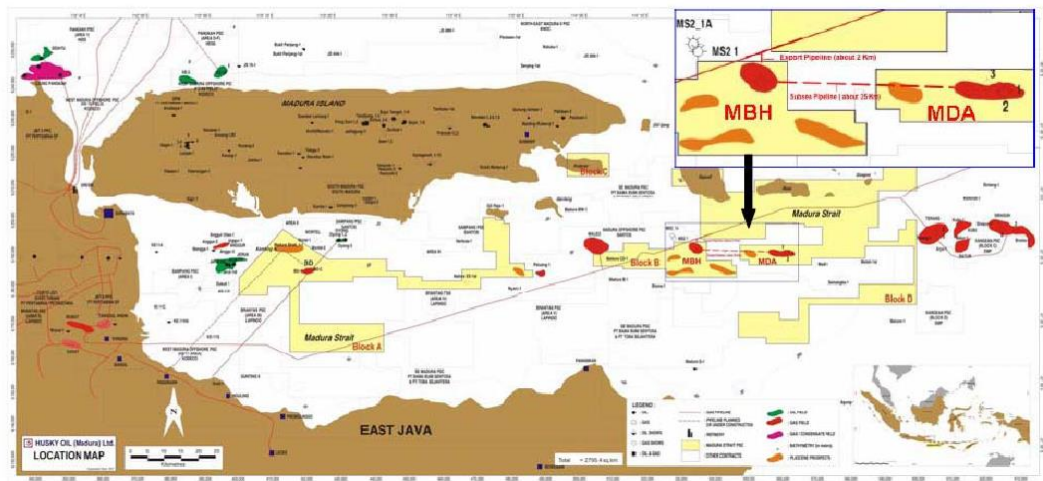
1.1 Latar Belakang

Korosi merupakan masalah yang serius dalam dunia material dan sangat merugikan karena dapat mengurangi kemampuan suatu konstruksi dalam memikul beban. Usia bangunan konstruksi menjadi berkurang dari waktu yang sudah direncanakan. Tidak hanya itu apabila tidak diantisipasi lebih awal maka akan mengakibatkan kerugian yang lebih besar antara lain bisa menimbulkan kebocoran, mengakibatkan berkurangnya ketangguhan, robohnya suatu konstruksi, meledaknya suatu pipa/ bejana bertekanan dan mungkin juga dapat membuat pencemaran pada suatu produk [1].

Struktur bangunan laut (kapal, anjungan lepas pantai, pipa bawah laut dan bangunan apung lainnya) yang beroperasi tidak terhindar dari proses korosi. Sehingga, manajemen perawatan pada suatu struktur bangunan laut sangatlah penting karena biaya pembangunan dari struktur tersebut mahal [2]. Pada anjungan lepas pantai bagian yang sangat rentan mengalami kerusakan yaitu pada bagian bawah struktur kaki *jacket*. Bagian ini sangat rentan mengalami kerusakan karena langsung bersentuhan dengan air laut.

Kerusakan yang terjadi pada konstruksi bangunan laut disebabkan oleh proses oksidasi air laut. Hingga saat ini penggunaan material untuk konstruksi bangunan laut masih cenderung menggunakan baja dan besi sebagai material utama karena bahannya yang kuat. Namun material tersebut memiliki kelemahan dan memiliki potensi lebih besar terkena korosi. Beberapa kandungan air laut yang mempengaruhi tingkat korosi antara lain salinitas, temperatur, dan zat-zat yang terkandung di dalamnya seperti gas-gas yang terlarut [3].

Anjungan MDA merupakan salah satu *wellhead platforms* yang dibangun guna memenuhi kebutuhan gas di Pulau Jawa. Anjungan ini tentunya akan mengalami korosi yang mengakibatkan terganggunya penurunan ketebalan pelat baja bagian kaki *jacket* dan mengganggu proses



Gambar 1.1 Peta Lokasi Anjungan MDA [4]

produksi di anjungan. Anjungan MDA terletak di Selat Madura Jawa Timur, sekitar 180 km dari barat Kota Pangerungan, sekitar 200 km arah timur dari Surabaya dan 75 km arah tenggara dari Madura. Karena terletak di daerah selat Madura, termasuk kedalam Blok Madura Strait yang merupakan kawasan atau wilayah kontrak potensial penghasil gas alam. Lokasi anjungan MDA dapat dijelaskan melalui gambar 1.1

Metode penanggulangan korosi dapat digunakan salah satu solusi yaitu dengan cara melindungi pelat secara berkala menggunakan proteksi katodik (*cathodic protection*). Proteksi katodik merupakan salah satu metode teknologi pengendalian korosi dengan membalikkan arah arus korosi. Metode ini merupakan manajemen perawatan konstruksi bangunan laut dengan menjadikan permukaan pelat tersebut sebagai katoda dari sel elektrokimia [1].

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penulis tertarik melakukan penelitian dengan judul "Analisis Peletakan dan Kebutuhan

Sistem Proteksi Katodik Dengan Menggunakan Metode *Sacrificial Anode* Pada Kaki *Jacket* MDA di Selat Madura”

1.2 Perumusan Masalah

Adapun permasalahan yang dibahas adalah:

1. Berapa jumlah anoda korban yang dibutuhkan dalam melindungi baja kaki *jacket* MDA?
2. Bagaimana menentukan lokasi peletakan anoda korban?

1.3 Batasan Masalah

Permasalahan dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut:

1. Analisis hanya pada struktur kaki *jacket* milik Husky CNOOC Madura Ltd. (HCML)
2. Menggunakan metode Anoda Korban (*Sacrificial Anode*) dan anoda yang digunakan adalah *aluminium anode*

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui kebutuhan *aluminium anode* untuk proteksi katodik;
2. Menentukan pemasangan/peletakan proteksi katodik;
3. Menentukan biaya pengadaan alat proteksi katodik

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan analisis komposisi zat pada *aluminium anode* untuk proteksi katodik pada kaki *jacket*
2. Memberikan saran tentang komposisi yang tepat dalam perencanaan proteksi katodik
3. Memberikan analisis peletakan kebutuhan proteksi katodik
4. Sebagai bahan pertimbangan baik dari pihak *owner*, *surveyor* maupun dari pihak pengelola industri galangan dalam perencanaan

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk dapat memahami dan mendapatkan pandangan yang lebih jelas mengenai pokok permasalahan yang akan dibahas, diperlukan adanya sistematika penulisan dalam penelitian ini. sistematika penulisan dapat dijabarkan sebagai berikut:

- | | |
|---------|---|
| BAB I | Pendahuluan
Berisi latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat penelitian dan sistematika penelitian |
| BAB II | Tinjauan Pustaka
Berisi tentang dasar-dasar teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan |
| BAB III | Metodologi Penelitian
Terdiri atas lokasi dan waktu penelitian, jenis penelitian, dan pengambilan data |
| BAB IV | Hasil dan Pembahasan
Berisi hasil penelitian dan pembahasan. |
| BAB V | Penutup
Berisi kesimpulan akhir penelitian, saran, daftar pustaka pada akhir penulisan dan lampiran |

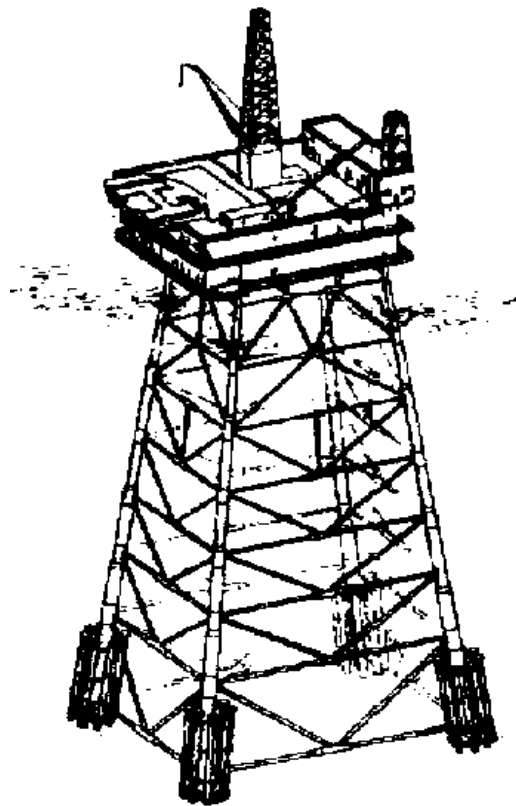
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Anjungan Lepas Pantai

2.1.1 *Fixed Jacket Platform*

Suatu anjungan lepas pantai dikategorikan sebagai anjungan terpancang bila anjungan tersebut dalam operasinya bersifat menahan gaya gaya lingkungan tanpa mengalami *displacement*/deformasi yang berarti. Di laut dangkal anjungan dapat dipancangkan ke dasar laut. Kaki-kaki terbuat dari beton atau baja memanjang dari anjungan ke dasar laut [5]. Anjungan tipe *fixed jacket platform* merupakan salah satu anjungan yang paling tua dan paling banyak dibangun dan digunakan untuk eksplorasi serta eksploitasi minyak di lepas pantai. Anjungan ini sebagian besar beroperasi di laut dangkal dan beberapa di laut menengah.



Gambar 2.1 Anjungan tipe *Fixed Jacket Platform* [6]

Anjungan ini dibangun menggunakan beton dan/atau kaki baja yang terhubung langsung ke dasara laut. Pada *platform* ini terdapat *deck* dengan ruang pengeboran, fasilitas produksi, dan *crew room*. Ditinjau dari sisi mobilitas, *platform* ini dirancang untuk masa layan yang sangat Panjang. *Fixed platform* memiliki struktur yang langsung berdiri di atas permukaan dasar laut (*seabed*) dan didesain untuk kondisi perairan dangkal (*shallow water*) dengan kedalaman antara 50-412 meter. *Fixed platform* tipe *jacket structures* merupakan jenis struktur yang paling umum digunakan pada proses pengeboran dan produksi. *Jacket* adalah struktur yang terdiri dari *tubular steel members*. Rangka batang *jacket* yang terdiri dari *legs* dan *brace* menyakurkan beban akibat lingkungan dari *topside* menuju *pile* dan akhirnya menuju dasar laut. Struktur *jacket* biasanya memiliki tiga, empat, enam sampai dengan delapan buah *leg*. *Platform* dengan tipe *jacket structures* dapat dilihat pada gambar 2.1 [7].

Main pile yang merupakan baja tubular biasanya dipancang melalui *jacket leg* ke dasar laut. Istilah *jacket* berarti memberikan perlindungan (*enclosure*) terhadap *conductor*. Terlepas dari ukuran dan metode instalasi *jacket*, setelah *jacket* berada di atas *seabed*, berat *jacket* secara keseluruhan ditumpu oleh *mud mat*. *Mud mat* ditambahkan di bagian terbawah untuk memberikan pijakan yang cukup dan mengurangi beban lingkungan selama proses instalasi [7].

2.1.2 Bagian-Bagian Utama *Fixed Jacket Platform*

Pada anjungan lepas pantai tipe tetap atau *jacket* terdapat tiga komponen utama penyusun struktur diantaranya [7]:

1. *Deck*

Berfungsi sebagai tempat peralatan pemboran (*drilling*), peralatan produksi, dan sistem penunjang kehidupan para pekerja di anjungan. Biasanya *deck* terdiri dari beberapa tingkat sesuai dengan

kebutuhan seperti *main deck*, *mezzanine deck*, *cellar deck*, dan *sub cellar deck*.

2. *Jacket*

Jacket atau disebut juga *steel template* berfungsi sebagai penyangga struktur *deck* dan tumpuan bagi *conductors*, *boat landing*, *riser*, *walkways*, *mud mats*. *Jacket* adalah tiang-tiang yang membungkus dan menahan *pile* agar tetap berada pada posisinya. *Jacket* juga berfungsi melindungi pompa-pompa, sumur pengeboran. *Jacket* dipasang mulai dari garis *mudline* sampai *deck substructure*. Kaki *jacket* mengarahkan *pile* sewaktu pemancangan.

3. *Pile*

Tiang pancang adalah tiang yang dipancang ke dasar laut dan letaknya di dalam *jacket*. Tiang ini berfungsi sebagai pondasi dan seluruh gaya luar yang terjadi pada anjungan akan diteruskan ke tiang pancang untuk kemudian diteruskan ke dalam tanah.

2.1.3 Kerusakan Yang Terjadi Pada *Fixed Jacket Platform*

Kerusakan yang terjadi secara umum pada anjungan tipe *fixed jacket platform* antara lain:

1. Korosi

Suatu kendala dijumpai dalam pemakaian baja di laut, karena baja mudah terserang korosi, sedang lingkungan laut jauh lebih korosif jika dibandingkan dengan daratan. Korosi pada air laut sangat rumit karena banyak faktor lingkungan berperan, seperti temperatur, kadar garam, oksigen yang larut, pH, gaya pukulan ombak dan arus, serta pencemaran biologi [8].

2. Kerusakan Peralatan

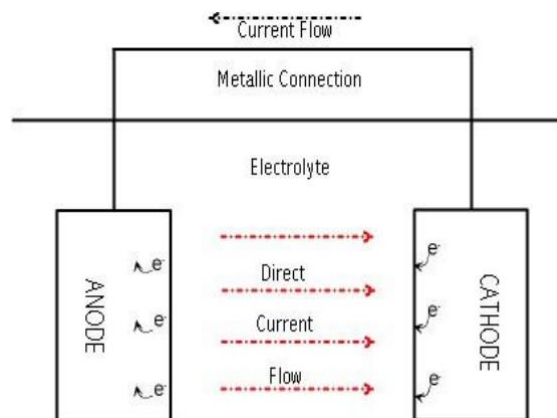
Kerusakan peralatan yaitu tidak berfungsinya komponen anjungan dengan baik. Ada beberapa factor dari kerusakan peralatan di anjungan seperti perawatan yang tidak memadai, penggunaan

peralatan secara tidak benar, inspeksi keamanan yang jarang dilakukan, desain yang rusak, serta cacat manufaktur. Kerusakan peralatan pada anjungan dapat menyebabkan *oil spill* (minyak tumpah), kebakaran serta ledakan.

2.2 Korosi

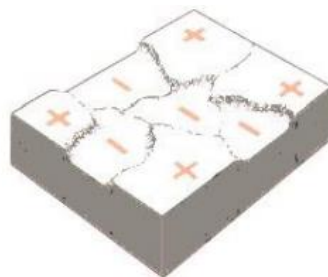
Korosi didefinisikan sebagai kehancuran atau kerusakan material karena adanya reaksi dengan lingkungannya. Korosi merupakan suatu kerusakan pada material (umumnya logam) dikarenakan reaksi elektrokimia antara material dengan lingkungannya. Korosi terjadi akibat adanya proses transfer electron dari logam ke lingkungannya. Logam bertindak sebagai anoda dan lingkungannya sebagai penerima electron. Proses korosi terjadi secara alami dan tidak dapat dicegah, namun dapat dikendalikan dengan cara memperlambat laju korosinya [9]. Korosi mengakibatkan kerusakan material pada permukaan pelat baja dengan demikian korosi sangat merugikan dan dapat mengakibatkan kegagalan suatu struktur. Korosi juga di definisikan sebagai penurunan kualitas logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya [10].

Pada reaksi proses korosi, anoda biasanya terkorosi dengan melepaskan elektron-elektron dari atom-atom logam netral untuk membentuk ion-ion yang bersangkutan. Kemudian katoda biasanya tidak mengalami korosi, walaupun mungkin menderita kerusakan dalam kondisi tertentu. Dua reaksi yang paling penting dan umum terjadi pada katoda tergantung pH yang bersangkutan yaitu hilangnya logam pada bagian yang terekspos. Korosi terjadi dalam berbagai macam bentuk, mulai dari korosi merata pada seluruh permukaan logam sampai dengan korosi yang terkonsentrasi pada bagian tertentu saja. Pada Gambar 2.2 memperlihatkan bagaimana mekanisme korosi terjadi.



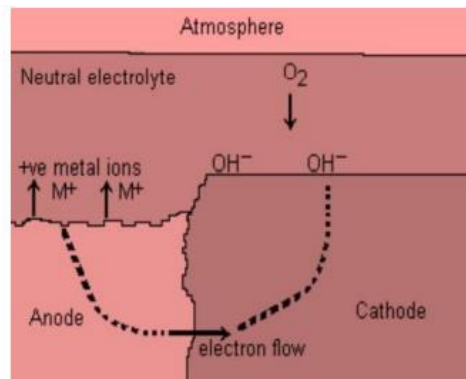
Gambar 2.2 Mekanisme Korosi [11]

Pada logam yang sama, salah satu bagian permukaannya dapat menjadi anoda dan bagian permukaan lainnya menjadi katoda. Hal ini bisa saja terjadi karena kemungkinan logam terdiri dari phase yang berbeda, karena permukaan logam dilapisi dengan kondisi *coating*. Gambar 2.3 memperlihatkan korosi yang terjadi pada permukaan logam.



Gambar 2.3 Korosi pada permukaan logam [11]

Logam dapat dicelupkan pada elektrolit atau permukaan logam dapat digenangi oleh elektrolit dan membentuk lapisan tipis. Laju korosi bergantung pada konduktivitas listrik elektrolit. Air murni memiliki konduktivitas listrik yang kurang baik sehingga laju korosi yang terjadi akan lebih rendah jika dibandingkan dengan larutan asam yang memiliki konduktivitas listrik tinggi. Pada gambar 2.4 memperlihatkan reaksi elektrokimia pada logam.



Gambar 2.4 Reaksi elektrokimia pada logam [11]

Kemampuan logam untuk menahan korosi bergantung pada posisi mereka dalam deret elektrokimia.

2.3 Sistem Proteksi

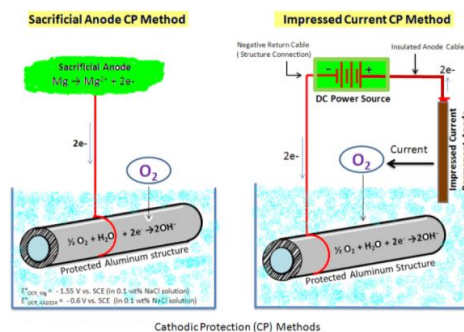
Proteksi adalah perlakuan untuk melindungi sebuah material atau benda dari rusak dan tidak berfungsinya benda itu dengan optimal. Proteksi ini sangat berguna karena mempunyai fungsi yang vital untuk melindungi material. Salah satu proteksi yang digunakan adalah proteksi katodik untuk melindungi struktur dari korosi.

Proteksi katodik merupakan salah satu metoda pengendalian korosi struktur baja dalam lingkungan elektrolit dengan cara memperlakukan struktur logam sebagai katoda. Metoda ini dilakukan dengan jalan mengalirkan arus listrik searah melalui elektrolit ke logam sehingga potensial antarmuka logam-larutan elektrolit turun menuju/mencapai daerah immunnya atau sampai nilai tertentu sehingga laju korosi logam masih diperbolehkan/minimum [12]. Proteksi katodik ini biasanya digunakan untuk melindungi baja, tiang pancang, kaki *jacket* dll.

2.4 Proteksi Katodik

Proteksi katodik adalah pada dasarnya menghilangkan perbedaan potensial. Pada daerah terkorosi yang terjadi yaitu arus listrik keluar dari logam dan daerah yang tidak terkorosi terjadi arus listrik yang masuk ke logam.

Proteksi katodik dapat dilakukan dengan dua cara yaitu SACP (*Sacrificial Anode Cathodic Protection*) dan ICCP (*Impressed Current Cathodic Protection*). Proteksi katodik dengan menggunakan anoda korban terjadi saat logam dihubungkan dengan logam yang lebih reaktif (anoda). Hubungan ini mengarah pada sebuah rangkaian galvanic. Untuk memindahkan korosi secara efektif dari struktur logam, material anoda harus mempunyai beda potensial cukup besar untuk menghasilkan arus listrik [11]. Gambar 2.5 merupakan dua metode proteksi katodik yaitu *Sacrificial Anode Cathodic Protection* dan *Impressed Cathodic Protection*.



Gambar 2.5 Metode Proteksi Katodik [13]

Penggunaan proteksi katodik dengan optimal akan menyediakan proteksi yang baik pada struktur yang diproteksi. Kombinasi *coating* dan proteksi katodik akan menjadi pilihan yang lebih ekonomis dan efektif untuk memproteksi material pada lingkungan tanah dan air laut.

NACE mengeluarkan Standard Practice NACE SP 0169 pada tahun 2007 yang mengakomodir 3 nilai kriteris potensial proteksi katodik. Kriteria itu antara lain sebagai berikut:

1. Nilai negative potensial proteksi katodik tidak boleh kurang dari -850 mV saat proteksi katodik diaplikasikan. Nilai potensial proteksi ini diukur dengan menggunakan elektroda standard Cu/CuSO₄ dengan mempertimbangkan adanya voltage drop untuk mendapatkan pengukuran yang akurat.

2. Nilai negative polarized potential tidak boleh kurang dari -850 mV yang dikur menggunakan elektroda standard Cu/CuSO₄. Polarized potensial adalah jumlah antara potensial korosi dengan sisa polarisasi.
3. Nilai polarisasi minimum adalah -100 Mv antara permukaan struktur dan elektroda standar yang kontak dengan elektrolit.

Sistem proteksi katodik memiliki 2 tipe metoda pemasangan dan diantaranya merupakan metode anoda korban. Masing-masing metode memiliki kriteria dan spesifikasi tersendiri yang disesuaikan dengan kebutuhan proteksi.

2.4.1 *Sacrificial Anode Cathodic Protection* (Anoda Korban)

Secara sederhana metode ini menggunakan logam baru yang memiliki level energi yang lebih tinggi sehingga tercipta arus yang mengalir dari logam yang paling rendah ke yang lebih tinggi. Namun anoda tersebut memiliki batas umurnya dimana anoda tersebut akan sepenuhnya terkontaminasi dan harus diganti dengan yang baru.

Cara kerja perlindungan katodik dengan anoda korban adalah menggunakan konsep tentang sel korosi basah. Bahwa dalam sel anodal adalah yang berkarat atau korosi, sedangkan yang tidak terkorosi adalah katoda. Anoda yang terhubung ke struktur dengan tujuan mempengaruhi perlindungan terhadap korosi, dengan cara ini disebut anoda korban.

Adapun keunggulan dan kerugian dari metode ini adalah sebagai berikut [14]:

1. Keunggulan *Sacrificial Anode Cathodic Protection*
 - a. Dapat digunakan tanpa membutuhkan energi listrik dari luar
 - b. Hampir tidak memerlukan pengawasan, biaya menjadi relative lebih murah
 - c. Arus proteksi yang dihasilkan tidak pernah salah arah, tidak memerlukan keahlian khusus

- d. Instalasi relative lebih sederhana, sehingga tidak memerlukan keahlian khusus
 - e. Penghubung anoda telah terlindungi secara katodik.
2. Kerugian *Sacrificial Anode Cathodic Protection*
- a. Arus yang tersedia terbatas, bergantung pada luas permukaan anoda
 - b. Biaya operasi relative mahal
 - c. Penghubung anoda yang digunakan harus cukup besar, untuk mengurangi kehilangan energi akibat tahanan.

2.4.2 *Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)*

Pengendalian korosi atau proteksi korosi terhadap logam dapat dilakukan dengan mengubah potensial antar muka logam dengan lingkungannya. Secara elektrokimia, proteksi korosi dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu proteksi katodik dan proteksi anodic.

Pengendalian korosi dengan menggunakan metode *Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)* dapat dilakukan dengan cara menurunkan potensial antar muka logam ke daerah pasif dengan memberikan arus anodic. Pada proteksi ini dibutuhkan elektroda pembantu. Elektroda pembantu yang dapat digunakan adalah material atau bahan yang relative inert ketika berfungsi sebagai anoda. Bahan yang umum digunakan sebagai anoda pembantu dalam ICCP adalah grafit, baja, timbal dan sebagainya.

Adapun keunggulan dan kerugian dari metode ini adalah sebagai berikut [14]:

1. Keunggulan *Impressed Current Cathodic Protection*
 - a. Jika sumber tegangan cukup memadai, maka arus pelindung dapat ditingkatkan sesuai dengan kebutuhan
 - b. Penghubung anoda tidak perlu besar, karena kehilangan energy akibat tahanan dapat dikoreksi dengan meningkatkan potensial

2. Kerugian *Impressed Current Cathodic Protection*

- a. Harus ada sumber energi listrik arus searah
- b. Tidak boleh ada kesalahan sirkuit atau arus salah arah
- c. Membutuhkan teknisi dan pengawas yang banyak dan terlatih
- d. Penghubung anoda harus diisolasi secara sempurna dan tidak boleh menyerap air
- e. Harus dilengkapi dengan pelindung anoda

2.5 Detail Perencanaan Proteksi Katodik pada Struktur Kaki *Jacket*

Luas permukaan basah (bawah garis air) atau sarat merupakan bagian dari luas bangunan luas permukaan desain bangunan bagian bawah struktur adalah bangunan yang terendam air laut. Permukaan yang memiliki laju korosi yang cukup besar adalah zona antara air laut (zona pasang surut). Konsentrasi klorida air laut akan semakin berkurang tergantung pada posisi ketinggian dari permukaan air laut, semakin suatu permukaan lebih tinggi dari permukaan air laut maka tingkat korosi yang terjadi semakin berkurang. Hal tersebut disebabkan karena kurangnya percikan air laut yang bekerja sebagai elektrolit. Gelombang pecah pada permukaan pelat sangat berpengaruh karena pecahnya gelombang membawa buih-buih udara sehingga mempercepat laju korosi.

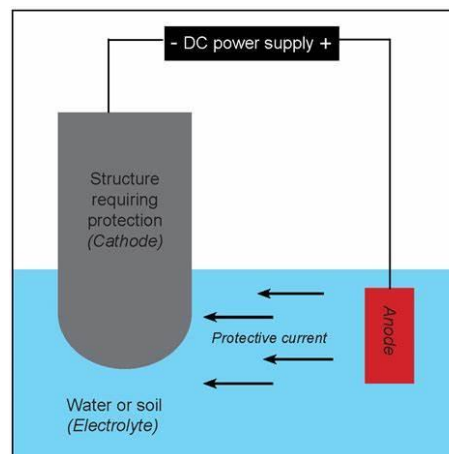
Tabel 2.1 Anoda korban Aluminium dan Zink aplikasi dalam air laut [15]

Elemen	Berbasis Zn	Berbasis Al
Zn	rem.	2,5-5,75
Al	0,10-0,50	rem.
In	na	0,015-0,040
Cd	$\leq 0,07$	$\leq 0,002$
Si	na	$\leq 0,12$
Fe	$\leq 0,005$	$\leq 0,09$
Cu	$\leq 0,005$	$\leq 0,003$
Pb	$\leq 0,006$	na

Rumus-rumus dan tabel-tabel yang diperlukan dalam perhitungan, mengacu pada standar *Der Norske Veritas Industry Norway AS - RP B401* dan Badan Klasifikasi Indonesia yang terdapat pada Tabel 2.1

2.5.1 Dasar-Dasar Perlindungan Katodik

Struktur baja karbon yang terpapar ke perairan alami umumnya menimbulkan korosi pada tingkat yang sangat tinggi kecuali jika langkah-langkah pencegahan diambil. Korosi dapat dikurangi atau dicegah dengan memberikan arus searah melalui elektrolit ke struktur. Metode ini disebut dengan perlindungan katodik seperti pada gambar 2.6 [1]



Gambar 2.6 Perlindungan katodik pada bangunan laut

Konsep dasar perlindungan katodik adalah bahwa potensi listrik logam subjek berkurang dibawah potensi korosinya, dan struktur tidak akan mampu melakukan korosi. Perlindungan katodik dihasilkan dari polarisasi katodik pada permukaan pelat baja yang terkorosi untuk mengurangi laju korosinya.

2.5.2 Perlindungan Laju Korosi

Laju korosi adalah kecepatan rambatan atau kecepatan penurunan kualitas bahan terhadap waktu. Dalam perhitungan laju korosi, satuan yang biasa digunakan adalah mm/th (standar internasional) atau mill/year (mpy, standar British). Tingkat ketahanan suatu material terhadap korosi

umumnya memiliki nilai laju korosi antara 1 – 200 mpy. Tabel 2.2 adalah penggolongan tingkat ketahanan material berdasarkan laju korosinya

Tabel 2.2 Tingkat ketahanan korosi berdasarkan Laju Korosi [16]

Ketahanan Korosi Relatif	Perkiraan Laju Korosi				
	mpy	mm/year	µm/yr	nm/yr	pm/sec
Luar Biasa	<1	<0,02	<25	<2	<1
Bagus Sekali	1-5	0,02-0,1	25-100	2-10	1-5
Bagus	5-20	0,1-0,5	100-500	10-50	5-20
Cukup	20-50	0,5-1	500-1000	50-100	20-50
Buruk	50-200	1-5	1000-5000	150-500	50-200
Tidak Dapat Diterima	200+	5+	5000+	500+	200+

Metode elektrokimia adalah metode mengukur laju korosi dengan mengukur beda potensial objek hingga didapat laju korosi yang terjadi, metode ini mengukur laju korosi pada saat diukur saja dimana memperkirakan laju tersebut dengan waktu yang panjang. Kelebihan metode ini adalah kita langsung dapat mengetahui laju korosi pada saat diukur, hingga waktu pengukuran tidak memakan waktu yang lama. Pengujian laju korosi dengan metode elektrokimia dengan polarisasi dari potensial korosi biasanya dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang didasari pada Hukum Faraday seperti di bawah ini:

$$CPR = K \frac{a.i}{n.D} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

- CPR = Corrosion Penetration Rate
- K = Konstanta (0,129 untuk mpy, 0,00327 untuk mmpy)
- a = Berat atom logam terkorosi (gram)
- i = Kerapatan arus (µA/cm²)

n = Jumlah electron valensi logam terkorosi

D = Densitas logam terkorosi (gram/cm³)

2.5.3 Perhitungan Arus (Ic)

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 [16]:

$$I_c = A_c \times f_c \times i_c \dots \dots \dots (2)$$

Dimana *I_c* adalah permintaan arus, *A_c* area yang akan diproteksi, *f_c* faktor kerusakan lapisan dan *i_c* faktor desain arus densitas, mengacu pada Tabel 2.3 Sedangkan area individu atau area yang akan diproteksi, diperoleh dengan menggunakan rumus:

$$A_c = (\pi \times D) \times L \dots \dots \dots (3)$$

Dimana:

A_c = Luas Permukaan Struktur yang Diproteksi (m²)

($\pi \times D$) = Keliling Penampang Struktur (m)

L = Panjang Struktur Tiap Kaki (m)

Tabel 2.3 Desain arus rata-rata densitas berdasarkan kedalaman dan iklim [17]

Kedalaman (m)	Desain arus densitas (Rata-rata) dalam A/m ²			
	Tropical (>20°C)	Sub Tropical (12-20°C)	Beriklim Sedang (7-12°C)	Sangat dingin (<7°C)
0-30	0,150 dan 0,090	0,170 dan 0,110	0,200 dan 0,130	0,250 dan 0,170
>30	0,130 dan 0,080	0,150 dan 0,090	0,180 dan 0,110	0,220 dan 0,130

2.5.4 Faktor Kerusakan Lapisan

Faktor kerusakan lapisan menggambarkan tingkat pengurangan kerapatan arus karena penerapan lapisan $f_c = 0$ berarti lapisan tersebut 100% isolasi listrik. $f_c = 1$ menyiratkan bahwa lapisan tidak akan memberikan perlindungan apapun.

Dalam perhitungan secara teknis parameter yang harus diperhatikan adalah kondisi lapisan pelindung, yang mana kegunaan lapisan pelindung adalah untuk mencegah kontak langsung antara struktur dengan lingkungannya yang nantinya mengakibatkan korosi. Perhitungan faktor kerusakan lapisan dapat menggunakan persamaan sebagai berikut [17]:

$$f_c = a + b \times t \dots \dots \dots (4)$$

Dimana:

- f_c : Faktor kerusakan lapisan
- a, b : Konstanta yang bergantung pada sifat pelapis dan lingkungan
- t : Umur konstruksi

Faktor coating menggambarkan suatu reduksi di dalam kerapatan arus katodik karena adanya aplikasi dari suatu coating insulasi elektrik. Tiga kategori paint coating telah didefinisikan untuk melengkapi hubungan antara *factor coating breakdown* terhadap sifat *coating* itu sendiri. Berikut tabel 2.4 nilai konstanta sesuai katoegi *coating* yang digunakan [17]:

Tabel 2.4 Nilai konstanta a dan b yang direkomendasikan

Kedalaman (m)	Rekomendasi nilai a dan b untuk Kategori <i>Coating</i> I, II, III		
	I (a = 0,10)	II (a = 0,05)	III a = 0,02
0 < 30	b = 0,10	b = 0,025	b = 0,012
>30	b = 0,05	b = 0,015	b = 0,008

Ada tiga kategori pelapisan yang ditentukan untuk penggunaan praktis berdasarkan sifat-sifat lapisan dalam [17]:

- a. Kategori I: satu lapis lapisan cat *epoxy*, minimal 20 μm DFT nominal (Dry Film Thickness)
- b. Kategori II: satu atau lebih pelapis cat laut (berbasis *epoxy*, *polyurethane*, atau *vinyl*) minimal 250 μm DFT
- c. Kategori III: satu atau lebih pelapis cat laut (berbasis *epoxy*, *polyurethane*, atau *vinyl*) minimal 350 μm DFT

2.5.5 Kemampuan Material Anoda Korban

Dalam Tabel 2. 5 memberikan nilai efisiensi elektrokimia (ϵ) anoda korban yang digunakan dalam perhitungan desain untuk massa anoda korban yang disyaratkan.

Tabel 2.5 Desain nilai efisiensi elektrokimia untuk bahan anoda korban berbasis Al dan Zn

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

2.5.6 Resistivitas

Resistivitas merupakan salah satu metode geofisika yang memanfaatkan sifat resistivitas listrik batuan untuk mendeteksi formasi bawah permukaan. Metode ini dilakukan melalui pengukuran beda potensial yang ditimbulkan akibat injeksi arus listrik ke dalam bumi.

Salinitas dan suhu air laut memiliki pengaruh terhadap resistivasnya. Di laut terbuka, salinitas tidak bervariasi secara signifikan. Suhu menjadi faktor utama. Resistivitas 0,3 dan 1,5 ohm-m direkomendasikan untuk digunakan untuk menghitung resistansi anoda di air laut dan sedimen laut masing-masing ketika suhu air permukaan antara 7 sampai 12°C [16]

2.5.7 Faktor Pemanfaatan Anoda

Faktor pemanfaatan anoda menunjukkan fraksi bahan anoda yang diasumsikan menyediakan arus proteksi katodik. Kinerja menjadi tidak dapat diprediksi ketika anoda dikonsumsi melebihi massa yang ditunjukkan oleh faktor pemanfaatan. Faktor pemanfaatan anoda tergantung pada desain anoda terperinci, khususnya dimensi dan jenis anoda. Harga factor utilitas anoda dapat dilihat pada tabel 2.6 [17]

Tabel 2.6 Faktor Utilitas Anoda Yang Direkomendasikan

Tipe Anoda	Faktor Utilitas Anoda
Long Slender stand-off $L \geq 4r$	0,90
Short Slender stand-off $L < 4r$	0,85
Long flush mounted $L \geq \text{width}$ and $L \geq 4$ thickness	0,85
Short flush-mounted, bracelet and other types	0,80

2.6 Proteksi Katodik Anoda Korban

Sistem ini dikenal juga dengan *galvanic anode*, di mana cara kerja dan sumber arus yang digunakan berasal hanya dari reaksi galvanis anoda itu sendiri. Prinsip dasar dari sistem anoda korban adalah hanya dengan cara menciptakan sel elektrokimia *galvanic* dimana dua logam yang berbeda dihubungkan secara elektrik dan ditanam dalam elektrolit alam (tanah atau air). Dalam sel logam yang berbeda tersebut, logam yang lebih tinggi dalam seri *elektromotive-Emf series* (lebih aktif) akan menjadi *anodic* terhadap logam yang kurang aktif dan dikonsumsi selama reaksi elektrokimia. Logam yang kurang aktif menerima proteksi katodik pada permukaannya karena adanya aliran arus melalui elektrolit dari logam yang *anodic*.

Sistem anoda korban secara umum digunakan untuk melindungi struktur dimana kebutuhan arus proteksinya kecil dan resistivitas tanah

rendah. Di samping itu sistem ini juga digunakan untuk keperluan dan kondisi yang lebih spesifik seperti:

1. Untuk memproteksi struktur dimana sumber listrik tidak tersedia
2. Memproteksi struktur yang kebutuhan arusnya relative kecil, yang jika ditinjau dari segi ekonomi akan lebih menguntungkan dibandingkan dengan sistem arus tanding
3. Memproteksi pada daerah *hot spot* yang tidak di lapiasi, misalnya pada daerah d mana ada indikasi aktifitas korosi yang cukup tinggi
4. Untuk mensuplemen sistem arus tanding, jika dipandang arus proteksi yang akan kurang memadai. Ini biasanya terjadi pada daerah yang resistivitas tanahnya rendah seperti daerah rawa
5. Untuk mengurangi efek interfensi yang disebabkan oleh sistem arus tanding atau sumber arus searah lainnya.
6. Untuk memproteksi kaki *jacket* yang di *coating* dengan baik, sehingga kebutuhan arus proteksi relative kecil.
7. Untuk memproteksi kaki *jacket*, yang biasanya menggunakan anoda korban dengan cara dipasangkan pada permukaan pelat baja.

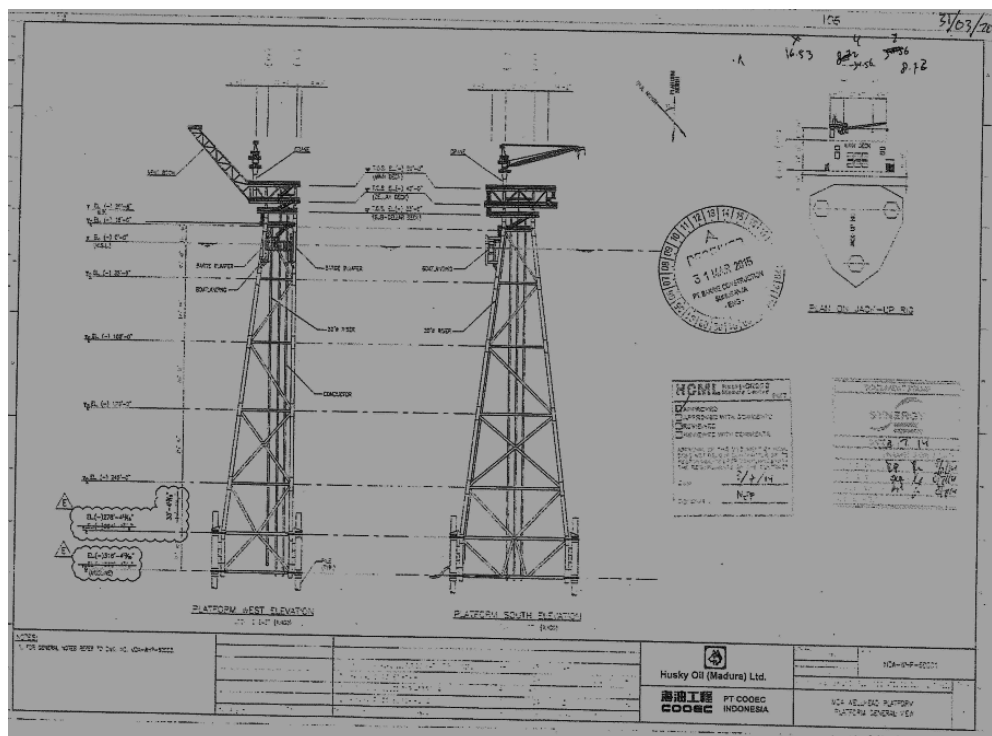
Ada beberapa keuntungan yang diperoleh jika menggunakan sistem anoda korban, yaitu [18]:

1. Tidak memerlukan arus tambahan dari luar, karena arus proteksi berasal dari anodanya itu sendiri
2. Pemasangan dilapangan relative lebih sederhana
3. Perawatannya mudah
4. Ditinjau dari segi biaya, sistem ini lebih murah di banding sistem arus tanding
5. Kemungkinan menimbulkan efek interfensi kecil
6. Kebutuhan material untuk sistem anoda korban relatif sedikit yaitu anoda, dan kabel

2.7 Lokasi dan Karakteristik Anjungan MDA

1. Rancangan Pemasangan

Anjungan MDA milik Husky CNOOC Madura Ltd. ini akan beroperasi di Selat Madura sebagai salah satu *wellhead platform* yang memasok kebutuhan minyak dan gas ke pulau Jawa. *General arrangement* Anjungan MDA dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 *General Arrangement* Anjungan MDA [4]

2. Sistem Perlindungan yang digunakan

Desain perlindungan katodik pada kaki *jacket* MDA yang digunakan berdasarkan DNV RP B401. Sistem perlindungan katodik yang akan digunakan adalah *Standoff Anode* seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.8



Gambar 2.8 *Standoff Anode* [14]

Dalam desain perlindungan katodik, perhitungan akan dilakukan untuk memastikan anoda korban yang digunakan cukup tersedia untuk menyediakan total arus yang dibutuhkan untuk melindungi kaki *jacket* selama masa desainnya. Kepadatan arus awal dan akhir diperiksa untuk memastikan bahwa anoda dapat memberikan keluaran arus yang cukup untuk mempolarisasi kaki *jacket* selama penggunaannya. Adapun untuk menghitung massa kebutuhan anoda korban digunakan persamaan seperti berikut:

$$m = \frac{I_c \times T \times 8760}{\mu \times \varepsilon} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana:

- m = Massa anoda korban paduan aluminium (kg)
- I_c = Kebutuhan arus proteksi (Ampere)
- T = Umur proteksi (tahun), T = 10 Tahun
- μ = Faktor guna anoda korban, $\mu = 0,9$
- ε = Efisiensi elektrokimia (Ah/kg), $\varepsilon = 2000$, paduan aluminium

Kebutuhan massa anoda yang telah dihitung menggunakan persamaan (4) kemudian dapat di tentukan kebutuhan anoda yang akan di pasang pada Kaki *jacket* dengan menggunakan ukuran desain anoda. Sehingga jumlah anoda korban yang dibutuhkan dalam sistem proteksi katodik kaki *jacket* adalah:

$$\Sigma AK = \frac{m}{m_{AK}} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana:

- ΣAK = Jumlah anoda korban
- m = Massa anoda korban yang dibutuhkan (kg)
- m_{AK} = Massa per-unit anoda korban (kg)

Setelah di dapatkan jumlah anoda yang akan digunakan untuk memproteksi maka dapat ditentukan peletakan atau jarak antar anoda pada kaki *jacket* dengan menggunakan persamaan berikut.

$$J_{AK} = \frac{L - (Panjang\ Anoda \times Jumlah\ Anoda)}{\Sigma AK_{total}} \dots\dots\dots(7)$$

Dimana:

- J_{AK} = jarak antar anoda korban (m)
- L = Panjang kaki *jacket* (m)
- ΣAK_{total} = Jumlah total anoda korban yang dipasang (buah)

3. Data Kaki *Jacket* MDA

Pada tabel 2.7 merupakan data kaki *jacket* yang akan digunakan dalam dalam perencanaan:

Tabel 2.7 Data Properti kaki *jacket* dan material yang digunakan

Parameter	Unit	Nilai
Tinggi	meter	96
Diameter	meter	1,09
Spesifikasi Material	-	B API 5L Gr.X52 OR API 2H Gr.50

4. Data Lingkungan

Pada tabel 2.8 berisi data air laut yang akan digunakan pada perencanaan sebagai berikut:

Tabel 2.8 Data Lingkungan Anjungan MDA

Parameter	Unit	Nilai
Suhu air laut	°C	28
Massa Jenis	kg/m ³	1025

5. Data Anoda

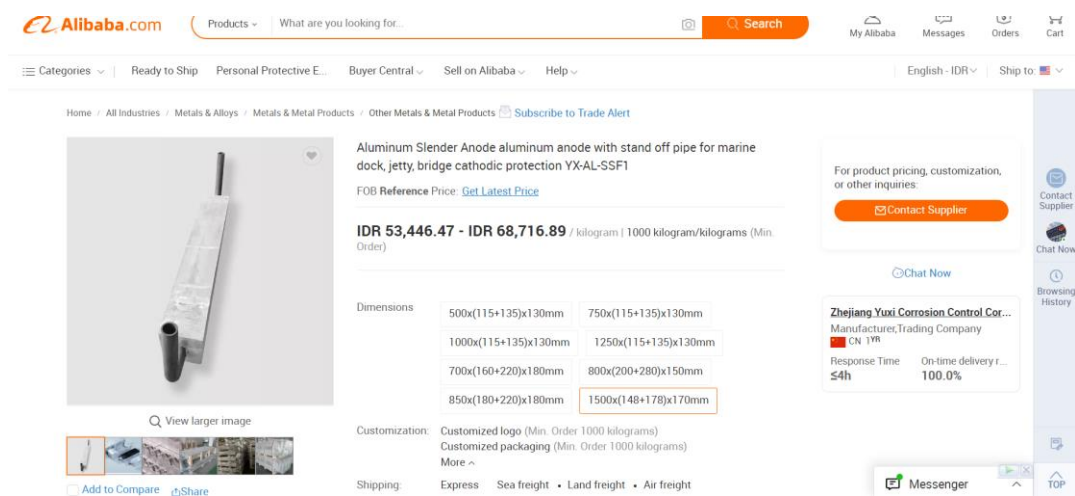
Desain perlindungan katodik yang digunakan pada kaki *jacket* adalah *Standoff anode* tipe *YX-AL-SSF1*. Adapun data anoda pada tabel 2.9

Tabel 2.9 Data Anoda Yang Digunakan

Parameter	Nilai
Desain umur anoda	10 Tahun
Jenis bahan anoda	Paduan Aluminium
Efisiensi Elektrokimia dalam air laut pada suhu sekitar (25°C)	2000 A-h/kg
Ketebalan anoda	0,17 mm
Panjang anoda	1,5 mm
Lebar anoda	0,178 mm
Massa anoda desain	12 kg
Faktor pemanfaatan anoda	0,9

2.8 Perhitungan Biaya Desain Proteksi Katodik

Perhitungan biaya dalam perancangan proteksi katodik ini menggunakan harga material dari situs penjualan online seperti pada gambar 2.9 yang disesuaikan dengan material dan *grade* bahan yang digunakan.



The screenshot shows a product listing on Alibaba.com for 'Aluminum Slender Anode'. The product is described as 'Aluminum Slender Anode aluminum anode with stand off pipe for marine dock, jetty, bridge cathodic protection YX-AL-SSF1'. The price is listed as IDR 53,446.47 - IDR 68,716.89 per kilogram. The dimensions table is as follows:

Dimensions	500x(115+135)x130mm	750x(115+135)x130mm
	1000x(115+135)x130mm	1250x(115+135)x130mm
	700x(160+220)x180mm	800x(200+280)x150mm
	850x(180+220)x180mm	1500x(148+178)x170mm

Customization options include 'Customized logo (Min. Order 1000 kilograms)' and 'Customized packaging (Min. Order 1000 kilograms)'. Shipping options are 'Express', 'Sea freight', 'Land freight', and 'Air freight'. The supplier is 'Zhejiang Yuxi Corrosion Control Cor...' with a response time of ≤4h and on-time delivery of 100.0%.

Gambar 2.9 Harga *Aluminium anode* [19]