

**ANALISIS PELETAKAN DAN KEBUTUHAN PROTEKSI KATODIK
PADA *MOORING BUOY* DI PERTAMINA FUEL TERMINAL LUWUK**

SKRIPSI

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

Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin



OLEH :

WINDI WIDIANINGRUM

D081 17 1507

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2021

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI
ANALISIS PELETAKAN DAN KEBUTUHAN PROTEKSI KATODIK PADA
MOORING BUOY DI PERTAMINA FUEL TERMINAL LUWUK

Disusun dan diajukan oleh

WINDI WIDIANINGRUM

D081 17 1507

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Program Sarjana Program Studi Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas
Hasanuddin pada tanggal 28 April 2020 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing utama,

Pembimbing Pendamping,

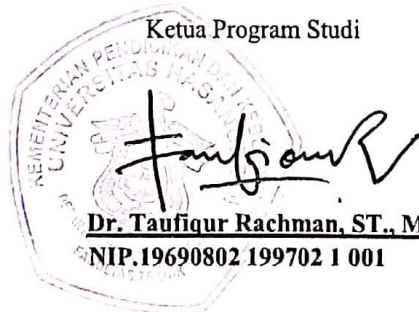


Ir. Juswan, ST., MT.
NIP. 19621231 198903 1 031



Habibi, ST., MT.
NIP. 19870425 2018031 012

Ketua Program Studi



Dr. Taufiqur Rachman, ST., MT.
NIP.19690802 199702 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN SKripsi

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Winda Widianingrum
Nomor Mahasiswa : D081171507
Program Studi : Teknik Kelautan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

“Analisis Peletakan dan Kebutuhan Proteksi Katodik Pada *Mooring Buoy* di Pertamina Fuel Terminal Luwuk”

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

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

Gowa, 28 April 2021

Yang menyatakan,



Winda Widianingrum

ABSTRAK

WINDI WIDIANINGRUM. *Analisis Peletakan dan Kebutuhan Proteksi Katodik Pada Mooring Buoy di Pertamina Fuel Terminal Luwuk* (dibimbing oleh **Juswan** dan **Habibi**).

Korosi adalah salah satu penyebab kerusakan yang umum terjadi pada *mooring buoy* akibat adanya oksidasi pada permukaan pelat baja. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kebutuhan dan peletakan proteksi katodik serta biaya yang dibutuhkan dalam pengadaan proteksi katodik pada *mooring buoy* dengan menggunakan aturan BKI (Biro Klasifikasi Indonesia) dan 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). Pada penelitian ini digunakan metode anoda korban karena instalasi lebih sederhana sehingga tidak memerlukan keahlian khusus dan penghubung anoda telah terlindungi secara katodik. *Mooring buoy* dengan tinggi 2,380 m, berdiameter 3,200 meter dengan umur desain proteksi katodik yaitu 5 tahun. Anoda yang digunakan pada penelitian ini adalah anoda dengan tipe *Longated flush-mounted Z9.0H1 (Welded Type)* dengan dimensi 355 x 85 x 45 mm. Dari hasil penelitian ini didapatkan total massa anoda yang dibutuhkan untuk memproteksi *mooring buoy* adalah 48 kg dengan jarak pemasangan antar anoda pada pelat lambung *topside* adalah 2,006 m dan pada pelat *bottom swim* lambung adalah 3,022 m serta estimasi biaya yang dibutuhkan dalam pengadaan proteksi katodik *mooring buoy* adalah Rp. 7.487.075.

Kata Kunci: *Mooring buoy*, Korosi, Zinc Anode

ABSTRACT

WINDI WIDIANINGRUM. *Analysis of Placement and Needs for Cathodic Protection on Mooring Buoy at Pertamina Fuel Terminal Luwuk (supervised by Juswan and Habibi)*

Corrosion is one of the most common causes of damage to mooring buoys due to oxidation on the surface of the steel plate. 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 mooring buoys using the rules of BKI (Indonesian Classification Bureau) and 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. Mooring buoy 2.380 meters high, 3.200 meters in diameter with a cathodic protection design life of 5 years. The anode used in this study was a Longated flush-mounted Z9.0H1 (Welded Type) anode with dimensions of 355 x 85 x 45 mm. From the results of this study, the total anode mass needed to protect the mooring buoy is 48 kg with the distance between the anodes on the topside hull plate is 2.000 m and the hull bottom swim plate is 3.000 m and the estimated cost required in providing mooring buoy cathodic protection is Rp. 7,487,075.

Keywords: Mooring buoy, Corrosion, Zinc Anode

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

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

“ANALISIS PELETAKAN DAN KEBUTUHAN PROTEKSI KATODIK PADA
MOORING BUOY DI PERTAMINA FUEL TERMINAL LUWUK”

Doa, dorongan moril dari kedua orang tua (Bapak **Isnaini** dan Ibu **Wagiyem**) dan Saudara tercinta (Mas **Sandy Setiawan S.S**, Mba ayu **Agustina Pujilestari, S.KM., M.Kes, (MARS)** dan Mas **Aditya Sigit Permadi, S.Si**) 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, ST. 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 ditengah-tengah kesibukannya telah meluangkan waktu dan pikiran untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga terselesaikannya penulisan Skripsi ini.

3. Bapak **Dr. Taufiqur Rachman, ST., MT.** selaku Ketua Departemen Teknik Kelautan yang telah mengesahkan skripsi ini.
4. Bapak **Dr.Eng., Firman Husain, ST., MT.** selaku penasehat akademik (PA) selama menjadi mahasiswa Teknik Kelautan sehingga saya dapat menyelesaikan studi.
5. Bapak **Daeng Paroka, ST., MT., PhD.** Selaku Kepala Labo Manajemen Produksi Departemen Teknik Kelautan FT-UH yang memberikan bimbingan dan pengarahan agar penulis bisa menyelesaikan skripsi ini.
6. **Dosen–Dosen Teknik Kelautan** yang telah memberikan ilmu serta pengalamannya selama dalam proses perkuliahan.
7. **Tenaga Kependidikan Program Studi Teknik Kelautan,** yang telah membantu segala aktivitas administrasi baik selama perkuliahan serta dalam penyelesaian skripsi ini.
8. Bapak **Ariyanto Idrus, ST** dan Bapak **Sofyan Chalil, ST** dari PT. Industri Kapal Indonesia (Persero) selaku pembimbing penulis selama penyusunan skripsi yang telah memberikan arahan dan saran.
9. **Andi Muhammad Alfian Arafat** teman, sahabat dan *endless support system.* Terima Kasih telah menjadi tempat untuk bercerita segala hal dan selalu mendukung keputusan yang kubuat. Hal-hal terbaik kudoakan terjadi padamu juga. *Always remember us this way*
10. **Teman-teman Mahasiswa khususnya Teknik Kelautan Angkatan 2017** yang selalu memberi motivasi dan dukungannya serta waktu yang telah kita lalui bersama dalam suka dan duka. Tak lupa pula penulis sampaikan banyak terimakasih kepada kanda Senior dan dinda Junior atas motivasi dan dukungannya.
11. **Manpro Rangers** Teman labo Manajemen Produksi Departemen Teknik Kelautan FT-UH 2017 (Bela, Nju, Rara, Nusul, Dyo dan Syikin). Terima kasih atas dukungan dan saran serta kritik yang membangun.
12. **Keluarga Letting Pengurus Forum Anak Sulawesi Selatan Periode 2016/2017** 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. Semoga pertemanan ini abadi, Letting Forever!

13. **Keluarga Forum Anak Nene' Mallomo Sidrap** Terima kasih telah menjadi tempatku mengabdikan, terutama untuk Veteran (Tiara, Fikry, Faiz, Awe, Kiki, Dinda, Wandu, Regina, Iqbal dan Angga) atas dukungannya. Untuk Adik-adik pengurus teruslah semangat.
14. Sahabat yang turut memberikan dukungan tanpa henti selama proses penulisan ini, terima kasih (Aafiah Ifada, Riky Hidayat, Astika Rajmi, Nabila Ainun Nur Rahmat, Tri Utari HS, Fitri Ramadani Rahim dan Silvie Ananda)
15. Kawan **Kerja Praktek di PT. Industri Kapal Indonesia (Persero)** geng ikip yang turut memberikan dukungan selama kerja praktek dan berbagi pengalaman bersama di PT. IKI tercinta. Jangan lupakan perjuangan selama sebulan dan sukses terus buat kalian (Kk' Bela, Ardin, Shadiq, Pado dan Fareld)
16. Teman-teman **KKN TEMATIK UNHAS GEL 104 POSKO SIDRAP 3** yang telah memberikan pengalaman yang berharga dalam masa pengabdian kami ber-KKN di masa pandemi Covid-19.

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

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Gowa, 24 April 2021

Windi Widianingrum

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iii
ABSTRAK.....	iv
<i>ABSTRACT</i>.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I : PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II : TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sistem Penambatan.....	5
2.1.1 <i>Mooring Buoy</i>	5
2.1.2 Bagian-Bagian Utama dalam Penambatan	5
2.1.3 Jenis-Jenis <i>Mooring System</i>	6
2.1.4 Kerusakan yang Sering Terjadi pada <i>Mooring Buoy</i>	8
2.2 Korosi	9
2.3 Sistem Proteksi.....	11

2.4	Proteksi Katodik	11
2.4.1	<i>Sacrificial Anode Cathodic Protection</i> (Anoda Korban)	13
2.4.2	<i>Impressed Current Cathodic Protection</i> (ICCP)	14
2.5	Detail Perencanaan Proteksi Katodik pada <i>Mooring Buoy</i>	15
2.5.1	Dasar-Dasar Perlindungan Katodik	16
2.5.2	Parameter Perencanaan <i>Cathodic Protection</i>	16
2.5.3	Perhitungan Laju Korosi	17
2.5.4	Perhitungan Arus (I_c).....	18
2.5.5	Faktor Kerusakan Lapisan.....	19
2.5.6	Kemampuan Material Anoda Korban	19
2.5.7	Resistivitas.....	20
2.5.8	Faktor Pemanfatatan Anoda	20
2.6	Proteksi Katodik Anoda Korban	21
2.7	Lokasi dan Karakteristik <i>Mooring Buoy</i>	22
2.8	Perhitungan Biaya Desain Proteksi Katodik.....	26
BAB III : METODE PENELITIAN		27
3.1	Lokasi Penelitian	27
3.2	Prosedur Penelitian.....	27
3.3	Diagram Alir Penelitian	29
3.4	Waktu Pelaksanaan Penelitian	31
BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN		33
4.1	Perhitungan Kebutuhan Anoda	33
4.1.1	Data Ukuran Utama <i>Mooring Buoy</i>	33
4.1.2	Hasil Perhitungan Laju Korosi	35
4.1.3	Hasil Perhitungan Anoda Korban	40

4.2 Usulan Peletakan Anoda Korban	46
4.3 Perhitungan Biaya Desain Proteksi Katodik.....	48
BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN.....	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA.....	51
LAMPIRAN.....	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Mekanisme Korosi [3]	9
Gambar 2. 2 Korosi pada permukaan logam [3]	10
Gambar 2. 3 Reaksi Elektrokimia pada Logam [3]	10
Gambar 2. 4 Cathodic Protection (CP) Methods [4]	12
Gambar 2. 5 Perlindungan katodik pada bangunan laut	16
Gambar 2. 6 General Arrangement Mooring Buoy Pertamina Fuel Terminal Luwuk	23
Gambar 2. 7 Longated flush-mounted zinc anode.....	23
Gambar 2. 8 Harga zinc anode	26
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	31
Gambar 4. 1 Diagram pengurangan tebal pelat pada <i>mooring buoy</i> akibat korosi	35
Gambar 4. 2 Diagram penurunan massa pelat pada <i>mooring buoy</i>	38
Gambar 4. 3 Persamaan laju korosi pada pelat baja <i>mooring buoy</i>	38
Gambar 4. 4 Korosi yang terjadi pada pelat <i>mooring buoy</i>	40
Gambar 4. 5 Usulan peletakan anoda korban pada <i>mooring buoy</i> sesuai perhitungan	46
Gambar 4. 6 Posisi peletakan anoda korban pada <i>mooring buoy</i> sesungguhnya ..	46

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Anoda korban zink dalam aplikasi media air laut.....	15
Tabel 2. 2 Desain arus rata-rata densitas berdasarkan kedalaman dan iklim.....	18
Tabel 2. 3 Konstanta (k_1 dan k_2) untuk perhitungan faktor kerusakan pelapis....	19
Tabel 2. 4 Desain nilai efisiensi elektrokimia untuk bahan anoda korban berbasis Al dan Zn	20
Tabel 2. 5 Sirkuit tertutup potensial anoda untuk Al dan Zn berdasarkan anoda korban.....	20
Tabel 2. 6 Data propertis <i>mooring buoy</i> dan material yang digunakan.....	25
Tabel 2. 7 Data Anoda Desain.....	25
Tabel 2. 8 Dimensi <i>Zinc Anode</i>	26
Tabel 3. 1 Waktu Pelaksanaan Penelitian	31
Tabel 4. 1 Ukuran utama <i>mooring buoy</i>	33
Tabel 4. 2 Pengurangan tebal pelat baja pada <i>mooring buoy</i>	34
Tabel 4. 3 Penurunan massa pelat baja pada <i>mooring buoy</i>	37
Tabel 4. 4 Kebutuhan massa anoda korban.....	44
Tabel 4. 5 Jumlah anoda korban yang dibutuhkan	45
Tabel 4. 6 Penambahan 20% jumlah anoda korban yang dipasang.....	45
Tabel 4. 7 Jarak penempatan anoda korban yang dipasang	46
Tabel 4. 8 Perhitungan analisa ekonomis proteksi katodik anoda korban pada <i>mooring buoy</i>	48

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Struktur bangunan laut (kapal, anjungan lepas pantai, pipa bawah laut dan bangunan apung lainnya) yang beroperasi tidak terhindar dari proses korosi. Sehingga, manajemen perawatan pada suatu struktur bangunan laut sangatlah penting karena biaya pembangunan dari struktur tersebut mahal. Dilihat dari segi konstruksinya, bagian yang rentan terdampak korosi adalah area yang terkena air laut seperti pada konstruksi bagian *hull*. Korosi pada pelat dapat mengakibatkan menurunnya kekuatan dan umur pakai suatu bangunan 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 [1].

Pertamina Fuel Terminal (PFT) Luwuk merupakan Terminal Bahan Bakar Minyak (TBBM) yang termasuk dalam wilayah operasi PT. Pertamina (Persero) Marketing Operation Region (MOR) VII Sulawesi. Dalam menunjang proses distribusi agar tetap berjalan lebih baik perlu di dukung dengan sarana dan fasilitas yang memadai salah satunya adalah *mooring buoy* sebagai sarana tambat dalam proses *loading* dan *unloading* muatan kapal. *Mooring buoy* yang beroperasi tentunya akan mengalami proses korosi. Akibatnya akan terjadi penurunan ketebalan pelat baja dan efektivitas kerja *mooring buoy* sebagai alat tambat.

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.

Oleh karena itu pada skripsi ini akan membahas mengenai perencanaan kebutuhan sistem proteksi katodik pada *mooring buoy* milik Pertamina Fuel Terminal Luwuk. Selain perencanaan kebutuhan proteksi katodik, perencanaan pemasangan/peletakan proteksi katodik di analisis pada skripsi ini.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam skripsi ini adalah:

1. Bagaimana menentukan kebutuhan *zinc anode* dalam melindungi pelat baja *mooring buoy*?
2. Bagaimana menentukan pemasangan/peletakan anoda korban?
3. Berapa besar biaya yang dibutuhkan dalam pemasangan proteksi katodik?

1.3 Batasan Masalah

Permasalahan dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut:

1. Analisis hanya pada struktur keseluruhan *buoy*, tidak membahas bagian perbagian struktur *mooring buoy*.
2. Menggunakan metode Anoda Korban dan anoda yang digunakan adalah *zinc anode*
3. Estimasi biaya yang di hitung hanya biaya instalasi anoda dan harga anoda.
4. *Mooring buoy* yang di analisis milik Pertamina Fuel Terminal Luwuk.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah :

1. Mengetahui kebutuhan *zinc anode* untuk proteksi katodik;
2. Menentukan pemasangan/peletakan proteksi katodik;
3. Menentukan biaya yang dibutuhkan dalam pengadaan proteksi katodik;

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan analisis komposisi zat pada *zinc anode* untuk proteksi katodik pada pelat baja
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 Sistem Penambatan

2.1.1 *Mooring Buoy*

Kebutuhan akan minyak dan gas tiap tahunnya semakin meningkat. Hal ini menjadikan perkembangan dalam dunia minyak dan gas menjadi sorotan lebih saat ini mengacu pada teknologi dan eksplorasi minyak bumi. Namun beberapa akibat dari kegiatan eksplorasi tersebut menyebabkan kecelakaan kerja seperti terjadinya *oil spill* (minyak tumpah) di laut pada saat proses pengisian dan transfer hasil minyak bumi. Hal tersebut disebabkan karena sistem tambat yang tidak mumpuni menahan gaya yang diberikan oleh kapal tanker atau *Floating Production, Storage & Offloading* (FPSO). Sistem tambat pada kapal haruslah sesuai standar yaitu disesuaikan dengan besarnya DWT kapal yang akan bertambat.

Sistem tambat yang paling dikenal adalah *Single Buoy Mooring* (SBM) dan *Single Point Mooring* (SPM). SBM merupakan sistem tambat yang berfungsi sebagai titik tambat dan interkoneksi untuk kapal tanker *loading* atau proses pembongkaran minyak bumi dan atau gas. Sedangkan SPM adalah hubungan antara geostatic koneksi manifold bawah laut dan kapal tanker yang dapat digunakan oleh semua kapal, contohnya *Very Large Crude Carriers* (VLCC). Pada dasarnya sistem tambat berfungsi agar kapal tetap pada posisinya saat proses loading-unloading muatan kapal sehingga proses tersebut bisa berjalan dengan baik.

2.1.2 Bagian-Bagian Utama dalam Penambatan

Adapun bagian-bagian utama pada *mooring buoy* antara lain sebagai berikut:

1. *Buoy*, merupakan komponen utama dari *mooring buoy* berfungsi sebagai tempat bertambatnya kapal.

2. *Sinker*, merupakan komponen pemberat yang diletakkan di dasar laut. *sinker* dihubungkan dengan *buoy* menggunakan rantai dan *shackle*.
3. Rantai, sebagai penghubung antara *buoy*, *sinker* dan *anchor*
4. *Anchor*, komponen yang terpancang pada tanah di dasar laut agar *mooring buoy* dapat menahan kapal tetap pada posisinya.
5. *Shackle*
6. *Manhole*, berfungsi saat dilakukannya pengecekan secara berkala untuk memastikan tidak ada kebocoran
7. *Fender*, untuk melindungi *buoy* dari kerusakan yang diakibatkan benturan body kapal.
8. *Bollard*, digunakan untuk menambatkan kapal
9. GPS, berfungsi untuk mengetahui dan melacak lokasi *buoy*
10. Lampu sel surya, sebagai sumber energi cadangan sehingga bisa tetap menyala pada waktu malam

2.1.3 Jenis-Jenis *Mooring System*

Secara umum jenis-jenis sistem penambatan (*mooring system*) yang digunakan kapal tanker atau FSO/FPSO antara lain :

1. *Spread Mooring*

Pada sistem ini digunakan satu set *anchor legs* dan *mooring lines* yang biasanya terletak pada posisi *bow* dan *stern* kapal. Sistem ini tidak memungkinkan kapal untuk bergerak/berputar agar mencapai posisi dimana beban lingkungan (angin, arus dan gelombang) relative kecil.

2. *Turret Mooring*

Pada *turret mooring*, kapal dihubungkan dengan *turret* dilengkapi *bearing* sehingga memungkinkan kapal untuk dapat berputar. Terdapat dua macam *turret mooring* yaitu:

- a. *External Turret*, dapat diletakkan pada posisi *bow* atau *stern* kapal, di luar lambung kapal. Sistem ini memungkinkan kapal untuk berputar 360° dan beroperasi pada cuaca normal maupun ekstrim. Sistem *external turret* biasanya digunakan di perairan yang tidak terlalu dalam. *Chain leg* ditanam di dasar laut dengan *anchor* atau *piles*. Biaya produksi *external turret* relative lebih murah dibandingkan dengan *internal turret*. *Chain table* pada *external turret* terletak di atas *water level*.
- b. *Internal Turret*, keunggulan utama dari sistem ini adalah dapat terpasang secara permanen atau tidak (*dis-connectable*). *Internal turret* dapat digunakan pada kondisi lingkungan yang moderat sampai ekstrim dan dapat disesuaikan dengan kedalaman air laut.

3. *Tower Mooring*

Pada sistem ini kapal tanker/FSO/FPSO dihubungkan ke *tower* menggunakan *permanent wishbone* atau *temporary/permanent Hawser*. Sesuai untuk laut dangkal hingga sedang dengan arus yang cukup kuat. Keunggulan dari sistem ini ialah transfer fluida yang sederhana dengan menggunakan *jumper hoses* dari *tower* ke kapal, akses langsung dari kapal ke *tower*, modifikasi yang tidak terlalu banyak pada kapal dan semua *mechanical equipment* terletak di *atas sea level*.

4. *Mooring Buoy*

Pada sistem ini *buoy* digunakan sebagai *mooring point* kapal dan untuk *Offloading* fluida. Tujuan utamanya adalah sebagai tempat bertambat kapal dan untuk proses pengisian dan transfer fluida dari daratan atau ke fasilitas *offshore* lainnya ke kapal yang sedang tertambat.

5. *Dynamic Positioning*

Sistem ini adalah yang paling fleksibel karena dapat menyesuaikan dengan arah datang dan puncak gelombang sehingga dapat

memperoleh posisi paling aman dalam proses operasi. Namun biaya sistem ini sangat mahal sehingga menjadi sebuah pilihan yang belum realistis secara ekonomi.

2.1.4 Kerusakan yang Sering Terjadi pada *Mooring Buoy*

Kerusakan yang terjadi secara umum pada *mooring buoy* dan dapat mengurangi efektivitas *mooring buoy* antara lain:

1. Kerusakan Peralatan

Kerusakan peralatan yaitu rusaknya atau tidak berfungsinya komponen *mooring buoy* dengan baik sehingga tidak dapat beroperasi sesuai yang direncanakan. Kerusakan peralatan pada *mooring buoy* dapat mengakibatkan *oil spill* (minyak tumpah) pada proses pengisian dan transfer minyak bumi. Sehingga perlu dilakukan inspeksi secara berkala pada bagian-bagian penting *mooring buoy*.

2. Kerusakan Akibat Proses Penambatan

Kerusakan pada proses penambatan dapat terjadi apabila badan kapal dengan kuat menabrak fasilitas *mooring buoy*. Sehingga badan pelat pada *mooring buoy* mengalami kerusakan dan perlu di reparasi. Hal ini disebabkan karena *mooring buoy* yang tidak dilengkapi dengan *rubber fender* sehingga badan kapal terbentur dengan *body mooring buoy* itu sendiri.

3. Korosi dari Lingkungan

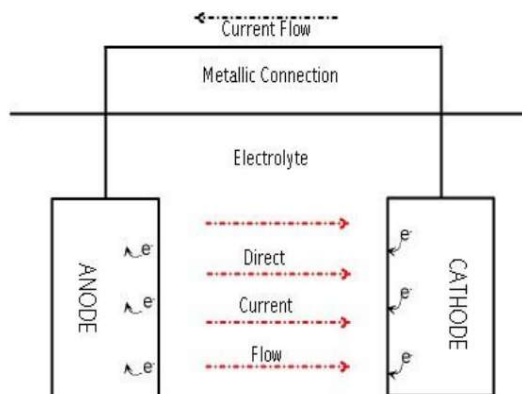
Korosi ini terjadi akibat adanya proses oksidasi pada permukaan pelat baja dengan udara. Korosi terjadi jika cat pelindung bagian luar permukaan pelat baja mulai rusak. Manajemen perawatan sangat dibutuhkan pada bagian yang mudah terkorosi dengan memberikan lapisan pelindung anti korosi dan anti *fouling* pada permukaan *mooring buoy* sesuai dengan aturan-aturan mengenai pengecatan yang berlaku. Kemudian selanjutnya

ditambahkan proteksi katodik agar dapat memperlambat laju korosi pada pelat.

2.2 Korosi

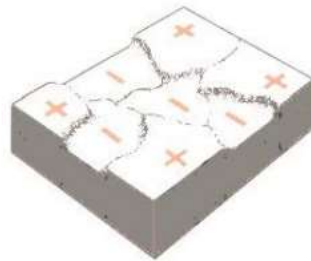
Korosi adalah kerusakan karena sifat logam dengan proses elektrokimia yang biasanya berjalan lebih lambat. Contohnya adalah korosi oksida pada logam besi dengan pembentukan karat. Korosi mengakibatkan kerusakan material pada permukaan pelat baja dengan demikian korosi sangat merugikan dan dapat mengakibatkan kegagalan suatu struktur. Korosi juga di definisikan sebagai penurunan kualitas logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. [2].

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.



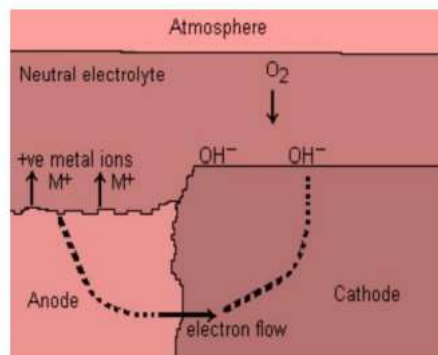
Gambar 2. 1 Mekanisme Korosi [3]

Pada logam yang sama, salah satu bagian permukannya 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. 2 Korosi pada permukaan logam [3]

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.



Gambar 2. 3 Reaksi Elektrokimia pada Logam [3]

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

2.3 Sistem Proteksi

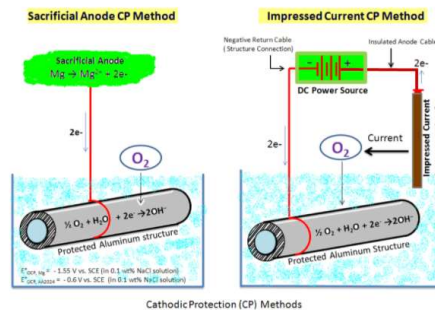
Proteksi adalah sebuah penanganan guna melindungi suatu benda dari hal yang dapat merusak sehingga benda tersebut tidak dapat berfungsi secara optimal. Dalam hal ini proteksi pada dunia industri sangat dibutuhkan karena memiliki fungsi untuk melindungi suatu struktur, salah satu proteksi yang digunakan adalah proteksi katodik untuk melindungi struktur dari korosi.

Proteksi katodik adalah sebuah metode yang digunakan untuk melindungi logam dari korosi. Teknik yang digunakan pada sistem ini dalam pengendalian korosi yaitu dengan menjadikan permukaan logam tersebut sebagai katoda dari sel volta. Sistem proteksi katodik biasanya digunakan untuk melindungi baja, jalur pipa, tangki, tiang pancang, *hull* kapal 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. [3]



Gambar 2. 4 Cathodic Protection (CP) Methods [4]

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 standar Cu/CuSO₄ dengan mempertimbangkan adanya *voltage drop* untuk mendapatkan pengukuran yang akurat.
2. Nilai *negative polarized* potential tidak boleh kurang dari -850 mV yang diukur menggunakan elektroda standar Cu/CuSO₄. *Polarized potential* 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 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:

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:

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 *Mooring Buoy*

Luas permukaan basah (bawah garis air) atau sarat merupakan bagian dari luas bangunan luas permukaan desain bangunan bagian bawah struktur (*hull*) 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.

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 sebagai berikut

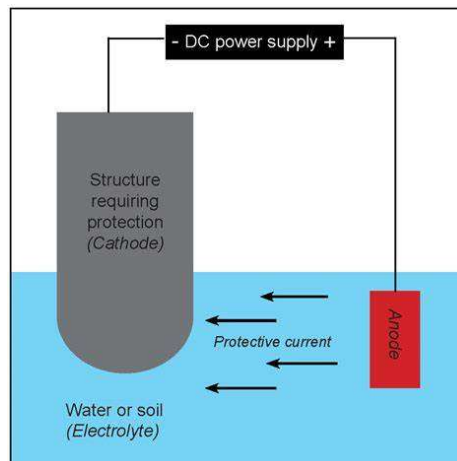
Tabel 2. 1 Anoda korban zink dalam aplikasi media air laut

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

Sumber: BKI, 2004

2.5.1 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 berikut [1]



Gambar 2. 5 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 Parameter Perencanaan *Cathodic Protection*

Bagian ini menentukan parameter yang akan dalam perencanaan sistem perlindungan katodik berdasarkan anoda korban (*sacrificial anode*).

Rentang hidup desain sistem proteksi katodik struktur pada pelat baja harus ditentukan oleh operator yaitu untuk *mooring buoy* dua

tahun sekali untuk dilakukannya survei reparasi. ini adalah praktik normal untuk menerapkan umur desain anoda yang sama seperti pada struktur lepas bangunan laut dan kapal agar mengetahui kebutuhan anoda sebelum naik *docking*.

2.5.3 Perhitungan Laju Korosi

Untuk mengetahui laju korosi sebuah pelat baja maka hal yang perlu diperhitungkan adalah luas relative dari anoda dan katoda, karena jika anoda telah habis terkorosi maka katodapun akan segera ikut terkorosi. Jadi laju korosi anoda harus diperhitungkan dengan mempertimbangkan waktu penggantian anoda. Parameter untuk menghitung laju korosi adalah keluaran arus persatuan luas permukaan terbuka yang juga disebut lagu pengausan. Juga dinyatakan dengan laju hilangnya logam dalam satuan volume maupun satuan masa pertahun dalam luas permukaan. Dalam perlindungan korosi dengan metode anoda korban ini, laju korosi dapat dinyatakan sebagai berikut [2]

$$C_R = \frac{K \times m}{A \times \rho \times T} \text{ (mm/tahun)(1)}$$

Dimana :

C_R = Laju korosi (mm/th)

$m = \Delta m$ = Selisih massa awal dan massa akhir(gram)

A = Luas pelat *mooring buoy* yang tercelup air laut (cm²)

K = Konstanta = $8,76 \times 10^4$

T = Umur proteksi (jam)

ρ = massa jenis pelat baja = $7,85 \text{ (gram/cm}^3\text{)}$

2.5.4 Perhitungan Arus (I_c)

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

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

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. Sedangkan area individu atau area yang akan diproteksi, diperoleh dengan menggunakan rumus:

$$A_c = ((\pi \times r^2 \times t) + (\pi (r + R) b)) \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

$$\pi = 3.14$$

r = panjang jari-jari alas *mooring buoy*

R = panjang jari-jari atas *mooring buoy*

b = panjang garis pelukis *mooring buoy*

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

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	0,008	0,080	0,100	0,120
>30	0,006	0,070	0,080	0,100

Sumber: Det Norske Veritas Industry Norway, 2010

Untuk desain katodik rata-rata dan terakhir faktor kerusakan pelapis di hitung dengan memperhatikan desain umur.

$$f_c \text{ (rata-rata)} = k_1 + k_2 \dots\dots\dots (4)$$

$$f_c \text{ (terakhir)} = k_1 + k_2 \times tf \dots\dots\dots (5)$$

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

f_c (rata-rata) mungkin dapat dihitung dengan menggunakan,

$$f_c \text{ (rata-rata)} = 1 - \frac{(1-k_1)}{2k_2 t f} \dots\dots\dots(6)$$

Tabel 2. 3 Konstanta (k1 dan k2) untuk perhitungan faktor kerusakan pelapis

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

Sumber: Det Norske Veritas Industry Norway, 2010

2.5.5 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.

Ada empat kategori lapisan cat yang ditentukan untuk penggunaan praktis berdasarkan sifat-sifat lapisan dalam Det Norske Veritas (2010):

- a. Kategori I: satu lapis lapisan primer, sekitar 50 pm DFT nominal (Dry Film Thickness)
- b. Kategori II: satu lapis lapisan primer, ditambah satu lapis lapisan tengah atas minimum, 150 hingga 250 pm DFT
- c. Kategori III: satu lapis mantel primer, ditambah minimum dua lapis mantel menengah / atas, minimum 300 pm DFT
- d. Kategori IV: satu lapis mantel primer, ditambah minimum tiga lapis mantel atas menengah, minimum DFT nominal 450 pm

2.5.6 Kemampuan Material Anoda Korban

Dalam Tabel 2. 4 memberikan nilai efisiensi elektrokimia (ϵ) anoda korban yang digunakan dalam perhitungan desain untuk massa anoda korban yang disyaratkan.

Tabel 2. 4 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)

Sumber: Det Norske Veritas Industry Norway, 2010

Potensi anoda sirkuit tertutup yang digunakan untuk menghitung keluaran arus anoda harus tidak melebihi nilai yang tercantum dalam Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Sirkuit tertutup potensial anoda untuk Al dan Zn berdasarkan anoda korban

Tipe Material Anoda	Lingkungan	Potensi anoda sirkuit tertutup (V rel. Ag/AgCl seawater)
Al	Air laut	-1,050
	Endapan	-0,950
Zn	Air laut	-1,000
	Endapan	-0,950

Sumber: Det Norske Veritas Industry Norway, 2010

2.5.7 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 resistivitasnya. 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 [5].

2.5.8 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.

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 terkonsumsi 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 konsidi 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 *mooring buoy* yang di *coating* dengan baik, sehingga kebutuhan arus proteksi relative kecil.
7. Untuk memproteksi *mooring buoy*, yang biasanya menggunakan anoda korban dengan cara dipasangkan pada permukaan pelat baja.

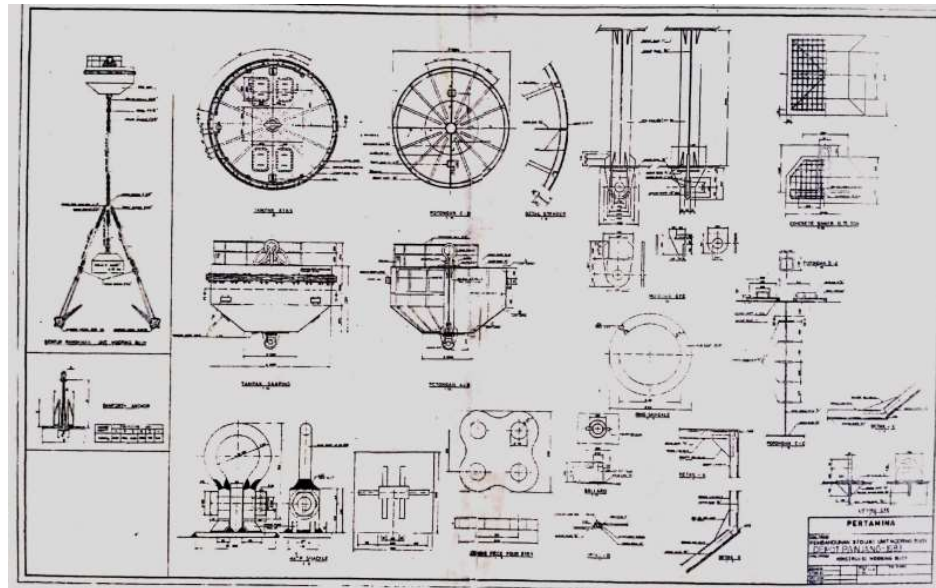
Ada beberapa keuntungan yang diperoleh jika menggunakan sistem anoda korban, yaitu [6]:

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 relative sedikit yaitu anoda, kabel dan *text box*.

2.7 Lokasi dan Karakteristik *Mooring Buoy*

1. Rancangan Pemasangan

Pemasangan *mooring buoy* milik PT. Pertamina (Persero) ini akan dioperasikan di Luwuk, Sulawesi Tengah sebagai salah satu fasilitas penunjang dalam proses penambatan dan *loading* bahan bakar minyak. Berikut *general arrangement mooring buoy* tersebut.



Gambar 2. 6 *General Arrangement Mooring Buoy Pertamina Fuel Terminal Luwuk*

2. Sistem Perlindungan yang digunakan

Desain perlindungan katodik pada *mooring buoy* yang digunakan berdasarkan Biro Klasifikasi Indonesia dalam *Regulation for the Corrosion Protection and Coating System*. Sistem perlindungan katodik yang akan digunakan adalah *Longated flush-mounted (Welded Type)* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 *Longated flush-mounted zinc anode*

Dalam desain perlindungan katodik, perhitungan akan dilakukan untuk memastikan anoda korban yang digunakan cukup tersedia untuk menyediakan total arus yang dibutuhkan untuk melindungi *mooring buoy*

selama masa desainnya. Kepadatan arus awal dan akhir diperiksa untuk memastikan bahwa anoda dapat memberikan keluaran arus yang cukup untuk mepolarisasi *mooring buoy* selama penggunaannya. Adapun untuk menghitung massa kebutuhan anoda korban digunakan persamaan seperti berikut:

$$m = \frac{Ic \times T \times 8760}{\mu \times \varepsilon} \dots\dots\dots(7)$$

Dimana:

m = massa anoda korban paduan seng (kg)

Ic = Kebutuhan arus proteksi (Ampere)

T = Umur proteksi (tahun), $T = 5$ tahun (Peraturan BKI)

μ = faktor guna anoda korban, $\mu = 0.85$

ε = Efisiensi elektrokimia (Ah/kg), $\varepsilon = 780$, paduan seng

Kebutuhan massa anoda yang telah dihitung menggunakan persamaan (7) kemudian dapat di tentukan kebutuhan anoda yang akan di pasang pada *mooring buoy* dengan menggunakan ukuran desain anoda. Sehingga jumlah anoda korban yang dibutuhkan dalam sistem proteksi katodik *mooring buoy* adalah:

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

Dimana:

ΣAK = Jumlah anoda korban

m = Massa anoda korban yang dibutuhkan

m_{AK} = Massa per-unit anoda korban

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

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

Dimana:

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

K = Keliling *mooring buoy* (m)

ΣAK_{total} = Jumlah total anoda korban yang dipasang (buah)

3. Data *Mooring Buoy*

Berikut merupakan data *mooring buoy* yang akan digunakan dalam desain, yaitu:

Tabel 2. 6 Data propertis *mooring buoy* dan material yang digunakan

Parameter	Unit	Nilai
Tinggi (H)	m (meter)	2,38
Sarat (T)	m (meter)	2
Diameter Atas	m (meter)	3,2
Diameter Alas		1,3
Spesifikasi material	-	Marine Steel Plate
Tebal pelat	mm (millimeter)	10 dan 12

Sumber: Data Lapangan (2021)

4. Data Lingkungan

Sifat-sifat air laut adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 7 Data lingkungan *mooring buoy*

Parameter	Unit	Nilai
Suhu air laut	°C	25-31,5
Massa jenis	kg/m ³	1025

Sumber: Data Lapangan (2021)

5. Data Anoda

Desain perlindungan katodik yang digunakan pada *mooring buoy* adalah *Longated flush-mounted Type Z9.0H1 (Welded Type)* untuk ukuran dan desain dapat dilihat pada lampiran 2. Adapun data anoda pada tabel berikut ini

Tabel 2. 8 Data Anoda Desain

Parameter	Nilai
Desain umur anoda	5 Tahun
Jenis bahan anoda	Paduan Zinc Zn-Al-Cd
Efisiensi Elektrokimia dalam air laut pada suhu sekitar (25°C)	780 A-h/kg
Ketebalan anoda	45 mm
Panjang anoda	355 mm

Parameter	Nilai
Lebar anoda	85 mm
Massa anoda desain	9,5 kg
Faktor pemanfaatan anoda	0,85

Sumber: Det Norske Veritas Industry Norway, 2010

2.8 Perhitungan Biaya Desain Proteksi Katodik

Perhitungan biaya dalam perancangan proteksi katodik ini menggunakan harga material dari situs penjualan online yang disesuaikan dengan material dan *grade* bahan yang digunakan. Harga material di sesuaikan dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 2. 9 Dimensi *Zinc Anode*

Tipe	Dimensi P x L x T	Massa (Kg)
Z1.0H1	238 × 32 × 23	1
Z3.0H1	160 × 85 × 33	3
Z9.0H1	355 × 85 × 45	9,5
Z15.0H1	450 × 155 × 31	15
Z30.0H1	200 × 100 × 40	30

Sumber: PT. XYZ

ZINC ANODE ZAP S9
1.830 orang melihat barang ini

Rp989.500

Detail Info Penting

Kondisi: Baru
Berat: 9.600 Gram
Kategori: **Produk Lainnya**
Etalase: **Anode**

Fungsi:
-Untuk melindungi besi terhadap karat
-dapat dipasang dipelat kapal
-Type S ini cara memasangnya yaitu dengan cara di las

Detaili ...
[Lihat Selengkapnya](#)

Atur jumlah dan catatan
1 Stok 16
[Tambah Catatan](#)
Subtotal **Rp989.500**
[+ Keranjang](#)
[Beli](#)
Chat Wishlist Share

Gambar 2. 8 Harga *zinc anode*