



TUGAS AKHIR - MO 141326

**STUDI PEMILIHAN METODE PROTEKSI KATODIK PADA TIANG
PANCANG JETTY PT. TERMINAL PETIKEMAS SURABAYA
(PT.TPS)**

Dimas Galang Arif Maulana

4311 100 107

Dosen Pembimbing:

Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D

Ir. Imam Rochani, M.Sc

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2016



FINAL PROJECT - MO 141326

**STUDY OF CATHODIC PROTECTION SELECTION METHODS ON
JETTY PILES OF PT. TERMINAL PETIKEMAS SURABAYA
(PT.TPS)**

**Dimas Galang Arif Maulana
4311 100 107**

Supervisors :

Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D

Ir. Imam Rochani, M.Sc

**DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING
FACULTY OF MARINE ENGINEERING
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2016**

**STUDI PEMILIHAN METODE PROTEKSI KATODIK PADA TIANG
PANCANG JETTY PT. TERMINAL PETIKEMAS SURABAYA (PT.TPS)**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

Dimas Galang Arif Maulana

NRP.4311100107

Disetujui Oleh :

1. Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing 1)

2. Ir. Imam Rochani, M.Sc. (Pembimbing 2)

3. Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc. (Penguji 1)

4. Ir. Handyanu, M.Sc., Ph.D. (Penguji 2)

5. Dr. Ir. Wisnu Wardhana, M.Sc. (Penguji 3)

6. Kriyo Sambodho, S.T., M.T., Ph.D. (Penguji 4)

SURABAYA, JULI 2016

STUDI PEMILIHAN METODE PROTEKSI KATODIK PADA TIANG PANCANG JETTY PT. TERMINAL PETIKEMAS SURABAYA (PT.TPS)

Nama Mahasiswa : Dimas Galang Arif Maulana
NRP : 43 11 100 107
Jurusan : Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Supervisors : Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D
Ir. Imam Rochani M.Sc

ABSTRAK

Korosi dapat dikatakan sebagai suatu peristiwa elektrokimia antar logam dengan lingkungannya yang menghasilkan senyawa yang tidak dikehendaki. Korosi sendiri tidak dapat dihentikan namun dapat dikurangi kelajuannya. Apabila suatu material logam mengalami korosi akan memungkinkan logam tersebut mengalami kerusakan, kebocoran hingga mengalami ledakan. Tiang pancang dermaga adalah sebuah bangunan yang hampir setiap bagiannya tersusun oleh material yang mudah terkorosi. Oleh sebab itu perlu dilakukan perlindungan terhadap struktur tiang pancang yang terkena korosi, sehingga dapat bekerja dengan maksimum sesuai dengan sistem kerja dan mampu berfungsi sesuai umur yang telah yang direncanakan. Pada studi ini telah dilakukan analisa sistem perlindungan yang sesuai untuk digunakan oleh struktur tiang pancang dermaga, guna menggantikan sistem perlindungan yang lebih dulu terpasang menjadi lebih efisien dan permanen. Sistem perlindungan yang dipilih adalah impressed current cathodic protection dengan menggunakan anoda MMO tubular sebanyak 40 buah yang akan memproteksi struktur dari serangan korosi selama 20 tahun, dengan rencana kebutuhan meliputi pembelian bahan, instalasi, dan maintenance yang menghabiskan biaya sebesar Rp 4.421.733.000,00. Sedangkan untuk metode sacrificial anode menggunakan 21.958 kg anoda aluminium stand-off selama 20 tahun, dengan rencana kebutuhan meliputi pembelian bahan, instalasi, dan maintenance menghabiskan biaya sebesar Rp. 6.664.173.000,00.

Kata kunci : korosi, *ICCP*, *SACP*, perbandingan

STUDY OF CATHODIC PROTECTION SELECTION METHODS ON JETTY PILES OF PT. TERMINAL PETIKEMAS SURABAYA (PT.TPS)

Name : Dimas Galang Arif Maulana
Reg Number : 43 11 100 107
Department : Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Dosen Pembimbing : Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D
Ir. Imam Rochani M.Sc

ABSTRACT

Corrosion can be regarded as an event electrochemical metal to metal with its environment that produces a compound that is not desired. Corrosion itself can not be stopped but it can be reduced its speed. When a metal material corroded metal will allow the damaged, leaking up having a blast. Pile dock is a building that almost every part is composed of material that easily corroded. The layout of the dock itself which is in seawater and exposed to the electrochemical reaction to its environment makes this building will be more rapidly the corrosion process. Therefore it is necessary for the protection of the structure of piles are exposed to corrosion, so it can work with a maximum in accordance with the working system and is able to function with age that has been planned. This study has analyzed the appropriate protection system for use by the structure of the stake, in order to replace the system of protection inserted into more efficient and permanent. Protection system chosen was impressed current cathodic protection using tubular MMO anodes were 40 pieces that will protect the structure from corrosion attack for 20 years, with a requirement plan includes the purchase, installation, and maintenance of materials at a cost of Rp 4.421.733.000,00. As for the use of 21.958 kg sacrificial anode aluminum anode stand-off over 20 years, with a requirement plan includes the purchase of materials, installation, and maintenance cost of Rp. 6.664.173.000,00.

Keyword : *Corrosion, ICCP, SACP*, comparison.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	7
2.2.1 Mekanisme Proses Korosi	7
2.2.2 Faktor Umum Terjadinya Korosi Pada Logam	8
2.2.3 Metode Pencegahan Korosi Pada Logam	8
2.2.4 Sacrificial Anode Cathodic Protection	12
2.2.4.1 Aspek Teknis SACP	13
2.2.4.2 Aspek Ekonomis SACP	14
2.2.4.3 Kelebihan dan Kekurangan SACP	14
2.2.5 Impressed Current Cathodic Protection	15
2.2.5.1 Aspek Teknis ICCP	17
2.2.5.2 Aspek Ekonomis ICCP	18
2.2.5.3 Kelebihan dan Kekurangan ICCP	18

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Langkah Kerja.....	23
3.2 Prosedur Penelitian	25
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Data Struktur.....	29
4.2 Perhitungan ICCP Secara Teknis.....	35
4.2.1 Kondisi Lapisan Pelindung.....	35
4.2.3 Luas Area Permukaan Keseluruhan.....	36
4.2.5 Kebutuhan Arus Proteksi	36
4.2.6 Kebutuhan Jumlah Anoda.....	37
4.2.8 Parameter Kabel.....	40
4.2.9 Perhitungan Tahanan Anoda.....	42
Perhitungan Tahanan Kabel.....	42
Perhitungan Total Tahanan.....	43
4.2.10 Tegangan DC Rectifier	44
4.2.11 Kebutuhan Daya dan Kapasitas yang Dibutuhkan TRU.....	45
4.3 Perhitungan SACP Secara Teknis.....	48
4.3.1 Menghitung Luas Permukaan Keseluruhan	48
4.3.2 Menentukan Jumlah Arus Untuk Proteksi Struktur	48
4.3.5 Kebutuhan Berat dan Jumlah Anoda	49
4.4 Desain ICCP dan SACP.....	55
4.4.1 Desain ICCP.....	55
4.4.2 Desain SACP	56
4.5 Perhitungan Biaya Impressed Current	57
4.5.1 Perhitungan Biaya Desain.....	57
4.5.2 Pembelian dan Quick Detail Anoda.....	57
4.5.3 Pembelian Kabel	58
4.5.4 Perhitungan Biaya Instalasi.....	59
4.5.5 Perhitungan Biaya Operasi (Maintenance)	59
4.6 Perhitungan Biaya Sacrificial Anode	62
4.6.1 Perhitungan Biaya Desain, Instalasi, dan Maintenance	62
4.7 Analisa, Perbandingan, dan Pemilihan	64

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	66
5.1 Kesimpulan	66
5.2 Saran	67
DAFTAR PUSTAKA	68
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Kriteria Desain Cathodic Protection di Indonesia.....	27
Tabel 3.2	Rumus Perhitungan <i>Anode Resistance</i>	29
Tabel 4.1	Referensi Lapisan Pelindung.....	35
Tabel 4.2	Luas Area Keseluruhan.....	36
Table 4.3	Kriteria Desain Cathodic Protection di Indonesia.....	38
Tabel 4.4	Konstruksi Kabel Anoda.....	41
Tabel 4.5	Spesifikasi Kabel.....	41
Tabel 4.6	Data Anoda Impressed Current.....	47
Tabel 4.7	Transformator Rectifier Unit.....	47
Tabel 4.8	Hasil Perhitungan Kebutuhan SACP.....	54
Tabel 4.9	Data Tiang Pancang.....	57
Tabel 4.10	Harga anoda Metal Mixed Oxide.....	57
Tabel 4.11	Harga kabel dan spesifikasi.....	58
Tabel 4.12	Biaya awal desain.....	58
Tabel 4.13	Biaya Instalasi ICCP.....	59
Tabel 4.14	Biaya Maintenance ICCP.....	60
Tabel 4.15	Index Harga Konsumen dan Inflasi Bulanan Indonesia.....	60
Tabel 4.16	Harga Anoda Untuk SACP.....	62
Tabel 4.17	Biaya Maintenance.....	63
Tabel 4.18	Perbandingan Aspek Ekonomis Keseluruhan.....	65

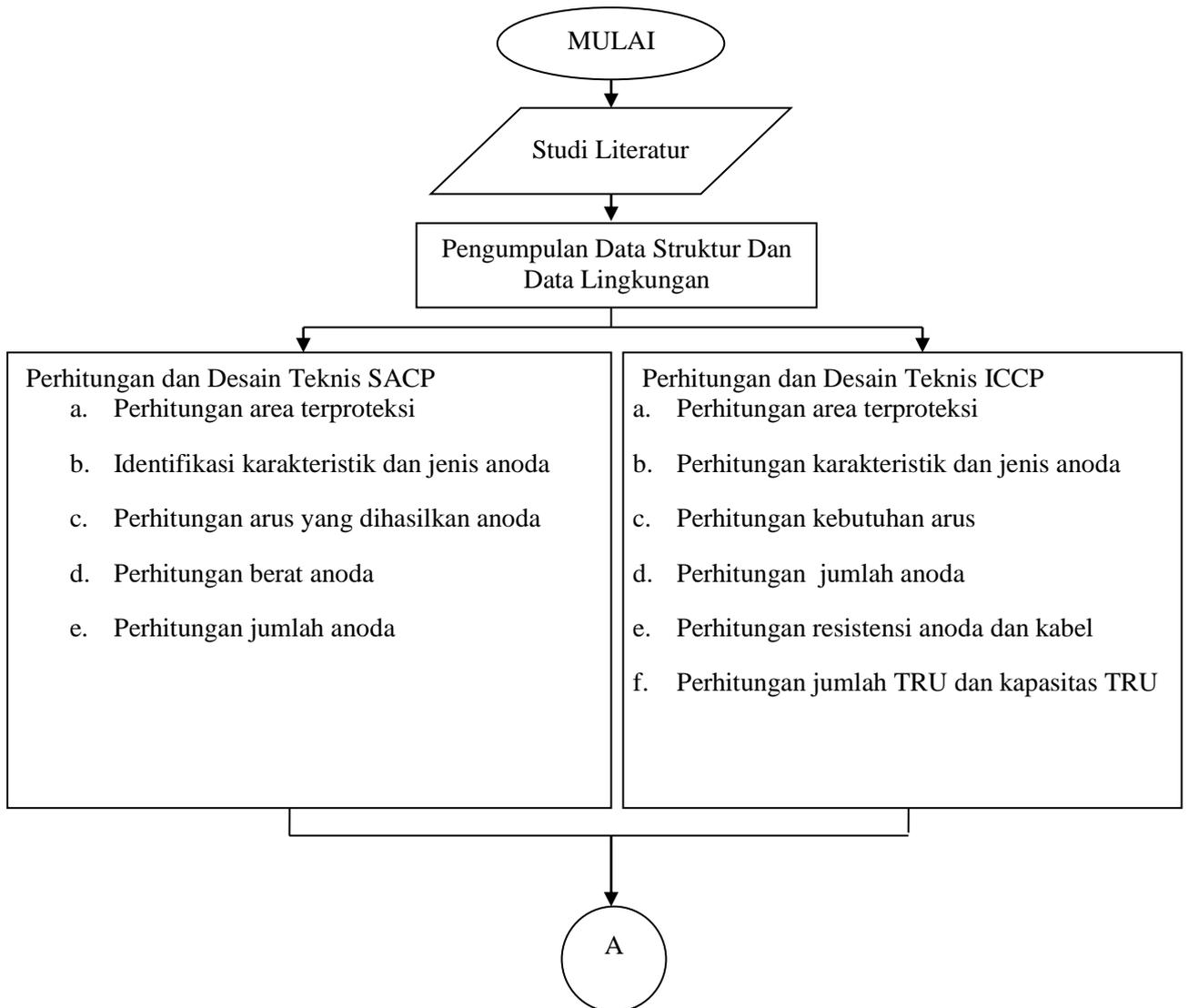
DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Terminal Petikemas Surabaya	2
Gambar 2.1 SACP	12
Gambar 2.2 ICCP	15
Gambar 2.3 ICCP	16
Gambar 3.1 Diagram Alir.....	24
Gambar 4.1 Foto Lokasi Dermaga PT. TPS.....	34
Gambar 4.2 Tubular MMO Anode.....	37
Gambar 4.3 Konstruksi Kabel Anoda	40
Gambar 4.4 Desain Pemasangan Impressed Current	55
Gambar 4.5 Desain Pemasangan Sacrificial Anode	56

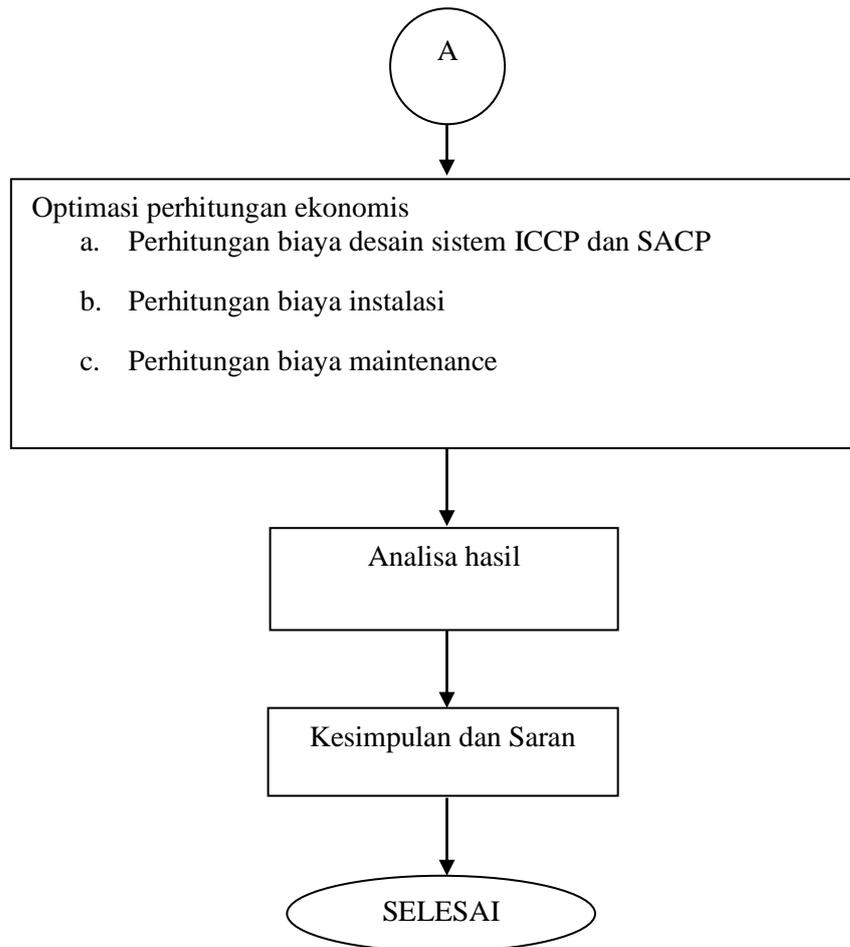
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Langkah kerja

Metodologi penelitian yang digunakan dapat digambarkan dalam diagram alir (*Flow Chart Diagram*) dengan pengerjaan seperti pada Gambar 3.1 berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (lanjutan)

3.2 Prosedur Penelitian

Penjabaran dari diagram di atas akan dijelaskan pada langkah-langkah dibawah ini:

1. Perumusan Masalah

Melakukan perumusan masalah dengan berdiskusi bersama dosen pembimbing tugas akhir dimana tema dari tugas akhir ini didapat.

2. Studi Literatur

Studi literatur ini dilakukan dengan mencari, mempelajari, serta memahami jurnal, buku-buku, dan laporan tugas akhir alumni baik dari institusi sendiri maupun dari institusi lain yang berkaitan dengan rumusan masalah, dasar teori dan data – data yg digunakan dalam tugas akhir ini. Literatur-literatur tersebut juga digunakan sebagai acuan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

3. Pengumpulan data - data

Data - data yang diperoleh dari berbagai sumber yang sesuai dengan obyek pada tugas akhir ini. Data yang diperlukan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah :

- a. Data properti dan material pada struktur, merupakan data-data yang berhubungan dengan dimensi struktur dan data-data dari jenis dan sifat aja penyusun yang digunakan pada struktur satellite platform.
- b. Data anoda, meliputi data –data tipe anoda, material anoda, material density, design life, electrochemical capacity, seawater resistivity, celse circuit anode potensial, serta mean curent densities.
- c. Data lingkungan, merupakan data-data lingkungan yang bersinggungan baik secara langsung ataupun tidak langsung dengan struktur.
- d. Data Ekonomis meliputi biaya pembelian peralatan yang dipakai (rectifier, anoda, serta kabel dan perlengkapan lainnya). Serta biaya pembelian jumlah anoda yang dipakai, biaya instalasi dan biaya maintenance.

- e. Data penunjang, merupakan data-data tambahan yang digunakan dalam perhitungan tapi tidak tergolong dalam kelompok parameter-parameter di atas.

4. Perhitungan Teknis ICCP

Dalam perhitungan teknis ini, perhitungan yang dilakukan meliputi :

- a. Menghitung luas permukaan yang akan diproteksi.

$$A = (\pi \times D) \times L \quad (3.1)$$

Dimana :

A = Luas Permukaan struktur tiang pancang yang diproteksi (m²)

($\pi \times D$) = Keliling struktur (m)

L = panjang struktur (m)

- b. Perhitungan kebutuhan arus proteksi

Kebutuhan arus proteksi perlu diketahui untuk dapat mengetahui seberapa besar arus proteksi cathodic yang di supply ke struktur dapat terproteksi dengan baik.

$$I_t = \left[\frac{SA \times CD \times CB}{1000} \right] \times (1 + SF_1) \quad (3.2)$$

Dimana :

I_t = Kebutuhan arus proteksi (A)

SA = Luas permukaan struktur yang diproteksi (m²)

CB = Tingkat kerusakan lapis lindung

CD = Kerapatan Arus (mA/m²)

SF₁ = Faktor keamanan yang diijinkan

Dalam sistem proteksi katodik arus paksa, densitas arus merupakan fungsi dari nilai tahanan jenis air laut. Nilai tersebut disesuaikan dengan tingkat kekorosifan air laut tempat tiang pancang berada. Data lingkungan ini selanjutnya menentukan densitas arus yang dibutuhkan untuk mempolarisasikan tiang pancang pada suatu nilai potensial perlindungan.

Faktor keamanan turut dilibatkan dalam perhitungan untuk memberikan penyesuaian terhadap penambahan luas permukaan. Dalam perencanaan, lapis lindung diasumsikan mengalami penurunan kualitas selama masa pakainya. Pada kasus ini, tingkat kerusakannya 5% per tahun. Dihitung dua tahun setelah instalasi sistem proteksi katodik terdahulu, maka nilai kerusakan atau kemunduran kualitas dari lapis lindung diasumsikan sebesar sepuluh per sen.

c. Perhitungan jumlah anoda

Sebelum menentukan jumlah anoda, terlebih dahulu harus diketahui kriteria desain proteksi katodik di Indonesia. Kriteria desain di perairan Indonesia dapat dilihat dalam tabel 3.1.

Tabel 3.1 Kriteria Desain CP di Indonesia (Sumber : NACE 0176)

1.	Production Area	Indonesia
2.	Water Resistivity	19 ohm-cm
3.	Water Temperature	24 ° C
4.	Turbulence Factor	Moderate
5.	Lateral Water Flow	Moderate
6.	Initial Current Density	110 mA / m ²
7.	Mean Current Density	55 mA / m ²
8.	Final Current Density	75 mA / m ^{2o}

Setelah perhitungan resistivitas anoda, untuk selanjutnya menentukan jumlah anoda dengan rumus sebagai berikut :

$$I_o = SA \times ID \quad (3.3)$$

(Sumber NACE RP 0176)

dengan :

$$\begin{aligned} ID &= \text{densitas arus anoda (A/m}^2\text{)} \\ SA &= \text{luas permukaan anoda (m}^2\text{)} \\ \log Y &= 3.3 - \log ID \end{aligned} \quad (3.4)$$

(Sumber NACE RP 0176)

dengan :

$$Y = \text{umur proteksi yang direncanakan (tahun)}$$

$$ID = \text{densitas arus anoda (A/m}^2\text{)}$$

Jumlah minimal anoda yang diperlukan (Q_{min}) dihitung dengan mempertimbangkan arus keluaran maksimal anoda dengan umur perencanaan.

$$Q_{min} = I_t / I_o \quad (3.5)$$

(Sumber NACE RP 0176)

Dengan :

$$I_t = \text{total arus yang diperlukan untuk melindungi pile (A)}$$

$$I_o = \text{arus keluaran dari masing-masing anoda (A)}$$

d. Perhitungan Tahanan Anoda dan Kabel

Resistansi anoda dihitung berdasarkan tiap tipe anoda yang digunakan. Resistansi anoda ini dipengaruhi oleh resistivitas lingkungan, misalnya resistivitas air laut, tanah. Rumus perhitungan *anode resistance* dan table kriteria desain dapat dilihat dalam tabel 3.2.

Tabel 3.2 rumus perhitungan anoda resistance

Anode Type	Resistance Formula
Long slender stand-off ^{1) 2)} $L \geq 4r$	$R_a = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \left(\ln \frac{4 \cdot L}{r} - 1 \right)$
Short slender stand-off ^{1) 2)} $L < 4r$	$R_a = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \left[\ln \left[\frac{2L}{r} \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{r}{2L} \right)^2} \right) \right] + \frac{r}{2L} - \sqrt{1 + \left(\frac{r}{2L} \right)^2} \right]$
Long flush mounted ²⁾ $L \geq 4 \cdot \text{width}$ and $L \geq 4 \cdot \text{thickness}$	$R_a = \frac{\rho}{2 \cdot S}$
Short flush-mounted, bracelet and other types	$R_a = \frac{0.315 \cdot \rho}{\sqrt{A}}$

1) The equation is valid for anodes with minimum distance 0.30 m from protection object. For anode-to-object distance less than 0.30 m but minimum 0.15 m the same equation may be applied with a correction factor of 1.3
2) For non-cylindrical anodes: $r = c / 2 \pi$ where c (m) is the anode cross sectional periphery

Sumber : NACE RP 0176

Perhitungan Tahanan Anoda dalam proteksi ini adalah sebagai berikut :

$$R_a = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \left(\ln \frac{4 \cdot L}{r} - 1 \right) \quad (3.6)$$

(sumber : NACE RP1076)

Dimana :

R = Tahanan anoda (ohm)

pair laut = Resistivitas air laut

L = Panjang Anode (m)

D = Diameter Anode (m)

Menghitung tahanan kabel pada sistem ICCP dimana tahanan kabel akan dihitung untuk keseluruhan. Dengan asumsi posisi junction box berada di pangkal dermaga maka perhitungan tahanan kabel dari junction box yang menuju anoda sesuai dengan persamaan berikut :

$$R_c = \frac{L_c \times R_e}{N \times c} \quad (3.7)$$

(Sumber NACE RP0176)

Dimana :

R_c = Tahanan kabel (ohm)

L_c = Panjang Kabel (m)

R_e = Tahanan Spesifik kabel (ohm/m)

N = Jumlah kabel yang dipararel

c = Jumlah inti kabel

e. Kebutuhan Daya DC Rectifier

Tegangan DC Rectifier :

$$V_{DC} = [(I_t \times R_t) \times (1+SF3)] + B_{emf} \quad (3.8)$$

(Sumber NACE RP0176)

Dengan :

V_{DC} = tegangan keluaran DC yang diperlukan (volt)

I_t = arus total yang diperlukan (Ampere)

R_t = tahanan total DC (Ohm)

B_{emf} = tegangan balik 2 V

$SF3$ = faktor keamanan yang diijinkan, 25 %

$$I_{AC} = \frac{I_{DC} \times V_{DC}}{V_{AC} \times \text{eff} \times \sqrt{3}} \quad (3.9)$$

(Sumber NACE RP0176)

Dengan :

IAC = arus input AC

VAC = tegangan input AC

IDC = arus keluaran DC

VDC = tegangan keluaran DC

Eff. = efisiensi transformer rectifier

5. Perhitungan Teknis SACP

a. Perhitungan area terproteksi

Perhitungan luas tiang pancang pipa baja yang terdiri dari luas dalam air dan tanah

$$A_p = \pi \times d \times l \quad (3.10)$$

(Sumber NACE RP 0176)

Keterangan :

d = Diameter luar tiang pancang (m)

l = Panjang tiang pancang (m)

A_p = Luas permukaan keseluruhan (m^2)

b. Perhitungan arus yang dibutuhkan

Arus yang dihasilkan anoda tergantung pada bentuk anoda, tahanan dari lingkungan, serta potensial dari struktur.

$$I_t = \left[\frac{SA \times CD \times CB}{1000} \right] \times (1 + SF_1) \quad (3.11)$$

(sumber : NACE RP 1076)

Dimana :

I_t = Kebutuhan arus proteksi (A)

SA = Luas permukaan struktur yang diproteksi (m^2)

CB = Tingkat kerusakan lapis lindung

CD = Kerapatan Arus (mA/m²)

SF₁ = Faktor keamanan yang diijinkan

I (1) = Dermaga Barat (51 m²)

I (2) = Dermaga Timur (32 m²)

c. Kebutuhan Berat dan Jumlah Anoda

$$L = \frac{W \times U}{E \times I} \quad (3.12)$$

(sumber : NACE RP 1076)

Dimana :

L = Umur desain anoda (tahun)

W = Kebutuhan berat anoda selama lifetime (kg)

U = Faktor Utilisasi Anoda

E = Consumption Rate Anoda (kg/ A.thn)

I = Kebutuhan Arus Proteksi (A)

Kemudian ntuk menentukan keluaran arus anoda, menggunakan Hukum Ohm yang terdapat pada NACE Standard berikut :

$$I = E / R \quad (3.13)$$

(sumber : NACE RP 1076 / Ohm's Law)

Dengan :

E = 0,25 V *drifing force* aluminium

6. Perhitungan SACP Menggunakan *Standard* DNV RP B401

Selanjutnya adalah perhitungan sistem SACP menggunakan *Standard* DNV RP B401 yang akan digunakan, dan nantinya akan dibandingkan dengan sistem SACP yang telah di desain menggunakan *NACE Standard*. Untuk menghitung sistem SACP menggunakan DNV RP B401 adalah dengan langkah-langkah sebagai berikut :

a. Menghitung Breakdown Coating `Factor

Dalam perhitungan secara teknis parameter yang harus di perhatikan salah satunya adalah kondisi lapisan pelindung.

$$F_c = a + b \cdot t \quad (3.14)$$

(Sumber : DNV RP B401 2010)

Dimana :

F_c = *Breakdown Coating Faktor*

a,b = konstanta yang bergantung pada properties lapisan dengan lingkungannya

t = umur coating

b. Kebutuhan Arus Proteksi

Setelah menemukan factor dari breakdown coating, parameter selanjutnya adalah menghitung kebutuhan arus.

$$I_c = A \times C_d \times f_c \quad (3.15)$$

(sumber : DNV RP B401 2010)

Dimana :

I_c = Kebutuhan arus proteksi (A)

A = Luas permukaan struktur yang diproteksi (m²)

F_c = Faktor breakdown coating

C_d = Kerapatan Arus (mA/m²)

c. Kebutuhan Berat dan Jumlah Anoda

Dari anoda yang sudah dipilih serta arus yang dibutuhkan dalam design untuk memproteksi struktur dapat ditentukan berat dan jumlah anoda yang dibutuhkan.

1. Berat anoda

$$Ma = \frac{8760 \times Ic \times tf}{Ua \times Ea} \quad (3.16)$$

(Sumber : DNV RP B401 2010)

Dengan :

Ma = Kebutuhan berat anoda (kg)

Ic = Kebutuhan arus rata-rata (A)

Tf = Umur desain anoda (tahun)

Ua = Utilisasi anoda

Ea = Kapasitas anoda (A.thn/kg)

2. Jumlah anoda

$$Na = Ma/W_{af} \quad (3.17)$$

(Sumber : DNV RP B401 2010)

Dengan :

Na = Jumlah anoda

W_{af} = massa tiap satu anoda (kg)

7. Perhitungan Ekonomis

Optimasi perhitungan ekonomis meliputi biaya pembelian peralatan (rectifier, anoda, junction box, kabel) biaya instalasi (biaya pemasangan anoda) dan biaya maintenance sistem (biaya perawatan dan biaya inspeksi terhadap peralatan apabila terjadi kerusakan). Pada perhitungan maintenance ditambahkan metode future value dengan memperhitungkan nilai inflasi di Indonesia yang dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$FV = PV (1 + r) ^ n \quad (3.18)$$

Dimana :

FV = Future value (nilai pada akhir tahun ke n)

PV = Nilai sekarang (nilai pada tahun ke 0)

r = Suku bunga

n = Waktu (tahun)

^ = tanda pangkat

8. Analisa data dan pembahasan

Analisa studi dari hasil optimasi metode SACP dan ICCP disertai perhitungan berdasar faktor teknis dan ekonomis.

9. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, nantinya akan ditarik beberapa kesimpulan dari hasil analisis tersebut dan juga pemberian saran-saran bagi yang ingin melanjutkan tugas akhir ini.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Struktur

Data struktur tiang pancang PT. TPS adalah sebagai berikut :

Owner : PT. Terminal Peti Kemas Surabaya
Lokasi : Jl. Tj. Mutiara No.1, Perak Barat, Krembangan,
Surabaya, Jawa Timur
Kedalaman :

Lokasi	D (m)	Kedalaman (m LWS)
Dermaga Timur	0,711	-10
	0,711	-10
Dermaga Barat	1,118	-14.5
	1,118	-14.5

Date Installed : 1989



Gambar 4.1 : Foto Lokasi Dermaga PT. TPS (Sumber : PT. TPS)

4.2 Perhitungan Teknis ICCP

Dalam perhitungan secara teknis parameter yang harus di perhatikan adalah sebagai berikut:

4.2.1 Kondisi lapisan pelindung

Secara umum pengertian kegunaan lapisan pelindung adalah untuk mencegah kontak langsung antara struktur dengan lingkungannya yang nantinya mengakibatkan korosi.

Berdasarkan NACE standart RP 0169 section 5 external coating. Karakteristik dari coating yang diaplikasikan adalah sebagai berikut :

1. Efektif isolator listrik
2. Dapat dipalिकासikan di struktur dengan minimum kekurangan
3. *Adhesif* (kemampuan untuk melekat) yang baik pada permukaan struktur
4. Memiliki kemampuan untuk mencegah terjadinya celah celah kecil sehingga dapat menimbulkan korosi
5. Mampu menahan kerusakan selama pemasangan, operasi serta perawatan
6. Mampu memelihara tahanan listrik secara konstan
7. Mudah dalam perbaikan

Pada Tabel 4.1 di bawah ini adalah beberapa tipe external coating yang direkomendasikan untuk diaplikasikan.

Table 4.1 Referensi Lapisan Pelindung (Sumber: NACE standard RP 0169)

General External Coating System	References
Coal Tar	ANSI / AWWA C 203
Wax	Nace Standart RP 0375
Prefabricated Fil	ANSI / AWWA C 214
Polyolefin Coatings	Nace Standart RP 0185

4.2.2 Luas area permukaan keseluruhan

Menghitung luas permukaan yang akan diproteksi.

$$A = (\pi \times D) \times L \quad (4.1)$$

Dimana :

A = Luas Permukaan struktur tiang pancang yang diproteksi (m²)

($\pi \times D$) = Keliling struktur (m)

L = panjang struktur (m)

Sehingga luas area keseluruhan adalah:

Tabel 4.2 Luas Area Keseluruhan

Lokasi	Kedalaman pile (m LWS)	Diameter (mm)	($\pi \times D$)	Luas Area (m ²)
Dermaga Barat	-14,5	1118	3510,5	51 m ²
Dermaga Timur	-10,5	711	2232,5	32 m ²

4.2.3 Kebutuhan arus proteksi

Kebutuhan arus proteksi perlu diketahui untuk dapat mengetahui seberapa besar arus proteksi cathodic yang di supply ke struktur dapat terproteksi dengan baik.

$$I_t = \left[\frac{SA \times CD \times CB}{1000} \right] \times (1 + SF_1) \quad (4.2)$$

Dimana :

I_t = Kebutuhan arus proteksi (A)

SA = Luas permukaan struktur yang diproteksi (m²)

CB = Tingkat kerusakan lapis lindung

CD = Kerapatan Arus (mA/m²)

SF₁ = Faktor keamanan yang diijinkan

Sehingga :

$$\begin{aligned} I_t &= \left[\frac{SA \times CD \times CB}{1000} \right] \times (1 + SF_1) \\ &= \frac{43.389 \times 55 \times 5\%}{1000} \times (1 + 25\%) \\ &= 298,3 \text{ A} \end{aligned}$$

4.2.4 Kebutuhan jumlah anoda

Anoda yang digunakan yaitu Mixed Metal Oxide / Titanium tube. Jenis anoda ini dapat digunakan di dalam tanah, lumpur, dan air laut. Tahanan yang dihasilkan rendah serta mampu dioperasikan dalam kondisi lingkungan pH yang rendah . Dibuat dari bahan titanium serta diberi lapisan mixed metal oxide dimana lapisan ini sangat bagus untuk menghantarkan listrik seperti pada gambar 4.2 dibawah ini.



Gambar 4.2 *Tubular MMO Anode*

Substrat = Titanium (ASTM B338 Grade 1 atau 2)
Diameter = 25.4 mm

Max Current = 600 A/m² Density (A/m²)
 Umur Desain = 20 Tahun
 Tipe Kabel = HMWPE / PVDF (kynar), XLPE / PVC / SWA, EPR / CSPE.

Pada Tabel 4.3 di bawah ini adalah kriteria desain cathodic protection yang terdapat di Indonesia.

Tabel 4.3 Kriteria Desain CP di Indonesia (sumber : NACE 0176)

1.	Production Area	Indonesia
2.	Water Resistivity	19 ohm-cm
3.	Water Temperature	24 ° C
4.	Turbulence Factor	Moderate
5.	Lateral Water Flow	Moderate
6.	Initial Current Density	110 mA / m ²
7.	Mean Current Density	55 mA / m ²
8.	Final Current Density	75 mA / m ²⁰

Kuantitas anoda yang diperlukan dapat dihitung berdasarkan arus keluaran maksimal anoda (I_o) sesuai rumus berikut :

$$I_o = SA \times ID \quad (4.3)$$

(Sumber NACE RP 0176)

dengan :

ID = densitas arus anoda (A/m²)

SA = luas permukaan anoda (m²)

$$\log Y = 3.3 - \log ID \quad (4.4)$$

(Sumber NACE RP 0176)

dengan :

Y = umur proteksi yang direncanakan (tahun)

ID = densitas arus anoda (A/m²)

Maka dengan umur perencanaan selama dua puluh tahun, densitas arus maksimal dari anoda yang diperbolehkan sebesar :

$$\log 20 = 3.3 - \log ID$$

$$ID = 10^{(3.3 - \log 20)}$$

$$ID = 100 \text{ A/ m}^2$$

Dengan demikian arus keluaran maksimal dari satu buah anoda :

$$I_o = SA \times ID$$

(Sumber NACE RP 0176)

$$= (3,14 \times 0,0254 \times 1) \times 100$$

$$= 7,98 \text{ A}$$

Jumlah minimal anoda yang diperlukan (Qmin) dihitung dengan mempertimbangkan arus keluaran maksimal anoda dengan umur perencanaan selama dua puluh tahun.

$$Q_{min} = I_t / I_o \tag{4.5}$$

(Sumber NACE RP 0176)

Dengan :

I_t = total arus yang diperlukan untuk melindungi pile (A)

I_o = arus keluaran dari masing-masing anoda (A)

$$Q_{min} = I_t / I_o$$

$$= 298,3 / 7,961$$

$$= 37,3 = 38 \text{ Anoda}$$

Dengan perkiraan tingkat kerusakan lapis lindung sekitar 5 per sen per tahun, maka jumlah anoda yang digunakan adalah :

$$\begin{aligned}
 Q &= Q_{\min} \times (1 + SF^2) \\
 &= 37,3 \times (1 + 0,05) \\
 &= 39,165 = 40 \text{ Anoda}
 \end{aligned}$$

4.2.5 Parameter Kabel

Kabel yang digunakan dalam instalasi ICCP adalah halar / HMWPE cable, seperti yang terdapat pada Gambar 4.3 dan Tabel 4.4 berikut :



Gambar 4.3 Konstruksi Kabel Anoda

Tabel 4.4 konstruksi Kabel Anoda

No.	Construction	Keterangan
1	Conductor	Tinned annealed copper
2	Insulation	PVDF Fluoropolymer
3	Colours	Black
4	Cabling	Single core
5	Specifications	ASTM D 1248
6	Sheath	HMWPE(High Molecular Weight Polyolefin)

Pada Tabel 4.5 di bawah ini adalah spesifikasi kabel yang ada di pasaran, serta pemilihan kabel yang sesuai dengan instalasi.

Tabel 4.5 Spesifikasi Kabel

AWG Size (mm ²)	COPPER CONDUCTOR Size (Inches)	PVDF Wall (Inches)	HMWPE Jacket (Inches)	Cable OD (Inches)	Maximum Breaking Strength (Pounds)	Approx. Wt/ft (Pounds)	Maximum DC Res. @ 20 C (Ohms/ft)	Max. DC Current in Air & Water (Amps)
#8 (8.37)	0.146	0.020	0.065	0.316	525	0.083	0.000640	45
#8 (8.37)	0.146	0.040	0.065	0.356	832	0.093	0.000640	45
#6 (13.3)	0.184	0.020	0.065	0.354	1320	0.120	0.000403	65
#6 (13.3)	0.184	0.040	0.065	0.394	1320	0.140	0.000403	65
#4 (21.2)	0.232	0.020	0.065	0.402	1670	0.175	0.000254	85
#4 (21.2)	0.232	0.040	0.065	0.442	1670	0.200	0.000254	85
#2 (33.6)	0.292	0.020	0.065	0.466	2110	0.265	0.000159	115
#2 (33.6)	0.292	0.040	0.065	0.466	2110	0.295	0.000159	115

4.2.6 Perhitungan Tahanan Anoda

Perhitungan Tahanan Anoda dalam proteksi adalah sebagai berikut :

$$R_a = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \left(\ln \frac{4 \cdot L}{r} - 1 \right) \quad (4.6)$$

(sumber : NACE RP1076)

Dimana :

R = Tahanan anoda (ohm)

ρ = Resistivitas air laut

L = Panjang Anode (m)

D = Diameter Anode (m)

Dengan nilai ρ air laut sebesar 0.3(ohm.m) dan dimensi anoda untuk panjang dan diameter masing-masing adalah 0.5 m dan 0.025 m maka tahanan anoda terhadap air laut untuk sistem desain ICCP adalah sebesar 0.257 ohm.

4.2.7 Perhitungan Tahanan Kabel

Menghitung tahanan kabel pada sistem ICCP dimana tahanan kabel akan dihitung untuk keseluruhan. Dengan asumsi posisi junction box berada di pangkal dermaga maka perhitungan tahanan kabel dari junction box yang menuju anoda sesuai dengan persamaan berikut :

$$R_c = \frac{L_c \times R_e}{N \times c} \quad (4.7)$$

(Sumber NACE RP0176)

Dimana :

R_c = Tahanan kabel (ohm)

L = Panjang Kabel (m)

R_e = Tahanan Spesifik kabel (ohm/m)

N = Jumlah kabel yang dipararel

C = Jumlah inti kabel

Sehingga :

$$R_c = \frac{7930,5 \times 0,000493}{8 \times 1}$$

$$= 0,489 \text{ ohm}$$

4.2.8 Total Tahanan

$$R_{tot} = R + R_{cable}$$

(Sumber Nace RP0176)

Sehingga untuk perhitungan tahanan kabel dan total tahanan adalah :

Tabel 4.6 Perhitungan Tahanan Kabel

Perhitungan Tahanan Kabel
$R_{\text{tot DC}} = R + R_{\text{cable}}$
$= 0.257 + 0.489 \text{ ohm}$
$= 0,746 \text{ ohm}$

4.2.9 Tegangan DC *Rectifier*

Adanya 8 peletakan anoda menyebabkan arus perlindungan yang dibutuhkan dibagi pada masing-masing lokasi peletakan anoda. Dengan demikian harga arus perlindungan dari masing-masing *transformer rectifier* adalah :

$$I = 1/8 \times 298,3 \text{ A} = 37,3 \text{ A}$$

Tegangan DC *Rectifier* :

$$V_{\text{DC}} = [(I_t \times R_t) \times (1+\text{SF3})] + B_{\text{emf}} \quad (4.8)$$

(Sumber NACE RP0176)

Dengan :

V_{DC} = tegangan keluaran DC yang diperlukan (volt)

I_t = arus total yang diperlukan (Ampere)

R_t = tahanan total DC (Ohm)

B_{emf} = tegangan balik 2 V

SF3 = faktor keamanan yang diijinkan, 25 %

Sehingga :

$$\begin{aligned}V_{DC} &= [(75,6 \times 0.746) \times (1+0.25)] + 2 \\ &= [(33,57)] + 2 \\ &= 35,57 \text{ V} = 48\end{aligned}$$

Dengan mempertimbangkan kemungkinan terjadinya penurunan tegangan dan penambahan tahanan sirkuit di masa depan, maka transformer rectifier yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Untuk 8 Rectifier

Tegangan keluaran DC : 48 Volt

Arus keluaran DC : 27,5 Ampere

4.2.10 Kebutuhan Daya AC dan Kapasitas yang Dibutuhkan Rectifier

1. Kebutuhan daya AC

Perhitungan di bawah ini digunakan untuk memperkirakan masukan suplai daya arus AC yang diperlukan oleh satu buah unit *transformer rectifier* 220 VAC, single phase, 50 Hz

$$I_{AC} = \frac{I_{DC} \times V_{DC}}{V_{AC} \times \text{eff} \times \sqrt{3}} \quad (4.9)$$

(Sumber NACE RP0176)

Dengan :

IAC = arus input AC

VAC = tegangan input AC

IDC = arus keluaran DC

VDC = tegangan keluaran DC

Eff. = efisiensi transformer rectifier

Sehingga kebutuhan daya Ac yang dibutuhkan rectifier adalah:

$$\begin{aligned} I_{AC} &= \frac{I_{ac} \times V_{pc}}{V_{ac} \times \text{eff.} \times \sqrt{3}} \\ &= \frac{27,5 \times 48}{(220 \times 80 \% \times \sqrt{3})} \\ &= 4,32 \text{ A} = 5 \text{ A} \end{aligned}$$

2. Kapasitas tiap rectifier

Setelah perhitungan kebutuhan daya AC, maka dapat diketahui perhitungan kapasitas tiap rectifier, yaitu :

$$\begin{aligned} P_{ac} &= I_{ac} \times E_{ac} \times \sqrt{3} \\ &= 5 \times 220 \times \sqrt{3} \\ &= 1,9 \text{ kVA} \end{aligned}$$

4.2.11 Kebutuhan Anoda dan Rectifier

Pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7 dibawah ini adalah kebutuhan data anoda dan rectifier untuk pile jetty PT. TPS dengan metode ICCP.

Tabel 4.7 Data Anoda Impressed Current

Data Anoda Impressed Current			
Deskripsi	Area 1	Area 2	Satuan
Jenis Anoda	<i>Metal Mixed Oxide</i>		
Diameter	0,0254	0,0254	m
Panjang	1	1	m
Luas Permukaan Nominal	0,0798	0,0798	m ²
Densitas Arus Dari Setiap Anoda	100	100	A/m ²
Arus Keluaran Dari Setiap Anoda	0,7961	0,7961	A
Jumlah Minimal Anoda	19	19	Buah
Jumlah Anoda yang digunakan	20	20	Buah

Tabel 4.8 Tabel Transformer Rectifier Unit

Transformer Rectifier Unit			
Deskripsi	Area 1	Area 2	Satuan
Jumlah Rectifier	4	4	Unit
Total arus proteksi yang diperlukan	37,288 / TRU	37,288 / TRU	A
Tegangan DC (safety factor 20%)	35,57 / TRU	35,57 / TRU	V
Tegangan DC yang digunakan	48 / TRU	48 / TRU	V
Arus DC yang digunakan	27,5 / TRU	27,5 / TRU	A
Tegangan AC	220 / TRU	220 / TRU	V
Efisiensi Rectifier	80 / TRU	80 / TRU	%
Arus AC yang digunakan	5 / TRU	5 / TRU	A
Suplai daya	1,9 / TRU	1,9 / TRU	kVA

4.3 Perhitungan SACP Secara Teknis

4.3.1 Menghitung luas permukaan struktur tiang pancang keseluruhan

Dalam perhitungan secara teknis salah satu parameter yang harus diperhatikan adalah menghitung luas permukaan struktur tiang pancang, diantaranya adalah sebagai berikut:

$$A_p = \pi \times d \times l \quad (4.10)$$

(Sumber NACE RP 0176)

Keterangan :

d = Diameter luar tiang pancang (m)

l = Panjang tiang pancang (m)

A_p = Luas permukaan keseluruhan (m²)

Sehingga luas permukaan struktur dapat dilihat pada Tabel 4.9 berikut :

Tabel 4.9 Luas area struktur

Lokasi	Kedalaman pile (m LWS)	Diameter (mm)	($\pi \times D$)	Luas Area (m ²)	Jumlah Pile
Dermaga Barat	-14,5	1118	3510,5	51 m ²	527
Dermaga Timur	-10.5	711	2232,5	32 m ²	516

4.3.2 Menentukan jumlah arus untuk proteksi struktur

Kebutuhan arus proteksi perlu diketahui untuk dapat mengetahui seberapa besar arus proteksi katodik yang di *supply* ke struktur dapat terproteksi dengan baik.

$$I_t = \left[\frac{SA \times CD \times CB}{1000} \right] \times (1 + SF_1) \quad (4.11)$$

(sumber : NACE RP 1076)

Dengan :

I_t = Kebutuhan arus proteksi (A)

SA = Luas permukaan struktur yang diproteksi (m^2)

CB = Tingkat kerusakan lapis lindung

CD = Kerapatan Arus (mA/m^2)

SF₁ = Faktor keamanan yang diijinkan

I (1) = Dermaga Barat ($51 m^2$)

I (2) = Dermaga Timur ($32 m^2$)

Sehingga :

$$\begin{aligned} I_{pile} \text{ dengan luas area } 51 m^2 &= \left[\frac{SA \times CD \times CB}{1000} \right] \times (1 + SF_1) \\ &= \frac{51 \times 55 \times 0,05}{1000} \times (1 + SF_1) \\ &= 0,2805 \times 1,25 \\ &= 0,36 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{pile} \text{ dengan luas area } 32 m^2 &= \left[\frac{SA \times CD \times CB}{1000} \right] \times (1 + SF_1) \\ &= \frac{32 \times 55 \times 0,05}{1000} \times (1 + SF_1) \\ &= 0,176 \times 1,25 \\ &= 0,22 \text{ A} \end{aligned}$$

4.3.3 Kebutuhan Berat dan Jumlah Anoda

Selanjutnya adalah perhitungan kebutuhan berat dan jumlah anoda yang akan digunakan, dan nantinya akan dibandingkan dengan sistem ICCP yang telah di desain. Untuk menghitung kebutuhan berat dan jumlah anoda adalah dengan langkah-langkah sebagai berikut :

$$L = \frac{W \times U}{E \times I} \quad (4.12)$$

(sumber : NACE RP 1076)

Dimana :

L = Umur desain anoda (tahun)

W = Kebutuhan berat anoda selama lifetime (kg)

U = Faktor Utilisasi Anoda

E = Consumption Rate Anoda (kg/ A.thn)

I = Kebutuhan Arus Proteksi (A)

Sehingga :

a. Kebutuhan Berat Anoda Dermaga Timur (32 m²)

$$\begin{aligned} L &= \frac{W \times U}{E \times I} \\ 20 &= \frac{W \times 0,9}{1/2750 \times 0,22 \text{ A}} \\ &= \frac{0,9 W}{0,00008} \\ W &= 0,00178 \times 8750 \\ &= 15,5 \text{ kg} \\ &= 16 \text{ kg} \end{aligned}$$

b. Kebutuhan Jumlah Anoda Dermaga Timur (32 m²)

$$R = \frac{P \cdot K}{L} \left[\ln\left(\frac{4L}{r}\right) - 1 \right]$$

(sumber : NACE RP 1076)

Dimana :

- R = Resistensi anoda dalam Ohm
- P = Resistivity dari elektrolit dalam Ohm-cm (lihat tabel)
- K = 0,159 jika L dan r dalam cm
- L = Panjang anode
- r = radius anode

Sehingga :

$$\begin{aligned} R &= \frac{P \cdot K}{L} \left[\ln\left(\frac{4L}{r}\right) - 1 \right] \\ &= 19 \cdot \frac{0,159}{67} \left[\ln\left(\frac{4 \cdot 67}{40}\right) - 1 \right] \\ &= 0,04509 \times [1,902 - 1] \\ &= 0,04509 \times 0,902 \\ &= 0,04 \text{ ohm} \end{aligned}$$

Kemudian ntuk menentukan keluaran arus anoda, menggunakan Hukum Ohm yang terdapat pada NACE Standard berikut :

$$I = E / R \quad (4.13)$$

(sumber : NACE RP 1076 / Ohm's Law)

Dengan :

$$E = 0,25 \text{ V } \textit{drifing force} \text{ aluminium}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} I &= E / R \\ &= 0,25 / 0,04 \\ &= 6,25 \text{ A} \end{aligned}$$

Sehingga jumlah anoda yang diperlukan untuk melindungi pile dengan surface area (32m^2) selama 20 tahun adalah :

$$\begin{aligned} N &= \frac{\text{Initial Current Density (110mA/m}^2) \times \text{surface Area (32m}^2)}{\text{Amps Output Anode (6,25) x 1000mA/A}} \\ &= \frac{110 \times 32}{6,25 \times 1000} \\ &= 3520 / 6250 = 0,5632 = 1 \text{ Anoda per pile} \end{aligned}$$

c. Kebutuhan Berat Anoda Dermaga Barat (51 m^2)

$$\begin{aligned} L &= \frac{W \times U}{E \times I} \\ 20 &= \frac{W \times 0,9}{1/2750 \times 0,36 \text{ A}} \\ &= \frac{0,9 W}{0,00013} \\ W &= 0,0029 \times 8760 \\ &= 25,5 \\ &= 26 \text{ Kg} \end{aligned}$$

d. Kebutuhan Jumlah Anoda Dermaga Barat (51 m^2)

$$R = P \frac{K}{L} \left[\ln \left(\frac{4L}{r} \right) - 1 \right]$$

(sumber : NACE RP 1076)

Dimana :

- R = Resistensi anoda dalam Ohm
- P = Resistivity dari elektrolit dalam Ohm-cm (lihat tabel)
- K = 0,159 jika L dan r dalam cm
- L = Panjang anode
- r = radius anode

Sehingga :

$$\begin{aligned} R &= \frac{P \cdot K}{L} \left[\ln \left(\frac{4L}{r} \right) - 1 \right] \\ &= 19 \cdot \frac{0,159}{100,8} \left[\ln \left(\frac{4 \cdot 100,8}{40} \right) - 1 \right] \\ &= 0,03021 \times [2,30 - 1] \\ &= 0,03021 \times 1,303 \\ &= 0,04 \text{ ohm} \end{aligned}$$

Kemudian ntuk menentukan keluaran arus anoda, menggunakan Hukum Ohm yang terdapat pada NACE Standard berikut :

$$I = E / R$$

(sumber : NACE RP 1076 / Ohm's Law)

Dengan :

$$E = 0,25 \text{ V } \textit{drifing force} \text{ aluminium}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} I &= E / R \\ &= 0,25 / 0,04 \\ &= 6,25 \text{ A} \end{aligned}$$

Sehingga jumlah anoda yang diperlukan untuk melindungi pile dengan *surface area* (32m²) selama 20 tahun adalah :

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{\text{Initial Current Density (110mA/m}^2) \times \text{surface Area (51m}^2)}{\text{Amps Output Anode (6,25) x 1000mA/A}} \\
 &= \frac{110 \times 51}{6,25 \times 1000} \\
 &= 5610 / 6250 \\
 &= 0,8976 = 1 \text{ Anoda per pile}
 \end{aligned}$$

Sehingga dapat disimpulkan hasil dari perhitungan kebutuhan berat dan jumlah anoda menggunakan metode *SACP* adalah seperti yang terdapat pada Tabel 4.10 berikut :

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Kebutuhan Sacrificial Anode

	Deskripsi	Jumlah	Satuan
1.	Aluminium Stand-off		
	a. Dermaga Timur	8256	kg
	b. Dermaga Barat	13.703	kg
2.	FRP	1043	Buah

4.4 Perhitungan SACP Menggunakan *Standard* DNV RP B401

Selanjutnya adalah perhitungan sistem SACP menggunakan *Standard* DNV RP B401 yang akan digunakan, dan nantinya akan dibandingkan dengan sistem SACP yang telah di desain menggunakan NACE *Standard*. Untuk menghitung sistem SACP menggunakan DNV RP B401 adalah dengan langkah-langkah sebagai berikut :

4.4.1 Menghitung Breakdown Coating `Factor

Dalam perhitungan secara teknis parameter yang harus di perhatikan salah satunya adalah kondisi lapisan pelindung.

$$F_c = a + b \cdot t$$

(4.14)

(Sumber : DNV RP B401 2010)

Dimana :

F_c = Breakdown Coating Faktor

a,b = konstanta yang bergantung pada properties lapisan dengan lingkungannya

t = umur coating

Tabel 4.11 Konstanta *breakdown coating* (Sumber : DNV RP B401 2010)

Table 10-4 Recommended constants a and b for calculation of paint coating breakdown factors. (Coating Categories are defined in 6.4.6).			
Depth (m)	Recommended a and b values for Coating Categories I, II and III (see 6.4.7)		
	I (a = 0.10)	II (a = 0.05)	III (a = 0.02)
Sehingga : 0-30	b = 0.10	b = 0.025	b = 0.012
>30	b = 0.05	b = 0.015	b = 0.008

$$F_c = a + b \cdot t$$

$$= 0,012 + 0,02 \cdot 25$$

$$= 0,412$$

4.4.2 Kebutuhan Arus Proteksi

Setelah menemukan factor dari breakdown coating, parameter selanjutnya adalah menghitung kebutuhan arus.

$$I_c = A \times C_d \times f_c$$

(4.15)

(sumber : DNV RP B401 2010)

Dimana :

I_c = Kebutuhan arus proteksi (A)

A = Luas permukaan struktur yang diproteksi (m²)

f_c = Faktor breakdown coating

C_d = Kerapatan Arus (mA/m²)

Tabel 4.12 Konstanta *Mean Design Current Densities*

Table 10-3 Recommended mean design current densities for protection of reinforcing steel (i.e. in concrete structures) as a function of depth and 'climatic region' based on surface water temperature (ref. 6.3.12). The current densities in A/m² refer to the steel reinforcement surface area, not surface area of concrete.				
<i>Depth (m)</i>	<i>'Tropical' (> 20 °C)</i>	<i>'Sub-Tropical' (12- 20 °C)</i>	<i>'Temperate' (7-12 °C)</i>	<i>'Arctic' (< 7 °C)</i>
0-30	0.0025	0.0015	0.0010	0.0008
>30-100	0.0020	0.0010	0.0008	0.0006
>100	0.0010	0.0008	0.0006	0.0006

$$\begin{aligned} I_c \text{ pile dengan luas area } 51 \text{ m}^2 &= A \times C_d \times f_c \\ &= 51 \times 0,025 \times 0.412 \\ &= 0,3825 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_c \text{ pile dengan luas area } 32 \text{ m}^2 &= A \times C_d \times f_c \\ &= 32 \times 0,025 \times 0.412 \\ &= 0,24 \text{ A} \end{aligned}$$

4.4.3 Kebutuhan Berat dan Jumlah Anoda

Dari anoda yang sudah dipilih serta arus yang dibutuhkan dalam design untuk memproteksi struktur dapat ditentukan berat dan jumlah anoda yang dibutuhkan.

2. Berat anoda

$$Ma = \frac{8760 \times Ic \times tf}{Ua \times Ea} \quad (4.16)$$

(Sumber : DNV RP B401 2010)

Dengan :

Ma = Kebutuhan berat anoda (kg)

Ic = Kebutuhan arus rata-rata (A)

Tf = Umur desain anoda (tahun)

Ua = Utilisasi anoda

Ea = Kapasitas anoda (A.thn/kg)

2. Jumlah anoda

$$Na = Ma/Waf \quad (4.17)$$

(Sumber : DNV RP B401 2010)

Dengan :

Na = Jumlah anoda

Waf = massa tiap satu anoda (kg)

Sehingga kebutuhan berat dan jumlah anoda untuk SACP mrnggunakan *standard* DNV RP B401 dapat dilihat pada Tabel 4.13 berikut :

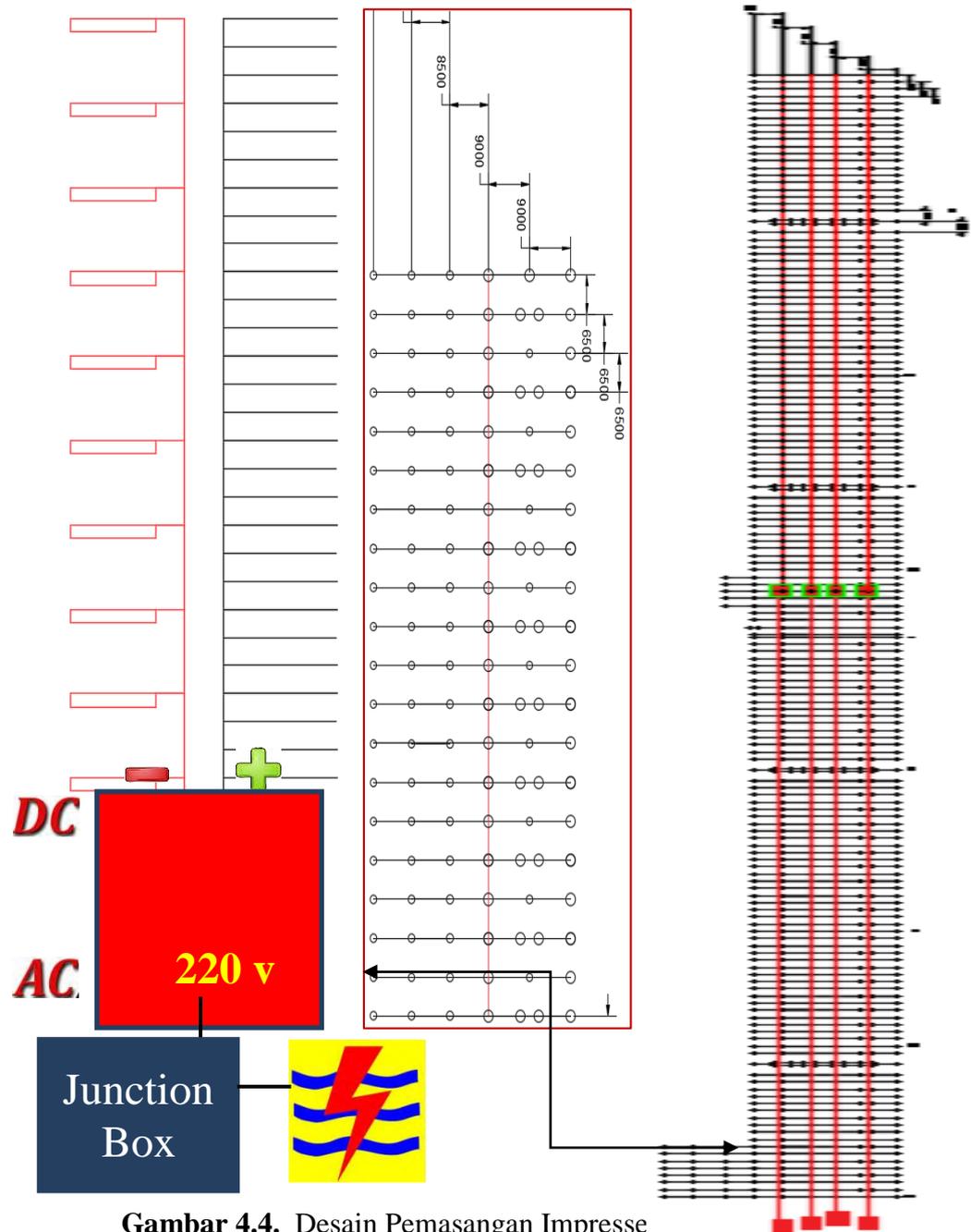
Tabel 4.13 Kebutuhan berat dan jumlah anoda

	Kebutuhan Berat Anoda	Kebutuhan Jumlah Anoda
Tiang Pancang diameter 51 m ²	$Ma = \frac{8760 \times I_{cm} \times t_f}{U_a \times E_a}$ $= \frac{8760 \times 0,3825 \times 20}{0,9 \times 2700}$ $= 28,5 \text{ kg} = 29 \text{ kg}$	$n_a = Ma/W_a f$ $= 30 / 30 \text{ kg}$ $= 1$ $= 1 \text{ Anoda } 29 \text{ kg per pile}$ $= 527 \text{ Anoda Stand Off Aluminium}$
Tiang Pancang diameter 32 m ²	$Ma = \frac{8760 \times I_{cm} \times t_f}{U_a \times E_a}$ $= \frac{8760 \times 0,24 \times 20}{0,9 \times 2700}$ $= 17,3 \text{ kg} = 18 \text{ kg}$	$N_a = Ma/W_a f$ $= 19 \text{ kg} / 19 \text{ kg}$ $= 1$ $= 1 \text{ Anoda } 18 \text{ kg per pile}$ $= 516 \text{ Anoda Stand Off Aluminium}$

4.5 Desain ICCP dan SACP

4.5.1 Desain Impressed Current

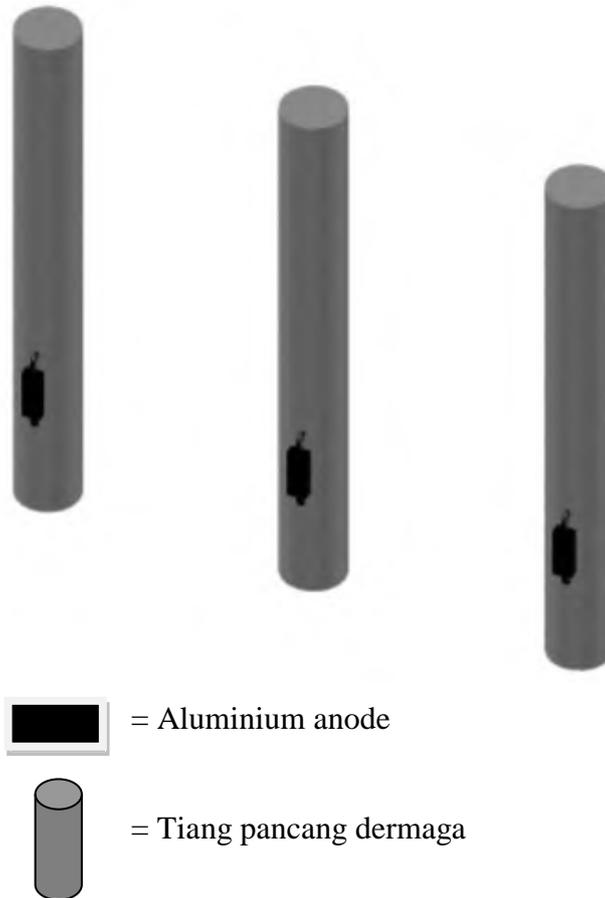
Pada tahapan desain sistem ICCP adalah seperti pada Gambar 4.4 berikut :



Gambar 4.4. Desain Pemasangan Impresse

4.5.2 Desain Sacrificial Anode

Pada tahapan desain sistem SACP adalah seperti pada Gambar 4.5 berikut ini.



Gambar 4.5. Desain Pemasangan Sacrificial Anode

Untuk Sacrificial Anode ini, anoda aluminiumnya dipasang disetiap tiang pancang dermaga.

4.6 Perhitungan Biaya Untuk Impressed Current

4.6.1 Perhitungan Biaya Desain

Sesuai dengan Perhitungan sebelumnya, maka didapatkan jumlah kebutuhan minimum Metal Mixed Oxide adalah 40 anoda.

1. Pembelian dan Quick Detail Anoda

Pada Tabel 4.14 berikut harga anoda Metal Mixed Oxide (MMO) dengan tipe yang terdapat di pasaran :

Tabel 4.14 Harga anoda Metal Mixed Oxide

Price Metal mixed Oxide	USD 350 \$ / piece
Place of Origin	Baoji, China (Mainland)
Aplication	Chemical
Grade	Titanium &titanium alloy
Product	Gr2 titanium rings
Size	According to the customer's requirem
Brand Name	<u>Baoji Qixin Titanium Co., Ltd.</u>
Standard	ASTMB381 /AMS4928
Model Number	ASTM ASME AMS DIN ISO JIS
Dimension	3000 mm (max)
Supply Ability	10000 Kilogram/Kilograms per Month
Port	Qingdao/Shanghai/Beijing
Payment Terms	L/C,D/A,D/P,T/T,Western Union

(Sumber: Baoji Qixin Titanium Co., Ltd.)

2. Pembelian Kabel

Tipe Kabel = HMWPE/PVDF (kynar), XLPE/PVC/SWA,EPR/CSPE.

Harga kabel dengan tipe diatas yang terdapat di pasaran seperti yang terdapat pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Harga kabel dan spesifikasi

Price	USD 10 \$ / meter
Place of Origin	Baoji, China (Mainland)
Insulation Material	PVDF
Conductor Material	Copper
Certification	ISO CCC CE
Brand Name	Baoji
Type	Low Voltage
Jacket	HMWPE
Voltage	450 / 750
Model Number	pvdh/hmwpe
Supply Ability	5000 Kilometer/Kilometers per Month
Port	Shanghai, Beijing
Payment Terms	L/C,T/T,Western Union,MoneyGram

(Sumber : Baoji Qixin Titanium Co., Ltd.)

Untuk mendesain sistem ICCP pada Tiang Pancang Jetty PT. TPS diperlukan biaya awal yang tercantum pada Tabel 4.16 berikut :

Tabel 4.16 Biaya awal desain

ICCP MATERIAL	QTY	UNIT	\$/Unit	AMOUNT (\$)
Anoda MMO	40	-	350.00	14,000.00
FRP	40	-	200.00	8,000.00
Stainless Band	40	-	400.00	16,000.00
Junction Box	1	-	300.00	300.00
Rectifier	8	-	2,000.00	16,000.00
9 mm ² Cable	7950	m	10.00	79,500.00
Cable Strap	5	-	7.50	375.00
Total Cost				USD 134.175.00 \$

Berdasarkan Tabel maka didapatkan biaya total untuk pemasangan sistem ICCP adalah sebesar USD 134.175.00 \$. Jika di kurs menjadi rupiah, maka diperoleh harga Rp 1.788.956.000,00

4.6.2 Perhitungan Biaya Instalasi

Tabel 4.17 Biaya Instalasi ICCP

Installation	Qty	Unit	Rp / unit	Amount
Sewa Alat Selam	2 tim/8org	unit	Rp 5.000.000,00	Rp. 40.000.000,00
Penyelam	8	mhrs	Rp. 8.000.000,00	Rp. 64.000.000,00
Drafter	5	mhrs	Rp. 25.000.000,00	Rp. 125.000.000,00
Designeer	1	mhrs	Rp. 40.000.000,00	Rp. 40.000.000,00
Marine Growth and Debris Cleaning 1. Mobilization vessel	10	days	Rp. 73.330.000,00	Rp. 733.300.000,00
Biaya Total				Rp. 1.002.000.000,00

4.6.3 Perhitungan Biaya (Maintenance)

Untuk pengecekan TRU dilakukan pihak pengoperasi dermaga tersebut dan tidak perlu adanya biaya. Sedangkan pengecekan menggunakan volt meter dapat dilakukan oleh owner sehingga tidak perlu adanya biaya. Pada tabel 4.18 berikut adalah biaya perawatan untuk setiap kali inspeksi system.

Tabel 4.18 Biaya Operasional ICCP

Description	Jumlah Kebutuhan	Harga Satuan	Harga
Penyelam	1 tim / 4 orang	@ Rp 5.000.000,00/ org	Rp 20.000.000,00
Sewa Alat Selam	30 hari	@ Rp 5.000.000,00/ hari	Rp 150.000.000,00
Total			Rp 170.000.000,00

Pada sistem impressed current dilakukan 5 tahun sekali sehingga selama umur desain dilakukan sebanyak 4 kali. Biaya untuk perawatan system ini menambahkan perhitungan future value dengan mengetahui inflasi bulanan di Indonesia, seperti yang terdapat pada tabel 4.19 berikut.

Tabel 4.19 Indeks Harga Konsumen dan Inflasi Bulanan Indonesia

Bulan	2005		2006		2007		2008		2009	
	IHK	Inflasi	IHK	Inflasi	IHK	Inflasi	IHK	Inflasi	IHK	Inflasi
Januari	118.53	1.43	138.72	1.36	147.41	1.04	158.26	1.77	113.78	-0.07
Februari	118.33	-0.17	139.53	0.58	148.32	0.62	159.29	0.65	114.02	0.21
Maret	120.59	1.91	139.57	0.03	148.67	0.24	160.81	0.95	114.27	0.22
April	121.00	0.34	139.64	0.05	148.43	-0.16	161.73	0.57	113.92	-0.31
Mei	121.25	0.21	140.16	0.37	148.58	0.1	164.01	1.41	113.97	0.04
Juni	121.86	0.5	140.79	0.45	148.92	0.23	110,08 ^{*)}	2,46 ^{*)}	114.1	0.11
Juli	122.81	0.78	141.42	0.45	149.99	0.72	111.59	1.37	114.61	0.45
Agustus	123.48	0.55	141.88	0.33	151.11	0.75	112.16	0.51	115.25	0.56
September	124.33	0.69	142.42	0.38	152.32	0.8	113.25	0.97	116.46	1.05
Oktober	135.15	8.7	143.65	0.86	153.53	0.79	113.76	0.45	116.68	0.19
November	136.92	1.31	144.14	0.34	153.81	0.18	113.9	0.12	116.65	-0.03
Desember	136.86	-0.04	145.89	1.21	155.5	1.1	113.86	-0.04	117.03	0.33
Tingkat Inflasi		17.11		6.6		6.59		11.06		2.78

Bulan	2010		2011		2012		2013		2014 ²⁾	
	IHK	Inflasi	IHK	Inflasi	IHK	Inflasi	IHK	Inflasi	IHK	Inflasi
Januari	118.01	0.84	126.29	0.89	130.9	0.76	136.88	1.03	110,99 ³⁾	1.07
Februari	118.36	0.3	126.46	0.13	130.96	0.05	137.91	0.75	111.28	0.26
Maret	118.19	-0.14	126.05	-0.32	131.05	0.07	138.78	0.63	111.37	0.08
April	118.37	0.15	125.66	-0.31	131.32	0.21	138.64	-0.1	111.35	-0.02
Mei	118.71	0.29	125.81	0.12	131.41	0.07	138.6	-0.03	111.53	0.16
Juni	119.86	0.97	126.5	0.55	132.23	0.62	140.03	1.03	112.01	0.43
Juli	121.74	1.57	127.35	0.67	133.16	0.7	144.63	3.29	113.05	0.93
Agustus	122.67	0.76	128.54	0.93	134.43	0.95	146.25	1.12	113.58	0.47
September	123.21	0.44	128.89	0.27	134.45	0.01	145.74	-0.35	113.89	0.27
Oktober	123.29	0.06	128.74	-0.12	134.67	0.16	145.87	0.09	114.42	0.47
November	124.03	0.6	129.18	0.34	134.76	0.07	146.04	0.12	116.14	1.5
Desember	125.17	0.92	129.91	0.57	135.49	0.54	146.84	0.55	119	2.46
Tingkat Inflasi		6.96		3.79		4.3		8.38		8.36

Bulan	2015		2016	
	IHK	Inflasi	IHK	Inflasi
Januari	118.71	-0.24	123.62	0.51
Februari	118.28	-0.36	123.51	-0.09
Maret	118.48	0.17	123.75	0.19
April	118.91	0.36	123.19	-0.45
Mei	119.50	0.50	123.48	0.24
Juni	120.14	0.54	124.29	0.66
Juli	121.26	0.93		
Agustus	121.73	0.39		
September	121.67	-0.05		
Oktober	121.57	-0.08		
November	121.82	0.21		
Desember	122.99	0.96		
Tingkat Inflasi		3.35		1.06

Sumber : Badan Pusat Statistik

Dari tabel 4.19 diatas, maka dapat diketahui nilai inflasi rata – rata di Indonesia yaitu 6,695 %. Dengan nilai inflasi tersebut maka total biaya maintenance ICCP selama 20 tahun dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$FV = PV (1 + r) ^ n \quad (4.18)$$

Dimana :

FV = *Future value* (nilai pada akhir tahun ke n)

PV = Nilai sekarang (nilai pada tahun ke 0)

r = Suku bunga

n = Waktu (tahun)

^ = tanda pangkat

Sehingga total biaya dari sektor *maintenance ICCP* selama 20 tahun adalah RP 1.630.777.000,00

4.7 Perhitungan Biaya Untuk Sacrificial Anodes

Untuk SACP, perhitungan yang dipakai adalah perhitungan yang menggunakan NACE *Standard* karena jumlah kilo anoda yang dibutuhkan lebih sedikit, namun masih memenuhi kriteria *International Standard*. Parameter yang harus dicantumkan dalam perhitungan ini adalah biaya desain, instalasi, dan maintenance.

4.7.1 Perhitungan Biaya Desain, Instalasi, dan Maintenance

Untuk mengetahui biaya perancangan dan instalasi SACP pada dermaga PT. TPS, dapat menggunakan rincian biaya yang tercantum pada Tabel 4.20 dan Tabel 4.21 berikut.

Tabel 4.20 Harga Anoda

SACP	QTY	UNIT	\$/Unit	AMOUNT (\$)
Al Long Slender, Stand Off	21.958	kg	5.00	USD 109.800.00
FRP	1043	-	2.00	USD 2.086.00

(Jika di kurs menjadi rupiah, maka diperoleh total harga Rp 1.491.777.000,00)

Sumber : Ningbo Yuxi Light Alloy Co., Ltd.

Tabel 4.21 Biaya Instalasi

Installation	Qty	Unit	Rp / unit	Amount
Sewa Alat Selam	2 tim/8org	unit	Rp 5.000.000,00	Rp. 40.000.000,00
Welder	8	mhrs	Rp. 65.187.500,00	Rp. 521.500.000,00
Drafter	5	mhrs	Rp. 25.000.000,00	Rp. 125.000.000,00
Designeer	1	mhrs	Rp. 40.000.000,00	Rp. 40.000.000,00
Marine Growth and Debris Cleaning 1. Mobilization vessel	10	days	Rp. 73.330.000,00	Rp. 733.300.000,00
Biaya Total				Rp. 1.459.500.000,00

Pada sistem sacrificial anode dilakukan inspeksi yang dilaksanakan tiap 2 tahun sesuai dengan kebutuhan anode selama 20 tahun yaitu 26 kg dan 16 kg tiap pile.

Tabel 4.22 Biaya Maintenance

Description	Jumlah Kebutuhan	Harga Satuan	Harga
Penyelam	1 tim / 4 orang	@ Rp 5.000.000,00/ org	Rp 20.000.000,00
Sewa Alat	30 hari	@ Rp 5.000.000,00/ hari	Rp 150.000.000,00
Total			Rp 170.000.000,00

Pada sistem sacrificial anode dilakukan 2 tahun sekali sehingga selama umur desain dilakukan sebanyak 10 kali. Biaya untuk perawatan system ini juga menambahkan perhitungan future value dengan mengetahui inflasi bulanan di Indonesia, seperti yang terdapat pada Tabel 4.22.

Maka dengan nilai inflasi tersebut, total biaya maintenance SACP selama 20 tahun dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$FV = PV (1 + r) ^ n$$

Dimana :

FV = Future value (nilai pada akhir tahun ke n)

PV = Nilai sekarang (nilai pada tahun ke 0)

r = Suku bunga

n = Waktu (tahun)

^ = tanda pangkat

Sehingga total biaya dari sektor maintenance SACP selama 20 tahun adalah RP 3.712.896.000,00

4.8 Analisa dan Perbandingan

Secara desain, instalasi. *maintenance* sistem *impressed current* dan *sacrificial anode* memenuhi kriteria. Hal tersebut dikarenakan perhitungan desain berdasar pada NACE RP0176 *Corrosion Control of Steel Fixed Structures Associated*.

Pada kondisi lapangan sistem *impressed current* lebih rumit sistem instalasinya. Dengan banyaknya peralatan yang harus dipasang pada sistem *impressed current*. Akan tetapi pada segi *maintenance* sistem *sacrificial anode* lebih memakan banyak biaya.

Pada sistem perawatan pada sistem SACP dengan standard NACE RP 0176 maupun DNV RP B401 dilakukan pengecekan pada anode menggunakan jasa penyelam. Pengecekan pada sistem ini dilakukan setiap 2 tahun. Sedangkan pada sistem *impressed current* pengecekan dilakukan pada junction box yang mengarah kepada retifier, serta untuk pengecekan kabel dan pengecekan anode yang membutuhkan penyelam. Pengecekan dilakukan setiap 5 tahun sekali, sehingga selama umur desain dilakukan 4 kali.

Tabel 4.23 Perbandingan Aspek Ekonomis Keseluruhan

Tahapan	Biaya		
	ICCP NACE RP 0176	SACP NACE RP 0176	SACP DNV RP B401
Desain	Rp. 1.788.956.000,00	Rp. 1.491.777.000,00	Rp. 1.561.763.000,00
Instalasi	Rp. 1.002.000.000,00	Rp. 1.459.500.000,00	Rp. 1.459.500.000,00
Maintenance	RP 1.630.777.000,00	RP 3.712.896.000,00	RP 3.712.896.000,00
Total	Rp 4.421.733.000,00	Rp. 6.664.173.000,00	Rp. 6.734.159.000,00

Dari Tabel 4.23, sistem perlindungan yang paling ekonomis diaplikasikan pada *pile jetty* PT. TPS adalah ICCP dengan menggunakan anoda MMO tubular sebanyak 40 buah dan 8 buah rectifier yang akan memproteksi struktur dari serangan korosi selama 20 tahun, dengan rencana kebutuhan meliputi pembelian bahan, instalasi, dan *maintenance* yang menghabiskan biaya sebesar Rp 4.421.733.000,00.

Untuk metode SACP dengan menggunakan NACE *standard* RP0176 menggunakan 21.958 kg anoda aluminium stand-off selama 20 tahun, dengan rencana kebutuhan meliputi pembelian bahan, instalasi, dan *maintenance* yang menghabiskan biaya sebesar Rp. 6.664.173.000,00. Sedangkan untuk metode SACP dengan menggunakan DNV RP B401 memakai 24.571 kg anoda aluminium stand-off selama 20 tahun, dengan rencana kebutuhan meliputi pembelian bahan, instalasi, dan *maintenance* yang menghabiskan biaya sebesar Rp. 6.734.159.000,00. Perbedaan biaya ini terjadi karena antara DNV dan NACE berbeda dalam penentuan *breakdown coating factor* sehingga mempengaruhi jumlah kebutuhan arus yang dibutuhkan.

LAMPIRAN A.

1. Foto PT. Terminal Petikemas Surabaya



2. Foto Dermaga PT. Terminal Petikemas Surabaya



Data Anoda Impressed Current

Data Anoda Impressed Current			
Deskripsi	Area 1	Area 2	Satuan
Jenis Anoda	<i>Metal Mixed Oxide</i>		
Diameter	0,0254	0,0254	m
Panjang	1	1	m
Luas Permukaan Nominal	0,0798	0,0798	m ²
Densitas Arus Dari Setiap Anoda	100	100	A/m ²
Arus Keluaran Dari Setiap Anoda	0,7961	0,7961	A
Jumlah Minimal Anoda	19	19	Buah
Jumlah Anoda yang digunakan	20	20	Buah

Tabel Transformer Rectifier Unit

Transformer Rectifier Unit			
Deskripsi	Area 1	Area 2	Satuan
Jumlah Rectifier	4	4	Unit
Total arus proteksi yang diperlukan	37,288 / TRU	37,288 / TRU	A
Tegangan DC (safety factor 20%)	35,57 / TRU	35,57 / TRU	V
Tegangan DC yang digunakan	48 / TRU	48 / TRU	V
Arus DC yang digunakan	27,5 / TRU	27,5 / TRU	A
Tegangan AC	220 / TRU	220 / TRU	V
Efisiensi Rectifier	80 / TRU	80 / TRU	%
Arus AC yang digunakan	5 / TRU	5 / TRU	A
Suplai daya	1,9 / TRU	1,9 / TRU	kVA

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Dermaga berperan penting dalam menunjang kegiatan bongkar muat kapal, salah satunya dermaga *jetty* di PT. Terminal Petikemas Surabaya (PT.TPS). Seperti yang terdapat pada Gambar 1.1, dari tahun ke tahun PT. TPS mengalami peningkatan jumlah muatan yang signifikan khususnya peti kemas. Namun peningkatan yang signifikan ini juga harus diimbangi dengan peningkatan fasilitas dermaga.



Gambar 1.1 Terminal Petikemas Surabaya

Tiang pancang pada dermaga *jetty* milik PT. TPS yang terbuat dari baja merupakan salah satu struktur yang rentan terjadi korosi karena terletak di air laut sehingga diperlukan sistem perlindungan korosi. Korosi dapat dikatakan sebagai suatu peristiwa elektrokimia antar logam dengan lingkungannya yang menghasilkan senyawa yang tidak dikehendaki. Contoh korosi yang biasa terjadi adalah korosi pada logam besi. Korosi sendiri tidak dapat dihentikan namun dapat dicegah atau dikurangi laju korosinya.

Metode pencegahan korosi pada *pile jetty* dapat dilakukan dengan berbagai cara antara lain dengan menggunakan *sacrificial anode cathodic protection (SACP)*, *impressed current cathodic protection (ICCP)*, atau dengan pelapisan (*coating*). Selama ini pencegahan korosi pada *pile jetty*

PT.TPS menggunakan metode pelapisan High Density Polyethylene (HDPE), namun metode ini ternyata kurang efektif dalam menekan laju korosi. Hal ini dibuktikan dalam pengukuran ketebalan, dan ditemukan masih adanya penipisan yang diakibatkan oleh korosi. Korosi yang terjadi pada *pile* tersebut mengakibatkan berkurangnya kekuatan struktur *jetty* untuk menopang beban di atasnya. Selain itu korosi juga dapat menyebabkan berkurangnya umur struktur itu sendiri.

Untuk mengatasi hal tersebut, pada tugas akhir ini akan dibahas mengenai studi pemilihan metode proteksi katodik pada *pile jetty* PT.TPS. Analisa teknis dan ekonomis akan dilakukan untuk mengetahui sistem mana yang paling optimum, apakah memakai (*ICCP*) ataukah (*SACP*).

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang menjadi kajian dalam Tugas Akhir ini antara lain :

1. Bagaimana prosedur perhitungan sistem proteksi katodik *pile jetty* PT.TPS dengan metode *ICCP* ?
2. Bagaimana prosedur perhitungan sistem proteksi katodik *pile jetty* PT.TPS dengan metode *SACP* ?
3. Menentukan proteksi katodik mana yang paling optimum digunakan pada *pile jetty* PT.TPS dilihat dari segi teknis dan ekonomis ?

1.3 Tujuan Penelitian

Dari perumusan masalah di atas, secara rinci tujuan penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui prosedur perhitungan sistem proteksi katodik *pile jetty* PT.TPS dengan sistem *ICCP*.
2. Mengetahui prosedur perhitungan sistem proteksi katodik *pile jetty* PT.TPS dengan sistem *SACP*
3. Menentukan metode proteksi katodik yang paling optimum untuk diaplikasikan pada konstruksi *pile jetty* PT. TPS.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari penelitian yang dilakukan diharapkan dapat mengetahui parameter-parameter yang digunakan dalam pemilihan proteksi katodik pada konstruksi *pile jetty* PT. TPS dari segi teknis maupun ekonomis.

1.5 Batasan Masalah

1. Optimasi sistem *ICCP* dan *SACP* pada konstruksi tiang pancang jetty PT. TPS ditinjau dari segi teknis maupun ekonomis (biaya).
2. Segi teknis optimasi *ICCP* dan *SACP* meliputi tahap perancangan, tahap instalasi, dan tahap maintenance.
3. Segi ekonomis optimasi *ICCP* dan *SACP* memperhitungkan biaya pembelian alat, biaya instalasi dan biaya maintenance.
4. Data-data yang diperlukan untuk mendesain adalah data milik PT. TPS.
5. Perhitungan berdasarkan aturan NACE RP 0176 untuk *ICCP*, dan NACE RP 0176 dan DNV RP B401 untuk *SACP*

1.6 Sistematika Penulisan Laporan

Sistematika Penulisan Tugas Akhir meliputi :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini dibahas mengenai latar belakang, permasalahan, tujuan, manfaat, serta batasan masalah yang akan dibahas dalam masalah yang telah dijelaskan dalam judul.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas mengenai penyelesaian masalah yang akan dibahas dengan melakukan tinjauan dan dasar teori yang telah ada.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas langkah-langkah yang dilakukan dalam menganalisa permasalahan yang akan dibahas. Dalam hal ini meliputi langkah awal yang harus dilakukan, studi literatur yang dapat menunjang penyelesaian dari pembahasan masalah, seperti halnya pengumpulan data dan dilanjutkan dengan metode perhitungan yang dilakukan.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil yang telah didapat dari langkah-langkah perhitungan desain dari segi teknis maupun ekonomis.

BAB V PENUTUP

Bab ini menjelaskan tentang kesimpulan yang telah didapatkan dari pembahasan bab yang sebelumnya, serta berisi tentang saran yang berkaitan dengan analisa yang telah dilakukan untuk tindak lanjut dari penelitian dari permasalahan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Korosi secara umum diartikan sebagai proses penurunan kualitas material akibat interaksi dengan lingkungan sekitarnya. Interaksi ini menimbulkan reaksi korosi yang umumnya merupakan reaksi elektrokimia. Reaksi elektrokimia melibatkan perindahan elektron yang merupakan hasil reaksi redoks (reduksi-oksidasi). Proses oksidasi pada anode (reaksi anodic) yang melepaskan electron sedangkan proses reduksi pada katoda (reaksi katodik) yang mengkonsumsi electron.

Korosi adalah kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi redoks antara suatu logam dengan berbagai zat di lingkungannya yang menghasilkan senyawa-senyawa yang tidak dikehendaki. Dalam bahasa sehari-hari, korosi disebut perkaratan. Contoh korosi yang paling lazim adalah perkaratan besi. Logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Pada kebanyakan situasi, praktis serangan ini tidak dapat dicegah tetapi hanya dapat mengendalikan sehingga struktur atau komponen tinjauan mempunyai massa yang lebih panjang. Dengan dasar pengetahuan tentang elektrokimia proses korosi yang dapat menjelaskan mekanisme dari korosi, dapat dilakukan usaha-usaha untuk pengendalian korosi (Trethewey, 1991).

Korosi sebagai suatu reaksi elektrokimia yang memberikan dampak kerusakan fisik suatu material secara signifikan sehingga perlu perhatian untuk mencegah dan meminimalisasi kerugian yang timbul akibat efek korosi. Jumlah logam dan paduannya merupakan fungsi dari lingkungan sehingga saling mempengaruhi kedua parameter tersebut antara lain lingkungan air tawar, air laut, tanah (Fontana dan Greene, 1978).

Untuk mencegah terjadinya proses korosi atau setidaknya untuk memperlambat proses korosi tersebut, maka dipasanglah suatu anoda buatan di luar logam yang akan diproteksi. Daerah anoda adalah suatu

bagian logam yang kehilangan elektron. Ion positifnya meninggalkan logam tersebut dan masuk ke dalam larutan yang ada sehingga logam tersebut berkarat. Karena perbedaan potensial maka arus elektron akan mengalir dari anoda yang dipasang dan akan menahan melawan arus electron dari logam yang didekatnya, sehingga logam tersebut berubah menjadi daerah katoda. Inilah yang disebut Cathodic Protection.

Dalam hal tersebut elektron disuplai kepada logam yang diproteksi oleh anoda buatan sehingga elektron yang hilang dari daerah anoda tersebut selalu diganti, sehingga akan mengurangi proses korosi dari logam yang diproteksi. Anoda buatan tersebut ditanam dalam suatu elektrolit yang sama dengan logam (dalam hal ini pile) yang akan diproteksi dihubungkan dengan kabel yang sesuai agar proses listrik diantara anoda dan pile tersebut dapat mengalir terus menerus.

Menurut Zakaria (2004) *ICCP* adalah perlindungan dengan memberikan elektron pada material baja dengan menggunakan sumber arus listrik dari luar sistem. Elektron yang diberikan berasal dari anoda permanen yang terbuat dari logam. Sumber arus listrik yang digunakan untuk memberikan elektron ke badan struktur berasal dari rectifier. Kutub positif sumber arus DC dihubungkan dengan material struktur. Sehingga elektron akan bergerak dari anoda kearah material yang dilindungi terhadap pengaruh korosi. Sedangkan *SACP* merupakan perlindungan dengan cara galvanis coupling dimana logam akan diproteksi digabungkan dengan logam yang lebih *anodic*. Anoda ini disebut anoda tumbal yang mana akan terkorosi terlebih dahulu. Dalam hal ini logam yang ditumbalkan harus mempunyai potensial yang lebih rendah dari logam utama sehingga yang terkorosi adalah logam tambahan.

Cathodic protection merupakan sebuah teknik untuk mengontrol korosi pada permukaan logam dengan membuat permukaan sebagai katoda dari sel elektrokimia, hal ini dilakukan dengan menurunkan potensial antar muka dari struktur menuju daerah imun struktur pada grafik potensial pH. Korosi akan terjadi pada ujung anoda sehingga bagian katoda akan terlindungi. Ujung katoda dan anoda harus berada dalam satu larutan

elektrolit (air/tanah) dan secara elektronik tersambung dengan kawat atau kabel. Arus dapat dipasok melalui anoda tumbal (galvanic) atau melalui sumber tenaga listrik (impressed current). Cathodic protection dapat digunakan untuk melindungi permukaan luar dari pipa yang ditanam, struktur lepas pantai, dan bangunan lainnya. Menurut Supomo (1995), prinsip dari CP adalah penyediaan elektron untuk struktur logam yang akan dilindungi. Jika arus mengalir dari kutub positif ke kutub negatif (teori listrik konvensional) maka struktur akan terlindungi jika arus masuk dari elektrode. Kebalikannya, laju korosi akan meningkat bila arus masuk melalui logam ke elektrode.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Mekanisme Proses Korosi

Korosi adalah peristiwa terjadinya kerusakan suatu material melalui interaksi benda dengan lingkungan. Umumnya korosi dapat terjadi karena pengaruh suhu dan kadar air yang terdapat di lingkungan sekitarnya. Proses korosi merupakan proses pelepasan elektron (oksidasi) dari logam dan pengikatan elektron – elektron pada reaksi reduksi, seperti reaksi reduksi oksigen atau air. Seperti pada persamaan reaksi – reaksi di bawah ini :



Fe^{2+} dan OH^{-} bereaksi membentuk besi hidroksida teroksidasi dengan reaksi :



Proses terjadinya korosi secara kimiawi terdiri dari reaksi anodik dan reaksi katodik (reaksi reduksi–oksidasi), jika salah satu reaksi terjadi maka timbul korosi. Reaksi katodik yang berada pada kondisi atmosfer atau kondisi yang dipaksakan akan menghasilkan *ion hydroxyl*. Proses korosi dapat terjadi apabila faktor-faktor yang terlibat dalam proses ada dan apabila salah satu faktor saja tidak ada maka korosi tidak akan terjadi

atau kecil kemungkinannya. Faktor–faktor itu yaitu adanya anode, katode, larutan elektrolit, lingkungan dan harus ada hubung arus listrik.

2.2.2 Faktor Umum Terjadinya Korosi Pada Logam

Apabila suatu reaksi redoks terjadi dimana logam mengalami oksidasi dan oksigen mengalami reduksi maka mulai ada korosi pada logam. Korosi yang timbul pada permukaan logam biasanya berwarna merah dengan rumus kimia $Fe_2O_3 \cdot xH_2O$.

Korosi yang terjadi pada tiap logam memiliki karakteristik yang berbeda, pada besi reaksi korosi akan menyebabkan bagian permukaan pada besi mengalami pengelupasan.

Hampir semua kerusakan pada bagian luar pile baja disebabkan oleh korosi eksternal. Secara garis besar korosi ada dua jenis yaitu: Korosi Internal yaitu korosi yang terjadi akibat adanya kandungan CO_2 dan H_2S pada minyak bumi, sehingga apabila terjadi kontak dengan air akan membentuk asam yang merupakan penyebab korosi.

Korosi Eksternal yaitu korosi yang terjadi pada bagian permukaan dari sistem perpipaan dan peralatan, baik dengan udara bebas dan permukaan tanah akibat adanya kandungan zat asam pada udara dari tanah.

2.2.3 Metode Pencegahan Korosi Pada Logam

Dengan adanya korosi yang terjadi maka pencegahan harus dilakukan untuk mengurangi laju korosi pada struktur. Metode yang biasanya digunakan adalah :

1. Dibalut plastik

Plastik adalah salah satu bahan yang dapat digunakan untuk mencegah korosi pada besi dengan cara melindungi besi untuk kontak langsung dengan air, namun penggunaan plastik ini hanya terbatas untuk besi berukuran kecil.

2 Pengecatan

Pencegahan korosi dengan pelapisan cat banyak digunakan pada industri. Bahan cat yang terdiri dari seng dan timbal akan melindungi besi dari korosi.

3 Galvanisasi

Galvanisasi adalah pencegahan korosi dengan cara melapisi logam dengan seng (Zn), dimana Zn adalah unsure kimia yang dapat melindungi logam meskipun permukaannya sendiri mengalami pengelupasan. Hal ini dikarenakan potensial electrode pada logam lebih negative atau lebih rendah dibandingkan dengan seng (Zn)

4 Chromium plating

Chromium plating adalah metode pencegahan korosi dengan cara melapisi logam yang akan dilindungi dengan menggunakan krom (Cr). Krom mampu memberikan suatu lapisan pelindung pada logam yang dilapisi. Selain itu krom memiliki kelebihan untuk membuat permukaan logam semakin mengkilap.

5 Perlindungan Anodik

Metode ini dikembangkan menggunakan prinsip kinetika dari elektroda. Secara sederhana, proteksi anodik bekerja berdasarkan susunan lapisan pelindung pada logam yang dihasilkan dari arus anodik yang dialirkan dari luar. Proteksi anodik mempunyai kelebihan yang unik, contohnya adalah arus yang dialirkan biasanya sebanding dengan laju korosi dari sistem yang dilindungi. Sehingga proteksi anodik tidak hanya melindungi tapi juga memberikan nilai langsung laju korosi untuk monitoring sistem. Proteksi anodik ini biasa digunakan untuk melindungi peralatan yang digunakan untuk menyimpan dan menangani asam sulfat (H_2SO_4).

6. Elektroda Acuan

Elektroda acuan (*Reference Electrode*) adalah suatu elektroda yang mempunyai potensial elektroda stabil dan diketahui nilainya. Potensial elektroda yang mempunyai tingkat stabilitas yang tinggi biasanya dicapai dengan menerapkan sistem Redoks, dimana konsentrasi setiap partisipannya dibuat konstan (*buffered atau saturated*).

Terdapat banyak jenis elektroda acuan yang biasa digunakan tergantung keperluannya, dan yang biasa digunakan pada sistem proteksi katodik adalah Cu/CuSO₃, Ag/AgCl dan Zinc Reference Electrode. Berikut adalah beberapa jenis elektroda acuan beserta potensialnya:

1. *Standard Hydrogen Electrode* (SHE) ($E=0.000\text{ V}$) aktifitas ion $H^+=1$
2. *Normal Hydrogen Electrode* (NHE) ($E \approx 0.000\text{ V}$) konsentrasi ion $H^+=1$
3. *Reversible Hydrogen Electrode* (RHE) ($E=0.000\text{ V} - 0.0591 \cdot \text{pH}$)
4. *Saturated Calomel Electrode* (SCE) ($E=+0.242\text{ V saturated}$)
5. *Copper-Copper(II) Sulfate Electrode* ($E=+0.314\text{ V}$)
6. *Silver Chloride Electrode* ($E=+0.197\text{ V saturated}$)
7. *Ph-Electrode*
8. *Palladium-Hydrogen Electrode*
9. *Dynamic Hydrogen Electrode* (DHE)

Silver/Silver Chloride Reference Electrode (Ag/AgCl) adalah jenis elektroda acuan yang paling banyak digunakan karena sederhana, murah, sangat stabil dan tidak beracun. Elektroda acuan ini biasa digunakan dengan elektrolit KCl jenuh sebagai buffer-nya, dan dapat juga digunakan dengan konsentrasi yang rendah seperti 1M KCl bahkan dapat juga secara langsung menggunakan air laut.

Elektroda Ag/AgCl umumnya terbuat dari kawat silver/perak (Ag) yang dilapisi dengan lapisan tipis perak klorida (AgCl). Ketika elektroda ditempatkan ke dalam larutan potasium klorida jenuh (KCl) maka akan menghasilkan potensial 197 mV vs. SHE. Potensial dari

reaksi setengah selnya ditentukan oleh konsentrasi klorida dalam larutan.

Elektroda acuan Ag/AgCl menghasilkan potensial yang sebanding dengan konsentrasi ion klorida, baik itu dari sodium klorida, potasium klorida, amonium klorida atau beberapa garam klorida lainnya, dan nilainya akan selalu konstan selama konsentrasi ion kloridanya juga konstan.

7. Perlindungan katodik

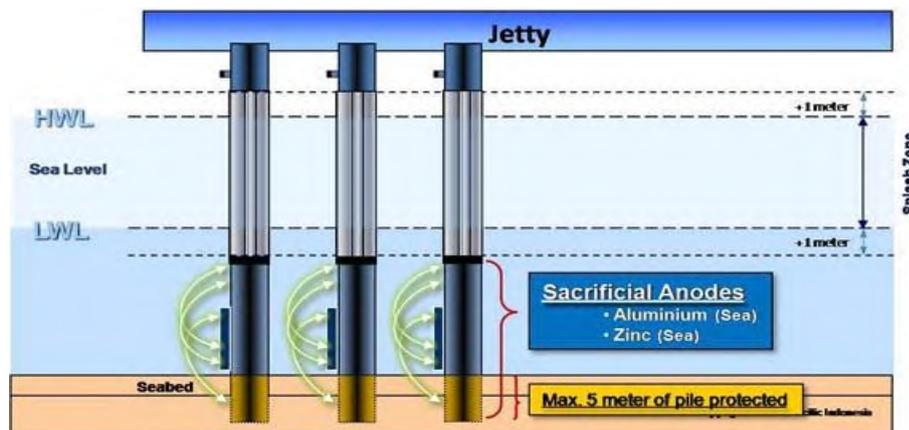
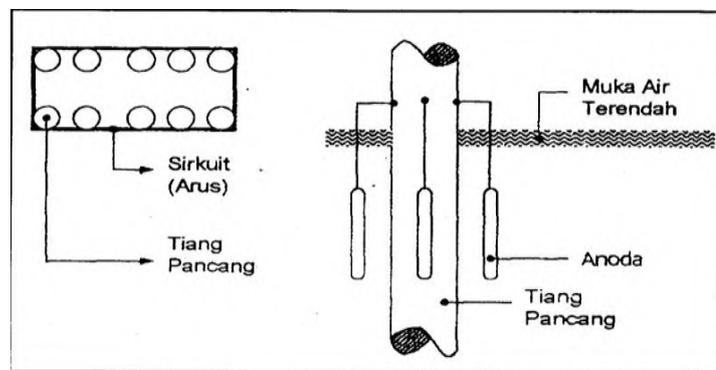
Perlindungan katodik didefinisikan sebagai proses pengurangan serangan korosi dengan cara membuat logam yang terkorosi tersebut menjadi bersifat katodik seperti memasukkan arus paksa arus listrik searah (impressed current) atau dengan cara memasang anode yang ditumbalkan (sacrificial anode).

Pada sistem anoda korban tidak memerlukan supply daya. Anoda korban akan membangkitkan arus yang diperlukan sebagai akibat adanya perbedaan potensial dengan struktur yang dilindungi. Adanya pembangkitan arus dari anoda korban mengakibatkan umur anoda korban terbatas. Jenis logam yang biasanya digunakan sebagai anoda korban antara lain magnesium, seng dan aluminium.

Sistem proteksi katodik arus tanding adalah memanfaatkan arus searah yang disupply dari sumber daya dimana kutub positif dari sumber daya dihubungkan dengan anoda sedangkan kutub negatif dihubungkan dengan sistem yang akan diproteksi. Anoda yang digunakan umumnya memiliki umur yang lebih panjang seperti besi cor berkadar silikon tinggi, grafit atau aluminium. Sedangkan sumber daya yang digunakan tergantung mudah atau tidaknya jaringan listrik yang diperoleh. Untuk mengkonversikan arus AC menjadi DC digunakan 10 rectifier. Jika tidak memungkinkan maka dapat digunakan baterai sebagai sumber penyuplai arus searah.

2.2.4 Sacrificial Anode Cathodic Protection (SACP)

Arus listrik disuplai dari proses korosi yang terjadi pada sumber arus listrik yang terbuat dari logam aktif seperti zinc dan aluminium yang memiliki arus positif yang lebih besar daripada logam. Perbedaan potensial elektron ini menyebabkan adanya daya tarik elektron bebas negatif yang lebih besar daripada daya tarik ion-ion pada logam. Hal ini mengakibatkan sumber arus listrik tersebut akan terserang korosi dan sebaliknya logam akan terlindungi korosi.



Gambar 2.1 Skema Metode SACP (Sumber : Imbema Pacific Indonesia)

Prinsip kerja dari sistem sacrificial anode seperti pada Gambar 2.1 diatas adalah dengan menciptakan elektrokimia galvanis dimana dua logam yang berbeda akan dihubungkan sehingga logam yang lebih aktif dalam seri galvanic akan menjadi anoda terhadap logam yang kurang aktif dan terkonsumsi secara elektrokimia. Logam yang kurang aktif akan

menerima proteksi katodik pada permukaannya karena adanya aliran listrik melalui elektrolit dari logam anodic sehingga logam yang dilindungi akan menerima electron.

Menurut Trethewey dan Chamberlain (1988) anoda tumbal (*sacrificial anode*) merupakan jenis / metode pencegahan terhadap korosi yang paling tepat digunakan pada struktur bawah laut. Cara yang paling sederhana untuk menjelaskan proteksi katodik dengan anoda tumbal adalah dengan menggunakan konsep sel korosi basah. Yaitu bahwa dalam sel, anodalah yang terkorosi sedangkan yang tidak terkorosi adalah katoda. *Elektron* disuplai kepada logam yang diproteksi oleh anoda buatan sehingga elektron yang hilang dari daerah anoda tersebut selalu diganti, sehingga akan mengurangi proses korosi dari logam yang diproteksi. Anoda buatan tersebut ditanam dalam suatu elektrolit yang sama (tanah lembab atau air laut) dengan logam yang akan diproteksi dan antara struktur dihubungkan dengan kabel yang sesuai agar proses listrik di antara anoda dan pipa tersebut dapat mengalir secara terus menerus.

Dalam mendesain suatu perlindungan, yang pertama kali dianalisa sebaiknya adalah komposisi material anoda yang akan ditumbalkan. Anoda ini haruslah lebih bersifat korosif daripada katoda. Apabila sifat material anoda sama korosif atau tidak lebih korosif daripada katoda yang akan dilindungi, tentunya tujuan awal proteksi katoda menjadi tidak tercapai.

2.2.4.1 Aspek Teknis SACP

Analisa aspek teknis adalah peninjauan sistem dalam bidang teknis, hal ini berhubungan dengan kelayakan system sacrificial anode dalam melakukan kinerjanya, diawali dengan pendisainan sistem sesuai dengan kebutuhan objeknya. Kemudian diikuti dengan perancangan pemasangan sistem *SACP* secara baik dan benar. Bukan hanya pemasangan yang harus sesuai standar, namun perawatan sistem ini juga harus diperhatikan, hal ini berfungsi agar system tetap berjalan efektif, efisien, dan lancar.

2.2.4.2 Aspek Ekonomis SACP

Analisa ekonomis dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pembiayaan yang harus dilakukan pada sistem SACP, dan pertimbangan yang penting dalam pemilihan perlindungan katodik. Pembiayaan yang lebih murah menjadi pertimbangan dalam pemilihan sistem mana yang paling pas digunakan dalam perlindungan kapal terhadap korosi. Perhitungan pembiayaan disesuaikan dengan tahapan pada analisa teknis ketiga sistem, tahapan tersebut antara lain tahap desain, tahap instalasi dan tahap maintenance

2.2.4.3 Kelebihan dan Kekurangan SACP

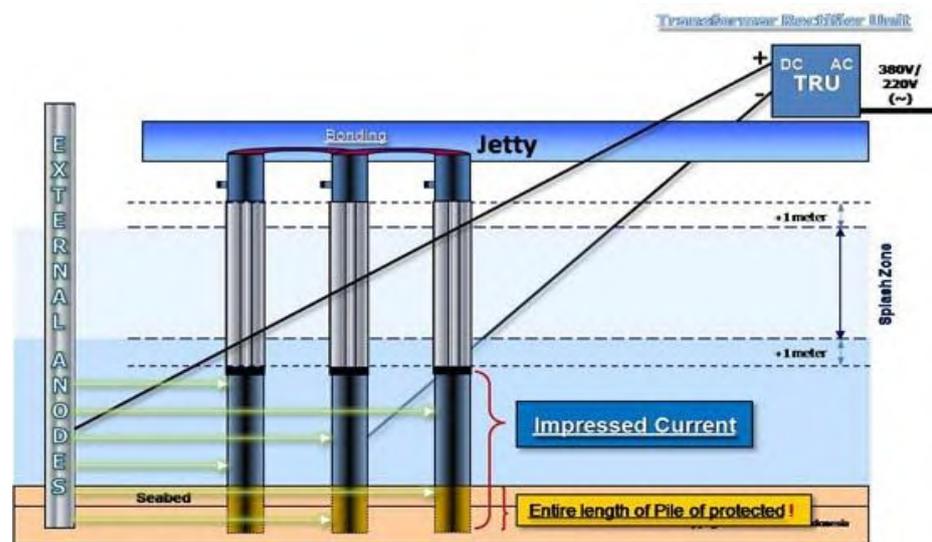
1. Kelebihan Sacrificial anode :
 - a. Dapat dipakai meski tidak ada tenaga/tegangan
 - b. Lebih murah
 - c. Lebih sedikit pengawasannya
 - d. Kemudahan dalam instalasi dan anoda tambahan bisa ditambahkan bila proteksi yang sudah ada ternyata tidaklah cukup
 - e. Anoda tidak mungkin terpasang secara salah, beda halnya jika arus dipasang dengan salah arah, akan mengakibatkan penambahan korosi sebagai ganti dari proteksinya Secara umum, proteksi berlebihan tidak akan terjadi.

2. Kekurangan Sacrificial Anode :
 - a. Ketersediaan arus tergantung pada luasan anode, sehingga pada struktur - struktur yang berukuran besar akan membutuhkan banyak anode
 - b. Ada batasan untuk keberadaan voltase yang dikendalikan dan ini adalah transaksi yang menguntungkan yang lebih rendah dari sistem impressed current
 - c. Permintaan akan lingkungan dengan tingkat konduktif yang tinggi bukanlah masalah dalam lingkungan laut tapi menjadi masalah di tanah.

2.2.5 *Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)*

Perlindungan katodik dalam kasus ini adalah dengan mengaplikasikan katodik pada permukaan yang terkorosi. Metode ini adalah metode proteksi dengan menggunakan sumber arus yang berasal dari luar. Dari arus AC yang dilengkapi dengan sistem penyearah arus (*rectifier*) sehingga menjadi arus DC. Pada metode ini kutub negative dihubungkan ke struktur yang dilindungi. Sedangkan kutub positif dihubungkan ke anoda.

Pada prinsipnya sistem proteksi katodik arus paksa sama dengan anoda tumbal, hanya saja kebutuhan arus elektronnya disuplai dari luar sistem yaitu dari anoda yang dihubungkan ke sumber arus DC. Sumber arus DC dapat dihasilkan dari berbagai sumber seperti baterai, solar sel, dan generator. Idanya adalah dengan membanjiri struktur logam yang akan dilindungi dengan sumber elektron dari luar sistem sehingga membuat struktur logam tersebut menjadi bersifat katodik dan membuat struktur logam imun terhadap korosi.



Gambar 2.2 Skema Metode ICCP (Sumber: Imbema Pacific Indonesia)

Seperti pada Gambar 2.2 anoda dipasang di tempat logam yang akan diproteksi berada dan dihubungkan ke terminal positif dari output rectifier. Sedangkan logam yang akan dilindungi dihubungkan ke terminal

negatif dari output rectifier. Aliran arus akan mengalir dari anoda melalui elektrolit di dalam air laut dan sampai ke logam. Sistem proteksi katodik arus paksa dapat memiliki banyak konfigurasi anoda yang tergantung pada elektrolit dan logam yang akan dilindunginya.

Jenis anoda yang digunakan pada sistem *Impressed Current Cathodic Protection* ini adalah *galvanic cathodic* karena kebutuhan arus proteksinya baik dibandingkan dengan proteksi dengan berbahan lain. Jenis anoda yang digunakan harus mempunyai masa aktif yang lama. Dengan demikian, material seperti platinum, magnet, baja silikon, dan grafit biasanya digunakan pada pengaplikasian tersebut.

Anoda yang digunakan tidak harus lebih reaktif daripada struktur logam yang akan dilindungi, anoda yang digunakan biasanya bersifat inert dan memiliki ketahanan yang tinggi terhadap serangan korosi. Anoda dapat terbuat dari material seperti graphite, logam paduan, dan *mixed-metal oxide-coated titanium (MMO)*. Kriteria yang ideal untuk anoda menurut Shreir dan Hayfield :

1. Laju konsumsi yang rendah
2. Tingkat polarisasi yang rendah
3. Konduktifitas listrik yang tinggi
4. Kemudahan dalam instalasi
5. Kuat secara fisik, sehingga tidak mudah mengalami kerusakan
6. Tahan terhadap abrasi dan erosi
7. Mudah dibentuk
8. Biaya yang rendah

Mode arus tetap adalah salah satu yang digunakan dalam sistem *Impressed Current Cathodic Protection*. Dengan menentukan nilai arus tetap dan mengontrol potensi objek, kinerja sistem dapat dioptimalkan. Namun nilai parameter operasi lainnya tetap konstan, karena variasi pada daerah yang terproteksi akan menyebabkan variasi pada arus.

2.2.5.1 Aspek Teknis ICCP

Aspek teknis yang harus diperhatikan dalam sistem ICCP, antara lain:

1. Tahap desain

Tahap desain ini meliputi kondisi lapisan pelindung, luas area permukaan yang akan diproteksi, kebutuhan arus proteksi, kebutuhan jumlah anoda, tahanan anoda terhadap air laut, tahanan kabel DC dari anoda menuju junction box, tahanan kabel DC dari junction box menuju rectifier, tahanan total sirkuit DC, tegangan DC rectifier, total tegangan DC rectifier, kebutuhan daya AC yang diperlukan untuk rectifier serta kapasitas transformer yang diperlukan.

2. Tahap Instalasi

Tahap instalasi meliputi pemasangan anoda yang digunakan dalam sistem ICCP dengan FRP, pemasangan FRP dengan stainless band pada pile, pemasangan junction box tepat berada di samping FRP dan peletakan posisi rectifier pada tempat yang aman.

3. Tahap maintenance sistem ICCP

Tahap maintenance meliputi pengukuran potensial (tegangan) struktur terhadap elektrolit dengan menggunakan High Impedance Voltmeter dan reference electrode untuk membuktikan apakah struktur tersebut mengalami korosi atau tidak.

2.2.5.2 Aspek Ekonomis ICCP

Aspek ekonomis yang harus diperhatikan antara lain :

1. Perhitungan Ekonomis

Perhitungan ICCP meliputi biaya pembelian peralatan (rectifier, anoda, junction box, kabel) biaya instalasi (biaya pemasangan anoda, pembelian pelindung kabel, pengikat anoda) dan biaya maintenance sistem (biaya perawatan dan biaya inspeksi terhadap peralatan apabila terjadi kerusakan).

2.2.5.3 Kelebihan dan Kekurangan ICCP

Kelebihan Sistem Impressed Current :

1. Memiliki driving force yang besar, sehingga dapat digunakan untuk struktur yang besar.
2. Uncoated, yang berada dalam lingkungan resistivitas yang tinggi, hanya memerlukan beberapa anoda.
3. Relatif lebih sedikit dibandingkan metode anoda korban.
4. Selain itu dengan metode arus tanding ini dapat diatur jika ada perubahan kondisi lingkungan dan coating.

Kekurangan Sistem Impressed Current :

9. Arus baru berfungsi melindungi kalau dapat mengalir pada benda yang akan dilindungi.
10. Arus harus dapat mengalir melalui penghantar (misalnya, air, atau tanah basah). Arus tidak akan mengalir di udara maupun tanah/ pasir yang kering
11. Hubungan arus tidak boleh terbalik, Apabila pemasangan hubungan positif pada struktur yang dilindungi dan negatif pada ground bed, maka struktur justru akan berkorosi lebih cepat dari pada tanpa dilindungi.

2.2.6 Inflasi

Inflasi adalah suatu keadaan dimana terjadi proses kenaikan harga-harga barang umum secara terus-menerus dalam kurun waktu tertentu. Atau merupakan suatu keadaan dimana terjadi penurunan nilai uang. Sesuai dengan definisi dan teori kuantitas, inflasi terjadi karena semakin meningkatnya jumlah uang yang beredar dalam masyarakat (daya beli) tanpa diimbangi peningkatan jumlah barang. Sedangkan deflasi merupakan kejadian sebaliknya, dimana dalam perekonomian terjadi proses penurunan harga atas barang-barang umum secara terus-menerus dalam kurun waktu tertentu.

Pada intinya inflasi dan deflasi terjadi karena adanya ketidakseimbangan antara jumlah uang yang beredar atau M (termasuk didalamnya kecepatan peredaran uang itu sendiri) dengan jumlah barang yang diperdagangkan atau T . Dalam keadaan inflasi ; $M > T$. Sedangkan deflasi terjadi apabila $M < T$.

Perlu diketahui adanya gejala-gejala yang umum terjadi bahwa kenaikan harga barang-barang dalam keadaan inflasi dan penurunan harga dalam keadaan deflasi memiliki tingkat kenaikan atau penurunan harga untuk setiap barang tidak sama. Bahkan kadang-kadang kita jumpai terdapat barang yang harganya justru naik pada keadaan deflasi dan turun harganya saat terjadi inflasi. Ada pula barang-barang yang harganya hampir tidak dapat dipengaruhi inflasi dan deflasi, yaitu barang-barang yang sangat dibutuhkan manusia tetapi untuk memperolehnya hanya perlu memberikan pengorbanan yang relatif kecil income kita, misalnya ; garam.

2.2.6.1 Sebab-sebab timbulnya inflasi dan deflasi

Inflasi selalu berhubungan dengan nilai mata uang. Dalam keadaan inflasi nilai riil mata uang akan mengalami penurunan dan sebaliknya dalam keadaan deflasi nilai riil mata uang mengalami kenaikan. Menurut rumus Irving Fisher, yang menyebabkan perubahan nilai mata uang dikelompokkan menjadi tiga faktor, yaitu : M, V dan T . Faktor M dan V adalah faktor moneter sedang faktor T adalah faktor perdagangan barang-barang. Turunnya nilai uang atau inflasi disebabkan oleh naiknya M dan V , atau keadaan tidak adanya keseimbangan antara M, V dan T .

Berdasarkan pertimbangan tiga faktor tersebut diatas maka secara garis besar terdapat tiga sektor yang dapat menimbulkan inflasi dan deflasi.

a. Sektor impor dan ekspor

Jika ekspor dari suatu negara lebih besar dari pada impor maka akan terjadi tambahan inflasi. Ini disebabkan devisa yang diperoleh oleh para eksportir oleh pemerintah dibayar dengan mata uang Rupiah (M

bertambah), sedang devisa itu sendiri menjadi milik pemerintah. Kejadian sebaliknya menimbulkan deflasi.

b. Sektor saving dan investasi

Apabila investasi suatu negara lebih besar daripada saving maka akan terjadi tekanan inflasi. Sebab apabila investasi lebih besar dari saving maka kekurangannya terpaksa dibayar dengan tambahan uang, akibatnya M naik. Apabila saving lebih besar dari pada investasi, maka akan terjadi deflasi.

c. Sektor anggaran belanja negara

Bila neraca anggaran belanja negar selalu mengalami defisit (pengeluaran lebih besar dari penerimaan) maka untuk menutupi defisit tersebut biasanya diadakan percetakan uang baru, ini berarti ada tambahan M dalam masyarakat.

Tambahan M ini secara psikologis akan mempengaruhi orang lebih senang menahan barang dari pada uang, selanjudnya mengakibatkan V naik dan inflasi pada rate yang lebih tinggi tidak dapat dihindarkan sebaliknya untuk deflasi.

Memperhatikan tiga sektor tersebut, maka dapat dikatakan bahwa sektor pemerintah dan sektor swasta merupakan penyebab timbulnya inflasi.

2.2.6.2 Macam-macam Inflasi

Ada berbagai cara untuk menggolongkan macam inflasi, dan penggolongan mana yang akan dipilih tergantung dari tujuan yang ingin dicapai. Penggolongan pertama, didasarkan atas 'parah' tidaknya inflasi tersebut. Disini dibedakan antara lain :

- a) Inflasi ringan (dibawah 10 % setahun),
- b) Inflasi sedang (antara 10 % -< 30 % setahun),
- c) Inflasi berat (antara 30 % – 100 % setahun),
- d) Hiper-inflasi (diatas 100 % setahun).

Penggolongan kedua, adalah atas dasar sebab-sebab awal dari inflasi antara lain :

- a) Demand full inflation, yaitu inflasi yang ditimbulkan karena permintaan total masyarakat akan berbagai barang tumbuh lebih cepat dibandingkan dengan tingkat out-put pada full employment.
- b) Cost push inflation, yaitu inflasi yang diakibatkan oleh adanya kenaikan ongkos-ongkos perusahaan atau naiknya harga-harga faktor-faktor produksi. Kalau inflasi disebabkan oleh kenaikan upah tenaga kerja disebut wages inflation. Seandainya kenaikan harga faktor produksi ini terjadi berulang-ulang akan mengakibatkan terjadinya spiral inflation.
- c) Bottleneck inflation, ialah inflasi yang disebabkan oleh berubahnya struktur pemerintahan yang lebih cepat daripada pergeseran-pergeseran didalam peredaran barang (distribusi barang).

Penggolongan ketiga, adalah atas dasar asal inflasi, yaitu :

- a) Inflasi yang berasal dari dalam negeri (domestic inflation) misalnya ; ditimbulkan oleh defisit anggaran belanja yang dibiayai dengan pencetakan uang baru, panen gagal, dan sebagainya.
- b) Inflasi yang berasal dari luar negeri (imported inflation), misalnya ditimbulkan oleh kenaikan harga-harga barang import dari luar negeri.

2.2.6.3 Cara-cara mengatasi inflasi

a. Melalui kebijakan moneter. Kebijakan ini dilakukan oleh bank sentral dengan cara :

- 1) Politik diskonto (menaikkan suku bunga tabungan dan kredit agar masyarakat tertarik menabung dan mengurangi kredit).
- 2) Politik pasar terbuka (menurunkan tingkat bunga obligasi (Sertifikat Bank Indonesia / SBI agar masyarakat tertarik membeli).
- 3) Menaikkan cash ratio bank-bank kredit (pembatasan jumlah kredit bank).

b. Melalui kebijaksanaan fiskal (dilakukan oleh pemerintah) dengan cara :

- 1) Penurunan pengeluaran pemerintah (untuk pekerjaan umum).
- 2) Menaikkan pajak-pajak.
- 3) Mengadakan pinjaman-pinjaman pemerintah, misalnya dengan membekukan simpanan masyarakat di bank untuk jangka waktu tertentu, mengurangi nilai uang oleh pemerintah (pernah dilakukan Indonesia ‘Gunting Syafrudin’ tahun 1959).

c. Melalui kebijaksanaan non-moneter (kebijaksanaan sektor riil) dengan cara-cara sebagai berikut :

- 1) Menaikkan hasil-hasil produksi.
- 2) Kebijakan upah.
- 3) Pengawasan harga dan distribusi barang-barang

2.2.7 NACE dan DNV

1. NACE *International*

NACE International, yang didirikan pada tahun 1943 adalah organisasi profesional untuk industri pengendalian korosi dengan kantor pusat di Houston, Texas. Fokus utama NACE untuk kegiatan meliputi perlindungan katodik, coating untuk industri, inspeksi, pengujian korosi, dan pemilihan material untuk ketahanan kimia tertentu. NACE dikenal sebagai *National Association of Corrosion Engineers*. NACE menerbitkan Kinerja jurnal Material (MP) dan Korosi. NACE juga menerbitkan praktek standar, metode uji, dan kebutuhan bahan standar untuk digunakan oleh industri dan masyarakat Korosi lainnya.

NACE mengadakan Konferensi tahunan yang diadakan di Amerika Serikat untuk seluruh organisasi dan beberapa pertemuan regional dan konferensi di seluruh dunia. NACE memberikan sertifikasi dan paket pelatihan bagi anggota dalam industri, yang dapat diperoleh melalui ujian, pengalaman kerja, atau pendidikan melalui sebuah universitas terakreditasi. Sebuah daftar lengkap dari sertifikasi dapat ditemukan di *website NACE Institute*.

2. Det Norske Veritas (DNV)

DNV GL adalah standard yang menaungi klasifikasi, verifikasi, manajemen risiko, dan *rules* untuk perindustrian kemaritiman pada *safety*, peningkatan kinerja, efisiensi bahan bakar, dll Sebagai klasifikasi masyarakat. DNV GL menetapkan standar untuk kapal dan struktur lepas pantai - yang dikenal sebagai Kelas Aturan. Mereka terdiri keamanan, keandalan dan persyaratan lingkungan yang kapal dan struktur selular lepas pantai lainnya di perairan internasional harus mematuhi. DNV GL diberi wewenang oleh 130 administrasi maritim untuk melakukan sertifikasi atau verifikasi atas nama mereka.

DNV menjadi *rules* untuk industri minyak dan gas dunia, manajemen risiko dan klasifikasi lepas pantai. DNV juga bekerja sama dengan perusahaan minyak dan gas untuk mengidentifikasi dan mengendalikan risiko, meningkatkan keamanan dan kinerja, dan menjamin keandalan pengembangan dan pengoperasian proyek.

3. Perbedaan Perhitungan NACE dan DNV

Dalam tugas akhir ini, standard yang dipakai untuk ICCP adalah NACE RP1076, sedangkan untuk SACP menggunakan 2 standard dalam 2 perhitungan, yaitu NACE RP1076 dan DNV RP B401. Perbedaan dari kedua *rules* tersebut terletak *pada breakdown coating factor*. Breakdown coating factor dalam NACE lebih kecil dari DNV. Hal ini akan mempengaruhi perhitungan selanjutnya yaitu perhitungan kebutuhan arus proteksi. Akan tetapi hasil perhitungan akhir antara kedua *rules* tersebut hampir mendekati dan tidak terjadi selisih yang begitu banyak, serta keduanya memenuhi kriteria.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Menjawab dari semua perumusan masalah, ada beberapa kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian dan analisis pada tugas akhir ini adalah :

1. Prosedur perhitungan untuk sistem *ICCP* berdasar pada NACE RP 0176 diantaranya dengan menghitung luas area yang akan diproteksi, keluaran arus yang dibutuhkan, kebutuhan jumlah anoda, parameter kabel DC, perhitungan tahanan kabel, tahanan anoda, tegangan DC *rectifier*, kebutuhan daya AC, dan yang terakhir menghitung kapasitas yang dibutuhkan *rectifier*. Sehingga hasil yang didapat dari perhitungan kebutuhan tersebut adalah 40 anoda *Metal Mixed Oxide* dengan 8 *rectifier*. Dari aspek ekonomis, biaya total *ICCP* adalah Rp 4.421.733.000,00. Biaya total meliputi biaya desain, biaya instalasi, dan biaya *maintenance*.
2. Prosedur perhitungan untuk sistem *SACP* berdasarkan pada NACE RP 0176 diantaranya dengan menghitung luas area yang akan diproteksi, breakdown coating, jumlah arus yang dibutuhkan, kebutuhan berat anoda, dan yang terakhir menghitung kebutuhan jumlah anoda. Sehingga hasil yang didapat dari perhitungan kebutuhan tersebut adalah 1 buah long slender stand-off aluminium anode dengan berat 16 kg pada *pile* dengan luas area 32 m² dan 1 buah long slender stand-off aluminium anode dengan berat 26 kg pada *pile* dengan luas area 51 m².

Sedangkan untuk perhitungan *SACP* yang menggunakan DNV RP B401 hasil yang didapat dari perhitungan kebutuhan tersebut adalah 1 buah long slender stand-off aluminium anode dengan berat 18 kg pada *pile* dengan luas area 32 m² dan 1 buah long slender stand-off aluminium anode dengan berat 29 kg pada *pile* dengan luas area 51 m².

Dari hasil kedua perhitungan tersebut, *standard* perhitungan yang dipakai adalah NACE RP 0176. Karena jumlah anoda yang dibutuhkan lebih sedikit, akan tetapi masih tetap memenuhi *standard*. Dari aspek ekonomis, biaya total *SACP* adalah Rp. 6.664.173.000,00. Biaya total meliputi biaya desain, biaya instalasi dan biaya *maintenance*.

3. Secara teknis kedua sistem berdasarkan pada *NACE Standard* dan *DNV Standard*, sehingga kedua sistem memenuhi kriteria teknis. Namun pada segi ekonomis sistem *ICCP* ternyata lebih menghemat dengan biaya Rp 4.421.733.000,00. Lebih hemat Rp 2.242.440.000,00 dari sistem *SACP*.

5.2 Saran

Beberapa hal yang bisa di sarankan dari tugas akhir ini adalah :

1. Diperlukan analisis lebih lanjut mengenai perancangan desain proteksi katodik dengan variasi bahan anode pada stuktur dermaga.
2. Diperlukan adanya sistem perhitungan yang lebih cepat dan tepat seperti menggunakan software.
3. Diperlukan adanya sistem perhitungan perlindungan korosi pada bangunan laut selain pada struktur dermaga.

DAFTAR PUSTAKA

- NACE RP 0176. 2007. *Corrosion Control of Steel Fixed Offshore*. (Houston, TX: NACE).
- NACE RP-0286-97 *Electrical Isolation Of Cathodically Protected Pipelines* - A.W. Peabody,
Control of Pipeline Corrosion, NACE International The Corrosion Society
- Det Norske Veritas. 2010. *DNV RP B401 Cathodic Protection Design*. Norway.
- Bushman. *Impressed Current Cathodic Protection System Design*. Bushman & Associates, Inc. Ohio
- Chandler, K.A. 1985. **Marine and offshore corrosion**. Butterworths . London
- Hudi, Fajar A. 2013. **Analisis Desain Sacrificial Anode Cathodic Protection Pada Jaringan Pipa Bawah Laut**. Tugas akhir Prodi Teknik Kelautan Institut Teknologi Bandung. Bandung
- Puwanta. 2012. **Analisis Sitem Proteksi Korosi Untuk Pipa Petroleum Gas, Material API-5L X52**. Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Universitas Gresik. Gresik
- Hudi, Fajar A. 2013. **Analisis Desain Sacrificial Anode Cathodic Protection Pada Jaringan Pipa Bawah Laut**. Tugas akhir Prodi Teknik Kelautan Institut Teknologi Bandung. Bandung
- Jones, Denny. 1996. **Principles and Prevention of Corrosion**. New York: Macmillan Publishing Company.
- NACE RP 0176. 2007. *Corrosion Control of Steel Fixed Offshore*. (Houston, TX: NACE).
- Amarta, Rifqy. 2009. **Studi Impressed Current Cathodic Protection Pada Baja Aisi 1018 Dengan Menggunakan Anoda Scrap Steel Dan Penggunaan Tembaga Sebagai Anoda Kedua Pada Medium Nacl**. Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro.Semarang
- Mars, G. Fontana. **Corrosion Engineering**, 3rd edition.1987. New York: Mc Graw-Hill Book Company.
- Marsahall E.Parker, Edward G. Peatie. 1984. **Pipe-line Corrosion dan Cathodic Protection**, 3rd edition. Texas: Gulf Publishing Company.
- Roberge, P.R. 1999. **Handbook of Corrosion Engineering**. New York: Mc Graw-Hill Book Company.
- Supomo, Heri. 1999. **Diktat Kuliah Korosi**. FTK-ITS Surabaya.
- Zainab, (2008). **Studi Perbandingan Sistem Perlindungan Korosi Sacrificial Anode dan Impressed Current Pada Struktur Jacket**, Surabaya : Jurusan Teknik Sistem Perkapalan - Fakultas Teknologi Kelautan - Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Dimas Galang Arif Maulana. Dilahirkan di Probolinggo, 30 Juni 1993. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Lemah Kembar, SDN Sukabumi IV Probolinggo, SMPN 1 Kota Probolinggo, dan SMAN 4 Kota Probolinggo. Setelah lulus dari SMAN tahun 2011, Penulis diterima di Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS. Penulis terdaftar dengan NRP 4311100107. Di Jurusan Teknik Kelautan ini Penulis mengambil Bidang Perancangan dan Produksi Bangunan Lepas Pantai (Design and Production of Offshore Structure). Penulis pernah masuk dalam penelitian tentang *Aquaculture* yang di desain bersama beberapa dosen Teknik Kelautan ITS. Penulis termasuk aktif di beberapa kegiatan seminar, pelatihan ketrampilan mahasiswa yang diselenggarakan oleh jurusan maupun oleh luar jurusan. Penulis juga aktif dalam Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Musik dan pernah menjabat sebagai Kepala Divisi Musik Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan ITS pada periode 2013-2014.

For Contact : galangarifmaulana@yahoo.com
galangarifmaulana@gmail.com