



TUGAS AKHIR – MO 141326

**STUDI PERANCANGAN SISTEM PERLINDUNGAN KOROSI
DENGAN *IMPRESSED CURRENT CATHODIC PROTECTION*
(ICCP) PADA STRUKTUR JACKET**

Alvina Amadea Dwindhasari

4311 100 021

Dosen Pembimbing:

Herman Pratikno, S.T., M.Sc., Ph.D

Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2016



FINAL PROJECT – MO 141326
STUDY OF THE CORROSION PROTECTION DESIGN WITH
IMPRESSED CURRENT CATHODIC PROTECTION (ICCP)
ON JACKET STRUCTURE

Alvina Amadea Dwindhasari
4311 100 021

Supervisors :

Herman Pratikno, S.T., M.Sc., Ph.D

Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D

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

2016

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur penulis kepada ALLAH SWT yang telah memberikan rahmat dan karuniaNya, serta kepada seluruh pihak yang telah membantu, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik dan lancar. Tugas akhir ini berjudul “Studi Perancangan Sistem Perlindungan Korosi Dengan Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) Pada Stuktur Jacket”.

Tugas akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi kesarjanaan (S1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Tugas akhir ini membahas tentang perbandingan desain sitem perlindungan korosi antara SACP dan ICCP manakah yang lebih menguntungkan apabila ditinjau dari segi teknis maupun ekonomis.

Penulis menyadari dalam pengerjaan dan penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran sebagai bahan penyempurnaan pada laporan selanjutnya. Penulis berharap tugas akhir ini dapat mendukung kemajuan dunia pendidikan khususnya di bidang struktur lepas pantai.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Surabaya, 5 Januari 2016

Penulis

UCAPAN TERIMAKASIH

Banyak pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penulisan laporan tugas akhir ini. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kepada orangtua Ayah Suyono dan Ibu Aning Yuliandari serta keluarga yang selalu memberikan dukungan moral dan material yang tidak ada hentinya dalam penyelesaian tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Eng. Rudi Walujo P. S.T., M.T sebagai ketua jurusan teknik kelautan dan bapak Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D selaku ketua jurusan periode 2011/2015 atas dukungan yang telah diberikan.
3. Bapak Herman Pratikno.S.T., M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing I yang telah banyak memberikan ide, arahan dan bimbingan dalam pengerjaan tugas akhir ini hingga selesai.
4. Bapak Ir. Wisnu Wardhana.,S.E., M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing II tugas akhir yang juga banyak memberikan bimbingannya selama pengerjaan.
5. Kepada Bapak/Ibu staff Jurusan Teknik Kelautan yang banyak memberikan bantuan dan arahnya selama menjalani perkuliahan di Jurusan Teknik Kelautan.
6. Kepada teman-teman angkatan The Trident yang banyak membantu selama berjuang bersama di Jurusan Teknik Kelautan.
7. Dan kepada semua pihak yang terlibat dalam membantu penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini hingga selesai yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Akhir kata semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat kepada kita semua khususnya yang membaca.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

**STUDI PERANCANGAN SISTEM PERLINDUNGAN KOROSI
MENGUNAKAN *IMPRESSED CURRENT CATHODIC PROTECTION*
(ICCP) PADA STRUKTUR JACKET**

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

Alvina Amadea Dwindhasari

NRP. 4311 100 021

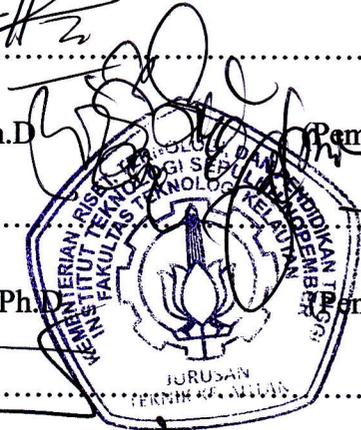
Disetujui oleh:

1. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D (Pembimbing 1)



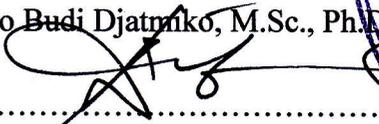
.....

2. Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D (Pembimbing 2)



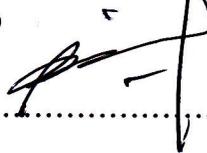
.....

3. Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D (Penguji 1)



.....

4. Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D (Penguji 2)



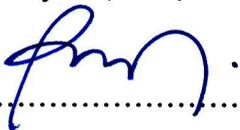
.....

5. Yoyok Setyo H. ST, MT, Ph.D (Penguji 3)



.....

6. Dr.Eng. Rudi Waluyo P., S.T., M.T (Penguji 4)



.....

STUDI PERANCANGAN SISTEM PERLINDUNGAN KOROSI DENGAN IMPRESSED CURRENT CATHODIC PROTECTION (ICCP) PADA STUKTUR JACKET

Nama Mahasiswa : Alvina Amadea Dwindhasari
NRP : 4311 100 021
Jurusan : Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Dosen Pembimbing : Herman Pratikno., S.T., M.Sc., Ph.D
Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D

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. *Jacket* struktur adalah sebuah bangunan yang hampir setiap bagiannya tersusun oleh material yang mudah terkorosi. Letak *jacket* struktur sendiri yang berada di laut lepas dan terkena reaksi elektrokimia terhadap lingkungannya membuat bangunan ini akan semakin cepat mengalami proses korosi. Oleh sebab itu perlu dilakukan perlindungan terhadap *jacket* struktur 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, 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 3 buah yg diletakkan di masing-masing *brace jacket* pada elevasi (-4.3)m dan (-17.1)m yang akan memproteksi struktur dari serangan korosi selama 20 tahun, dengan rencana kebutuhan meliputi pembelian bahan dan instalasi menghabiskan biaya sebesar \$1.670.000,00. Sedangkan untuk *sacrificial anode* menggunakan 9 buah anoda slender-stand-off aluminium dengan panjang anoda 0.24 m, dengan rencana kebutuhan meliputi pembelian bahan dan instalasi menghabiskan biaya sebesar \$3.250.000,00.

**STUDY OF THE CORROSION PROTECTION DESIGN WITH
IMPRESSED CURRENT CATHODIC PROTECTION (ICCP) ON
JACKET STRUCTURE**

Name : Alvina Amadea Dwindhasari
Reg Number : 4311 100 021
Department : Ocean Engineering FTK - ITS
Dosen Pembimbing : Herman Pratikno., S.T., M.Sc., Ph.D
Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D

ABSTRACT

Corrosion can be considered as an electrochemical events between the metal and its environment that produces a compound that is not desired. Corrosion itself can't be stopped but its speed can be reduced. If metal material is having corrosion, the material will be damaged, leaked, or explode. Almost every part of jacket Structure is composed of material that is easily corroded. The location of jacket structure that is exposed to the open sea and the electrochemical reaction to its environment makes this building decrease its quality faster. Therefore it is necessary for protection against corrosion in jacket structures. So jacket structure can be used optimally accordance to the system of work that has been planned in advance, and be functionally until the planned age. This study was already analyzed the protection system that suitable for the structure, in order to replace the previous protection system become more efficient and permanent. Protection system chosen was impressed current cathodic protection using 3 pieces MMO tubular anodes that are put on each jacket brace in elevation (-4.3) m and (-17.1) m which would protect the structure against corrosion for 20 years, with materials requirement plan includes the purchase and installation that costs of \$407.750,00. As for the sacrificial anode using 9 units slender-stand-off anodes with the aluminum anode 0.24 m long, with materials requirement plan includes the purchase and installation that costs of \$549.581,00.

Keywords— corrosion, corrosion protection, ICCP

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT.....	iv
KATA PENGANTAR	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	3
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	6
2.2.1 <i>Jacket Fixed Platform</i>	6
2.2.2 Pengertian Korosi	6
2.2.2.1 Mekanisme Proses Korosi	7
2.2.2.2 Metode Pencegahan Korosi	8
2.2.3 Impressed Current Cathodic Protection	10
2.2.3.1 Prinsip Dasar Sistem ICCP.....	11
2.2.3.2 Komponen Komponen ICCP.....	11
2.2.3.2 Keuntungan Dan Kerugian Sistem ICCP	13
2.2.4 Sacrificial Anode Cathodic Protections	14
2.2.5.1 Keuntungan Dan Kerugian Sistem SACP	15

2.2.5 Elektroda Acuan.....	15
2.2.6 Perancangan Proteksi Cathodic	17
2.2.7 Aspek Teknis Dan Ekonomis Perancangan Sitem Cathodic Protection	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1 Langkah Kerja.....	22
3.2 Prosedur Penelitian.....	23
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	26
4.1 Data Struktur	26
4.2 Perhitungan Desain Secara Teknis.....	28
4.2.1 Perhitungan Desain Teknis ICCP.....	29
4.2.2 Perhitungan Teknis Sistem SACP.....	33
4.2.3 Tahapan Instalasi Desain ICCP Dan SACP	35
4.3 Perhitungan Desain Secara Ekonomis	37
4.3.1 Perhitungan Desain Ekonomis ICCP	37
4.3.2 Perhitungan Desain Ekonomis SACP	38
4.4 Menghitung Laju Korosi Pada Sruktur	40
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	41
5.1 Kesimpulan	41
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Konstanta Factor Breakdown Coating	18
Tabel 2.2 Kategori Coating	18
Tabel 2.3 Mean Design Current Densities (A/m^2)	19
Tabel 2.4 Recommended Utilisation Factors	20
Tabel 4.1 Data Struktur EH-wellplatform.....	26
Tabel 4.2 Luas Area Proteksi	28
Tabel 4.3 Kebutuhan Arus Proteksi	29
Tabel 4.4 Tipe Anoda Mixed Metal Oxide	30
Tabel 4.5 Kebutuhan Jumlah Anoda	31
Tabel 4.6 Konstruksi Anoda.....	32
Tabel 4.7 Spesifikasi Kabel.....	32
Tabel 4.8 Tabel spesifikasi anoda	34
Tabel 4.9 Biaya Pengadaan Awal ICCP.....	37
Tabel 4.10 Biaya Pemasangan ICCP.....	38
Tabel 4.11 Biaya Pengadaan Awal SACP	39
Tabel 4.12 Biaya Pemasangan SACP	39

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A. Jacket Structure Definition

LAMPIRAN B. Impressed Current Cathodic Protection

LAMPIRAN C. Sacrificial Anode

LAMPIRAN D. Perhitungan Impressed Current Cathodic Protection

LAMPIRAN E. Perhitungan Sacrificial Anode

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Lokasi EH-well platform milik Pertamina	2
Gambar 2.1	Sistem Kerja ICCP	10
Gambar 2.2	Sistem Kerja SACP	14
Gambar 2.3	Ag/AgCl Reference electrode.....	17
Gambar 3.1	Diagram Alir	22
Gambar 4.1	Struktur EH-wellplatform.....	27
Gambar 4.2	Tubular MMO Anode.....	30
Gambar 4.3	Jenis anoda yang digunakan	34
Gambar 4.4	Peletakan Sistem ICCP Pada Struktur EH-Well Platform	35
Gambar 4.5	Peletakan SACP Pada Eh-Well Platform	36
Gambar 4.6	Laju Korosi Struktur Level 1 – Level 3.....	40

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Platform adalah bangunan laut yang sangat penting untuk menunjang proses produksi minyak bumi di lepas pantai. Salah satu jenis platform minyak lepas pantai yang banyak digunakan di Indonesia adalah *Jacket leg Platform*. Struktur Jacket merupakan bagian utama jacket platform yang berfungsi menopang bangunan atas (*deck*) sehingga mampu melakukan kegiatan pengeskplorasian sesuai dengan yang direncanakan (Harianto, 2014). Jacket berfungsi sebagai pondasi dan penahan gaya lateral untuk kestabilan konstruksi pada platform. Jacket sendiri dapat digunakan untuk menyangga peralatan seperti *riser* dan *boat landing*. Jacket merupakan salah satu struktur yang rentan terjadi korosi karena terletak di air laut sehingga diperlukan sistem perlindungan korosi.

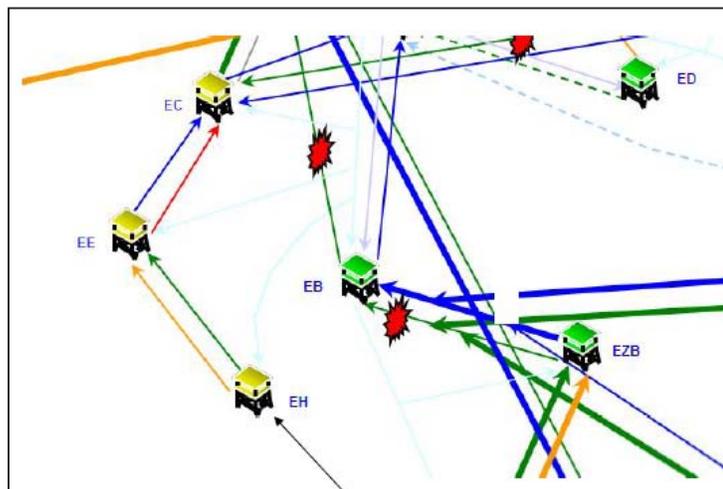
Korosi dapat dikatakan sebagai suatu peristiwa elektrokimia antar logam dengan lingkungannya yang menghasilkan senyawa yang tidak dikehendaki. Contoh korosi yang biasa terjadi adalah korosi pada logam besi. Korosi sendiri tidak dapat dihentikan namun dapat dikurangi laju korosinya. Pengendalian korosi yang terjadi di lingkungan laut pada dasarnya adalah masalah desain. Jika penggunaan pengendalian korosi tidak tepat maka umur pakai suatu peralatan industri yang seharusnya bisa dipertahankan atau bahkan diperpanjang menjadi semakin berkurang.

Metode pencegahan korosi pada struktur jacket dapat dilakukan dengan berbagai cara antara lain dengan menggunakan anoda tumbal (*sacrificial anode*), *impressed current cathodic protection* (ICCP), atau dengan pelapisan cat. Korosi yang terjadi pada struktur jacket mengakibatkan berkurangnya kekuatan struktur untuk menopang beban di atasnya. Jika penggunaan pengendalian korosi tidak tepat maka mengakibatkan timbulnya kesulitan dan kelambanan dalam menyelesaikan permasalahan-permasalahan korosi baru yang muncul selama operasi berjalan.

Pada tugas akhir ini akan dibahas tentang sistem perlindungan korosi yang paling ekonomis pada struktur jacket EH-well platform milik PHE ONWJ. Analisa desain berisi informasi tentang pemilihan tipe dan bahan anoda yang tepat serta biaya yang dibutuhkan dalam perancangan desain ini. Analisa teknis dan ekonomis juga digunakan pada sistem *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) yang akan dibandingkan dengan sistem *sacrificial anode* yang telah terpasang pada jacket tersebut.

Dalam hal ini untuk mendesain ICCP pada EH well platform ditinjau berdasarkan dari segi teknis maupun ekonomis. Segi teknis desain ICCP meliputi tahap perancangan, dan tahap instalasi, sedangkan untuk segi ekonomisnya meliputi biaya pembelian peralatan, biaya instalasi dan biaya perancangan untuk desain sistem ICCP. Kemudian desain ICCP akan dibandingkan dengan SACP yang mana ditinjau dari segi teknis maupun ekonomis.

Struktur yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah EH Well Platform, struktur platform dengan tiga kaki yang berlokasi di lapangan Arjuna, Laut Jawa, Indonesia. Struktur tersebut memiliki dua deck, yaitu main deck dan cellar deck. Platform ini selesai dibangun pada tahun 1982. Koordinat dari platform adalah $005^{\circ} 56' 19.00''$ Selatan, $107^{\circ} 55' 07.00''$ Timur. Lokasi platform terlihat seperti pada Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1.1 Lokasi EH-well platform milik Pertamina

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang menjadi kajian dalam Tugas Akhir ini antara lain:

- a. Bagaimana perencanaan dan mekanisme desain Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) bila ditinjau dari segi teknis dan dibandingkan dengan sistem sacrificial anode?
- b. Bagaimana perencanaan dan mekanisme desain Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) bila ditinjau dari segi ekonomis dan dibandingkan dengan sistem sacrificial anode?

1.3 Tujuan Penelitian

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

- a. Membuat desain sistem ICCP pada konstruksi jacket pada EH-well platform dari segi teknis dan dibandingkan dengan sistem SACP.
- b. Membuat desain sistem ICCP pada konstruksi jacket pada EH-well platform berdasarkan segi ekonomis dibandingkan dengan sistem SACP.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari penelitian yang dilakukan diharapkan dapat mengetahui parameter-parameter yang digunakan dalam mendesain sistem ICCP pada konstruksi jacket pada EH-well platform dari segi teknis maupun ekonomis dan juga apabila dibandingkan dengan sistem *sacrifial anode*.

1.5 Batasan Masalah

- a. Mendesain sistem ICCP pada konstruksi jacket pada EH-well platform ditinjau dari segi teknis maupun ekonomis (biaya).
- b. Segi teknis desain ICCP meliputi tahap perancangan dan tahap instalasi.
- c. Segi ekonomis desain ICCP hanya memperhitungkan biaya pembelian alat, biaya instalasi dan biaya perancangan.
- d. Data-data yang diperlukan untuk mendesain adalah data milik PHE ONWJ dan data sekunder.

- e. Perhitungan yang dilakukan berdasarkan aturan DnV RP B401 tahun 2010 Cathodic Protection Design.

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 KESIMPULAN DAN SARAN

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

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.

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 ke arah material yang dilindungi terhadap pengaruh korosi. Sedangkan SACP merupakan perlindungan dengan cara *galvanic 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.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Jacket Fixed Platform

Struktur *Jacket* merupakan bentuk struktur terpancang (*Fixed Structure*) yang terdiri atas komponen utama yaitu :

- a. *Topside*/geladak yang berfungsi sebagai penunjang seluruh kegiatan, tempat fasilitas dan tempat bekerja para personel.
- b. *Template/Jacket* yang berfungsi sebagai penerus beban baik beban vertikal dari geladak maupun beban lateral dari angin, gelombang, arus dan boat impact ke pondasi. Pondasi yang berfungsi untuk meneruskan beban dari *jacket* ke tanah.
- c. Pondasi yang berfungsi untuk meneruskan beban dari *jacket* ke tanah.

Beberapa sistem *jacket* yang ada di dunia, mempunyai perbedadsan utama mengenai jumlah kaki, konfigurasi sistem *bracing* serta fungsinya. Jumlah kaki pada setiap *jacket* bervariasi dari satu hingga delapan kaki dengan membentuk konfigurasi tertentu. Demikian juga dengan sistem konfigurasi *bracing*nya dari yang sederhana sampai yang kompleks (McClelland, 1986)

2.2.2 Pengertian Korosi

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 perpindahan 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.

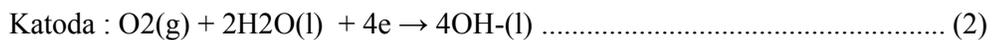
Korosi sebagai suatu reaksi elektrokimia yang memberikan dampak kerusakan fisik suatu material secara signifikan sehingga perlu perhatian untuk mencegah dan meminimalisasi kerugian yang timbul akibat efek korosi. Jumlah logam dan paduannya merupakan fungsi dari lingkungan sehingga saling

mempengaruhi kedua parameter tersebut antara lain lingkungan air tawar, air laut, tanah (Chandler,1985).

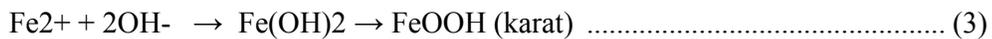
Korosi dapat juga diartikan sebagai serangan yang merusak logam karena logam bereaksi secara kimia dengan lingkungannya. Ada definisi lain mengatakan bahwa korosi adalah kebalikan proses ekstraksi logam dari bijih materialnya. Contohnya, bijih material logam besi di alam bebas ada dalam bentuk senyawa besi oksida (FeO) atau besi sulfida (FeSO), setelah diekstraksi dan diolah, akan dihasilkan besi yang digunakan untuk pembuatan baja atau besi paduan. Selama pemakaian, besi atau baja tersebut akan bereaksi dengan lingkungan yang menyebabkan korosi dan kembali menjadi senyawa besi oksida .

2.2.2.1 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 :



Fe²⁺ 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 hubungan arus listrik.

2.2.2.2 Metode Pencegahan Korosi

Ada banyak metode yang telah dikembangkan untuk mengatasi permasalahan korosi. Dimana pada masing-masing metode tersebut memiliki kelebihan dan kekurangannya, sehingga suatu metode yang efektif akan diterapkan dengan melihat kondisi lingkungannya. Akan tetapi perlindungan dengan metode apapun itu tidak berarti selalu aman. Kesalahan-kesalahan fatal dapat terjadi jika dalam operasinya tidak dilaksanakan sesuai dengan prosedur yang ditetapkan. Berikut adalah metode yang banyak digunakan sebagai langkah untuk pencegahan korosi :

a. 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.

b. Pengecatan

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

c. Galvanisasi

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

d. 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.

e. 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).

f. 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*).

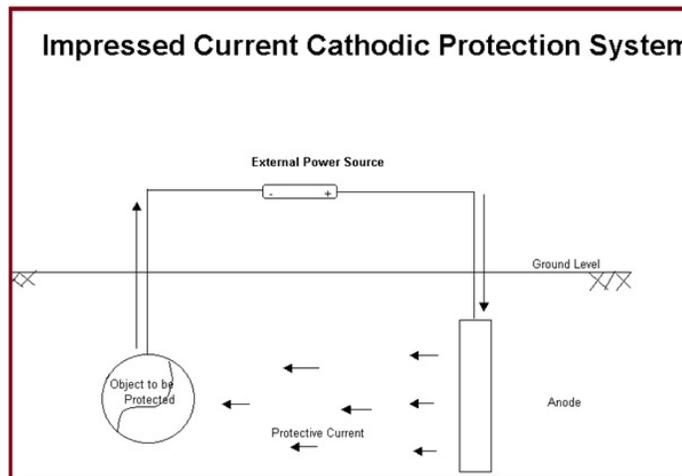
Pada sistem anoda korban tidak memerlukan supply daya. Anoda korban akan membangkitkan arus yang diperlukan sebagai akibat adanya perbedaan potensial dengan struktur yang dilindungi. Adanya pembangkitan arus dari anoda korban mengakibatkan umur anoda korban terbatas. Jenis logam yang biasanya digunakan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

rectifier. Jika tidak memungkinkan maka dapat digunakan baterai sebagai sumber penyuplai arus searah.

2.2.3 Impressed Current Cathodic Protection

Perlindungan katodik dalam tugas akhir ini adalah dengan mengaplikasikan arus tanding pada permukaan yang terkorosi. Metode ini adalah metode proteksi dengan menggunakan sumber arus yang berasal dari luar. Biasanya 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, seperti dijelaskan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Sistem Kerja ICCP

(Sumber : www.whatispiping.com)

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.

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.

2.2.3.1 Prinsip Dasar Sistem ICCP

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. Idennya 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.

Pada sistem ini, 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.

2.2.3.2 Komponen Komponen ICCP

Komponen-komponen yang membentuk sistem proteksi katodik arus paksa ini terdiri dari 4 komponen utama, dimana komponen tersebut pada dasarnya sama dengan komponen pembentuk sistem proteksi katodik anoda tumbal.

Empat komponen utama yang membentuk sistem proteksi katodik arus paksa tersebut adalah:

a. Anoda (*Auxiliary Anodes*)

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 :

- ✓ Laju konsumsi yang rendah
- ✓ Tingkat polarisasi yang rendah
- ✓ Konduktifitas listrik yang tinggi
- ✓ Kemudahan dalam instalasi
- ✓ Kuat secara fisik, sehingga tidak mudah mengalami kerusakan
- ✓ Tahan terhadap abrasi dan erosi
- ✓ Mudah dibentuk
- ✓ Biaya yang rendah

b. Katoda

Komponen katoda yang dimaksud disini adalah logam yang akan dilindungi, logam tersebut dibuat supaya bertindak sebagai katoda sehingga potensialnya berada pada daerah imun yang tahan terhadap serangan korosi. Material pembentuk katoda dapat berupa besi, baja atau logam paduan, oleh karena itu metode ICCP biasa digunakan untuk struktur yang dikubur dalam tanah dan air laut.

c. Elektrolit

Elektrolit merupakan suatu larutan yang bersifat konduktif atau dapat menghantarkan arus listrik. Elektrolit terdiri dari ion-ion bebas yang memungkinkan terjadinya perpindahan elektron antara katoda ke anoda, sehingga elektrolit dapat bertindak sebagai jalur listrik yang merupakan medium perpindahan elektron. Karena ion-ion yang dimilikinya, elektrolit menjadi bersifat korosif, elektrolit banyak terkandung dalam tanah dengan kedalaman tertentu dan

air laut, sehingga ketika suatu logam tanpa perlindungan berada dalam lingkungan tersebut maka logam tersebut akan terkorosi.

d. Sumber Arus DC

Sumber arus DC merupakan sumber listrik arus searah (*Direct Current*), yang biasanya berupa *transformer-rectifier*. Alat ini menggunakan arus bolak-balik / AC (*Alternating Current*) sebagai sumber listrik utamanya dan mengubahnya menjadi arus searah, sehingga alat ini banyak digunakan sebagai sumber energi (*Power Supply*) dalam menyediakan tegangan dan arus DC. Untuk melengkapi rangkaian listrik pada sistem ICCP, Terminal positif *power supply* dihubungkan ke anoda sedangkan terminal negatif dihubungkan ke katoda, sehingga arus DC akan mengalir dari *power supply* ke anoda melewati elektrolit hingga sampai ke katoda dan akhirnya kembali lagi ke *power supply*.

2.2.3.3 Keuntungan Dan Kerugian Sistem ICCP

Menurut Indahsari (2004) keuntungan dari sistem ICCP adalah sebagai berikut :

- a. Voltage tinggi yang dikendalikan dihubungkan untuk mengefisiensi perlindungan struktur yang berukuran besar
- b. Lebih sedikit anoda yang dibutuhkan
- c. Metode ini mampu memberikan control yang lebih baik untuk memberikan performa yang optimal

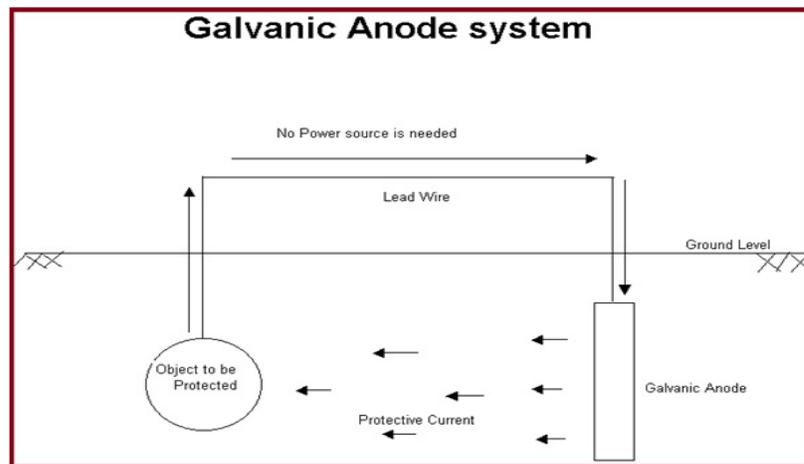
Untuk kerugian dari sistem ICCP yang ada, antara lain :

- a. Power DC yang tersedia harus berkelanjutan karena membutuhkan arus listrik selama masa pengoperasiannya
- b. Kesalahan dapat terjadi pada arah koneksi arus, hal tersebut mampu membuat laju korosi lebih cepat dari biasanya
- c. Pengawasan level tinggi diperlukan karena dapat menyebabkan kesalahan *over protective* apabila ada masalah pada pelapisan baja dan tegangan tinggi.

- d. Pada lingkungan yang korosif seperti lingkungan laut, kerusakan secara fisik akan menimbulkan masalah dibanding anoda korban.

2.2.4 Sacrificial Anode Cathodic Protections

Prinsip kerja dari sistem sacrificial anode ini 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. Sistem kerja SACP dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut ini :



Gambar 2.2 Sistem Kerja SACP

(Sumber : www.whatispiping.com)

Menurut Trethewey dan Chamberlain (1988) *sacrificial anode* (anoda tumbal) 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 katoda, 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 Keuntungan Dan Kerugian Sistem SACP

Keuntungan dari metode anoda korban antara lain :

- a. Dapat dipakai meskipun tidak ada arus listrik
- b. Pengawasan terhadap sistem lebih sedikit dibanding sistem ICCP
- c. Kemudahan instalasi untuk anoda yang ditambahkan sangat mudah untuk menutupi kekurangan anoda sebelumnya
- d. Anoda tidak mungkin terpasang secara terbalik, dan tidak ada over protective apabila terlalu banyak anoda yang terpasang

Untuk kerugian dari sistem SACP yang ada, antara lain :

- a. Tingkat konduktivitas tinggi akan menjadi masalah apabila anoda dipasang di dalam tanah
- b. Kemampuan melindungi struktur dari korosi bergantung pada ukuran anoda

2.2.5 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).

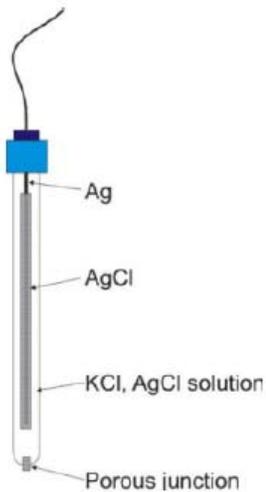
Terdapat banyak jenis elektroda acuan yang biasa digunakan tergantung keperluannya, dan yang biasa digunakan pada sistem proteksi katodik adalah Cu/CuSO₃, Ag/AgCl dan Zinc Reference Electrode. Berikut adalah beberapa jenis elektroda acuan beserta potensialnya:

- ✓ Standard Hydrogen Electrode (SHE) ($E=0.000$ V) aktifitas ion $H^+=1$
- ✓ Normal Hydrogen Electrode (NHE) ($E \approx 0.000$ V) konsentrasi ion $H^+=1$
- ✓ Reversible Hydrogen Electrode (RHE) ($E=0.000$ V - $0.0591 \cdot \text{pH}$)
- ✓ Saturated Calomel Electrode (SCE) ($E=+0.242$ V saturated)
- ✓ Copper-Copper(II) Sulfate Electrode ($E=+0.314$ V)
- ✓ Silver Chloride Electrode ($E=+0.197$ V saturated)
- ✓ Ph-Electrode
- ✓ Palladium-Hydrogen Electrode
- ✓ 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. Gambar yang mengilustrasikan elektroda acuan Ag/AgCl dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Ag/AgCl Reference electrode

2.2.6 Perancangan Proteksi Cathodic

Perancangan proteksi katodik umumnya menggunakan *rules* dari DnV Rp B401. Dalam perhitungan desain proteksi katodik ada beberapa hal yang harus diperhatikan diantaranya :

a. Faktor coating

Dalam perhitungan secara teknis parameter yang harus di perhatikan adalah kondisi lapisan pelindung, yang mana 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 diaplikasikan 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

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

Tabel 2.1 Konstanta Factor Breakdown Coating

Kedalaman (m)	Kategori coating		
	I (a = 0.10)	II (a=0.05)	III (a=0.02)
0-30	b =0.10	b= 0.025	b= 0.012
>30	b= 0.05	b=0.015	b= 0.008

Sumber : DnV Rp B401.

Berdasarkan Tabel 2.1 di atas dapat diketahui bahwa untuk kedalaman laut kurang dari 30 meter konstanta coatingnya untuk kategori coating I a=0.10 dan b= 0.1. Untuk kategori coating II a= 0.05 dan b= 0.025. Untuk kategori III a= 0.02 dan b= 0.015. Sedangkan konstanta coating untuk kedalaman laut di atas 30 meter dapat dilihat pada tabel tersebut. Sedangkan penjelasan setiap kategori coating dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 2.2 Kategori Coating

Kategori coating	Deskripsi
I	Satu lapisan primer coat, kira2 50 μm DFT (dry film thickness)
II	Satu lapisan primer coat, ditambah minimal 1 lapis intermediate / top coat, 150 μm - 250 μm DFT
III	Satu lapisan primer coat, ditambah minimal 2 lapis intermediate/top coat minimum 300 μm DFT

Tabel 2.2 Kategori Coating

IV	Satu lapisan primer coat, ditambah minimal 3 lapis intermediate/ top coat, miniu 450 μmDFT
----	---

Sumber : DnV Rp B401..

b. Kerapatan Arus

Hal lain yang harus diperhatikan dalam desain proteksi katodik adalah kerapatan arus. Kerapatan arus menunjukkan arus proteksi katodik tiap luasan area. Kerapatan arus baik yang diawal maupun diakhir memberikan suatu pengukuran terhadap kerapatan arus katodik guna mencapai proteksi dari permukaan logam dalam waktu yang relative singkat. Berikut harga desain densitas arus awal dan akhir berdasarkan kedalaman laut dan jenis iklim.

Tabel 2.3 Mean Design Current Densities (A/m^2)

Kedalaman (m)	Tropis (20°C)	Sub-tropis ($12-20^\circ\text{C}$)	Sedang ($7-12^\circ\text{C}$)	Arctic ($<7^\circ\text{C}$)
0-30	0.070	0.080	0.100	0.120
30-100	0.060	0.070	0.080	0.100
100-300	0.070	0.080	0.090	0.110
>300	0.090	0.100	0.110	0.110

Sumber : DnV Rp B401.

Harga desain densitas arus rata-rata di atas berdasarkan kedalaman laut dan jenis iklim lingkungan yang sesuai dengan kondisi tempat anoda akan diinstal. Untuk iklim tropis dengan kedalaman antara 0-30 meter harga densitas arus rata-ratanya = $0.07 \text{ A}/\text{m}^2$.

c. Faktor utilisasi anoda

Faktor utilisasi anoda bergantung pada susunan inti anode dan untuk desain khusus anode, harga faktor utilisasinya dapat dilihat pada Tabel 2.4 di bawah ini.

Tabel 2.4 Recommended Utilitisation Factors

Tipe anoda	Faktor utilisai anoda
Long slender stad-off $L \geq 4r$	0.90
Short slender stand off $L < 4r$	0.85
Long flush mounted $L \geq l; L \geq t$	0.85
Short flush mounted, bracelet, dan tipe lain	0.80

Sumber : DnV Rp B401.

Faktor utilisasi terbesar dengan harga 0.90 adalah anoda tipe long slender stand-off dengan syarat panjang anoda (L) lebih besar empat kali radius anoda (r). Faktor utilisasi terkecil dengan harga 0.80 adalah untuk short flush mounted dan bracelet. Sedangkan utilisasi short slender stand-off sama dengan utilisasi long flush mounted yaitu 0.85.

2.2.7 Aspek Teknis Dan Ekonomis Perancangan Sitem Cathodic Protection

Perhitungan ekonomis dilakukan dengan mengasumsikan bahwa pemilihan spesifikasi bahan maupun peralatan secara teknis maupun ekonomis. Sistem perancangan untuk pemasangan atau penggantian adalah sama dan dilakukan secara perioik berselang 10 tahun, sehingga secara ekonomis proteksi menggunakan anoda tumbal maupun ICCP tidaklah sulit. Biaya anoda dan jumlah kebutuhan anoda dapat diketahui dengan mudah, sehingga biaya yang dibutuhkan dapat dihitung atau hanya diperkirakan berapa besar biaya yang dibutuhkan untuk pergantian atau maintenance dalam kurun waktu tertentu.

Biaya proteksi katoda sistem arus tanding (ICCP) berbeda dengan sitem anoda tumbal. Biaya tersebut memiliki dua komponen atau unsur utama. Yaitu biaya awal dan biaya modal, sedangkan komponen yang lain adalah biaya operasi, yaitu biaya perawatan dan pemantauan.

Biaya awal akan memakan biaya yang sangat besar dan menjadi faktor utama dalam pembiayaan sistem. Biaya awal meliputi biaya pembelian anode, biaya kabel-kabel listrik, unit rectifier dan biaya pemasangan.

Biaya ini dapat dikelompokkan menjadi:

a. Biaya pengadaan anoda

Berdasarkan jumlah anoda yang dipakai per periode sampai masa periode tersebut habis. Biaya ini diperoleh dari total berat anoda dikalikan dengan harga anoda per kilogramnya.

b. Biaya pemasangan anoda

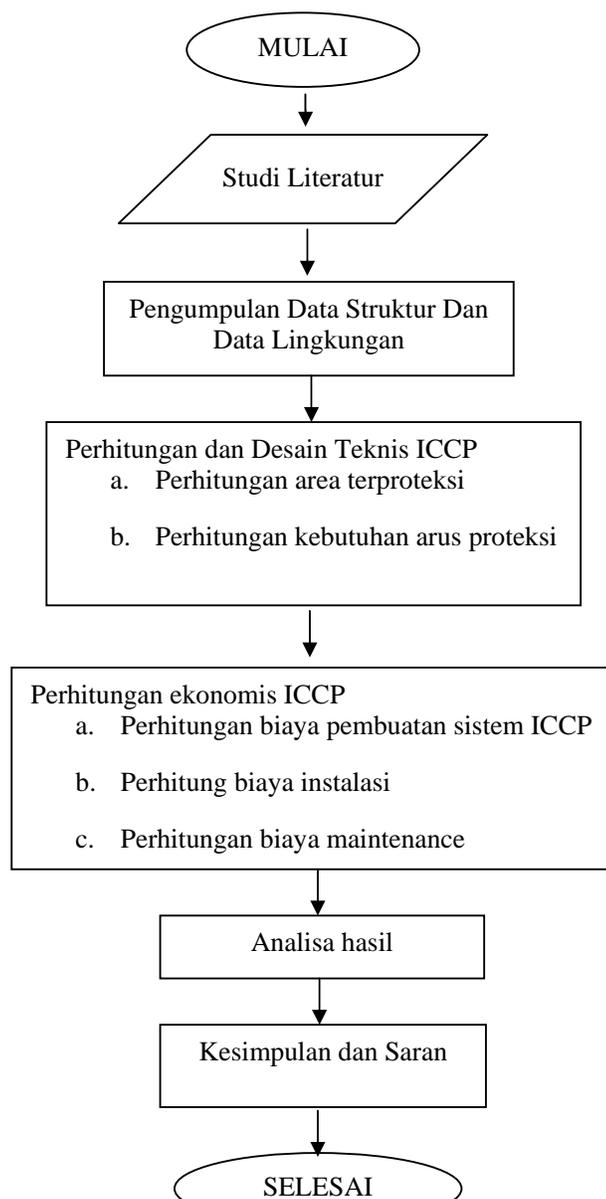
Berdasarkan nilai jam orang yang telah berlaku untuk pemasangan per unit anoda (untuk semua tipe anoda) dikalikan dengan biaya yang berlaku tiap jam orang (JO).

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

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 yang berhubungan dengan dimensi struktur dan data dari jenis dan sifat baja penyusun yang digunakan pada struktur EH WELL PLATFORM.
- b. Data anoda, meliputi data –data tipe anoda, material anoda, material *density, design life, seawater resistivity, serta mean curent densities.*
- c. Data lingkungan, merupakan data-data lingkungan yang bersinggungan baik secara langsung ataupun tidak langsung dengan struktur. Data-data tersebut meliputi : kedalaman struktur dari permukaan air laut, kedalaman pile, karakteristik kedalaman tanah, densitas air laut, tinggi gelombang, periode gelombang, panjang gelombang, kecepatan arus, ketinggian arus di atas *seabed.*
- d. Data Ekonomis meliputi biaya pembelian peralatan yang dipakai (rectifier, anoda, serta kabel dan perlengkapan lainnya) untuk ICCP dan SACP. Serta

biaya pembelian jumlah anoda yang dipakai, biaya instalasi dan biaya perancangan.

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

Dalam perhitungan teknis ini, perhitungan yang dilakukan meliputi :

- a. Perhitungan luas permukaan struktur baja yang akan di proteksi

Untuk menghitung luas permukaan struktur adalah sebagai berikut

$$A = (\pi x r^2) x L \quad (3.1)$$

Dimana :

A = Luas Permukaan struktur yang diproteksi (m²)

($\pi x r^2$) = luas penampang struktur (m)

L = panjang struktur tiap kaki (m)

- b. Perhitungan kebutuhan arus

Untuk mengetahui besarnya arus proteksi yang dibutuhkan dengan tujuan melindungi struktur dari korosi menggunakan persamaan berikut :

$$I_p = A x (CD / 1000) \quad (3.2)$$

Dimana :

I_p = kebutuhan arus proteksi (Ampere)

A = Luasan struktur yang diproteksi (m²)

Cd = Kerapatan arus (mA/m²)

5. 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)

6. Analisa data dan pembahasan

Analisa studi dari hasil perhitungan sistem ICCP disertai perhitungan berdasar faktor teknis dan ekonomis.

7. 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 DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Struktur

Tujuan dalam penulisan tugas akhir ini adalah untuk mendesain sistem perlindungan korosi manakah yang lebih efisien secara teknis dan ekonomis. Dengan dua metode yang digunakan yaitu SACP dan ICCP. Dalam pengerjaan desain ini menggunakan struktur EH-well platform yang beroperasi di perairan Ardjuna utara laut Jawa. Berikut ini data dan gambar tampilan struktur milik PHE ONWJ.

Tabel 4.1 Data Struktur EH-wellplatform

Data struktur milik PHE ONWJ adalah sebagai berikut :	
<i>Platform designation</i>	: EH-well platform
<i>Owner</i>	: PHE ONWJ
<i>Location</i>	: Arjuna, Laut Jawa,
	005° 56' 19.00" Selatan, 107° 55' 07.00" Timur
<i>Water Depth</i>	: 42.36 m
<i>Description</i>	: 3 <i>Piles</i> , <i>Template</i>
<i>Type Platform</i>	: 2 <i>Decks</i>
<i>Date Installed</i>	: 1982
<u>Environmental Criteria</u>	
<i>Chart Water Depth</i>	: 42.36 m
<i>Storm Tide</i>	: 0.09 m
<i>Max Wave Height</i>	: 5m
<i>Max Wave Period</i>	: 7 S
<i>Current Velocity</i>	: 0.7 m/s (Surface) ; 0.27 m/s (Seabed)
<i>Wind Speed</i>	: 38 Mph

Tabel 4.1 Data Struktur EH-wellplatform (lanjutan)

<u>Anodes data</u>	
Type	: Galvalium – C325 Alumunium ; Type III
Total	: 44 anodes
OD	: 6 ft ; 182 cm
Length	: 8 ft ; 243 cm
Weight	: 174 kg



Gambar 4.1 Struktur EH-wellplatform
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

4.2 Perhitungan Desain Secara Teknis

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

- a. Kondisi lapisan pelindung

Menghitung Breakdown factor

$$F_c = a + b \cdot t \quad (4.1)$$

(Sumber : DNV RP B401 2010)

Dimana

F = Faktor Breakdown Coating

a,b = konstanta yang bergantung pada properties lapisan dengan lingkungannya (tercantum pada **Tabel 2.1**)

t = umur coating

Sehingga :

$$\begin{aligned} F_c &= a + b \cdot t \\ &= 0,05 + 0,025 \cdot 20 \\ &= 0,45 \end{aligned}$$

- b. Luas area permukaan yang akan diproteksi

Menghitung luas permukaan yang akan diproteksi.

$$A = (\pi \times D) \times L \quad (4.2)$$

Dimana :

A = Luas Permukaan struktur yang diproteksi (m²)

($\pi \times D$) = luas penampang struktur (m)

L = panjang struktur tiap kaki (m)

Luas area terproteksi ini dibagi menjadi 3 bagian berdasarkan jumlah kaki atau leg platform. Sehingga luas area yang terproteksi berdasarkan tiap kaki adalah:

Tabel 4.2 Luas Area Proteksi

Level	Area (m2)
1	143.82
2	143.82
3	143.82

c. Kebutuhan arus proteksi

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

$$I_c = A_c \times I_c \times f_c \quad (4.3)$$

(sumber : DNV RP B401 2010)

Dimana :

I_c = Kebutuhan arus proteksi (A)

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

F_c = Faktor breakdown coating

I_c = Kerapatan Arus (A/m^2)

Sehingga kebutuhan arus proteksi pada tiap kaki adalah :

Tabel 4.3 Kebutuhan Arus Proteksi

Level	I_c (A)
1	3.88
2	3.88
3	3.88

4.2.1 Perhitungan Desain Teknis ICCP

Perhitungan sistem ICCP dapat mengikuti langkah-langkah sebagai berikut :

a. Menentukan kebutuhan jumlah anoda

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



Gambar 4.2 Tubular MMO Anode

(sumber : cathodicprotection.co)

Substrat = Titanium (ASTM B338 Grade 1 atau 2)

Diameter = 25.4 mm

Max Current = 600 A/m² Density (A/m²)

Desain = 20 Tahun

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

Berikut adalah berbagai tipe anoda *mixed metal oxide tubular* berdasarkan letak, dimensi serta arus yang dikeluarkan.

Tabel 4.4 Tipe Anoda Mixed Metal Oxide

Type	OD		Length		Current Output (Typical) (Amps from 5-70°C)	Current Output (Typical) (Amps from 0-5°C)
	mm	inches	mm	inches		
Soil (with carbon backfill)						
S-2.5/50	25	1	500	19.7	4	2
S-2.5/100	25	1	1000	39.4	8	4
Fresh Water						
FW-2.5/50	25	1	500	19.7	4	2
FW-2.5/100	25	1	1000	39.4	8	4
Sea Water						
SW-2.5/50	25	1	500	19.7	25	5
SW-2.5/100	25	1	1000	39.4	50	10
Mud (*)						
M-2.5/50	25	1	500	19.7	2 - 4	1.5
M-2.5/100	25	1	1000	39.4	4 - 8	3
Brackish Water (**)					(Amps from 10-70°C)	(Amps from 0-10°C)
BW-2.5/50	25	1	500	19.7	4÷12	2÷6
BW-2.5/100	25	1	1000	39.4	8÷24	4÷12

(sumber : cathodicprotection.co)

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

$$N = I_p / I_a \quad (4.4)$$

Dimana

N = Jumlah Anoda

I_p = Arus proteksi yang dibutuhkan (A)

I_a = Keluaran arus anoda (A)

Sehingga jumlah anoda yang dibutuhkan tiap level adalah :

Tabel 4.5 Kebutuhan Jumlah Anoda

Level	N
1	1
2	1
3	1

b. Tahanan anoda terhadap air laut

Perhitungan Tahanan Anoda dalam proteksi adalah sebagai berikut :

$$R_a = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \left(\ln \frac{4 \cdot L}{r} - 1 \right) \quad (4.5)$$

(sumber : DNV RP B401 2010)

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.

- c. Menentukan parameter kabel DC yang digunakan dalam sistem ICCP

Kabel yang digunakan dalam instalasi ICCP adalah halar / HMWPE cable, konstruksi kabel yang digunakan tercantum dalam **Tabel 4.6**.

Tabel 4.6 Konstruksi 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)

Berikut adalah spesifikasi kabel yang ada di pasaran, serta pemilihan kabel yang sesuai dengan instalasi.

Tabel 4.7 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

- d. Perhitungan Tahanan Kabel

Menghitung tahanan kabel pada sistem ICCP dimana tahanan kabel akan dihitung untuk satu daerah kaki struktur. Dengan asumsi posisi junction box dan rectifier berada di platform maka perhitungan tahanan kabel dari junction box hingga anoda sesuai dengan persamaan berikut :

$$R_{k1} = L \times R_s \quad (4.6)$$

Dimana

$$\begin{aligned} R_{k2} &= \text{Tahanan kabel} && (\text{ohm}) \\ L &= \text{Panjang Kabel} && (\text{m}) \\ R_s &= \text{Tahanan Spesifik kabel} && (\text{ohm/m}) \end{aligned}$$

Dengan menggunakan spesifikasi kabel yang ada dipasaran, untuk menentukan panjang kabel yang digunakan masing-masing adalah 15 m untuk kabel dari junction box menuju rectifier dan 20 m (asumsi) yang digunakan untuk menyambungkan anoda ke *rectifier*. Berdasarkan perhitungan dengan persamaan 4.6 maka masing-masing nilai tahanan kabel dari junction box menuju rectifier adalah sebesar 0.1815 ohm dan tahanan kabel dari rectifier menuju anoda adalah sebesar 0.242 ohm. Total tahanan kabel yang digunakan sebesar 0.7235 ohm untuk kabel sepanjang 35 m.

4.2.2 Perhitungan Teknis Sistem SACP

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

- a. Menentukan kebutuhan jumlah anoda

$$M_a = \frac{8760 * I_{rf} * t_a}{U * E} \quad (4.7)$$

(sumber : DNV RP B401 2010)

Dimana :

M_a = massa anoda (kg)

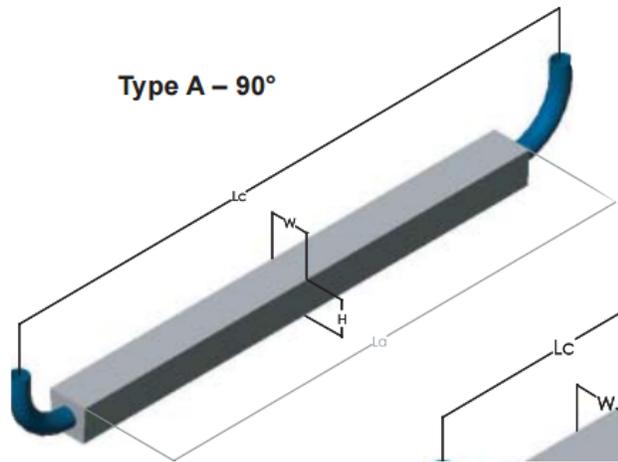
I_{rf} = kebutuhan arus proteksi (A)

T_a = umur design (yr)

U dan E = konstanta *anoda utilitation factor* (Ah/kg)

Dari perhitungan menggunakan persamaan (4.7) diatas maka besar nilai massa anoda yang dibutuhkan untuk sistem SACP adalah sebesar 400 kg namun, karena berat anoda dipasaran tidak selalu sama maka menggunakan beberapa

susunan anoda untuk memenuhi kebutuhan proteksi. Tipe anoda yang digunakan adalah sebagai berikut :



Gambar 4.3 Jenis anoda yang digunakan
(Sumber: galvotech.com)

Tabel 4.8 Tabel spesifikasi anoda

						B	7.0	2134	2'	
22.3	7	208	7	188	8	2438	A	11.0	3353	3'
							B	7.0	2134	3'
44.9	8	208	8	203	8	2438	A	11.0	3353	3'
							B	7.0	2134	3'
28.9	9	249	9	239	8	2438	A	10.7	3261	4'
							B	7.0	2134	4'

(Sumber: galvotech.com)

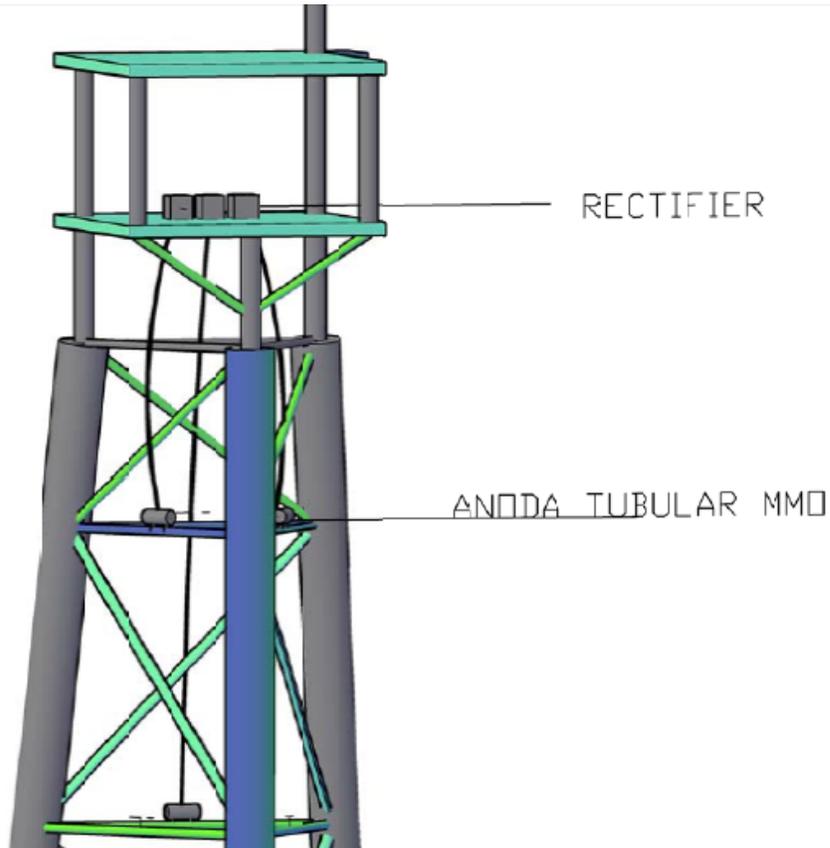
Berdasarkan data anoda diatas maka diambil ukuran anoda yang paling ringan agar bisa menggunakan beberapa susunan anode.

b. Menentukan tahanan anoda terhadap air laut

Dengan menggunakan persamaan (4.5) perhitungan resistance anoda jenis SACP adalah sebesar 0.6 ohm dengan ukuran anoda yang digunakan untuk panjang anoda (L) adalah 0.24 dan r anoda adalah 0.16.

4.2.3 Tahapan Instalasi Desain ICCP Dan SACP

Pada tahapan desain sistem ICCP adalah seperti pada Gambar 4.4 berikut ini.



Gambar 4.4 Peletakan Sistem ICCP Pada Struktur EH-Well Platform

1. Pemasangan anoda MMO dengan menggunakan Fiberglass Reinforced Plastic (FRP)

Anoda MMO yang digunakan berbentuk tubular dengan ukuran panjang 500 mm keluaran arus dari anoda adalah 1.4 A dengan masa pakai selama 20 tahun. Kemudian anoda MMO dibungkus dengan FRP.

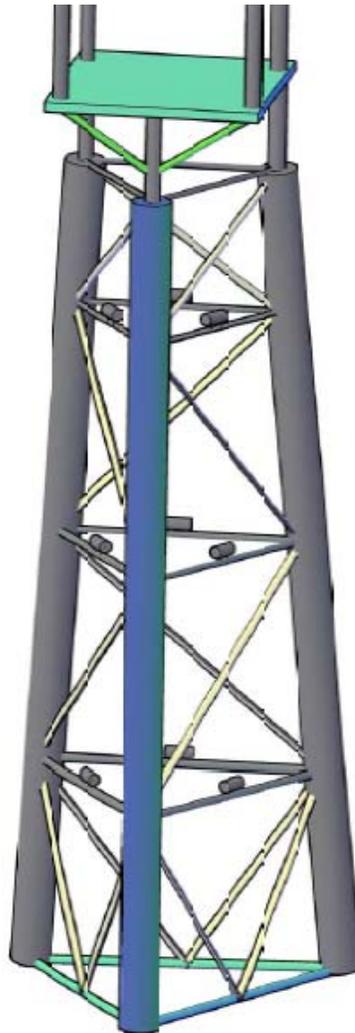
2. Pemasangan FRP dengan stainless band pada struktur

FRP yang digunakan berdimensi panjang 750 mm pemasangan FRP ini dilakukan diatas struktur dan diikat dengan stainless band agar FRP dapat menempel pada struktur.

3. Pemasangan *junction box* dan *rectifier*

Junction box dan rectifier harus ditempatkan pada lokasi yang aman. Pada struktur ini junction box dan rectifier diletakkan pada deck ke 2.

Untuk instalasi SACP seperti nampak seperti Gambar 4.5 berikut ini :



Gambar 4.5 Peletakan SACP Pada Eh-Well Platform

Untuk Sacrificial Anode ini, anoda aluminiumnya dipasang disetiap *brace* pada elevasi (-4.3), -17.4(m) dan pada elevasi (-30.5)m . peletakan anoda tersebut berdasarkan lokasi dimana rawan terjadi korosi pada struktur.

4.3 Perhitungan Desain Secara Ekonomis

Perhitungan secara ekonomis menggunakan sistem pembagian biaya, antara lain :

a. Biaya pengadaan anoda

Berdasarkan jumlah anoda yang dipakai per periode sampai masa periode tersebut habis. Biaya ini diperoleh dari total berat anoda dikalikan dengan harga anoda per kilogramnya atau untuk sistem ICCP menggunakan jumlah anode yang digunakan.

b. Biaya pemasangan anoda

Berdasarkan nilai jam orang yang telah berlaku untuk pemasangan per unit anoda (untuk semua tipe anoda) dikalikan dengan biaya yang berlaku tiap jam orang (JO).

4.3.1 Perhitungan Desain Ekonomis ICCP

Untuk mendesain sistem ICCP pada EH-well platform memerlukan biaya awal yang tercantum pada Tabel 4.9.

Tabel. 4.9 Biaya Pengadaan Awal ICCP

ICCP MATERIAL	Qty	Unit	\$/Unit	Amount
Anoda MMO	3	-	\$ 150.00	\$ 450.00
FRP	3	-	\$ 200.00	\$ 600.00
Stainless Band	6	-	\$ 400.00	\$ 2,400.00
Junction Box	1	-	\$ 275.00	\$ 275.00
Rectifier	3	-	\$ 2,000.00	\$ 6,000.00
9mm ² Cable	30	m	\$ 20.00	\$ 600.00
Cable Strap	20	-	\$ 7.50	\$ 150.00
			Total Cost	\$ 10,475.00

Untuk mendesain sistem ICCP maka dibutuhkan biaya instalasi sistem yang tercantum pada Tabel 4.10. Pada Tabel tersebut dihitung pula biaya pembersihan *marine growth* karena pada saat instalasi sistem struktur harus dalam keadaan bersih tanpa ada material tambahan apapun, pembersihan *marine growth* juga bertujuan untuk memudahkan proses pengelasan bawah air.

Tabel 4.10 Biaya Pemasangan ICCP

FABRICATION AND INSTALLATION	Qty	Unit	\$/Unit	Amount
Anoda with FRP	3.00	set	\$ 2,500.00	\$ 7,500.00
Transportation to Site				
Transportation from fabrication yard to port	2	days	\$ 350.00	\$ 700.00
Sea Fastening & Loading	1	-	\$ 2,000.00	\$ 2,000.00
Marine Growth and Debris Cleaning				
Mobilization Vessel	2	days	\$ 14,000.00	\$ 28,000.00
At Site :				
EH Platform	6	days	\$ 32,000.00	\$ 192,000.00
Demobilization Vessel non DP	2	days	\$ 14,000.00	\$ 28,000.00
Anode Installation				
Mobilization Vessel DP 2	2	days	\$ 14,000.00	\$ 28,000.00
At Site :				
EH Platform	6	days	\$ 70,000.00	\$ 420,000.00
Demobilization Vessel DP 2	2	days	\$ 14,000.00	\$ 28,000.00
			Total Cost	\$ 734,200.00

Berdasarkan Tabel 4.9 dan Tabel 4.10 maka didapatkan biaya total untuk pemasangan sistem ICCP adalah sebesar \$734.200.00 tanpa memperhitungkan biaya *offshore crew*. Untuk biaya lebih lengkapnya dapat dilihat pada lampiran D.

4.3.2 Perhitungan Desain Ekonomis SACP

Untuk mengetahui biaya modal awal perancangan SACP pada EH-well Platform, dapat menggunakan rincian biaya yang tercantum pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Biaya Pengadaan Awal SACP

SACP MATERIAL	Qty	Unit	\$/Unit	Amount
Anoda Long Slender Stand Off	1326	kg	\$10.00	\$13,260.00
FRP	9	-	\$ 200.00	\$1,800.00
Stainless Band	20	-	\$ 150.00	\$3,000.00
9mm ² Cable	30	m	\$ 12.50	\$375.00
Cable Strap	25	-	\$ 5.00	\$125.00
			Total Cost	\$18,560.00

Biaya instalasi sistem SACP menggunakan jenis anoda alumunium dapat dilihat ada Tabel 4.13.

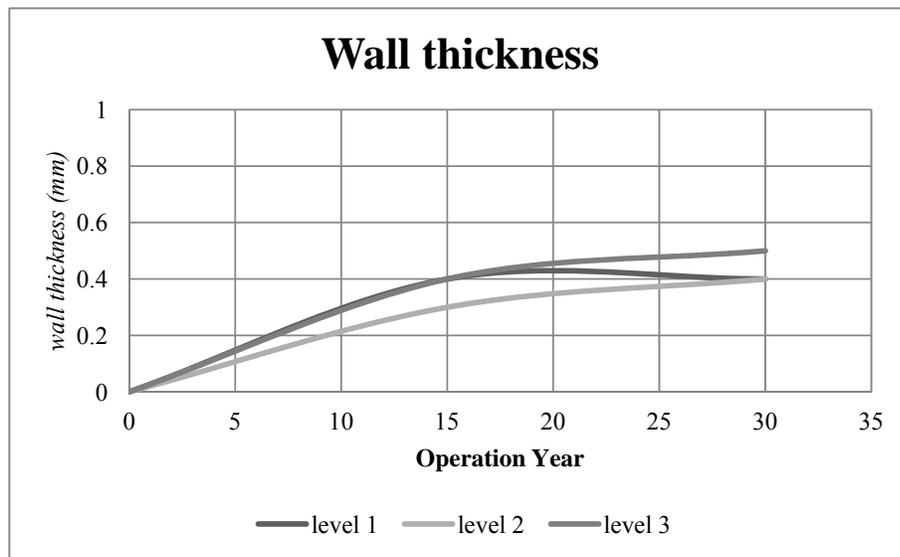
Tabel 4.12 Biaya Pemasangan SACP

FABRICATION AND INSTALLATION	Qty	Unit	\$/Unit	Amount
Anoda with FRP	9	set	\$ 2,500.00	\$ 22,500.00
Transportation to Site				
Transportation from fabrication yard to port	2	days	\$ 350.00	\$ 700.00
Sea Fastening & Loading	1	-	\$ 2,000.00	\$ 2,000.00
Marine Growth and Debris Cleaning				
Mobilization Vessel	2	days	\$ 14,000.00	\$ 28,000.00
At Site :				
EH Platform	15	days	\$ 32,000.00	\$ 480,000.00
Demobilization Vessel non DP	2	days	\$ 14,000.00	\$ 28,000.00
Anode Installation				
Mobilization Vessel DP 2	2	days	\$ 14,000.00	\$ 28,000.00
At Site :				
EH Platform	20	days	\$ 70,000.00	\$ 1,400,000.00
Demobilization Vessel DP 2	2	days	\$ 14,000.00	\$ 28,000.00
			Total Cost	\$ 2,017,200.00

Berdasarkan Tabel 4.12 dan Tabel 4.13 maka didapatkan biaya total untuk pemasangan sistem SACP adalah sebesar \$ 2.017.200,00 tanpa memperhitungkan biaya *offshore crew*. Untuk biaya lebih lengkapnya dapat dilihat pada lampian E.

4.4 Menghitung Laju Korosi Pada Sruktur

Mengetahui *corrosion rate* pada strukturEH-well platform ini dihitung bertujuan untuk mencari besarnya laju korosi pada sistem perlindungan korosi menggunakan *sacrificial anode* yang telah terpasang sebelumnya. Untuk menghitung laju korosi menggunakan data perubahan *wall thickness* untuk masing-masing level pada stuktur tersebut. Berikut adalah grafik perubahan ketebalan pada sruktur Eh-well platform setelah beroperasi selama 30 tahun.



Gambar 4.6 Laju Korosi Struktur Level 1 – Level 3

Pada gambar 4.6 tidak ada perbedaan yang sangat signifikan pada tiap levelnya. Hal tersebut dikarenakan lingkungan laut yang sama. Data tersebut di ambil pada elevasi ke 0.0 atau tepat berada di MSL.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari studi perancangan sistem perlindungan korosi SACP dan ICCP yang telah dilakukan, ada beberapa kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian dan analisis pada tugas akhir ini yaitu :

1. Dari segi teknis desain sistem ICCP meliputi :

o Tahap desain sistem ICCP

Untuk desain sistem ICCP membutuhkan 3 buah anoda Mixed Metal Oxide (MMO) dilapisi titanium yang berbentuk seperti pipa (tubular) dengan panjang anoda 500 mm, diameter anoda 25 mm, arus anoda

sebesar 25 Ampere dan umur desain anodanya selama 20 tahun.

o Tahap instalasi sistem ICCP

Untuk sistem ICCP ini, anoda MMO diletakkan pada tiga lokasi yaitu pada brace di elevasi (-4.3m) karena daerah tersebut merupakan daerah rawan terjadi korosi, karena merupakan daerah splash zone. Instalasi sistem ini menggunakan Fiberglass Reinforced Plastic (FRP) untuk membungkus anoda agar dapat menempel pada sruktur, pemasangan FRP dan stainless band pada pipa, peletakkan posisi rectifier pada tempat yang aman yaitu pada cellar deck serta pemasangan kabel DC ukuran 9mm Untuk lebih jelasnya mengenai sistem instalasi sistem ICCP secara keseluruhan dapat dilihat di lampiran B.

2. Dari segi ekonomis desain sistem ICCP meliputi :

o Biaya pembelian peralatan sistem ICCP

Biaya pembelian peralatan sistem ICCP ini terdiri dari biaya pembelian anoda MMO, biaya pembelian FRP, biaya pembelian stainless band, biaya pembelian

junction box, biaya pembelian rectifier, serta biaya pembelian kabel DC ukuran 9mm dengan menghabiskan biaya sebesar \$10.475,00

- o Biaya instalasi sistem ICCP

Biaya instalasi sistem ICCP dengan memperhitungkan engineering crew menggunakan perhitungan jam/orang (JO) dan menghabiskan biaya sebesar \$734.200,00 untuk proses pemasangan anoda yang memakan waktu selama 6 hari.

3. Dari segi teknis desain Sacrificial Anode meliputi :

- o Tahap desain Sacrificial Anode

Untuk desain Sacrificial Anode membutuhkan 9 buah anoda slender-stand-off aluminium dengan panjang anoda 0.24 m , diameter luar anoda 0,16 m, berat bersih anoda 147.4 kg serta umur desain anodanya selama 20 tahun.

- o Tahap instalasi Sacrificial Anode

Untuk Sacrificial Anode ini, anoda aluminiumnya dipasang disetiap brace pada elevasi (-4.3), -17.4(m) dan pada elevasi (-30.5)m .Untuk lebih jelasnya mengenai tahap instalasi Sacrificial Anode secara keseluruhan pada pipa dapat dilihat di lampiran C.

- o Tahap maintenance Sacrificial Anode

Maintenance Sacrificial Anode dilakukan dengan inspeksi setiap 5tahun sekali meliputi pengukuran dilakukan dengan pengecekan anoda secara visual untuk mengetahui kondisi korosi yang terjadi pada anod apabila terkena marine growth.

4. Dari segi ekonomis desain Sacrificial Anode meliputi :

- o Biaya pembelian anode aluminium

Biaya pembelian anoda bracelet aluminium Sacrificial Anode menghabiskan dana sebesar \$18.560,00

o Biaya instalasi Sacrificial Anode

Biaya instalasi sistem SACP diambil dari biaya engineering crew dengan menggunakan perhitungan jam/orang (JO) dan menghabiskan biaya sebesar \$2.017.200,33 untuk proses pemasangan anoda yang memakan waktu selama 20 hari.

Dari hasil kesimpulan di atas, desain Cathodic Protection yang digunakan pada Eh-well Platform milik PHEONWJ adalah menggunakan sistem ICCP karena instalasinya yang lebih mudah dari pada sistem SACP begitu juga biaya pembelian awal sistem ICCP.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut :

1. Untuk mendesain sistem ICCP dan SACP dapat menggunakan berbagai macam tipe material, bentuk serta dimensi (ukuran) anoda seperti yang terdapat di pasaran.
2. Untuk melanjutkan perancangan sistem ICCP maupun SACP dengan menggunakan struktur yang lain, atau struktur yang tidak terkena kontak langsung dengan air laut

LAMPIRAN A.

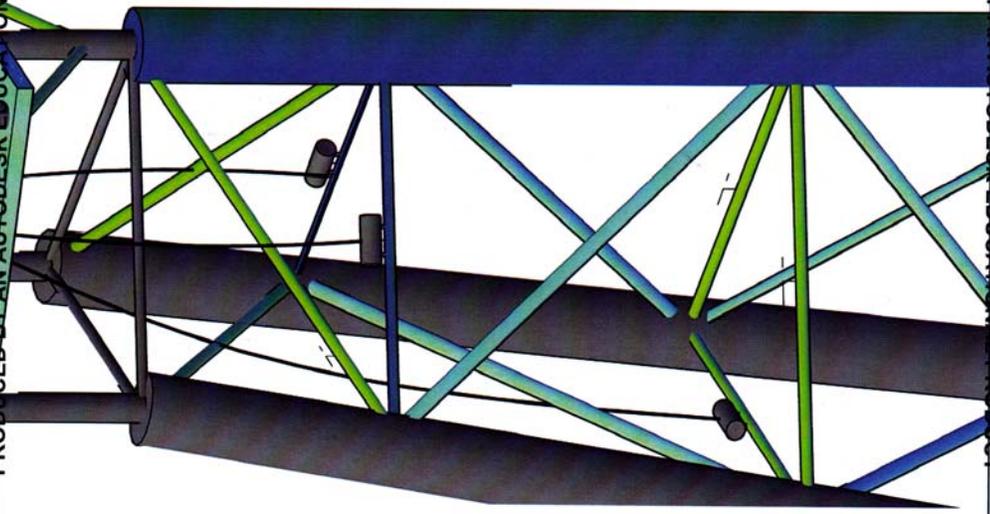
JACKET STRUCTURE DEFINITION

Data struktur milik PHE ONWJ adalah sebagai berikut :	
<i>Platform designation</i>	: EH-well platform
<i>Owner</i>	: PHE ONWJ
<i>Location</i>	: Arjuna, Laut Jawa,
	005° 56' 19.00" Selatan, 107° 55' 07.00" Timur
<i>Water Depth</i>	: 42.36 m
<i>Description</i>	: 3 <i>Piles</i> , <i>Template</i>
<i>Type Platform</i>	: 2 <i>Decks</i>
<i>Date Installed</i>	: 1982
<i>Environmental Criteria</i>	
<i>Chart Water Depth</i>	: 42.36 m
<i>Storm Tide</i>	: 0.09 m
<i>Max Wave Height</i>	: 5m
<i>Max Wave Period</i>	: 7 S
<i>Current Velocity</i>	: 0.7 m/s (Surface) ; 0.27 m/s (Seabed)
<i>Wind Speed</i>	: 38 Mph
<i>Anodes data</i>	
<i>Type</i>	: Galvalium – C325 Alumunium ; Type III
<i>Total</i>	: 44 anodes
<i>OD</i>	: 6 ft ; 182 cm
<i>Length</i>	: 8 ft ; 243 cm
<i>Weight</i>	: 174 kg

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY			
PROJECT NAME : ICCP LOCATION DETAIL B			
SCALE : 1 : 1 : 100	Drawn By : Alvin Asanda Dambak	Signatured	Date
Approved By : N. Nur Hafidza, S.T.,M.T.,P.E.			Remark
RPP : 0311 100 001			

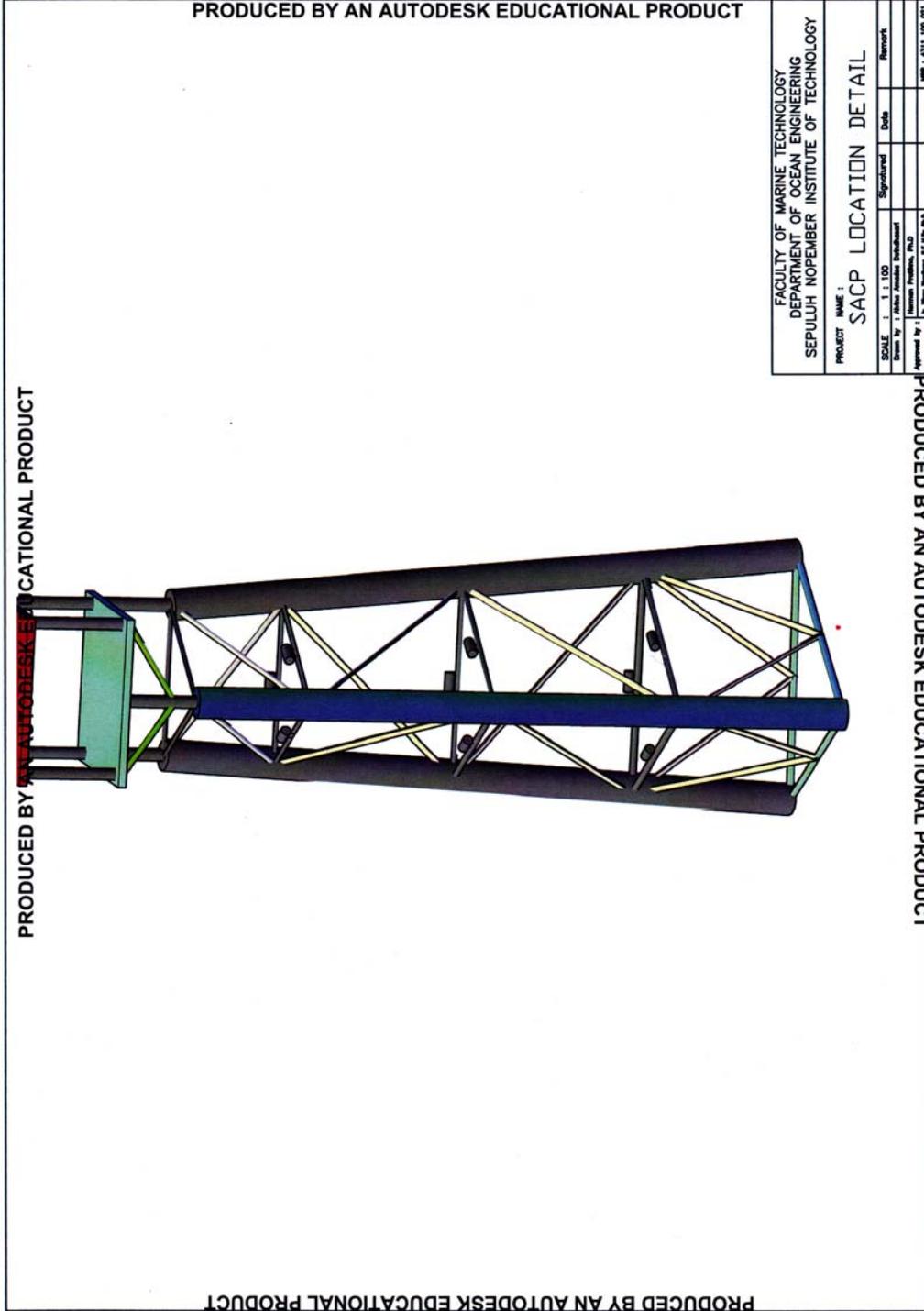
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

LAMPIRAN C
SACRIFICIAL ANODE



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY			
PROJECT NAME :	SACP LOCATION DETAIL		
SCALE :	1 : 1 : 100	Signature	Date
Drawn by :	Alvin Andika Setiawan		
Approved by :	Herwin Pratiwi, Ph.D		
	Dr. Herwin Pratiwi, S.T., M.T., Ph.D		
			IMP - 4311.100.001

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

LAMPIRAN D
PERHITUNGAN IMPRESSED CURRENT CATHODIC PROTECTION

COST ESTIMATE FOR ICCP SYSTEM					
A PREPARATION AND PERMISSION	Qty	Unit	\$/Unit	Amount	Total Cost
Preparation & Permit	1	LOT	\$ 25,000.00	\$ 25,000.00	\$ 25,000.00
B ENGINEERING & PMT					
	Qty	Unit	\$/Unit	Amount	Total Cost
Engineering	2200	mhrs	-	\$ 92,000.00	\$ 92,000.00
PMT Contractor	1	LOT	\$ 73,750.00	\$ 73,750.00	\$ 73,750.00
Preliminary Survey	80	mhrs	\$ 45.00	\$ 3,600.00	\$ 3,600.00
					\$ 169,350.00
C PROCUREMENT					
ICCP MATERIAL	Qty	Unit	\$/Unit	Amount	Total Cost
Anoda MMO	3	-	\$ 150.00	\$ 450.00	
FRP	3	-	\$ 200.00	\$ 600.00	
Stainless Band	6	-	\$ 400.00	\$ 2,400.00	
Junction Box	1	-	\$ 275.00	\$ 275.00	
Rectifier	3	-	\$ 2,000.00	\$ 6,000.00	
9mm2? Cable	30	m	\$ 20.00	\$ 600.00	
Cable Strap	20	-	\$ 7.50	\$ 150.00	
					\$ 10,475.00
D FABRICATION AND INSTALLATION					
	Qty	Unit	\$/Unit	Amount	Total Cost
Anoda with FRP	3.00	set	\$ 2,500.00	\$ 7,500.00	
Transportation to Site					
Transportation from fabrication yard to port	2	days	\$ 350.00	\$ 700.00	
Sea Fastening & Loading	1	-	\$ 2,000.00	\$ 2,000.00	
Marine Growth and Debris Cleaning					
Mobilization Vessel	2	days	\$ 14,000.00	\$ 28,000.00	
At Site :					
EH Platform	6	days	\$ 32,000.00	\$ 192,000.00	
Demobilization Vessel non DP	2	days	\$ 14,000.00	\$ 28,000.00	
Anode Installation					
Mobilization Vessel DP 2	2	days	\$ 14,000.00	\$ 28,000.00	
At Site :					
EH Platform	6	days	\$ 70,000.00	\$ 420,000.00	
Demobilization Vessel DP 2	2	days	\$ 14,000.00	\$ 28,000.00	
					\$ 734,200.00

PERHITUNGAN TEKNIS ICCP

1. area terproteksi

$$A = \pi \cdot D \cdot L$$

$$A = 3.14 \cdot 1 \cdot 45.8$$

$$A = 143.812 \text{ m}^2$$

2. factor breakdown coating

$$ff = a + (b \cdot tc)$$

$$ff = 0.05 + (0.02 \cdot 20) \\ 0.45$$

3. kebutuhan arus proteksi

$$I_{rm} = A_p \cdot I_{dm} \cdot ff$$

$$I_{rm} = 143.812 \cdot 0.06 \cdot 0.45 \\ 3.88 \text{ A}$$

4. kebutuhan jumlah anoda (berdasarkan arus proteksi)

$$N = \frac{I_p}{I_a} = \frac{3.88}{4}$$

5. anode resistance

$$R_a = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} (\ln 4L / r - 1)$$

$$R_a = \frac{0.3}{2 \cdot 3.14 \cdot 0.5} ((\ln(4 \cdot 0.5 / 0.0125)) - 1)$$

$$R_a = \frac{0.095541401}{0.257961783} \quad 2.7$$

6. parameter kabel DC

$$R_{k1} = L \cdot R_{k2}$$

> tahanan kabel dari junction box ke rectifier

$$R_{k1} = L \cdot R_{k2}$$

$$R_{k1} = 15 \cdot 0.0121 \\ 0.1815$$

> tahanan kabel dari

$$R_{k1} = L \cdot R_{k2}$$

$$R_{k1} = 20 \cdot 0.0121 \\ 0.242$$

$$\begin{aligned} \text{total tahanan} &= R + R_{k1} + R_{k1} \\ &= 0.3 + 0.1815 + 0.242 \\ &= 0.7235 \end{aligned}$$

LAMPIRAN E

PERHITUNGAN SACRIFICIAL ANODE

COST ESTIMATE FOR SACP SYSTEM						
A PREPARATION AND PERMISSION						
	Qty	Unit	\$/Unit	Amount	Total Cost	
Preparation & Permit	1	LOT	\$ 25,000.00	\$ 25,000.00	\$ 25,000.00	
B ENGINEERING & PMT						
	Qty	Unit	\$/Unit	Amount	Total Cost	
Engineering	2200	mhrs	-	\$ 92,000.00	\$ 92,000.00	
PMT Contractor	1	LOT	\$ 73,750.00	\$ 73,750.00	\$ 73,750.00	
Preliminary Survey	80	mhrs	\$ 45.00	\$ 3,600.00	\$ 3,600.00	
					\$ 169,350.00	
C PROCUREMENT						
SACP MATERIAL						
	Qty	Unit	\$/Unit	Amount	Total Cost	
Anoda Long Slender Stand Off	1326	kg	\$ 10.00	\$ 13,260.00		
FRP	9	-	\$ 200.00	\$ 1,800.00		
Stainless Band	20	-	\$ 150.00	\$ 3,000.00		
9mm2 Cable	30	m	\$ 12.50	\$ 375.00		
Cable Strap	25	-	\$ 5.00	\$ 125.00		
					\$ 18,560.00	
FABRICATION AND INSTALLATION						
	Qty	Unit	\$/Unit	Amount	Total Cost	
Anoda with FRP	9	set	\$ 2,500.00	\$ 22,500.00		
Transportation to Site						
Transportation from fabrication yard to por	2	days	\$ 350.00	\$ 700.00		
Sea Fastening & Loading	1	-	\$ 2,000.00	\$ 2,000.00		
Marine Growth and Debris Cleaning						
Mobilization Vessel	2	days	\$ 14,000.00	\$ 28,000.00		
At Site :						
EH Platform	15	days	\$ 32,000.00	\$ 480,000.00		
Demobilization Vessel non DP	2	days	\$ 14,000.00	\$ 28,000.00		
Anode Installation						
Mobilization Vessel DP 2	2	days	\$ 14,000.00	\$ 28,000.00		
At Site :						
EH Platform	20	days	\$ 70,000.00	\$ 1,400,000.00		
Demobilization Vessel DP 2	2	days	\$ 14,000.00	\$ 28,000.00		
					\$ 2,017,200.00	
OFFSHORE CREWS						
	Person Req	Qty	Unit	Salary Rate	Total	Total Cost
Diver	6	80	mhrs	\$ 195.00	\$ 46,800.00	
Lead Diver	1	80	mhrs	\$ 200.00	\$ 8,000.00	
Technician/Operator	1	80	mhrs	\$ 300.00	\$ 12,000.00	
Supervisor	1	80	mhrs	\$ 429.00	\$ 17,160.00	
CP Specialist	1	80	mhrs	\$ 858.00	\$ 34,320.00	
HSE Inspector	1	80	mhrs	\$ 515.00	\$ 20,600.00	
Construction Engineer	1	80	mhrs	\$ 644.00	\$ 25,760.00	
Electrical Engineer	1	80	mhrs	\$ 644.00	\$ 25,760.00	
QA/QC Inspector	1	80	mhrs	\$ 515.00	\$ 20,600.00	
Helper	10	80	mhrs	\$ 160.00	\$ 64,000.00	
						\$ 275,000.00
ENGINEERING						
	Person Req	Qty	Unit	\$/Unit	Amount	Total Cost
STRUCTURE/CORROSION						
- Engineer	1	200	mhrs	40	\$ 8,000.00	
- Designer	1	200	mhrs	30	\$ 6,000.00	
- Drafter	2	400	mhrs	25	\$ 20,000.00	
SUBTOTAL	4	800	mhrs		\$ 34,000.00	
CONSTRUCTION/INSTALLATION						
- Engineer	1	200	mhrs	40	\$ 8,000.00	
- Designer	1	200	mhrs	30	\$ 6,000.00	
- Drafter	2	400	mhrs	25	\$ 20,000.00	
SUBTOTAL	4	800	mhrs		\$ 34,000.00	
ELECTRICAL						
- Engineer	1	200	mhrs	40	\$ 8,000.00	
- Designer	1	200	mhrs	30	\$ 6,000.00	
- Drafter	2	200	mhrs	25	\$ 10,000.00	
SUBTOTAL	4	600	mhrs		\$ 24,000.00	
		2200				\$ 92,000.00

PMT	Person Req	Qty	Unit	\$/Units	Amount	Total
Procurement Manager	1	5	month	\$ 1,500.00	\$ 7,500.00	
Engineering Manager	1	5	month	\$ 1,500.00	\$ 7,500.00	
Construction and Installation Manager	1	5	month	\$ 1,600.00	\$ 8,000.00	
Logistic Operator Coordinator	1	5	month	\$ 900.00	\$ 4,500.00	
Project Control	1	5	month	\$ 900.00	\$ 4,500.00	
Project HSE Manager	1	5	month	\$ 1,500.00	\$ 7,500.00	
Lead Structural Engineer	1	5	month	\$ 950.00	\$ 4,750.00	
Lead Construction/Installation Engineer	1	5	month	\$ 950.00	\$ 4,750.00	
Lead Electrical Engineer	1	5	month	\$ 950.00	\$ 4,750.00	
Lead QA/QC	1	5	month	\$ 800.00	\$ 4,000.00	
QA/QC Inspector	2	5	month	\$ 1,000.00	\$ 10,000.00	
Safety Officer	2	5	month	\$ 600.00	\$ 6,000.00	
					\$	73,750.00
Sub Total Cost					\$	2,670,860.00
Contractor Profit						
Contingency	15%				\$	400,629.00
TAX	6%				\$	160,251.60
TOTAL COST					\$	3,231,740.60

PERHITUNGAN TEKNIS SACP

1. area terproteksi

$$A = \pi \cdot D \cdot L$$

$$A = 3.14 \cdot 1 \cdot 45.8$$

$$A = 143.812 \text{ m}^2$$

2. factor breakdown coating

$$ff = a + (b \cdot tc)$$

$$ff = \frac{0.05 + (0.02 \cdot 20)}{0.45}$$

3. kebutuhan arus proteksi

$$I_{rm} = A_p \cdot I_{dm} \cdot ff$$

$$I_{rm} = 143.812 \cdot 0.06 \cdot 0.45$$

$$3.88 \text{ A}$$

Kebutuhan Jumlah Anode

$$M_a = \frac{8760 \cdot I_{rf} \cdot t_a}{U \cdot E}$$

$$M_a = \frac{8760 \cdot 3.88 \cdot 20}{0.85 \cdot 2000}$$

$$M_a = 400 \text{ kg}$$

4. massa anode

$$M_{af} = M_{ai} \cdot (1 - U)$$

$$M_{af} = 147 \cdot (1 - 0.8)$$

$$= 29.4 \text{ kg}$$

5. anode resistance

$$R_a = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} (\ln 4L / r - 1)$$

$$R_a = \frac{0.3}{2 \cdot 3.14 \cdot 0.24} ((\ln(4 \cdot 2.43 / 0.16) - 1))$$

$$0.199044586 \quad 3$$

$$R_a = 0.597133758 \text{ ohm}$$

6. keluaran arus anoda

$$I_o = \frac{E_p - E_c}{R} = \frac{0.8 - (-0.15)}{0.597134}$$

$$= 1.088533 \text{ A}$$

7. kebutuhan jumlah anoda

a. berdasarkan berat yang dibutuhkan

$$N = \frac{M_a}{M_{af}} = \frac{424.86}{147}$$

$$= 2.890204082$$

$$2.890204082$$

DAFTAR PUSTAKA

- 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
- Bushman. **Impressed Current Cathodic Protection System Design.** Bushman & Associates,Inc. Ohio
- Cathodic Protection Design. <http://www.cathodicprotection101.com/>
- Chandler, K.A. 1985. **Marine And Offshore Corrosion.** Butterworths & Co. Ltd . London
- Det Norske Veritas. 2010. **DNV RP B401 Cathodic Protection Design.** Norway
- Gurrapa, I. 2004. **Cathodic Protection Of Cooling Water System And Selection Of Appropriate Material.** Material processing technology 166 (2005) 256-267.
- Hudi, Fajar A. 2013. **Analisis Desain Sacrificial Anode Cathodic Protection Pada Jaringan Pipa Bawah Laut.** Tugas akhir Prodi Teknik Kelautan Institut Teknologi Bandung. Bandung
- ISO 15589-2 , 2012, **Petroleum, Petrochemical And Natural Gas Industries – Cathodic Protection Of Pipeline Transportation System Part 2 - Offshore Pipeline.**
- McClelland, B., et. All. 1986. **Planning and Designing of Fixed Offshore Platforms.** Van Norstand Reinhold, New York.
- Migas-Indonesia Online. <http://www.migas-indonesia.com>.
- Pratikno,H; Arrifin, A; Jameelah M. 2009. **Influence of Injection DC Current and Seawater Salinity to Performance Several Anodes on Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) in Marine Environment.** International Journal of Material Science Research India Publications. India

Suparno. 2013. **Analisa Struktur Berbasis RBI pada Elemen Kritis : Studi Kasus Sebuah Jacket Platform.** Tugas akhir Jurusan Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya

Trianingtyas, A. 2011. **Analisa Desain Sitem ICCP Pada Offshore Pipeline JOB Pertamina - Petrocina East Java.** Tugas akhir Jurusan Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya

Wikipedia Online. <http://www.wikipedia.com>.

Trethewey, Kenneth, R, B.Sc, Ph.D, C.Chem, MRSC, M CORR.ST, John Chamberlain, 1991, ***Korosi Untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa,*** PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Zakaria, Muhammad. 2004, **Karakteristik Pencegahan Korosi Pipa Menggunakan SACP Dan ICCP.** Tugas Akhir Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya

BIODATA PENULIS



Alvina Amadea Dwindasari lahir Di Malang pada tanggal 23 Oktober 1993, merupakan anak bungsu dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Buring Malang, SMP Negeri 10 Malang, dan SMA Negeri 10 Malang. Setelah lulus pada tahun 2011, penulis mengikuti program Seleksi Nasional Mahasiswa Perguruan Tinggi Negeri dari jalur undangan dan diterima di jurusan Teknik Kelautan FTK – ITS dan terdaftar dengan NRP. 4311100021.

Di jurusan Teknik Kelautan, penulis mengambil bidang Struktur Bangunan Lepas Pantai terkait dengan Korosi. Dalam mengaplikasikan keilmuan yang didapat, penulis pernah melakukan *On Job Training* (OJT) di PT. Zee Engineering selama dua bulan. Penulis mengambil Tugas Akhir, dengan topik, “Korosi bangunan lepas pantai” sebagai syarat kelulusan Strata 1.

Email : alvinamadea@gmail.com

No. HP : 081332604823