

19.797/4/04



MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

TUGAS AKHIR

STUDI PERBANDINGAN KARAKTERISTIK SACRIFICIAL ANODES DENGAN IMPRESSED CURRENT UNTUK PENCEGAHAN KOROSI BADAN KAPAL



RSPe

623.848

Ros

S-1

2003

Disusun Oleh
IMRON ROSADI
NRP. 4101109501

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	12-9-2003
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	219212

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2003

**STUDI PERBANDINGAN KARAKTERISTIK
SACRIFICIAL ANODES DENGAN IMPRESSED CURRENT
UNTUK PENCEGAHAN KOROSI BADAN KAPAL**

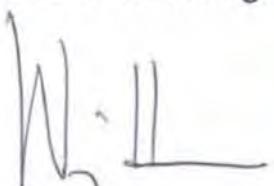
TUGAS AKHIR

Diajukan guna memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar
Sarjana Teknik Perkapalan
Pada

Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Mengetahui/Menytujui,

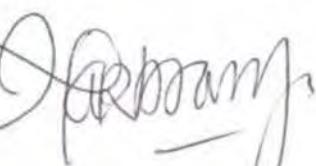
Dosen Pembimbing I



Wing Hendroprasetyo AP, ST, M.Eng.

NIP. 132 133 972

Dosen Pembimbing II



Ir. Djauhar Manfaat, MSc. Ph.D.

NIP. 131 651 444

**SURABAYA
JULI 2003**

**STUDI PERBANDINGAN KARAKTERISTIK
SACRIFICIAL ANODES DENGAN IMPRESSED CURRENT
UNTUK PENCEGAHAN KOROSI BADAN KAPAL**

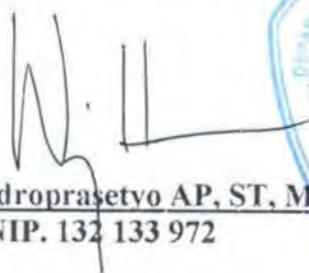
TUGAS AKHIR

Diajukan guna memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar
Sarjana Teknik Perkapalan
Pada

Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

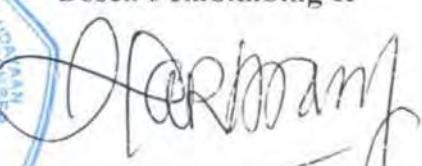
Mengetahui/Menyetujui,

Dosen Pembimbing I



Wing Hendroprasetyo AP, ST, M.Eng.
NIP. 132 133 972

Dosen Pembimbing II



Ir. Djauhar Manfaat, MSc, Ph.D.
NIP. 131 651 444

SURABAYA

JULI 2003

**STUDI PERBANDINGAN KARAKTERISTIK
SACRIFICIAL ANODES DENGAN IMPRESSED CURRENT
UNTUK PENCEGAHAN KOROSI BADAN KAPAL**

**TUGAS AKHIR
(KP 1701)**

Diajukan guna memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar

Sarjana Teknik Perkapalan

Dan

Telah direvisi sesuai dengan hasil Sidang Tugas Akhir

Pada

Jurusank Teknik Perkapalan

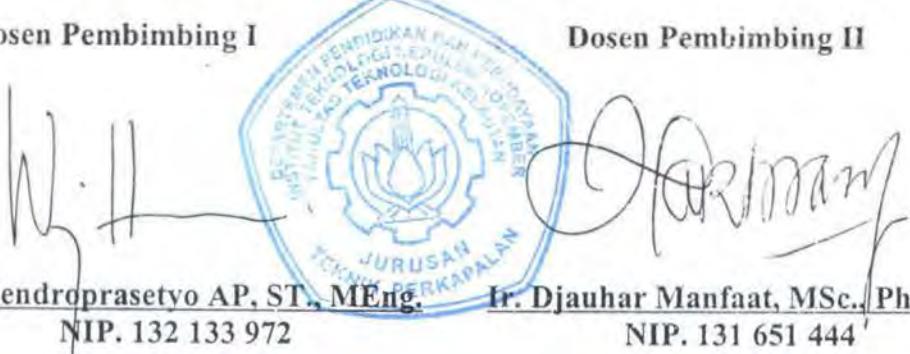
Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

Mengetahui/Menyetujui,

Dosen Pembimbing I



Wing Hendroprasetyo AP, ST, MEng. Ir. Djauhar Manfaat, MSc., PhD.
NIP. 132 133 972 NIP. 131 651 444

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN**

Nama : Imron Rosadi
NRP : 4101109 501
Dosen Pembimbing I : Wing Hendro Prasetyo AP, ST, M.Sc.
II : Ir. Djauhar Manfaat, MSc, Ph.D.

ABSTRAK

Sarjana Teknik S1

**STUDI PERBANDINGAN KARAKTERISTIK
SACRIFICIAL ANODES DENGAN IMPRESSED CURRENT
UNTUK PENCEGAHAN KOROSI BADAN KAPAL**

Secara umum korosi diartikan sebagai suatu proses kerusakan atau keausan material akibat terjadi reaksi dengan lingkungan. Dalam sebuah kapal korosi merupakan suatu masalah yang tidak kecil, karena dapat menurunkan produktivitas kapal. Salah satu perlindungan badan kapal dari korosi adalah dengan cara proteksi katodik. Dalam hal ini proteksi katodik dibedakan menjadi dua yaitu metoda SACP (*Sacrificial Anodes Cathodic Protection*) atau anoda tumbal dan metoda ICCP (*Impressed Current Cathodic Protection*) atau arus terpasang.

Beberapa hal yang dikerjakan dalam tugas akhir ini antara lain adalah melakukan penghitungan *zinc anode* yang dibutuhkan serta teknis pemasangannya, penghitungan biaya yang dibutuhkan untuk penggunaan sistem anoda tumbal maupun sistem ICCP, ini dilakukan untuk mengetahui sisi teknis dan ekonomis dari metode tersebut. Dari hasil penghitungan tersebut dapat dibandingkan baik dari sisi teknis maupun ekonomis kedua metode ini.

Sebagai langkah akhir dari tugas akhir ini adalah mencari metoda *cathodic protection* paling ekonomis yang dapat digunakan dalam perlindungan korosi pada badan kapal.

Kata kunci : Korosi badan kapal, sacrificial anodes dan impressed current.

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN**

Nama : Imron Rosadi
NRP : 4101109 501
Dosen Pembimbing I : Wing Hendro Prasetyo AP, ST, M.Sc.
II : Ir. Djauhar Manfaat, MSc, Ph.D.

ABSTRAK

Sarjana Teknik S1

**COMPARISON STUDY OF SACRIFICIAL ANODES
WITH IMPRESSED CURRENT CHARACTERISTIC
FOR SHIP HULL CORROSION PREVENT**

Generally, corrosion is the destructive attack of a material with its environment. In a ship corrosion not little problem, cause can be reduce the productivity. One solution of the corrosion prevent ship's hull by cathodic protection methode. The kind of cathodic protection is SACP methode (Sacrificial Anodes Cathodic Protection) and ICCP methode (Impressed Current Cathodic Protection).

Some case will be done in the final project, that's estimation zinc anodes needs with its construction, to know economy and technical SACP and ICCP methode. That's all compare both.

For the last step of this final project is get the most economy cathodic protection methode can be use to corrosion protection.

Key word : Ship hull corrosion, sacrificial anodes and impressed current.

KATA PENGANTAR

Tugas Akhir merupakan wahana bagi mahasiswa untuk dapat berpikir dan bertindak serta mampu mempertanggungjawabkan secara ilmiah. Sehingga dapat meningkatkan potensi dan kemampuan dasar mahasiswa. Kami sangat bersyukur kepada Allah SWT atas tersusunnya tugas akhir ini. Namun demikian selaku subyek belajar yang senantiasa akrab dengan kesalahan dan kekurangan, perlu kami ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam bentuk apapun dan senantiasa mendorong sehingga tersusunlah tugas akhir ini dengan baik sehingga diharapkan akan memberikan kemajuan ataupun perubahan ke arah yang lebih baik dalam pelaksanaan tugas akhir ini.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc,Ph.D, selaku Kepala Jurusan Teknik Perkapalan dan pembimbing dalam penyusunan tugas akhir ini.
2. Bapak Wing Hendroprasetyo M.Eng, selaku pembimbing dalam penyusunan tugas akhir ini sekaligus penyedia sarana / referensi yang penulis butuhkan.
3. Bapak Ir. Triwilaswadio WP, M.Sc, selaku dosen wali.
4. Segenap sivitas akademika Teknik Perkapalan FTK-ITS.
5. Kedua orang tuaku, abah dan ibu mertua beserta keluarga besar di Tegal yang telah memberikan nasehat, semangat dengan penuh kesabaran bagi penulis demi selesaiya tugas akhir ini.
6. Istriku tercinta Faridah Kurniasari dan anakku yang masih dalam rahimnya, doa dan dukungan kalian membuat penulis lebih kuat menghadapi semuanya.



7. Komunitas Mulyosari BPD Kav. 2C, yang telah memberikan banyak arti hidup (kenangan ini tidak akan terlupakan).
8. Segenap karyawan PT PAL Indonesia, mas Isya (Kartini Utama), mas Anam (ITATS), Fatah, yang telah bersedia meluangkan waktu untuk membantu penulis menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Semua teman-teman se-kampus ITS baik yang satu jurusan maupun yang beda jurusan yang tidak bisa disebutkan satu per satu.
10. Semua pihak baik yang langsung maupun yang tidak langsung yang telah turut serta dalam penulisan tugas akhir ini.

Akhirnya dengan segala harapan semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi kemajuan dan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Surabaya, Juli 2003

Penyusun,

Imron Rosadi



DAFTAR ISI

Hal

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	ii
Abstrak	iii
Kata Pengantar	iv
Daftar Isi	vi
Daftar Gambar	vii
Daftar Tabel	ix
Daftar Notasi.....	x

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	I-1
1.2. Tujuan Penelitian	I-2
1.3. Tujuan Penelitian	I-2
1.4. Manfaat Penelitian	I-2
1.5. Batasan Masalah	I-2
1.7. Metodologi Penelitian.....	I-3
1.8. Sistematika Penulisan.....	I-5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi Korosi	II-1
2.1.1. Dasar Teori Kimia Terjadinya Korosi.....	II-2
2.1.2. Dasar Teori Listrik Terjadinya Korosi.....	II-4
2.1.3. Teori Elektrokimia Pada Proses Korosi.....	II-4
2.2. Korosi Galvanik	II-5
2.2.1. Pengertian Korosi Galvanik	II-5
2.2.2. Mekanisme Terjadinya Korosi Galvanik	II-6
2.2.3. Deret Galvanik	II-8
2.2.4. Mekanisme Korosi Dalam Medium Elektrolit	II-10
2.2.5. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Korosi Galvanik.....	II-12
2.3. Polarisasi	II-14



2.5. Pengendalian Korosi II-17

2.6. Perlindungan Badan Kapal..... II-18

BAB III KARAKTERISTIK PERLINDUNGAN KATODIK

3.1. Perlindungan Katodik III-1

3.2. Metode Anoda Tumbal (Sacrificial Anode Cathodic Protection) III-2

 3.2.1. Mekanisme III-2

 3.2.2. Perancangan Anoda. III-3

 3.2.3. Karakteristik Anoda Tumbal III-5

3.3. Metode Arus Terpasang (ICCP) III-8

 3.3.1. Mekanisme III-8

 3.3.2. Anoda Yang Dapat Dipakai..... III-9

BAB IV ANALISA TEKNIS

4.1. Metode Anoda Tumbal (SACP) IV-1

 4.1.1. Faktor-Faktor Penentu Jumlah Anoda IV-1

 4.1.2. Penentuan Kebutuhan Jumlah Anoda. IV-8

 4.1.3. Metode Pemasangan IV-25

4.2. Metode Arus Terpasang (ICCP) IV-28

 4.2.1. Sistem ICCP IV-28

 4.2.2. Komponen-Komponen ICCP IV-29

 4.2.3. Metode Pemasangan IV-32

BAB V ANALISA EKONOMIS

5.1. Pendahuluan V-1

5.2. Biaya Sistem Anoda Tumbal V-2

5.3. Biaya Sistem Arus Terpasang V-5

5.4. Perbandingan Biaya V-7

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan VI-1

6.2. Saran VI-2

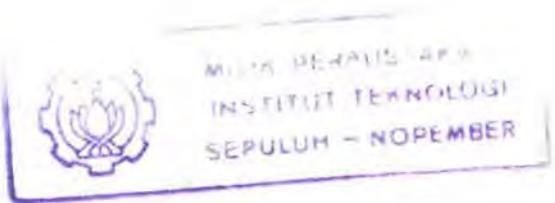
DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 1.1. Diagram alir metodologi penelitian	I-4
Gambar 2.1. Sel batere dan sel korosi	II-4
Gambar 2.2. Proses korosi pada media asam	II-7
Gambar 2.3. Mekanisme elektrokoimia besi dalam larutan NaCl tanpa aerasi	II-10
Gambar 2.4. Diagram evans dari pasangan dwilogam besi dan seng	II-14
Gambar 2.5. Polarisasin aktifasi	II-16
Gambar 2.6. Polarisasi konsentrasi	II-17
Gambar 3.1. Sel korosi basah	III-2
Gambar 3.2. Beberapa bentuk anoda tumbal	III-3
Gambar 4.1. Peletakan anoda tumbal pada bagian stern	IV-26
Gambar 4.2. Diagram blok sistem ICCP	IV-29
Gambar 4.3. Diagram blok rectifier	IV-30
Gambar 4.4. Pemasangan elektroda referensi	IV-32
Gambar 4.5. Penempatan anoda ICCP pada kapal	IV-32
Gambar 5.1. Grafik perbandingan biaya proteksi katodik	V-14



DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 2.1. Deret elektromotive logam	II-9
Tabel 2.2. Perubahan berat besi dan seng yang dikopel dan tanpa dikopel	II-13
Tabel 2.3. Perbandingan beberapa anoda tumbal untuk proteksi katodik	II-23
Tabel 4.1. Konstanta k_1 dan k_2 untuk perhitungan faktor coating breakdown	IV-3
Tabel 4.2. Kerapatan arus dalam A/m^2	IV-4
Tabel 4.3. Kebutuhan anoda Zn pada kapal Caraka Jaya Niaga III	IV-14
Tabel 4.4. Kebutuhan anoda Al pada kapal Caraka Jaya Niaga III	IV-15
Tabel 4.5. Kebutuhan anoda Zn pada kapal Palu Sipat	IV-16
Tabel 4.6. Kebutuhan anoda Al pada kapal Palu Sipat	IV-17
Tabel 4.7. Kebutuhan anoda Zn pada kapal DCV	IV-18
Tabel 4.8. Kebutuhan anoda Al pada kapal DCV	IV-19
Tabel 4.9. Kebutuhan anoda Zn pada kapal OHBC	IV-20
Tabel 4.10. Kebutuhan anoda Al pada kapal OHBC	IV-21
Tabel 5.1. Biaya pemakaian anoda Zn pada Kapal Caraka Jaya Niaga III .	V-3
Tabel 5.2. Biaya pemakaian anoda Al pada Kapal Caraka Jaya Niaga III .	V-3
Tabel 5.3. Biaya pemakaian anoda Zn pada Kapal Palu Sipat	V-3
Tabel 5.4. Biaya pemakaian anoda Al pada Kapal Palu Sipat	V-4
Tabel 5.5. Biaya pemakaian anoda Zn pada DCV	V-4
Tabel 5.6. Biaya pemakaian anoda Al pada DCV	V-4



Tabel 5.7. Biaya pemakaian anoda Zn pada OHBC	V-4
Tabel 5.8. Biaya pemakaian anoda Al pada OHBC	V-5
Tabel 5.9. Biaya pemakaian anoda Zn pada kapal Caraka Jaya Niaga III dalam 15 tahun	V-7
Tabel 5.10. Biaya pemakaian anoda Al pada kapal Caraka Jaya Niaga III dalam 15 tahun	V-8
Tabel 5.11. Biaya pemakaian anoda Zn pada kapal Palu Sipat dalam 15 tahun	V-8
Tabel 5.12. Biaya pemakaian anoda Al pada kapal Palu Sipat dalam 15 tahun	V-9
Tabel 5.13. Biaya pemakaian anoda Zn pada kapal DCV dalam 15 tahun .	V-10
Tabel 5.14. Biaya pemakaian anoda Al pada kapal DCV dalam 15 tahun .	V-10
Tabel 5.15. Biaya pemakaian anoda Zn pada kapal OHBC dalam 15 tahun	V-11
Tabel 5.16. Biaya pemakaian anoda aL pada kapal OHBC dalam 15 tahun	V-12
Tabel 5.17. Biaya operasi ICCP pada kapal Caraka Jaya Niaga III dalam 15 tahun	V-13
Tabel 5.18. Biaya operasi ICCP pada kapal Palu Sipat dalam 15 tahun	V-14
Tabel 5.17. Biaya operasi ICCP pada kapal DCV dalam 15 tahun	V-15
Tabel 5.17. Biaya operasi ICCP pada kapal OHBC dalam 15 tahun	V-16
Tabel 5.17. Perbandingan biaya proteksi katodik	V-17



DAFTAR NOTASI

- A : Ampere/ampere meter.
- A² : Luas (m^2).
- Al : Alumunium.
- B : Lebar kapal
- CA : Kapasitas anoda.
- CD : Rapat arus.
- °C : Derajat celcius.
- d : diameter.
- DFT : Dry Film Thickness / ketebalan film basah.
- DNV : Det Norske Veritas
- fc : faktor coating breakdown.
- Fe : Besi.
- H : Hidrogen.
- h : Tinggi.
- HCl : Hidrogen clorida.
- H₂O : Air,
- I : Arus.
- ICCP : Immpresed Current Cathodic Protection / metoda arus terpasang.
- L : Panjang.
- Lpp : Panjang antara dua garis tegak
- m : Massa.
- NaCl : Natrium clorida.
- PE : Propeller efect / efek propeler.
- R : Tahanan anoda.
- SACP : Sacrificial Anode Cathodic Protection / metoda anoda tumbal.
- SCE : Saturated Calomel Electrode / elektroda kalomel jenuh.
- t : Tahun.
- T : Sarat kapal.



u : Faktor utilisasi.

V : Driving potential.

WSA : Wetted Surface Area / luas permukaan basah.

W : Berat anoda.

w : Lebar.

Zn : Zink.

ρ : Resistivitas air laut.



BAB I

PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pembangunan suatu kapal haruslah memenuhi standar yang ditentukan, terutama yang berkaitan dengan aspek keamanan dan keselamatan. Merupakan suatu kenyataan yang kurang menguntungkan berhubung kapal laut yang kebanyakan terbuat dari baja harus beroperasi di laut yang merupakan media korosif, sehingga baja akan sangat rentan terhadap serangan korosi. Oleh karena itu untuk menghambat laju korosi ini perlu dilakukan beberapa upaya. Upaya-upaya tersebut meliputi : pemberian lapisan pelindung (*coating*), anoda tumbal (*sacrificial anodes*), dan pemberian potensial perlindungan katodik (*impressed current*). Dewasa ini banyak kapal yang menggunakan anoda tumbal (*sacrificial anodes*) untuk pengendalian korosi badan kapal, padahal selain anoda tumbal masih ada metode yang lain yaitu potensial perlindungan katodik (*impressed current*), tapi untuk metode potensial perlindungan katodik jarang digunakan pada kapal yang dirancang di Indonesia. Oleh karena itu untuk mengetahui metode apa yang lebih ekonomis dan menguntungkan dalam mengendalikan proses korosi pada badan kapal maka diperlukan analisa dan perbandingan baik dari sisi teknis maupun dari sisi ekonomis antara anoda tumbal (*sacrificial anode*) dengan potensial perlindungan katodik (*impressed current*) untuk pencegahan proses korosi yang terjadi pada badan kapal.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk meningkatkan performansi kapal terutama dalam hal pencegahan korosi badan kapal dengan cara :

- melakukan analisa dan perbandingan antara metode *sacrificial anodes* dan *impressed current* dari sisi teknis.
- melakukan analisa dan perbandingan antara metode *sacrificial anodes* dan *impressed current* dari sisi ekonomis.

1.3. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari tugas akhir ini adalah mendapatkan informasi sebagai pertimbangan dalam hal pemilihan metode untuk pengendalian korosi badan kapal yang paling ekonomis antara *sacrificial anode cathodic protection* dengan *impressed current cathodic protection*.

1.4. Permasalahan

Manakah yang lebih ekonomis antara sistem anoda tumbal (SACP) dan sistem arus terpasang (ICCP) pada pencegahan korosi badan kapal?

1.5. Batasan Masalah

Untuk mencapai tujuan penelitian maka dalam tugas akhir ini dilakukan batasan masalah yang meliputi :

- Kapal yang digunakan adalah Caraka Jaya Niaga III, Palu Sipat, DCV dan OHBC.
- Dua anoda tumbal yang sudah diklaskan BKI.
- Satu jenis ICCP.
- Satu kategori coating.
- Hanya lambung luar yang diproteksi.

1.6. Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam tugas akhir ini meliputi langkah – langkah sebagai berikut :

- *Identifikasi masalah*

Yaitu menentukan masalah apa saja yang timbul di dalam menentukan metode yang cocok antara *sacrificial anodes* dan *impressed current*.

- *Studi literatur*

Dalam hal ini mencari literatur yang berhubungan dengan metode *sacrificial anode* dan metode *impressed current* serta metode – metode lain yang ada kaitannya dengan pencegahan korosi pada badan kapal.

- *Pengumpulan data*

Pengumpulan data diperlukan sebagai penunjang di dalam mencapai tujuan penelitian. Sebagai contoh data-data tersebut meliputi : Data kapal Caraka Jaya Niaga III, Palu Sipat,DCV dan OHBC, teknik pemakaian anoda tumbal , teknik pemakaian ICCP, dan Perhitungan JO dan tarif standar yang dimiliki PT. PAL Indonesia.

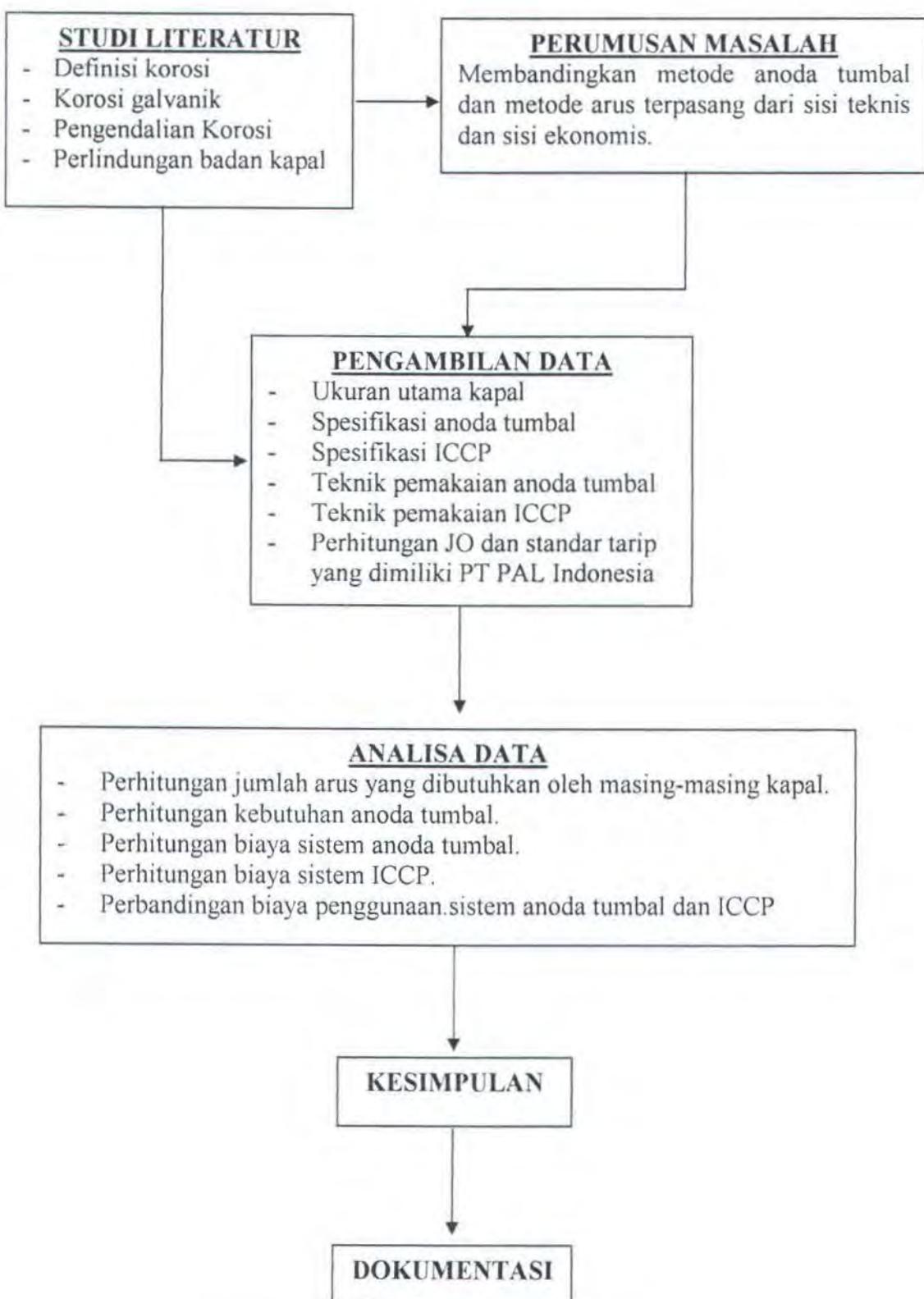
- *Analisa data*

Dari data yang dikumpulkan kemudian dilakukan analisa data guna mendapatkan faktor yang mempengaruhi perbedaan karakteristik dan membandingkan dari segi ekonomis kedua metode tersebut.

- *Kesimpulan dan saran*

Dari hasil analisa dapat diambil keputusan penyebab perbedaan karakteristik kedua metode perlindungan tersebut sehingga dapat sebagai pertimbangan dalam pemilihan metode untuk menghambat korosi pada badan kapal.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1. Diagram alir metodologi penelitian



1.7. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan di dalam tugas akhir ini meliputi :

- Bab I. Pendahuluan.

Meliputi latar belakang, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

- Bab II. Tinjauan Pustaka.

Meliputi teori tentang korosi, polarisasi, dan metode yang digunakan dalam pengendalian korosi badan kapal.

- Bab III. Karakteristik Perlindungan Katodik,

Meliputi perlindungan katodik, sacrificial anoda, dan ICCP.

- Bab IV. Analisa Teknis.

Penganalisaan teknis pada metode SACP maupun ICCP.

- Bab V. Analisa Ekonomis.

Penganalisaan ekonomis pada metode SACP maupun ICCP.

- Bab VI. Kesimpulan dan Saran.

Penarikan kesimpulan dari analisa yang telah dilakukan baik analisa teknis maupun analisa ekonomis dan memberikan saran agar tugas akhir ini bisa dikembangkan untuk tujuan yang akan datang.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi Korosi

Korosi adalah penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya [Chamberlain,1991]. Korosi berkaitan dengan logam, sedangkan logam adalah suatu material yang mempunyai jenis ikatan yang khusus yang membuat logam mempunyai sifat-sifat tersendiri dan berbeda dengan bahan-bahan lain bukan logam.

Penurunan mutu logam tidak hanya melibatkan reaksi elektrokimia yaitu antara bahan-bahan bersangkutan terjadi perpindahan elektron. Karena elektron adalah sesuatu yang bermuatan negatif, maka pengangkutannya menimbulkan arus listrik, sehingga reaksi dipengaruhi oleh potensial listrik.

Pada umumnya baja karbon akan mengalami korosi pada setiap lingkungan atmosfer bila kelembaban relatif melebihi 60%. Begitu butir-butir air pada permukaan terbentuk, maka korosi akan terjadi dengan kecepatan yang dipengaruhi beberapa faktor antara lain : kandungan oksigen, pH, serta kandungan ion-ion agresif.

Lingkungan adalah sebutan paling mudah untuk mewakili semua unsur sekitar logam terkorosi pada saat reaksi korosi berlangsung. Lingkungan yang dimaksudkan diantaranya adalah lingkungan berwujud gas (-10°C s.d. +10°C), bahan yang terendam dalam air bebas, tanah dan mineral-mineral yang terlarut

akan membentuk elektrolit yang bersifat menghantarkan arus listrik [Chamberlain,1991].

Proses korosi dapat diterangkan melalui konsep sel korosi sederhana. Pada konsep korosi sel sederhana terdapat empat faktor yang harus ada secara bersamaan, untuk berlangsungnya proses korosi yaitu :

- a. Anoda, yang merupakan bagian yang terkorosi dan akan melepaskan elektron-elektron dari atom-atom logam netral membentuk ion-ion.
 - b. Katoda, bagian yang biasanya tidak mengalami korosi walaupun mungkin menderita kerusakan-kerusakan.
 - c. Elektrolit, merupakan istilah yang diberikan pada larutan yang bersifat menghantarkan listrik. Larutan ini biasanya mempunyai harga konduktivitas tertentu.
 - d. Hubungan listrik, dimana antara katoda dan anoda harus ada hubungan listrik agar arus didalam sel korosi dapat mengalir. Hubungan secara fisik tidak diperlukan jika anoda dan katoda merupakan bagian dari logam yang sama.

2.1.1. Dasar Teori Kimia Terjadinya Korosi

Dalam reaksi kimia korosi terjadi akibat adanya reaksi reduksi dan oksidasi (redoks) antara material dengan lingkungannya. Media utama adalah air (H_2O) yang merupakan molekul netral dan bersifat *reversible*, dimana kedua jenis atom yang terkandung didalam molekul air sewaktu-waktu dapat berubah menjadi atom-atom semula, lebih jelasnya dapat dilihat dalam reaksi 2.1.



Sebagai contoh adalah reaksi baja di udara terbuka atau yang tercelup dalam air. Terjadinya korosi pada baja yang dicelupkan air dikarenakan atom-atom logam mengalami pelepasan elektron sehingga terbentuk ion logam.



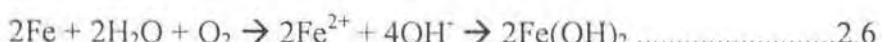
Reaksi 2.2. disebut reaksi anodik atau oksidasi. Sedangkan apabila baja tersebut berada pada udara terbuka yang mengandung uap air maka udara dengan air akan mengalami reaksi katodik yang disebut reaksi oksigen seperti dibawah ini:



Dalam larutan asam, reaksi reduksinya adalah evolusi hidrogen



Pada baja-baja yang tecelup dalam air laut, ion-ion Cl^- dan Na^+ tidak ikut bereaksi, sebagai hasil adalah penggabungan reaksi anodik dan katodik adalah sebagai berikut:



Senyawa hasil reaksi 2.6. diatas disebut senyawa karat atau garam ferro. Kondisi ini menurut reaksi kimia tidak akan stabil jika terus menerus berada di udara terbuka atau di air laut. Senyawa ini akan bereaksi lebih lanjut membentuk garam ferrit yaitu:

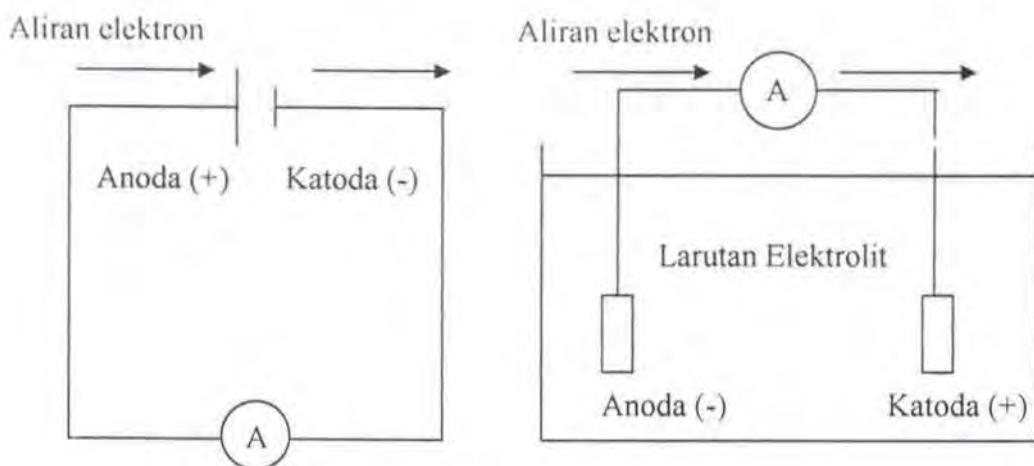


Dari reaksi 2.7. diatas dapat ditarik kesimpulan jika baja mengalami korosi maka akan berlanjut hingga habis.

2.1.2. Dasar Teori Listrik Terjadinya Korosi

Semua material mempunyai muatan listrik statis yang besarnya bervariasi. Bila ada dua benda dengan muatan listrik yang berbeda dihubungkan secara elektris, dicelupkan kedalam larutan elektrolit dan dihubungkan dengan konduktor, maka akan terjadi aliran listrik dan aliran elektron.

Pada sel batere kutub positif disebut anoda dan kutub negatif disebut katoda. Kebalikannya dalam sel korosi, kutub positif disebut katoda dan kutub negatif disebut anoda, seperti dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Sel batere dan sel korosi

2.1.3. Teori Elektrokimia Pada Proses Korosi

Reaksi elektrokimia adalah reaksi yang melibatkan arus elektron/arus listrik atau reaksi yang didalamnya terdapat reaksi redoks. Hampir seluruh proses korosi yang terjadi pada logam melibatkan perpindahan elektron.

Contoh reaksi elektrokimia adalah reaksi antara Zn dan HCl yang ditunjukkan pada reaksi 2.8. berikut :



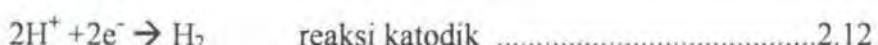
Zinc bereaksi dengan larutan asam membentuk zinc chloride serta membebaskan gelembung-gelembung gas hidrogen pada permukaan. Bentuk reaksi ioniknya adalah :



Setelah menghilangkan Cl^- dari kedua sisi reaksi diperoleh :



Bila diuraikan, reaksi diatas terdiri atas :



Pada reaksi anodik valensi Zn meningkat dari 0 menjadi +1 dengan melepaskan elektron, reaksi ini disebut juga oksidasi. Sedangkan pada reaksi katodik bilangan oksidasi hidrogen turun dari +1 menjadi 0 dengan mengkonsumsi elektron, reaksi ini disebut juga reaksi reduksi.

2.2. Korosi Galvanik

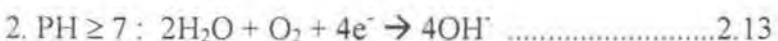
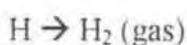
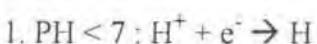
2.2.1. Pengertian Korosi Galvanik

Korosi Galvanik (*Bimetallic Corrosion*) atau disebut juga *dissimilar metal* adalah suatu proses korosi logam yang tidak sejenis yang tergandeng (*coupled*) dan membentuk sebuah sel korosi basah sederhana dalam suatu media elektrolit. Dan dari proses tersebut, terjadilah korosi yang disebabkan karena perbedaan potensial dari kedua logam itu [Chamberlain,1991].

Biasanya kita dapat mengenali daerah-daerah pada permukaan logam yang terkorosi, dan tempat reaksi-reaksi anoda dan katoda dimana masing-masing berlangsung, daerah-daerah itu disebut anoda dan katoda. Anoda biasanya

terkorosi dengan melepaskan elektron-elektron dari atom-atom logam netral untuk membentuk ion-ion yang bersangkutan. Ion-ion ini mungkin tetap tinggal dalam larutan atau beraksi membentuk hasil korosi yang tidak larut.

Sedangkan katoda biasanya tidak mengalami korosi, walaupun menderita kerusakan dalam kondisi-kondisi tertentu. Dua reaksi yang penting dan umum yang mungkin terjadi pada katoda, tergantung pada pH larutan yang bersangkutan, seperti contoh dibawah ini [Chamberlain,1991] :

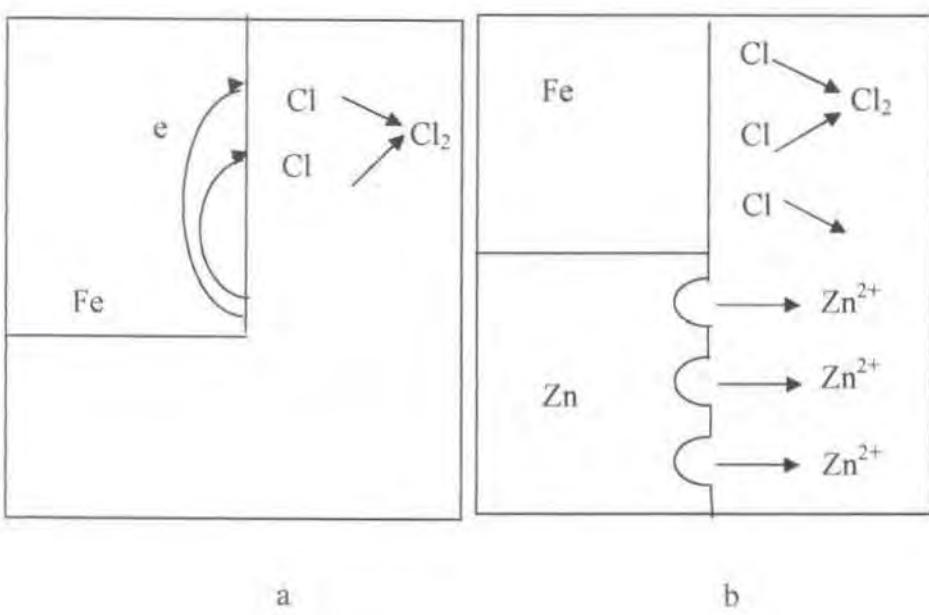


Perbedaan potensial antara dua logam yang berbeda dan berkontak (terhubung secara kontak listrik) ketika tercelup dalam elektrolit, akan menyebabkan elektron mengalir diantara kedua logam tersebut, sehingga terjadilah korosi. Bahan yang mempunyai ketahanan korosi yang rendah akan lebih rentan terkena korosi dari pada logam yang mempunyai ketahanan korosi yang lebih tinggi. Bahan dengan ketahanan korosi lebih rendah disebut anoda, sedangkan logam dengan kondisi sebaliknya disebut katoda [Chamberlain, 1991].

2.2.2. Mekanisme Terjadinya Korosi Galvanik

Prinsip korosi logam tidak sejenis atau sering disebut korosi galvanik merupakan dasar untuk memahami semua bentuk korosi yang lain. Untuk lebih menjelaskan tentang korosi galvanik tersebut, maka diberikan salah satu bentuk reaksi korosi yang dapat mewakili korosi galvanik, yaitu korosi logam yang dikopel dengan logam yang tanpa dikopel. Perbandingan mekanisme korosi yang

terjadi pada logam dikopel dengan korosi logam yang tanpa dikopel atau bebas dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Proses korosi pada media asam.

(a) Korosi logam bebas

(b) Korosi logam yang dikopel

[Morgan, 1987].

Dari Gambar 2.2 (a) diatas terlhat bahwa sebenarnya korosi terjadi pada logam tunggal, misalnya pada besi (Fe) yang mengalami korosi akibat perbedaan potensial lokal yang dimilikinya. Perbedaan potensial tersebut dapat berasal dari batasan dari butiran, *impurity*, fasa-fasa, dan bagian lainnya. Dengan demikian terbentuklah suatu anoda dan katoda lokal pada permukaan logam tersebut, dan selanjutnya terjadi aliran elektron dari anoda ke katoda diikuti oleh oksidasi dari anoda lokal. Pada suatu keadaan tertentu besi akan terkorosi sampai habis, dan ini terjadi bila besi dicelupkan dalam Natrium klorida pekat . Hal ini dimungkinkan karena tak ada bagian-bagian besi yang sama. Apabila suatu anoda lokal habis terkorosi, maka bagian sisa katoda lokal menjadi anoda dan katoda lokal baru, demikian proses ini berlangsung terus menerus sampai besi benar-benar habis [Morgan, 1987].

Sedangkan Gambar 2.2.(b) terlihat bahwa besi (Fe) sebagai katoda yang terkopel, dengan seng (Zn) sebagai anoda, aliran elektron tidak hanya terjadi menuju katoda lokal, tetapi lebih besar lagi akan mengalir ke logam katoda. Hal ini disebabkan karena keduanya mempunyai perbedaan potensial yang besar akan mengalami reaksi diatas (korosi) apabila kedua logam tersebut diletakan dalam suatu media elektrolit yang sama dan setempat.

Akibat kenyataan diatas, besi dalam keadaan dikopel dengan seng (galvanik kopel) akan mengalami ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan dengan besi yang tidak dikopel.

2.2.3. Deret Galvanik

Deret galvanik mempunyai manfaat praktis yang besar sekali karena memungkinkan kita untuk memperkirakan secara cepat hambatan korosi pada suatu gandengan logam yang tidak sejenis.

Deret galvanik menyatakan hubungan antara logam yang satu dengan logam yang lainnya dan dibuat dari hasil perbandingan kualitatif atas aktivitas logam-logam yang memuat informasi baik mengenai logam murni maupun paduan pada kondisi-kondisi temperatur, tekanan dan elektrolit sembarang (meskipun tertentu). Dan seperti keterangan diatas, bahwa korosi galvanik timbul akibat perbedaan potensial yang dimiliki oleh setiap bahan logam. Oleh karena itu, dibuat tentang standar potensial dari beberapa bahan. Potensial yang digunakan untuk keperluan diatas adalah hidrogen (H_2 / H^+), artinya potensial oksidasi dari gas hidrogen (H_2) menjadi ion hidrogen adalah nol.

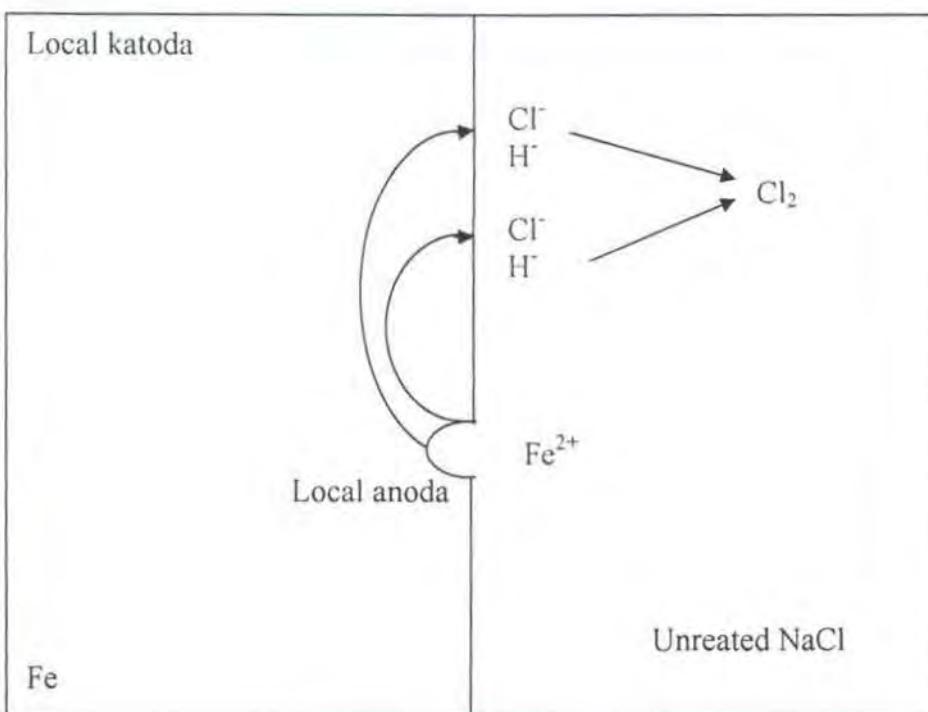
Tabel 2.1. Deret Elektromotif Logam [Chandler, 1985].

Ion logam pada kesetimbangan (Unit Aktifitas)	Elektroda potensial vs elektroda hidrogen normal pada 25°C, volt
Au – Au ³⁺	+1,498
Pt – Pt ²⁺	+1,2
Pd – Pd ²⁺	+0,987
Ag – Ag ⁺	+0,799
Hg – Hg ²⁺	+0,788
Cu – Cu ²⁺	+0,377
H ₂ – H ₂ ⁺	0,000
Pb – Pb ²⁺	-0,126
Sn – Sn ²⁺	-0,136
Ni – Ni ²⁺	-0,250
Co – Co ²⁺	-0,277
Cd – Cd ²⁺	-0,403
Fe – Fe ²⁺	-0,440
Cr – Cr ³⁺	-0,744
Zn – Zn ²⁺	-0,763
Al – Al ³⁺	-1,662
Mg – Mg ²⁺	-2,363
Na – Na ⁺	-2,714
K – K ⁺	-2,925

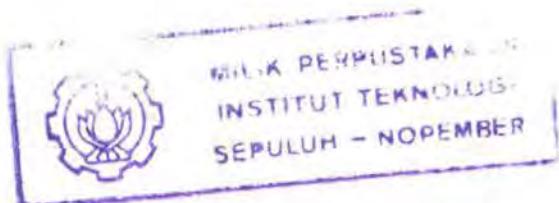
Pada kenyataan, umumnya korosi galvanik terjadi pada logam-logam paduan. Oleh karena itu, untuk memperkirakan kehadiran korosi galvanik yang lebih akurat, diperlukan tabel deret galvanik diatas dengan melihat harga elektroda potensial vs elektroda hidrogen pada suhu 25 °C.

2.2.4. Mekanisme Korosi Dalam Medium Elektrolit

Proses elektrokimia dari suatu proses korosi, sebagai contoh dalam reaksi besi (Fe) yang dicelup dalam larutan Natrium Klorida (NaCl) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3.



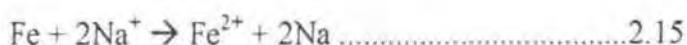
Gambar 2.3. Mekanisme elektrokimia korosi besi dalam larutan NaCl tanpa aerasi [Chandler, 1981].



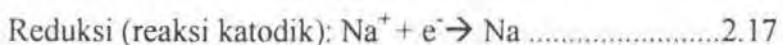
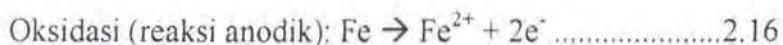
Medium elektrolit NaCl yang diGambarkan dalam contoh ini tidak mengandung oksigen terlarut (*unareated*). Reaksi ini berlangsung cepat, gas hidrogen dilepas dan Fe terlarut membentuk FeCl_2 . Reaksi yang dimaksud adalah sebagai berikut :



Dengan memperhatikan bahwa ion Cl tidak ikut dalam reaksi, maka persamaan dapat disederhanakan menjadi :



Dari persamaan diatas, besi bereaksi dengan ion natrium dalam larutan asam membentuk ion Fe^{2+} dan atom natrium menjadi endapan natrium. Selain itu reaksi diatas dapat dibagi menjadi 2 reaksi yaitu reaksi oksidasi besi dan reaksi reduksi ion natrium.



Atom-atom Fe diubah menjadi ion besi dan satu elektron ini dikonsumsi oleh reduksi ion natrium. Persamaan yang telah disederhanakan diatas mengungkapkan bahwa reaksi adalah merupakan reaksi pembentukan natrium, yaitu reaksi membentuk ion natrium dari ion natrium yang bermuatan menjadi atom natrium yang netral. Pada tiap kasus korosi yang terjadi, hanya ion natrium yang aktif, sedang yang lain tidak terlibat dalam reaksi. Hal ini juga berlaku bagi asam-asam yang lain seperti hidrogen, phospor dan lain-lainnya.

2.2.5. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Proses Korosi Galvanik

Pada percobaan reaksi korosi galvanik atau reaksi korosi antara dua logam yang berbeda, hasil yang diperoleh kadang-kadang kurang seperti yang diharapkan, hal tersebut dikarenakan beberapa faktor yang mempengaruhi pada proses terjadinya korosi tersebut. Demikian juga pada pasangan kopel seperti diatas, laju korosi logam yang terkopel juga dipengaruhi oleh faktor-faktor yang tersebut sebagai berikut:

- Efek lingkungan korosif.
- Perbedaan potensial antara logam yang dikopel.
- Efek dari luasan benda yang terkorosi.

Dari ketiga faktor diatas, dapat dijelaskan satu persatu seperti dibawah ini, yaitu sebagai berikut:

a. Efek Lingkungan Korosif.

Lingkungan korosif yang sering juga disebut medium elektrolit, sangat mempengaruhi laju korrosi pada suatu kasus. Pada medium tertentu, semakin naik laju korosinya dibandingkan dengan medium pengkorosi lainnya pada kepekatan (konsentrasi) yang sama. Pada umumnya bahan mempunyai ketahanan korosi lebih rendah akan menjadi anoda saat dikopel. Tetapi kadang-kadang potensial akan menjadi terbalik untuk suatu lingkungan tertentu. Sebagai contoh pengaruh dari lingkungan ini, dapat dilihat pada Tabel 2.2 dibawah ini yang menunjukkan perubahan berat besi dan seng. Jika besi ini dikopel dengan seng, maka seng akan terkorosi dan besi akan terlidungi. Hal ini menunjukkan bahwa besi lebih mulia dibandingkan seng. Tetapi untuk keadaan khusus seperti lingkungan air pada 180°C, kedaan diatas

menjadi terbalik sehingga besi menjadi anoda. Hal ini disebabkan karena produk korosi terjadi sering menutupi seng sehingga hal ini menjadikan permukaan seng menjadi lebih mulia dibandingkan dengan besi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 2.2 Perubahan berat dari besi dan seng yang tanpa dikopel dan dikopel.

Tabel 2.2. Perubahan berat besi dan seng yang tanpa dikopel dan dikopel [Fontana, 1991].

Media korosi	Uncouple		Couple	
	Seng	Besi	Seng	Besi
MgSO ₄ 0,05M	0,00	-0,04	-0,05	+0,02
Na ₂ SO ₄ 0,05M	-0,17	-0,15	-0,48	+0,01
NaCl 0,05M	-0,15	-0,15	-0,44	+0,01
NaCl 0,05M	-0,06	-0,10	-0,13	+0,02

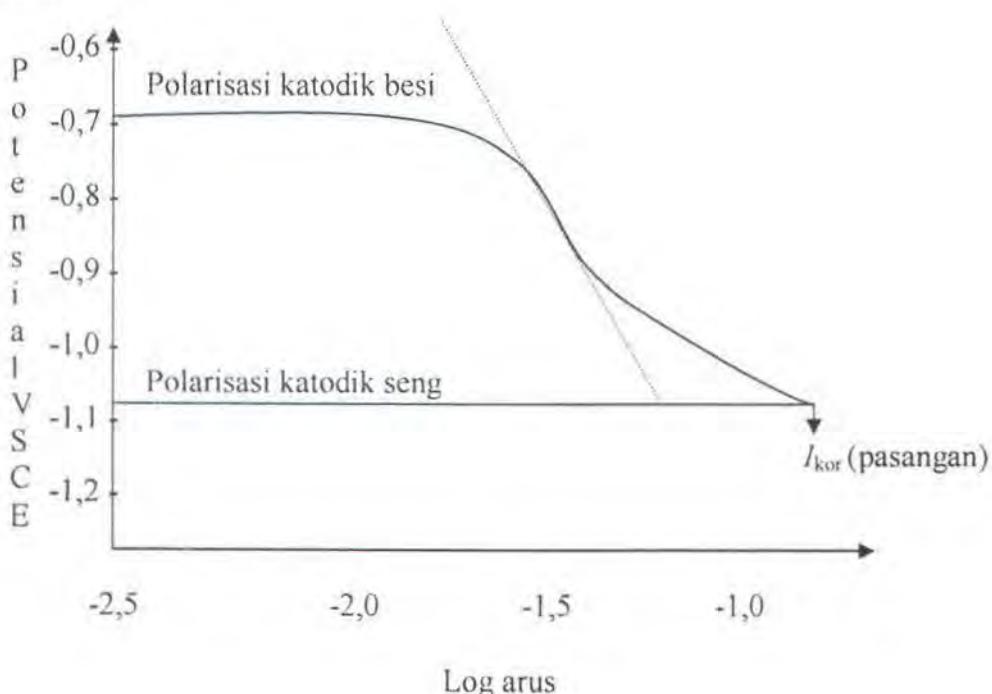
b. Perbedaan potensial yang dikopel.

Besarnya beda potensial antara dua logam yang dikopel akan sangat mempengaruhi laju korosi galvanik yang terjadi. Semakin besar beda potensialnya, maka akan semakin besar laju korosinya dan sebaliknya.

c. Efek luasan.

Besarnya luasan yang terlibat dalam suatu sistem korosi mempengaruhi besarnya kerapatan arus yang mengalir dalam sistem. Sedangkan harga kerapatan arus akan menentukan laju korosi logam tersebut dalam sistem serta potensial korosinya. Akan tetapi polarisasi suatu logam apalagi yang berada dalam sistem terkopel dengan logam lain tidak dapat dipastikan secara linear. Sehingga akan lebih tepat apabila digunakan harga potensial korosi

pengkopelan logam dari hasil percobaan yang dilakukan di laboratorium. Perlu diingat pula bahwa kerapatan arus yang cukup besar akan merusak sistem proteksi dengan lapisan cat. Sebagai contoh sulitnya meramalkan polarisasi logam, akan dapat dilihat dari pengkopelan besi dengan seng pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Diagram Evans dari pasangan dwilogam besi dan seng

Pada Gambar tersebut dapat dilihat bahwa polarisasi besi tidak linear seperti yang diharapkan hal tersebut diakibatkan oleh pembentukan hidrogen dari sekitar -0,9 V SCE hingga lebih rendah dari -0,9 V SCE.

2.3. Polarisasi

Sejak dahulu penyebab terjadinya korosi galvanik adalah perbedaan potensial antara katoda dan anoda. Penjelasan ini sangat berguna untuk menggambarkan

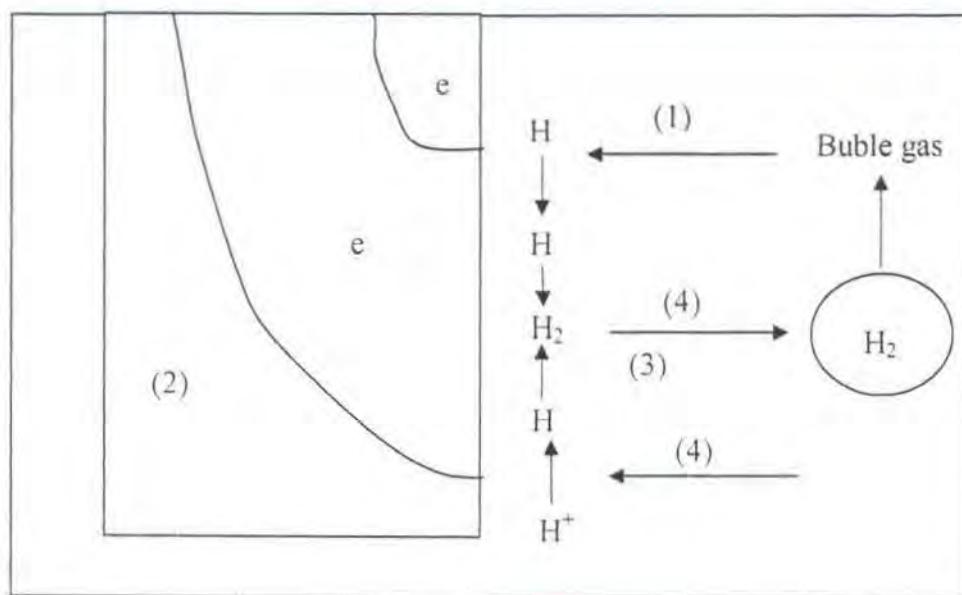
terjadinya korosi tetapi belum dapat memberikan gambaran tentang laju korosi yang terjadi.

Laju korosi yang terjadi memuat pembahasan dahulu, juga dinyatakan tergantung pada kerapatan arus yang timbul (*current density*). Semakin tinggi kerapatan arus yang timbul, maka korosi akan semakin hebat dan sebaliknya. Karena kedua kenyataan itulah, fenomena korosi dapat dijelaskan dengan pemakaian diagram tegangan fungsi arus yang selanjutnya disebut teknik polarisasi.

Polarisasi dapat digolongkan menjadi dua, yaitu polarisasi aktifasi dan polarisasi konsentrasi. Tetapi kedua jenis polarisasi tersebut umumnya terjadi pada suatu reaksi korosi membentuk polarisasi union.

Polarisasi aktifasi adalah pengontrolan polarisasi oleh aktifasi reaksi pada pertemuan logam dan elektrolit pengkorosif. Dengan kata lain, jenis polarisasi ini dikontrol oleh aktifasi ion-ion dipermukaan logam yang mengalami proses korosi. Mekanisme polarisasi dapat dijelaskan dengan acuan Gambar 2.5.

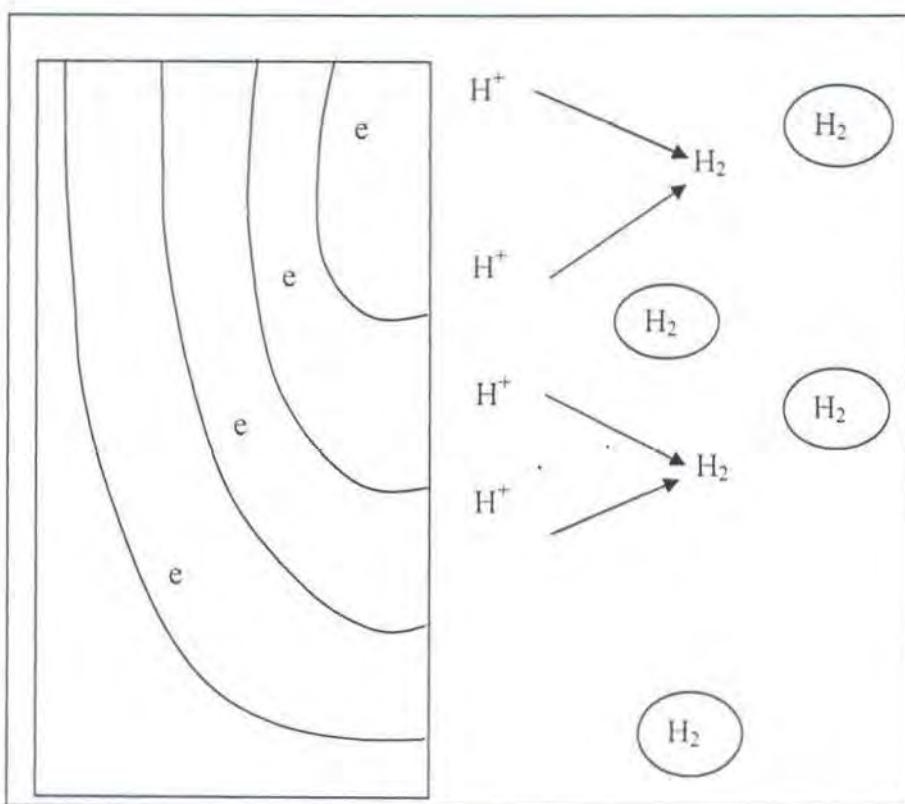
Dari Gambar 2.5 dibawah dapat terlihat bahwa step pertama polarisasi ini hanya terjadi jika ion hidrogen (H^+) ditempatkan pada permukaan logam, sehingga pada permukaan logam tersebut terjadi kelebihan muatan positif dan akibat dari hal tersebut adalah elektron bergerak ke tempat tersebut untuk menetralkan muatan. Akibat dari bergeraknya elektron ke tempat tersebut akan mengakibatkan ion H^+ tereduksi menjadi atom hidrogen, dan selanjutnya dua atom tersebut bergabung membentuk gas hidrogen.



Gambar 2.5. Polarisasi Aktifasi [Fontana, 1991].

Sedangkan polarisasi konsentrasi adalah polarisasi yang disebabkan oleh difusi ion akibat perbedaan konsentrasi. Hal ini dapat terjadi bila konsentrasi ion didekat permukaan logam sangat kecil, akibatnya terjadi difusi ion-ion ke permukaan logam. Selanjutnya akibat terkonsentrasi ion H^+ dipermukaan tersebut maka elektron bergerak ke daerah ini untuk mereduksi ion H^+ membentuk gas hidrogen. Mekanisme polarisasi tersebut dapat dijelaskan pada Gambar 2.6.

Dari uraian di atas dapat dinyatakan bahwa laju reduksi yang sangat besar akan terjadi bila pada daerah dekat permukaan logam sangat sedikit kandungan ion H^+ . Laju reduksi pada keadaan tersebut akan meningkat sampai batas tertentu tergantung pada difusi ion hidrogen di permukaan logam.



Gambar 2.6. Polarisasi Konsentrasi [Fontana,1991].

Dari keterangan di atas dapat dijelaskan bahwa akibat polarisasi potensial anoda-katoda yang disambung (dikopel), akan mengakibatkan harga potensialnya mengalami perubahan sampai harga tertentu, dan akan berhenti mengalami perubahan apabila besar potensial antar keduanya sama. Arus yang timbul karena pertemuan potensial anoda-katoda tersebut disebut arus korosi.

2.5. Pengendalian Korosi

Korosi telah didefinisikan sebagai penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Pada kebanyakan situasi, praktis serangan ini tidak dapat dicegah, kita hanya dapat berupaya mengendalikannya sehingga struktur atau komponen mempunyai masa lebih panjang.

Pengendalian bisa dilakukan dengan berbagai cara, tetapi yang paling penting adalah [Chamberlain, 1991] :

- a. Modifikasi rancangan.
- b. Modifikasi lingkungan.
- c. Pemberian lapisan pelindung.
- d. Pemilihan bahan.
- e. Proteksi katodik atau anodik.

Upaya-upaya yang sering dilakukan dalam proses pengendalian korosi yang terjadi pada bangunan kapal, khususnya dibawah garis air, dengan cara:

- Pemberian lapisan pelindung (*coating*).
- Anoda tumbal (*sacrificial anodes*).
- Pemberian potensial perlindungan katodik (*impressed current*).

2.6. Perlindungan Badan Kapal

Salah satu perlindungan badan kapal adalah dengan cara proteksi katodik, dimana cara ini dibedakan menjadi dua yaitu:

1. SACP (*Sacrificial Anodes Cathodic Protection*).
2. ICCP (*Impressed Current Cathodic Protection*).

Pada metode SACP (*Sacrificial Anodes Cathodic Protection*), proteksi katodik dilakukan dengan cara *galvanic coupling*, dimana logam yang akan diproteksi dikopel dengan logam yang lebih anodik. Anoda ini disebut anoda tumbal yang nantinya akan terkorosi lebih dahulu. Dalam hal ini logam yang ditumbalkan harus mempunyai potensial yang lebih rendah dari logam utama

sehingga yang terkorosi adalah logam tambahan dan logam utama akan terhambat proses korosinya.

Pemilihan bahan untuk proteksi katodik didasarkan pada pertimbangan teknis dan ekonomis. Tabel 2.3 di bawah ini menunjukkan beberapa anoda tumbal yang biasa digunakan dalam proteksi katodik. Dari beberapa jenis anoda tumbal yang ada, magnesium mempunyai unjuk kerja yang lebih baik, karena effisiensinya sekitar 50%, harga potensialnya lebih negatif dan memberikan arus keluaran tinggi. Akan tetapi logam ini jarang digunakan karena logam magnesium sulit didapatkan dipasaran dalam bentuk lempengan dan harganya yang relatif mahal. Logam anoda tumbal yang sering dipakai dalam praktek adalah alumunium dan seng karena mudah diperoleh dipasaran dan harganya relatif lebih murah.

Tabel 2.3. Perbandingan beberapa anoda tumbal untuk proteksi katodik
[Fontana, 1991].

	Logam Anoda Tumbal		
	Magnesium	Seng	Alumunium
Konsumsi Teoritis (Lb/ampere –tahun)	9	23	6,5
Konsumsi Aktual (Lb/ampere-tahun)	18	25	16 – 20
Potensial vs Cu/CuSO ₄ (mV SSC)	-1,7	-1,15	-1,3

Pada metode ICCP (*Impressed Current Cathodic Protection*) atau arus terpasang, perlindungan diberikan dengan jalan menggunakan sumber arus DC

yang dialirkan dari luar sistem. Arus ini dialirkan ke logam yang diproteksi melalui anoda dan elektrolit, dimana anodanya boleh tidak terkorosi.

Prinsip dasar ICCP adalah pemberian potensial lebih negatif, sehingga kondisi logam akan berpindah ke zona kekebalan. Perbedaan antara zona korosi dengan zona kekebalan semata-mata hanya berpijak pada definisi. Jadi meskipun logam berada pada zona kekebalan, korosi masih berlangsung dengan laju yang lebih rendah. Semakin negatif potensial yang diberikan akan memperlambat reaksi anodik, sebaliknya reaksi katodik justru semakin cepat, akibatnya logam menjadi lebih katodik.

BAB III

KARAKTERISTIK PERLINDUNGAN KATODIK

BAB III

KARAKTERISTIK PERLINDUNGAN KATODIK

3.1. Perlindungan Katodik

Suatu material akan mengalami pengkaratan bila material tersebut sebagai anoda dalam sel galvanik. Sedang material yang bertindak sebagai katoda tidak akan mengalami pengkaratan. Oleh karena itu pencegahan pengkaratan dapat dilakukan dengan cara membuat logam yang akan dilindungi tersebut sebagai katoda. Dengan demikian pencegahan pengkaratan pada badan kapal dapat dilakukan dengan jalan membuat badan kapal bertindak sebagai katoda. Cara pencegahan pengkaratan diatas adalah pencegahan pengkaratan dengan menggunakan perlindungan katodik atau *cathodic protection*.

Umumnya proses korosi dimulai dengan terbentuknya ion-ion positif (anoda) dari atom bahan yang bersangkutan, yang kemudian dengan pelepasan beberapa muatan elektronnya. Hal ini terjadi karena adanya perbedaan potensial antara satu bagian dengan bagian lain dari bahan tersebut. Namun demikian proses pelepasan atau pengaliran muatan tersebut tidak akan berlangsung apabila tidak tersedia media pengantar muatan. Elektron akan mengalir dari butiran negatif ke positif, pada proses tersebut akan terbentuk atom-atom yang kehilangan elektron yang disebut ion positif. Butir-butir yang yang bermuatan listrik positif dikenal sebagai penampung elektron yang disebut *cathodic*, sebaliknya butir yang bermuatan negatif dikenal sebagai sumber elektron disebut *anodic*.



ANITA PERPUSTAKA
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER



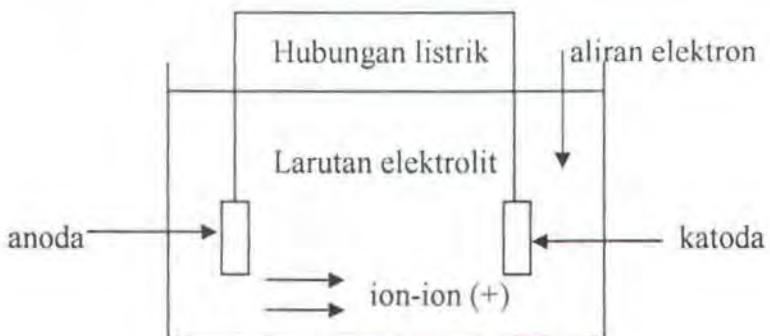
NASTEC

Perlindungan katodik memerlukan jumlah arus yang sesuai untuk dapat berfungsi dengan baik. Kebutuhan arus ini tidak bisa diramalkan begitu saja, karena untuk tiap-tiap keadaan permukaan yang berbeda akan mempunyai harga yang berlainan.

3.2. Metode Anoda Tumbal (Sacrificial Anode Cathodic Protection)

3.2.1 Mekanisme

Cara yang paling sederhana untuk menjelaskan proteksi katodik, dengan anoda tumbal adalah dengan menggunakan konsep sel korosi basah, seperti dalam Gambar 3.1. Yaitu bahwa dalam sel, anodaloh yang terkorosi sedangkan yang tidak terkorosi adalah katoda.



Gambar 3.1. Sel korosi basah.

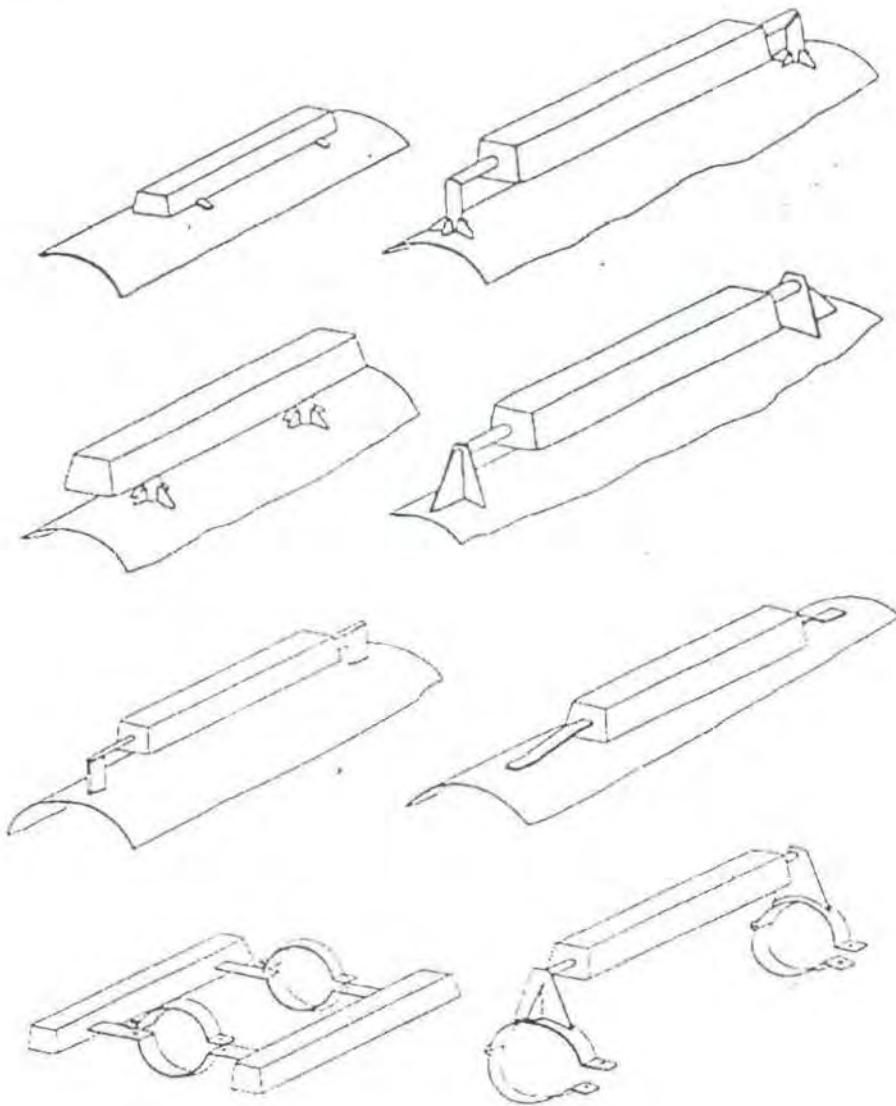
Dalam sistem seperti diatas, korosi terjadi pada anoda jika antara anoda dan katoda terdapat selisih senergi bebas.

Dengan memanfaatkan pengetahuan tentang derat galvanik pada Tabel 2.1. untuk memilih suatu bahan, maka lambung kapal yang terbuat dari baja akan dengan mudah dicari logam yang berlaku sebagai anoda. Dalam pemilihan logam yang digandengkan, dicari logam yang mempunyai potensial lebih aktif dari baja .

3.2.2. Perancangan anoda

Dalam merancang kebutuhan anoda tidak sederhana, karena banyak hal yang harus diperhitungkan. Sebagai contoh : Luas relatif anoda dan katoda, laju korosi seng, keluaran arus akibat korosi seng yang harus cukup untuk menghambat korosi terhadap besi.

Gambar berikut memperlihatkan berbagai bentuk anoda, di mana bentuk juga berpengaruh terhadap luasnya.



Gambar. 3.2.. Beberapa bentuk anoda tumbal

Anoda tumbal antara lain diukur berdasarkan kapasitasnya, suatu besaran yang menyatakan banyaknya arus kali jam yang dapat dipasok oleh setiap kilogram bahan. Parameter lain adalah keluaran arus persatuan luas permukaan terbuka yang dinamakan pengausan (*wastage*). Yang menyatakan hilangnya logam dalam satuan volume maupun satuan massa.

Pelaku utama depolarisasi dalam air laut adalah oksigen. Banyaknya depolarisasi dan kecepatan kejadianya dan juga kerapatan arus diperlukan bagi proteksi katodik, yang tergantung pada kadar kontaknya oksigen pada katoda. Gerakan relative baja pada air laut memperbesar tingkat kontak. Berbagai percobaan dengan memakai kecepatan yang berbeda, menunjukkan bahwa terdapat perubahan yang sangat besar pada kerapatan arus sebanding dengan perubahan kecepatan, bahkan sebuah kapal yang berlayar bisa memerlukan dua kali arus yang diperlukan dalam keadaan diam [Morgan,1987].

Kerapatan arus yang diperlukan untuk proteksi katodik tergantung pada besarnya luasan atau polarisasi permukaan logam dimana elektrolit (air laut) rendah resistivitasnya, coating pada badan kapal memperbesar tahanan dan arus proteksi katodik akan terpolarisasi pada bagian coating yang cacat [Morgan,1987].

Terdapat sejumlah ketentuan dari hubungan antara kecepatan dan arus yang diperlukan dari badan kapal. Namun terjadi kesulitan apabila diterapkan dalam praktek, dimana pada kapal yang bergerak distribusi arus berubah terhadap perubahan kecepatan. Jika anoda yang ditempatkan pada lambung kapal bertambah arusnya, akan terjadi overproteksi dan efisiensi distribusi menurun.



Pada kapal ada dua faktor penyebab hambatan yaitu hambatan bentuk dan hambatan permukaan, hambatan bentuk menjadi faktor yang berhubungan dengan kecepatan kapal, sementara hambatan permukaan berhubungan dengan hambatan pada bagian badan kapal yang tercelup. Pada tanker berukuran besar umumnya yang menjadi komponen utama yang menimbulkan hambatan gesekan bagi lambung adalah bila permukaan kasar akibat korosi [Morgan,1987].

Total arus yang diperlukan untuk melindungi sebuah kapal tidak hanya tergantung pada kecepatannya saja, tetapi juga kondisi cat. Disamping itu kapal juga berlayar pada kondisi peairan yang bervariasi. Sehingga perancangan proteksi katodik memerlukan pertimbangan teknis yang baik [Morgan,1987].

Faktor lain yang berpengaruh terhadap penggunaan anoda tumbal adalah efek throwing power, yaitu efek proteksi sehubungan dengan jarak anoda ke logam yang dilindungi. Jika jarak itu besar sebagian potensial digunakan untuk mengatasi hambatan elektrolit.

Pada penyusunan struktur anoda haruslah diusahakan agar distribusi potensial seragam diseluruh bagian, meskipun faktor seni terkadang lebih berperan daripada faktor teknik.

3.2.3. Karakteristik anoda tumbal

Anoda tumbal yang populer adalah magnesium, seng dan alumunium, ketiga anoda tersebut mempunyai karakteristik yang berbeda-beda dalam melindungi logam katoda. Berikut adalah karakteristik dari ketiga logam tersebut.

1. Magnesium.

Magnesium mempunyai potensial korosi bebas yang sangat negatif, artinya bahwa logam itu larut agak cepat dalam air laut. Dengan demikian penggunaanya



akan efektif untuk melindungi jalur pipa yang dikubur dalam tanah, tanki penyimpanan air tawar atau payau. Magnesium sangat berbahaya jika berada didekat api, ini juga merupakan salah satu kelemahannya.

Spesifikasi paduan magnesium adalah [Trethewey, 1991] :

Kapasitas	: 1232 Ah/kg
Effesiensi	: 60%
Consumption rate	: 4,1 kg/A-tahun
Massa jenis	: 1,765 gr/cm ³

2. Seng.

Secara komersial seng tersedia dan dapat dipakai karena menghasilkan suatu keuntungan bahkan dengan beberapa modifikasi sebagai material anoda. Sifat-sifat dan komposisi seng yang telah digabungkan dipakai dalam anoda tumbal.

Diantara bahan-bahan paduannya yang paling merusak efek anoda adalah besi . Kelarutannya dalam seng sedemikian rendah (< 0,0014%) sehingga kalau berlebih kelebihan itu akan berupa partikel-partikel terpisah, yang pada gilirannya membentuk sel galvanik lokal yang menghasilkan suatu lapisan seng hidroksida/seng karbonat yang tidak dapat larut dan tidak dapat mengantarkan listrik, sehingga anoda tidak akan efektif. Penambahan alumunium, menguntungkan karena menyebabkan terbentuknya antar logam alumunium/besi yang lebih tidak mulia sehingga mengurangi efek sel-sel korosi lokal.

Seng dapat diaplikasikan didalam lingkungan kapal atau lingkungan bukan kapal. Seng dapat dipakai melindungi instalasi didalam air laut diamana

99.99% seng murni akan memberikan keuntungan didalam proses instalasi. Seng dapat dipakai sebagai material anoda dengan tegangan pembangkit yang rendah. Spesifikasi anoda seng produksi Kartini Utama adalah :

Kapasitas	: 782 Ah/kg
Effesiensi	: 95%
Driving voltage	: 0,25 V diukur dengan reverensi Ag /Ag Cl
Consumption rate	: 11,20 kg/A-tahun
Massa jenis	: 7,1 gr/cm ³

3. Alumunium.

Logam ketiga yang akan bertindak sebaai anoda tumbal terhadap baja adalah alumunium. Dalam keadaan normal alumunium murni sangat tidak andal digunakan untuk anoda tumbal, ini diakibatkan oleh lapisan oksida yang selalu membungkus logam itu ketika masih berada dalam udara bebas. Karena itu, unsur paduan yang ditambahkan adalah yan gdapat mencegah terbentuknya selaput oksida yang merata, melekat erat dan protektif sehingga kegiatan galvanik terus berlangsung. Paduan alumunium yang mengandung seng dan indium mempunyai daya listrik yang yang jauh lebih besar dari pada paduan seng.

Spesifikasi anoda Alumunium produksi Kartini Utama adalah :

Kapasitas	: 2700 Ah/kg
Effesiensi	: 90%
Driving voltage	: 0,3 V diukur dengan reverensi Ag /Ag Cl
Consumption rate	: 3,24 kg/A-tahun
Massa jenis	: 2,7 gr/cm ³



3.3. Metode Arus Terpasang (Impressed Current Cathodic Protection)

3.3.1. Mekanisme

Perlindungan badan kapal dengan menggunakan proteksi katodik sistem impressed current adalah perlindungan dengan memberikan elektron pada badan kapal dengan bantuan sumber listrik dari luar. Elektron yang diberikan pada material berasal dari anode permanen yang dibuat dari logam.

Sumber arus pembantu untuk memberikan elektron ke badan kapal dapat berupa battery, rectifier, generator maupun sumber listrik lainnya. Hubungan sumber arus baik dengan anoda maupun dengan badan kapal harus merupakan hubungan yang tepat. Kutub positif sumber arus DC harus dihubungkan dengan arus anoda sedangkan kutub negatifnya harus dihubungkan dengan badan kapal. Hubungan yang terbalik menyebabkan elektron mengalir dengan arah yang terbalik pula, yaitu dari anoda ke badan kapal. Jadi jelasnya elektron bergerak ke arah badan kapal yang dilindungi terhadap pengaruh pengkaratan, karena itu permukaan badan kapal akan menjadi katode pada seluruh pengkaratan, dan dengan demikian potensial dari baja menjadi lebih negatif.

Dengan adanya bantuan sumber arus listrik maka besar kecilnya pemberian elektron pada badan kapal tergantung dari besarnya sumber arus tadi. Arus yang besar akan memberikan arus dalam jumlah yang besar pada badan kapal. Perlu diingat bahwa kelebihan arus pada permukaan badan kapal akan menyebabkan cat yang melekat pada badan kapal akan mengelupas. Maka dari itu pengoperasian pencegahan pengkaratan dengan sistem ICCP ini memerlukan operator yang ahli dan mengerti dengan masalah tersebut agar dapat melakukan pengontrolan arus sesuai yang dibutuhkan.



Arus yang dibutuhkan oleh struktur akan sama dengan anoda sacrificial jika lokasi dan penempatannya hampir sama. Kebutuhan pada generator dari komponen ohm didalam rangkaian listrik.

3.2.1. Anoda Yang Dapat Dipakai

Anoda yang digunakan dalam sistem ICCP, harus mempunyai elektroda potensial yang tinggi agar dapat melindungi area yang luas dengan anoda yang kecil.. Anoda ditempatkan dibagian kanan dan dibagian kiri lambung kapal

1. Grafit.

Anoda permanen ygagn pertama kali dibuat adalah grafit dan karbon. Material tersebut tidak memiliki sifat-sifat mekanik dan elektrokemia yang ideal. Grafit meraupakan material yang cepat rapuh dan keropos. Anoda grafit memiliki macam-macam tipe dan juga memiliki kualitas yang berbeda-beda. Sebagai contohnya adalah grafit dengan tingkat kemurnian yang cukup tinggi akan memiliki performansi yang tinggi pula.

Ditinjau dari segi ekonomi grafit relatif lebih murah jika dibandingkan biaya per volume. Disamping itu pula grafit memiliki konduktivitas yang tinggi.

2. Besi Silikon Tinggi.

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

3. Anoda Magnetite.

Anoda magnetite memiliki rumus kimia Fe_3O_4 dan merupakan golongan oksida yang dipakai didalam rancangan bentuk anoda. Dalam hal ini anoda



magnetite memiliki sifat yang sama dengan jenis anoda yang lain dan secara umum dapat ditunjukkan sebagai magnetite. Anoda semacam ini dinamakan ebonite yang berasal dari keramik titanium dioksida yang diperkirakan memiliki karakteristik elektrolit yang sama.

4. Platinum dan Campuran Platinum.

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

5. Titanium yang dilapisi oleh platina.

Jika sebuah lapisan tipis dilapisi oleh sebuah substrat titanium maka platinum dapat berfungsi sebagai anoda dan titanium tersebut dalam proses ini akan membentuk *insulation film* melalui proses anoda. Dalam hal ini platinum memimberikan suatu kelembaban dengan suatu perantaraan dasar agar dipakai sebagai anoda. Berhubung pemakaian platinum ketika bertindak sebagai anoda didalam elektrolit maka platinum dengan *insulation film* akan membutuhkan proses yang sangat panjang.

Dalam prakteknya, sepersepuluh dari 1000 in cukup untuk memberikan waktu proses selama 10 tahun, dengan kerapatan arus sebesar 70 A/sq ft .

BAB IV

ANALISA TEKNIS

BAB IV

ANALISA TEKNIS

4.1. Metode Anoda Tumbal (SACP)

Dalam metode ini, untuk mencari banyaknya anoda yang dibutuhkan dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan berpatokan pada berat (*by weight*) atau berpatokan pada kebutuhan arus (*by current*). Dalam prakteknya, kedua cara ini dihitung semua dan diambil yang terbesar. Hal ini dilakukan untuk mencari angka yang paling aman.

4.1.1. Faktor-Faktor Penentu Jumlah Anoda

4.1.1.1. Luas permukaan basah badan kapal .

Karena bentuk badan kapal yang kompleks tidak sebagaimana perhitungan pada luasan permukaan yang sederhana maka formula yang digunakan adalah sebagai berikut [DNV,1974].

WSA pada sarat penuh:

Dimana :

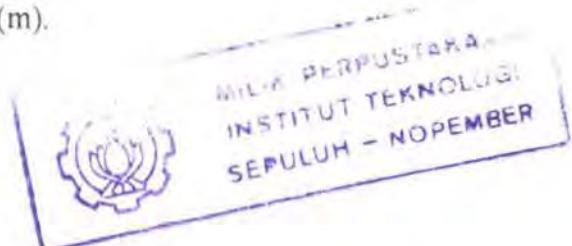
WSA : luas permukaan basah (m^2).

Lpp = panjang kapal antara AP sampai FP (m).

T : sarat kapal pada muatan penuh (m).

Cb : koefisien blok.

B : lebar kapal (m).



Luas daun kemudi

$$A = \frac{TxLpp}{100} \left(1 + 25 \left(\frac{B}{Lpp} \right)^2 \right) \quad (\text{m}^2)$$

T : sarat kapal pada muatan penuh (m).

Lpp : panjang kapal (m)

B : lebar kapal (m).

4.1.1.2. Faktor coating breakdown

Faktor coating breakdown menggambarkan suatu reduksi di dalam kerapatan arus katodik karena adanya aplikasi dari suatu *coating insulasi* secara elektrik.

Empat kategori *paint coating* telah didefinisikan untuk melengkapi hubungan antara faktor coating breakdown terhadap sifat-sifat coating itu sendiri. [DNV,1993]

Kategori I : 1 layer coating primer, kira-kira 50 μm DFT (*Dry Film Thickness/ketebalan film basah*)

Kategori II : 1 layer coating primer, ditambah 1 layer minimum coating intermediate kira-kira 150 – 250 μm DFT.

Kategori III : 1 layer coating primer, ditambah 1 layer minimum coating intermediate min 300 μm DFT.

Kategori IV : 1 layer coating primer, ditambah 1 layer minimum coating intermediate min 450 μm DFT.



Tabel 4.1. Konstanta k_1 dan k_2 untuk perhitungan faktor coating breakdown

Depth (m)	Coating Category			
	I ($k_1 = 0,10$)	II ($k_1 = 0,05$)	III ($k_1 = 0,02$)	IV ($k_1 = 0,02$)
	k_2	k_2	k_2	k_2
0 – 30	0,10	0,03	0,15	0,12
> 30	0,05	0,02	0,12	0,12

$$fc_{initial} = k_1$$

$$fc_{average} = k_1 + k_2 \times \frac{t}{2}$$

$$fc_{final} = k_1 + k_2 \times t$$

dimana

t = tahun

4.1.1.3. Kerapatan arus

Kerapatan arus menunjukkan arus proteksi katodik tiap luasan area. Kerapatan arus baik yang diawal maupun yang diakhir memberikan suatu pengukuran terhadap kerapatan arus katodik guna mencapai proteksi katodik dari permukaan logam dalam waktu yang relatif singkat. Hal itu dapat dipakai untuk menghitung arus awal dan akhir yang nantinya akan menentukan jumlah dan ukuran dari anoda. [DNV,1993]

Perancangan kerapatan arus awal menunjukkan kerapatan arus katodik yang dibutuhkan untuk mempengaruhi polarisasi pada sebuah permukaan logam. Kerapatan arus awal yang dibutuhkan lebih tinggi daripada kerapatan arus rata-

rata dan kerapatan arus akhir karena adanya pengembangan skala perhitungan selama fase awal yang menimbulkan adanya arus. Perancangan kerapatan arus awal memungkinkan adanya formasi skala protektif dan polarisasi yang efisien.

Perancangan kerapatan arus akhir merupakan permukaan logam yang dihubungkan dengan gerakan kapal dan lapisan yang menyertainya. Hal tersebut dimasukan dalam kerapatan arus tambahan yang dibutuhkan untuk melakukan polarisasi ulang terhadap struktur jika sebagian lapisan tersebut terpengaruhi oleh operasi. Hal tersebut dapat dinyatakan dengan perancangan kerapatan arus akhir lebih besar dari kerapatan arus rata-rata [DNV,1993].

Perancangan densitas arus diawal dan diakhir mengarah pada densitas arus katodik pada potensial sebesar -0,8 V. Rata-rata perancangan densitas suatu arus merupakan suatu pengukuran dari kerapatan arus katodik [DNV,1993].

Kerapatan arus untuk awal dan akhir memiliki berbagai macam letak iklim dan kedalaman. Dalam Tabel 4.2 kerapatan arus didasarkan pada range rata-rata temperatur air permukaan dalam waktu 1 tahun [DNV,1993].

Tabel 4.2. Kerapatan Arus dalam A/m²

Depth	Design Current Densities (Initial, Average, Final) in A/m ²											
	Tropical (>20°C)			Sub-Tropical (12-20°C)			Temperate (7-12°C)			Arctic (<7°C)		
0-30	0,15	0,07	0,09	0,17	0,08	0,11	0,20	0,10	0,13	0,25	0,12	0,17
>30	0,13	0,06	0,08	0,15	0,07	0,09	0,18	0,08	0,11	0,22	0,10	0,13



4.1.1.4. Kebutuhan arus

Arus yang dibutuhkan untuk perlindungan katodik didefinisikan dalam :
[DNV,1993]

$$I_e = \frac{A \times CD \times f_c}{1000} \quad (A)$$

dimana A = luas struktur yang diproteksi (m^2)

CD = Rapat arus mA/m^2)

f_c = faktor coating breakdown

4.1.1.5. Efek dari propeler

Putaran propeler menimbulkan turbulensi pada bagian buritan, sehingga oksigen yang ada pada daerah tersebut sangat besar. Oksigen menimbulkan bagian ini teraerasi sehingga laju arus korosi akan bertambah semakin besar. Oleh karena itu perlu dihitung juga efek yang ditimbulkan oleh adanya propeler. Efek dari propeler dirumuskan sebagai berikut : [DNV,1993]

$$PE = \frac{d^2 \times 3,14 \times Blade \times 0,3}{Blade}$$

dimana

PE : Efek propeler (A)

d : Diameter propeler (m)

Blade : Jumlah blade

4.1.1.6. Berat anoda yang dibutuhkan

Setelah faktor-faktor diatas telah didapatkan maka kapasitas anoda (CA) sangat menentukan berat anoda, dimana rumus penentuan berat adalah :
[DNV,1993]



$$W = \frac{8760 \cdot i \cdot t}{CA \cdot u}$$

dimana

W = berat anoda yang dibutuhkan (kg)

i = kebutuhan arus maksimum (A)

t = waktu yang dibutuhkan (tahun)

CA = Kapasitas anoda (Ah/Kg)

u = faktor utilisasi

4.1.1.7. Massa anoda

Untuk mendapatkan dimensi anoda maka massanya harus diketahui lebih dahulu, untuk penentuan massa akhir anoda didefinisikan dengan : [DNV,1993]

$$m_{\text{final}} = m_{\text{awal}} \times (1 - u)$$

dimana m_{final} = massa akhir anoda (kg)

m_{awal} = massa awal anoda (kg)

u = faktor utilisasi

4.1.1.8. Luas permukaan anoda

Anoda mempunyai dimensi yang berbeda-beda dan ini sangat berpengaruh terhadap luas anoda tersebut. Luas permukaan anoda sangat berpengaruh terhadap tahanan anoda tersebut, semakin luas anoda akan semakin kecil tahanannya. Luas anoda didefinisikan dengan :

$$A = \frac{(L \times W) + (2 \times L \times H) + (2 \times W \times H)}{100}$$

A = Luas permukaan anoda (cm^2)

L = Length (panjang) (cm)

W = Wide (lebar)(cm)

H = High (tinggi) (cm)

4.1.1.9. Tahanan dari anoda

Dalam operasinya anoda juga mempunyai tahanan, tahanan ini akan menghambat keluarnya arus dari anoda tersebut, semakin besar tahanannya akan semakin kecil arus yang keluar. Rumus tahanan anoda adalah : [DNV,1993]

$$R = (0,315 \times \rho) / \sqrt{A}$$

dimana R = tahanan anoda (ohm)

ρ = seawater resistivity (ohm-cm)

A = Luas permukaan anoda (cm^2)

4.1.1.10. Arus dari anoda

Tiap jenis anoda mempunyai *driving potential*, yang berbeda-beda semakin tinggi driving potensial akan semakin besar arus yang dikeluarkan oleh anoda dalam melindungi struktur. Arus yang dikeluarkan anoda dirumuskan dengan :

$$i = \frac{V}{R}$$

dimana i = arus dari anoda (A)

V = Driving Potential (V)

R = Tahanan anoda (ohm)

4.1.1.11. Jumlah anoda yang dibutuhkan

Ada dua macam cara penentuan jumlah anoda yang dibutuhkan untuk melindungi struktur, penentuan ini berkaitan dengan cara penghitungan dalam



menentukan jumlah anoda, yaitu dengan berpatokan pada berat (*by weight*) atau berpatokan pada kebutuhan arus (*by current*)

- ♦ Berpatokan pada berat

$$\text{Jumlah anoda} = \frac{W}{W_{\text{anoda}}}$$

dimana W = Berat anoda yang dibutuhkan (kg)

W_{anoda} = Berat bersih tiap anoda (kg)

- ♦ Berpatokan pada kebutuhan arus

$$\text{Jumlah anoda} = (\text{kebutuhan arus pd awal}) / (\text{arus dari anoda})$$

4.1.2. Penentuan Kebutuhan Jumlah Anoda

Seperti telah dijelaskan diatas, penentuan jumlah anoda dapat dilakukan dengan dua cara . Dalam tugas akhir ini akan dihitung dua macam anoda tumbal yaitu *zinc anode* dan *allumunium anode* dan empat kapal sebagai pembanding metode anoda tumbal dan metode arus terpasang yaitu:

- ♦ Caraka Jaya Niaga III (3650 DWT).
- ♦ Palu Sipat (17.500 DWT).
- ♦ DCV (18.500 DWT).
- ♦ OHBC (45.000DWT),

4.1.2.1. Berpedoman pada berat

Berikut ini adalah contoh penentuan jumlah anoda dengan berpedoman pada berat untuk jangka waktu 2 tahun. Langkah penentuan jumlah anoda yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :



- ♦ Nama Kapal : Caraka Jaya Niaga III

a. Ukuran utama kapal

Loa (Length over all) : 98 m

Lwl (Length water line) : 94 m

Lpp (Length perpendicular) : 92 m

B (Breadth) : 16,5 m

H (High) : 7,8 m

D (Draft) : 5 m

Cb : 0,7

b. Luas yang diproteksi

$$WSA = (1,8 \times Lpp \times D) + (Cb \times Lpp \times B).$$

$$= (1,8 \times 92 \times 5) + (0,7 \times 92 \times 16,5)$$

$$= 1890,6 \text{ m}^2$$

$$A_{kemudi} = \frac{TxLpp}{100} \left(1 + 25 \left(\frac{B}{Lpp} \right)^2 \right) \quad (\text{m}^2)$$

$$= \frac{5 \times 92}{100} \left(1 + 25 \left(\frac{16,5}{92} \right)^2 \right) \quad (\text{m}^2)$$

$$= 6,404 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas yang harus diproteksi adalah} = WSA + A_{kemudi}$$

$$= 1890,6 + 6,404$$

$$= 1897,004 \approx 1898 \text{ m}^2$$



c. Tipe coating.

Pada contoh ini menggunakan coating dengan katagori II yaitu :

1 layer coating primer, ditambah 1 layer minimum coating intermediate kira-kira $150 - 250 \mu\text{m}$ DFT

d. Faktor coating breakdown.

Untuk faktor coating breakdown pada coating dengan kategori II adalah : [DNV,1993]

- Faktor coating breakdown awal

$$fc_{initial} = k_1$$

$$k_1 = 0,05$$

- Faktor coating breakdown rata-rata

$$fc_{average} = k_1 + k_2 x \frac{t}{2}$$

$$\text{dimana } k_1 = 0,05$$

$$k_2 = 0,03$$

$$t = 2$$

$$fc_{average} = 0,05 + 0,03 x \frac{2}{2}$$

$$fc_{average} = 0,08$$

- Faktor coating breakdown akhir

$$fc_{final} = k_1 + k_2 x t$$

$$= 0,05 + 0,03 x 2$$

$$= 0,11$$

e. Rapat arus.

Kerapatan arus pada 0 sampai 30 m adalah

- ♦ Rapat arus awal = 150 mA/m²
- ♦ Rapat arus tengah = 70 mA/m²
- ♦ Rapat arus akhir = 90 mA/m²

f. Kebutuhan arus.

Arus yang dibutuhkan untuk memproteksi struktur adalah

- ♦ Kebutuhan arus awal

$$i_{\text{initial}} = \frac{A \times CD \times fc}{1000}$$

dimana A = 1898 m²

$$CD = 150 \text{ mA/m}^2$$

$$fc = 0,05$$

$$i_{\text{initial}} = \frac{1898 \times 150 \times 0,05}{1000}$$

$$= 14,235 \text{ A}$$

- ♦ Kebutuhan arus tengah

$$i_{\text{mean}} = \frac{A \times CD \times fc}{1000}$$

dimana A = 1898 m²

$$CD = 70 \text{ mA/m}^2$$

$$fc = 0,08$$

$$i_{\text{mean}} = \frac{1898 \times 70 \times 0,08}{1000}$$

$$= 10,6288 \text{ A}$$

- Kebutuhan arus akhir

$$i_{\text{final}} = \frac{AxCDxfc}{1000}$$

dimana $A = 1898 \text{ m}^2$

$$CD = 90 \text{ mA/m}^2$$

$$fc = 0,11$$

$$i_{\text{final}} = \frac{1898 \times 90 \times 0,11}{1000}$$

$$= 18,7902 \text{ A}$$

Dari ketiga kebutuhan arus yang ada, diambil yang terbesar yaitu i_{final} sebesar 18,7902 A.

- g. Efek karena propeler,

$$PE = \frac{d^2 \times 3,14 \times \text{Blade} \times 0,3}{\text{Blade}}$$

dimana

$$d = 3 \text{ m}$$

$$\text{Blade} = 3$$

$$PE = \frac{3^2 \times 3,14 \times 3 \times 0,3}{3}$$

$$= 8,478 \text{ A}$$

- h. Arus maksimum yang dibutuhkan,

$$i_{\text{max}} = i_{\text{terbesar}} + PE$$

$$= 18,7902 + 8,478$$

$$= 27,2682 \text{ A}$$



i. Kebutuhan anoda.

Kebutuhan anoda bersih adalah :

$$W = \frac{8760 \cdot i \cdot t}{CA \cdot u}$$

dimana

$$i = 27,2682 \text{ A}$$

$$t = 2 \text{ tahun}$$

$$CA = 782 \text{ Ah/Kg}$$

$$u = 0,8$$

$$W = \frac{8760 \times 27,2682 \times 2}{782 \times 0,8}$$

$$= 761,431 \text{ kg}$$

j. Tipe Anoda.

Tipe Anoda = Zn-8.0

Berat kotor = 8 kg

Berat bersih = 7,5 kg

Dimensi = 300 x150 x 25

k. Jumlah anoda yang dipakai.

$$\text{Jumlah anoda} = \frac{W}{W_{\text{anoda}}}$$

$$= \frac{761,431}{7,5}$$

$$= 95,18 \approx 96 \text{ buah}$$

Untuk lebih jelasnya maka, perbandingan keempat kapal dengan dua macam anoda dapat dilihat pada tabel-tabel dibawah ini :



Tabel 4.3. Kebutuhan anoda Zn pada kapal Caraka Jaya Niaga III.

1	Loa (panjang keseluruhan)	98,00 m
2	Lpp (panjang antar garis tegak)	92,00 m
3	B (lebar)	16,50 m
4	H (tinggi)	7,80 m
5	D (sarat)	5,00 m
6	Diameter propeler	3,00 m
7	Luas yang diproteksi	1898,00 m ²
8	Tipe coating	Kategori II
9	Rapat arus awal	150,00 mA/m ²
10	Rapat arus tengah	70,00 mA/m ²
11	Rapat arus akhir	90,00 mA/m ²
12	Faktor coating breakdown awal	0,05
13	Faktor coating breakdown rata-rata	0,08
14	Faktor coating breakdown akhir	0,11
15	Kebutuhan arus awal	14,235 A
16	Kebutuhan arus tengah	10,628 A
17	Kebutuhan arus akhir	18, 799 A
18	Kebutuhan arus maksimum	18, 799 A
19	Efek dari propeler	8,478 A
20	Total kebutuhan arus	27,189 A
21	Kapasitas anoda	782 Ah/kg
22	Faktor utilisasi	0,8
23	Umur anoda	2 tahun
24	Berat bersih kebutuhan anoda	761,431 kg
25	Tipe anoda	Zn-8,5
26	Berat bersih anoda	8 kg
27	Berat anoda	8,5 kg
28	Jumlah anoda yang dibutuhkan	96 buah



Tabel 4.4. Kebutuhan anoda Al pada kapal Caraka Jaya Niaga III.

1	Loa (panjang keseluruhan)	98,00 m
2	Lpp (panjang antar garis tegak)	92,00 m
3	B (lebar)	16,50 m
4	H (tinggi)	7,80 m
5	D (sarat)	5,00 m
6	Diameter propeler	3,00 m
7	Luas yang diproteksi	1898,00 m ²
8	Tipe coating	Kategori II
9	Rapat arus awal	150,00 mA/m ²
10	Rapat arus tengah	70,00 mA/m ²
11	Rapat arus akhir	90,00 mA/m ²
12	Faktor coating breakdown awal	0,05
13	Faktor coating breakdown rata-rata	0,08
14	Faktor coating breakdown akhir	0,11
15	Kebutuhan arus awal	14,235 A
16	Kebutuhan arus tengah	10,628 A
17	Kebutuhan arus akhir	18,799 A
18	Kebutuhan arus maksimum	18,799 A
19	Efek dari propeler	8,478 A
20	Total kebutuhan arus	27,189 A
21	Kapasitas anoda	2700 Ah/kg
22	Faktor utilisasi	0,8
23	Umur anoda	2 tahun
24	Berat bersih kebutuhan anoda	223,745 kg
25	Tipe anoda	Al-3,8
26	Berat bersih anoda	3,3 kg
27	Berat anoda	3,8 kg
28	Jumlah anoda yang dibutuhkan	68 buah



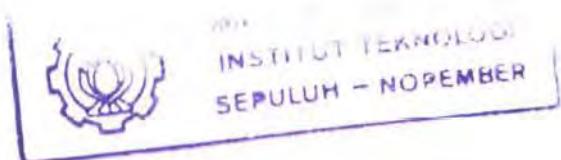
Tabel 4.5. Kebutuhan anoda Zn pada kapal Palu Sipat.

1	Loa (panjang keseluruhan)	105,00 m
2	Lpp (panjang antar garis tegak)	99,00 m
3	B (lebar)	18,80 m
4	H (tinggi)	8,50 m
5	D (sarat)	6,00 m
6	Diameter propeler	3,70 m
7	Luas yang diproteksi	2385,00 m ²
8	Tipe coating	Kategori II
9	Rapat arus awal	150,00 mA/m ²
10	Rapat arus tengah	70,00 mA/m ²
11	Rapat arus akhir	90,00 mA/m ²
12	Faktor coating breakdown awal	0,05
13	Faktor coating breakdown rata-rata	0,08
14	Faktor coating breakdown akhir	0,11
15	Kebutuhan arus awal	17,875 A
16	Kebutuhan arus tengah	13,347 A
17	Kebutuhan arus akhir	23,594 A
18	Kebutuhan arus maksimum	23,594 A
19	Efek dari propeler	12,896 A
20	Total kebutuhan arus	36,491 A
21	Kapasitas anoda	782 Ah/kg
22	Faktor utilisasi	0,8
23	Umur anoda	2 tahun
24	Berat bersih kebutuhan anoda	1021,935 kg
25	Tipe anoda	Zn-8,0
26	Berat bersih anoda	8 kg
27	Berat anoda	8,5 kg
28	Jumlah anoda yang dibutuhkan	128 buah



Tabel 4.6. Kebutuhan anoda Al pada kapal Palu Sipat.

1	Loa (panjang keseluruhan)	105,00 m
2	Lpp (panjang antar garis tegak)	99,00 m
3	B (lebar)	18,80 m
4	H (tinggi)	8,50 m
5	D (sarat)	6,00 m
6	Diameter propeler	3,70 m
7	Luas yang diproteksi	2385,00 m ²
8	Tipe coating	Kategori II
9	Rapat arus awal	150,00 mA/m ²
10	Rapat arus tengah	70,00 mA/m ²
11	Rapat arus akhir	90,00 mA/m ²
12	Faktor coating breakdown awal	0,05
13	Faktor coating breakdown rata-rata	0,08
14	Faktor coating breakdown akhir	0,11
15	Kebutuhan arus awal	17,875 A
16	Kebutuhan arus tengah	13,347 A
17	Kebutuhan arus akhir	23,594 A
18	Kebutuhan arus maksimum	23,594 A
19	Efek dari propeler	12,896 A
20	Total kebutuhan arus	36,491 A
21	Kapasitas anoda	2700 Ah/kg
22	Faktor utilisasi	0,8
23	Umur anoda	2 tahun
24	Berat bersih kebutuhan anoda	1021,935 kg
25	Tipe anoda	Zn-8,0
26	Berat bersih anoda	3,3 kg
27	Berat anoda	3,8 kg
28	Jumlah anoda yang dibutuhkan	90 buah



Tabel 4.7. Kebutuhan anoda Zn pada kapal DCV.

1	Loa (panjang keseluruhan)	141,00 m
2	Lpp (panjang antar garis tegak)	134,00 m
3	B (lebar)	22,50 m
4	H (tinggi)	12,85 m
5	D (sarat)	8,25 m
6	Diameter propeler	4,80 m
7	Luas yang diproteksi	4270,00 m ²
8	Tipe coating	Kategori II
9	Rapat arus awal	150,00 mA/m ²
10	Rapat arus tengah	70,00 mA/m ²
11	Rapat arus akhir	90,00 mA/m ²
12	Faktor coating breakdown awal	0,05
13	Faktor coating breakdown rata-rata	0,08
14	Faktor coating breakdown akhir	0,11
15	Kebutuhan arus awal	32,025 A
16	Kebutuhan arus tengah	23,912 A
17	Kebutuhan arus akhir	42,273 A
18	Kebutuhan arus maksimum	42,273 A
19	Efek dari propeler	21,704 A
20	Total kebutuhan arus	63,977 A
21	Kapasitas anoda	782 Ah/kg
22	Faktor utilisasi	0,8
23	Umur anoda	2 tahun
24	Berat bersih kebutuhan anoda	1971,673 kg
25	Tipe anoda	Zn-11
26	Berat bersih anoda	10,5 kg
27	Berat anoda	11 kg
28	Jumlah anoda yang dibutuhkan	171 buah



Tabel 4.9. Kebutuhan anoda Al pada kapal DCV.

1	Loa (panjang keseluruhan)	141,00 m
2	Lpp (panjang antar garis tegak)	134,00 m
3	B (lebar)	22,50 m
4	H (tinggi)	12,85 m
5	D (sarat)	8,25 m
6	Diameter propeler	4,80 m
7	Luas yang diproteksi	4270,00 m ²
8	Tipe coating	Kategori II
9	Rapat arus awal	150,00 mA/m ²
10	Rapat arus tengah	70,00 mA/m ²
11	Rapat arus akhir	90,00 mA/m ²
12	Faktor coating breakdown awal	0,05
13	Faktor coating breakdown rata-rata	0,08
14	Faktor coating breakdown akhir	0,11
15	Kebutuhan arus awal	32,025 A
16	Kebutuhan arus tengah	23,912 A
17	Kebutuhan arus akhir	42,273 A
18	Kebutuhan arus maksimum	42,273 A
19	Efek dari propeler	21,704 A
20	Total kebutuhan arus	63,977 A
21	Kapasitas anoda	2700 Ah/kg
22	Faktor utilisasi	0,8
23	Umur anoda	2 tahun
24	Berat bersih kebutuhan anoda	1971,673 kg
25	Tipe anoda	Al-5,0
26	Berat bersih anoda	4,5 kg
27	Berat anoda	5 kg
28	Jumlah anoda yang dibutuhkan	116 buah



Tabel 4.10. Kebutuhan anoda Zn pada kapal OHBC.

1	Loa (panjang keseluruhan)	189,90 m
2	Lpp (panjang antar garis tegak)	182,00 m
3	B (lebar)	30,50 m
4	H (tinggi)	16,90 m
5	D (sarat)	11,00 m
6	Diameter propeler	6,50 m
7	Luas yang diproteksi	7968,00 m ²
8	Tipe coating	Kategori II
9	Rapat arus awal	150,00 mA/m ²
10	Rapat arus tengah	70,00 mA/m ²
11	Rapat arus akhir	90,00 mA/m ²
12	Faktor coating breakdown awal	0,05
13	Faktor coating breakdown rata-rata	0,08
14	Faktor coating breakdown akhir	0,11
15	Kebutuhan arus awal	59,756 A
16	Kebutuhan arus tengah	44,618 A
17	Kebutuhan arus akhir	78,878 A
18	Kebutuhan arus maksimum	78,878 A
19	Efek dari propeler	39,800 A
20	Total kebutuhan arus	118,677 A
21	Kapasitas anoda	782 Ah/kg
22	Faktor utilisasi	0,8
23	Umur anoda	2 tahun
24	Berat bersih kebutuhan anoda	3323,572 kg
25	Tipe anoda	Zn-20
26	Berat bersih anoda	10,5 kg
27	Berat anoda	11 kg
28	Jumlah anoda yang dibutuhkan	317 buah



Tabel 4.11. Kebutuhan anoda Al pada kapal OHBC.

1	Loa (panjang keseluruhan)	189,90 m
2	Lpp (panjang antar garis tegak)	182,00 m
3	B (lebar)	30,50 m
4	H (tinggi)	16,90 m
5	D (sarat)	11,00 m
6	Diameter propeler	6,50 m
7	Luas yang diproteksi	7968,00 m ²
8	Tipe coating	Kategori II
9	Rapat arus awal	150,00 mA/m ²
10	Rapat arus tengah	70,00 mA/m ²
11	Rapat arus akhir	90,00 mA/m ²
12	Faktor coating breakdown awal	0,05
13	Faktor coating breakdown rata-rata	0,08
14	Faktor coating breakdown akhir	0,11
15	Kebutuhan arus awal	59,756 A
16	Kebutuhan arus tengah	44,618 A
17	Kebutuhan arus akhir	78,878 A
18	Kebutuhan arus maksimum	78,878 A
19	Efek dari propeler	39,800 A
20	Total kebutuhan arus	118,677 A
21	Kapasitas anoda	2700 Ah/kg
22	Faktor utilisasi	0,8
23	Umur anoda	2 tahun
24	Berat bersih kebutuhan anoda	962,605 kg
25	Tipe anoda	Al-8,5
26	Berat bersih anoda	8 kg
27	Berat anoda	8,5 kg
28	Jumlah anoda yang dibutuhkan	121 buah



4.1.2.2. Berpedoman pada kebutuhan arus

Perhitungan ini bertujuan untuk mendapatkan besar arus proteksi sesungguhnya dan berat penyusutan anoda yang digunakan. Untuk mencari besar arus proteksi yang sesungguhnya digunakan tabel spesifikasi anoda dan juga didasarkan pada jenis coating (cat) yang dipakai. Dari perhitungan ini dapat segera diketahui kemampuan proteksi yang dapat diberikan oleh jenis anoda yang bersangkutan. Urutan penentuan jumlah anoda berpedoman pada kebutuhan arus : [DNV,1993]

1. Massa untuk satu anoda.

Massa awal anoda = 7,5 kg

Masa akhir anoda adalah

$$\begin{aligned}m_{\text{final}} &= m_{\text{awal}} \times (1 - u) \\&= 7,5 \times (1 - 0,8) \\&= 1,5 \text{ kg}\end{aligned}$$

2. Luas permukaan anoda.

Untuk anoda dengan type Zn-8.0

- i. Dimensi awal

Length (panjang) = 300 mm

Wide (lebar) = 150 mm

High (tinggi) = 25 mm

$$\begin{aligned}A &= \frac{(L \times W) + (2 \times L \times H) + (2 \times W \times H)}{100} (\text{cm}^2) \\&= \frac{(300 \times 150) + (2 \times 300 \times 25) + (2 \times 150 \times 25)}{100}\end{aligned}$$

$$= 675 \text{ cm}^2$$

ii. Dimensi akhir

$$V = m/\rho$$

dimana

m = massa akhir

$$= 1,5 \text{ kg}$$

$$\rho = 7100 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 1,5/7100$$

$$= 0,00021 \text{ m}^3$$

panjang dari anoda relatif tetap sehingga faktor yang berpengaruh adalah lebar dan tinggi

$$V = L \times W \times H$$

$$\text{Length (panjang)} = 300 \text{ mm}$$

$$\text{Wide (lebar)} = 70 \text{ mm}$$

$$\text{High (tinggi)} = 10 \text{ mm}$$

$$A = \frac{(L \times W) + (2 \times L \times H) + (2 \times W \times H)}{100} (\text{cm}^2)$$

$$= \frac{(300 \times 70) + (2 \times 300 \times 10) + (2 \times 70 \times 10)}{100}$$

$$= 284 \text{ cm}^2$$

3. Tahanan dari anoda.

Tahanan anoda awal

$$R = (0,315 \times \rho) / \sqrt{A} \quad (\text{ohm}) \quad [\text{DNV}, 1993]$$

dimana ρ = seawater resistivity (ohm-cm)



$$= 20 \text{ ohm-cm}$$

$$A = \text{Luas permukaan anoda (cm}^2\text{)}$$

$$= 675 \text{ cm}^2$$

$$R = (0,315 \times 20) / \sqrt{675}$$

$$= 0,242 \text{ ohm}$$

Tahanan anoda akhir

$$R = (0,315 \times \rho) / \sqrt{A}$$

$$\text{dimana } \rho = 20 \text{ ohm-cm}$$

$$A = 284 \text{ cm}^2$$

$$R = (0,315 \times 20) / \sqrt{284}$$

$$= 0,669 \text{ ohm}$$

4. Arus dari anoda.

Arus dari anoda pada awal

$$i = \frac{V}{R}$$

$$\text{dimana } i = \text{arus dari anoda (A)}$$

$$V = 0,25 \text{ V}$$

$$R = 0,242 \text{ ohm}$$

$$i = \frac{0,25}{0,242}$$

$$= 1,031 \text{ A}$$

Arus dari anoda pada akhir

$$i = \frac{V}{R}$$

dimana $R = 0,669 \text{ ohm}$

$$i = \frac{0,25}{0,669}$$

$$= 0,374 \text{ A}$$

5. Jumlah anoda yang dibutuhkan.

Pada awal

Jumlah anoda = (kebutuhan arus pd awal) / (arus dari anoda)

$$= 17,575 / 1,031$$

$$= 17,473 \approx 18 \text{ buah}$$

Pada akhir

Jumlah anoda = (kebutuhan arus pd akhir) / (arus dari anoda)

$$= 22,111 / 0,374$$

$$= 23,796 \approx 24 \text{ buah}$$

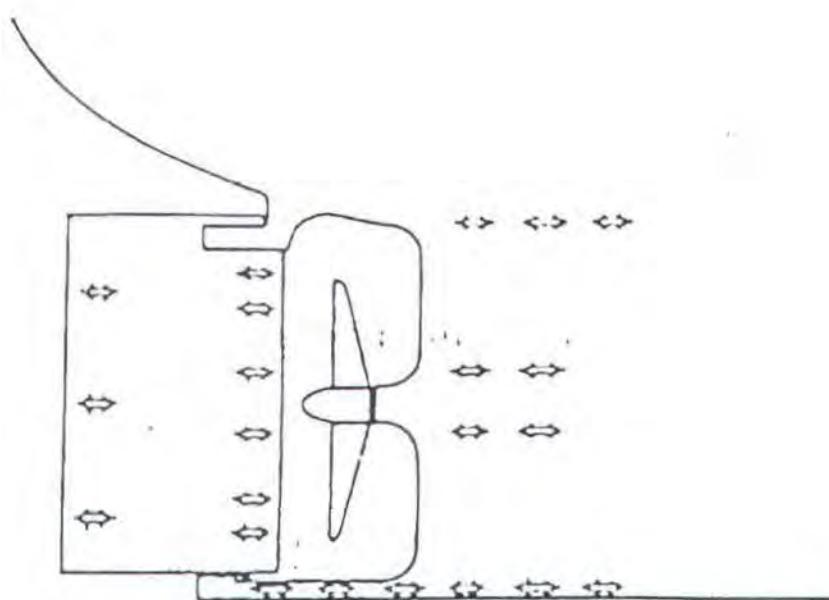
Dari kedua metode diatas dapat dilihat bahwa jumlah anoda yang dihitung dengan menggunakan pedoman berat lebih banyak dibandingkan jumlah anoda yang dihitung dengan menggunakan pedoman arus. Sehingga dalam penelitian ini menggunakan jumlah anoda yang dihitung dengan menggunakan pedoman berat.

4.1.3. Metode Pemasangan

Ukuran-ukuran yang berbeda memberikan area permukaan yang berbeda untuk berat yang sama. Ini berarti bahwa perbedaan bentuk memberikan umur anoda yang berbeda untuk berat yang sama. Umumnya bentuk anoda ditentukan untuk memberikan arus output yang tertentu pula. Dalam beberapa hal, bentuk anoda dirancang menyesuaikan bentuk ruang pembatas struktur baja yang akan dilindungi [Morgan, 1987].



Dalam perkembangan anoda untuk melindungi badan kapal ini dipakai dua metode yang berbeda. Yang pertama dan umum dipakai yaitu dengan jalan anoda dilaskan langsung pada badan kapal. Pada sisi bawah dilakukan coating dengan keramik atau dengan pengecatan zinc coating insert. Teknik lain adalah dengan membuat penyangga yang dilaskan pada badan kapal atau pada double plat [Morgan, 1987].



Gambar 4.1. Peletakan anoda tumbal pada bagian stern.

Anoda didesain untuk melindungi bagian tertentu pada badan kapal. Semakin besar luasan semakin besar jumlah anoda yang dipasang. Pada daerah tertentu yang dilindungi dengan coating perhitungan tergantung pada jenis coating. Daerah stern pada kapal karena turbulensi yang diakibatkan propeler, memerlukan kerapatan arus yang lebih tinggi. Jadi dipasang cukup banyak pada

daerah ini. Penambahan dilakukan pada skeg dan kemudi untuk melakukan perlindungan tersendiri, seperti dalam Gambar 4.1. [DNV, 1993].

Di sepanjang bagian tengah lambung (sekitar midship), anoda dipasang pada garis bilge keel, tidak jarang dipasang pada bilge keelnya sendiri. Sejumlah anoda dan pendistribusinya di sepanjang kapal di hitung berdasarkan pengalaman perusahaan-perusahaan proteksi katodik dan terdapat standar perencanaan anoda-anoda yang dimiliki. Anoda-anoda tidak dapat diletakkan pada bagian depan dibawah jangkar, sebab bisa rusak karena terkena tali jangkar [Morgan, 1987].

Anoda-anoda dirancang sedemikian hingga mampu melakukan proteksi selama periode antara pengedokan. Biasanya berselang dua tahun disesuaikan dengan jadwal pengedokan. Perhitungan perencanaan dalam pemasangan anoda mempertimbangkan pula kemungkinan anoda termakan seluruhnya atau tidak.. Waktu yang diambil untuk penggantian ini mungkin menambah periode pengedokan yang mana aspek keuangan dipertimbangkan kemudian [Morgan, 1987].

Adalah sulit memperkirakan besarnya arus yang diperlukan selama periode dua tahun kapal beroperasi. Untuk menjaga agar anoda-anoda cukup mampu melindungi lambung bila harus menjumpai kerusakan coating maka dibuat overproteksi. Hal ini lebih baik dari pada mengalami kekurangan proteksi. Bila coating lambung terpelihara dengan baik, tidak dapat kerusakan, kapal akan selalu terproteksi, namun perlu dihindari terjadinya overproteksi yang bisa



merusak coating. Anoda-anoda itu sendiri disamping bentuknya yang menonjol, juga dapat menambah sarat kapal [Morgan, 1987].

Anoda-anoda tumbal digunakan untuk memberikan perlindungan katodik yang cukup agar las-lasan tidak termakan, plat tidak terkorosi, dan bahkan manakala sebagian besar coating terkelupas, badan badan kapal cukup terpelihara dari serangan korosi [Morgan, 1987].

4.2. Metode Arus Terpasang (ICCP)

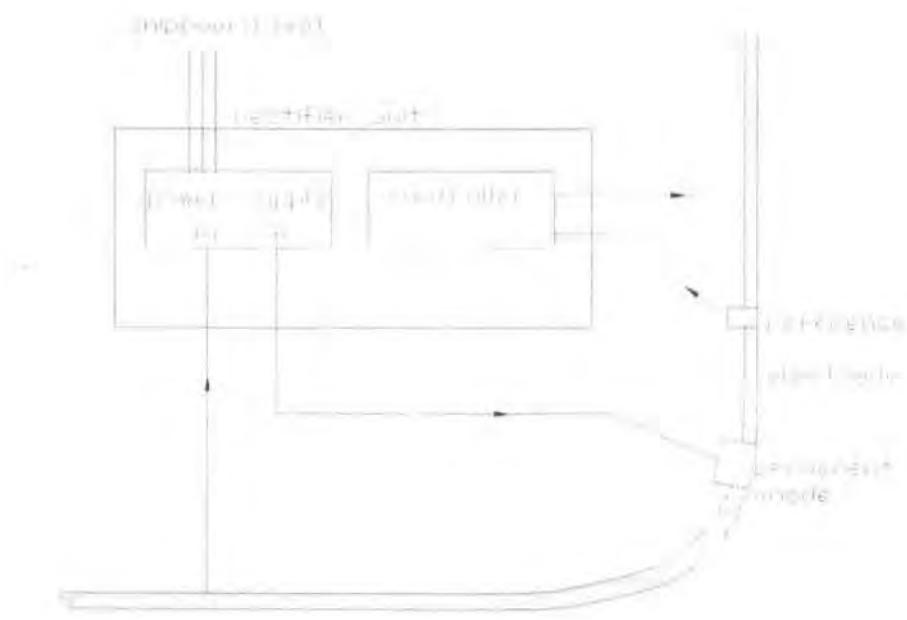
4.2.1. Sistem ICCP.

Tujuan sistem ini adalah untuk menghindari pengkaratan atau korosi yang terjadi pada logam yang tercelup dalam air. Perlindungan korosi pada lambung terbuka, dan tempat-tempat tersembunyi semacam sea-chest, umumnya dilakukan pada tingkat tertentu saja, kecuali pada pembuatan perencanaan instalasi khusus.

Tujuan dari *automatic controller rectifier* adalah untuk memonitor secara terus menerus tingkat proteksi katodik pada permukaan metal yang tercelup dan untuk menempatkan /menyesuaikan suplai arus yang di salurkan melalui anoda permanen untuk mengoptimumkan perlindungan.

Sistem ini terdiri dari beberapa anoda permanen, elektroda referensi dan rectifier dengan *unit controller*, bentuk dan ukuran komponen-komponen dan posisinya disepanjang lambung sudah dikhkususkan sesuai dengan desain parameter mengikuti naik turunnya kebutuhan arus proteksi yang mungkin dialami karena perubahan-perubahan kondisi lingkungan selama pengoperasian.





Gambar 4.2. Diagram blok sistem ICCP.

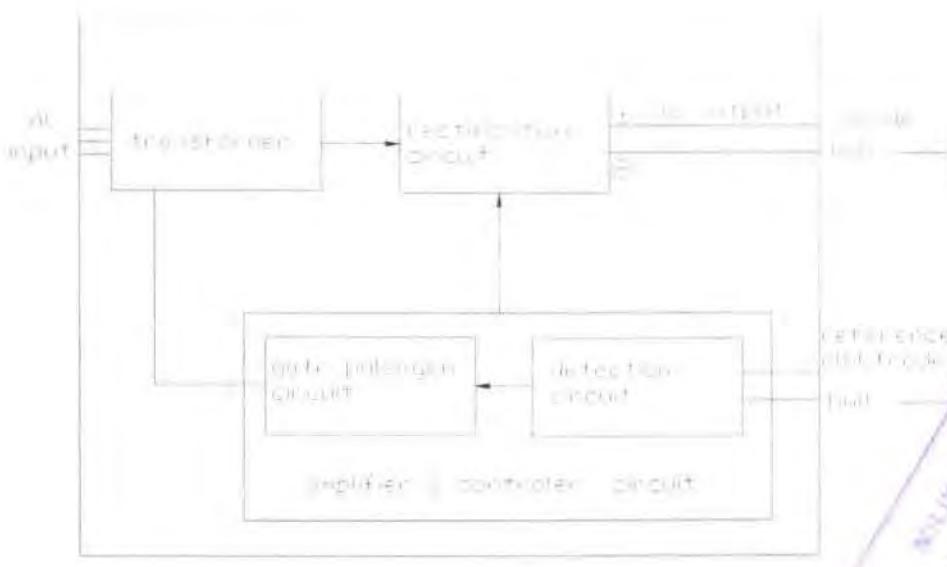
Anoda-anoda permanen dan elektroda-elektroda referensi dipasang pada pelat lambung dibawah permukaan air. Kutub negatif (-) dari sumber arus DC dihubungkan ke pelat lambung sedangkan kutub positif (+) pada anoda-anoda permanen. Sedemikian hingga arus proteksi dapat mengalir dari anoda melalui elektrolit ke lambung kapal. Arus proteksi ini terkontrol secara otomatis, sehingga terpelihara pada range beda potensial antara elektroda referensi dan lambung yang konstan setiap saat, seperti dalam Gambar 4.2.

4.2.2. Komponen-Komponen Sistem

4.2.2.1. Rectifier

Potensial lambung harus terpelihara pada range -770 mV sampai -900mV (SCE). Yang mana hal ini berarti harus ada penurunan bila arus output di atas potensial proteksi pada range tersebut dan penambahan bila potensial di bawahnya. Arus output dikontrol dengan sistem *control rectifier*.





Gambar 4.3. Diagram blok rectifier.

Potensial yang diukur dengan *reference* dibesarkan melalui transistor amplifier, selanjutnya perbedaanya dengan potensial yang sudah diset sebelumnya dibesarkan melalui rangkaian transistor kemudian arus pelindung diset pada harga yang seharusnya dengan *saturated reactor control*. Besarnya arus proteksi berubah-ubah sesuai dengan naik turunnya potensial lambung dan rangkaian *control rectifier* ini untuk mengatur arus proteksi menyesuaikan perubahan-perubahan kebutuhan arus, hal ini dapat dilihat dalam Gambar 4.3.

4.2.2.2. Anoda permanen.

Anoda-anoda permanen dipasang pada pelat lambung dengan isolator agar arus yang langsung ditransformasikan dengan rectifier dapat tersebar ke air sebagai arus proteksi.

Bahan anoda adalah Platinized Titanium. Tipe standard dengan kapasitas arus yang dikeluarkan sebesar 75A, 100A, 150 A dengan beda potensial sebesar 15 V pada kondisi air laut normal (20 ohm cm).

Ujung-ujung kabel dikemas dalam *cofferdam box* yang kedap. Ujung kawat dalam ruang pompa dihubungkan pada kawat yang berasal dari rectifier dalam *cofferdam box*. Sedangkan yang ada didalam tangki balas dikemas dalam pipa baja yang kedap air dan dikeluarkan diatas permukaan tangki balas, dan dihubungkan pada kabel dari rectifier didalam *cofferdam box*.

Semua tipe anoda permanen diperlengkapi dengan sebuah *watertight ring packing* untuk menjamin kekedapan air dari penetrasi lambung untuk hubungan anoda secara elektrik.

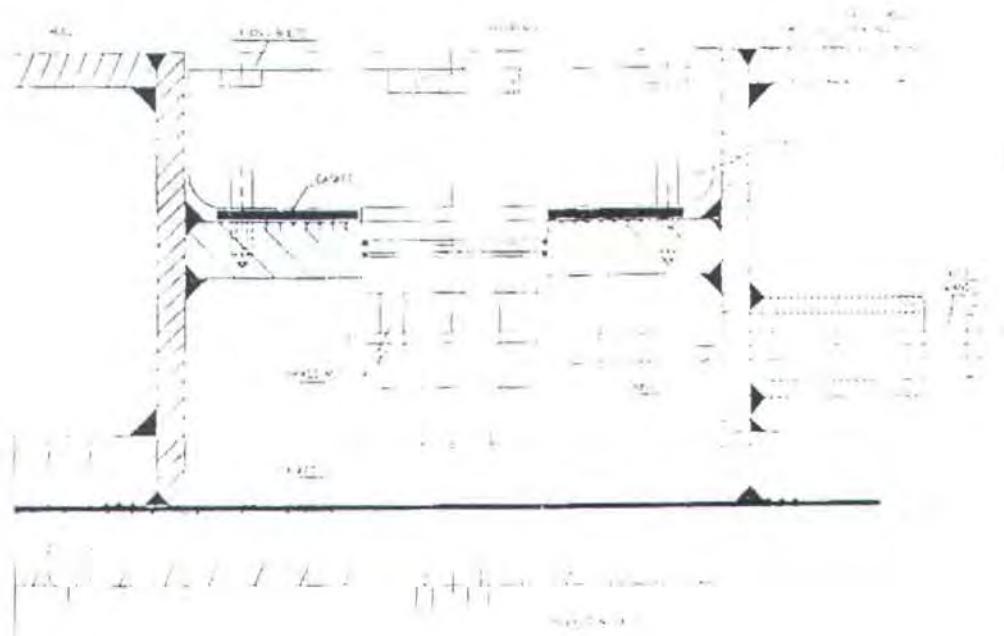
4.2.2.3. Lapisan pelindung arus.

Logam yang mempunyai kerapatan arus tinggi apabila digunakan sebagai anoda pada perlindungan katodik maka anoda tersebut harus dilindungi lapisan batas pelindung arus (*dielectric shield*). Lapisan ini dimaksudkan untuk menghindari terlalu tingginya arus disekitar anoda. karena densitas arus yang tinggi dapat merusak sistem pelapisan, misalnya lapisan pengecatan.

4.2.2.4. Elektroda referensi.

Elektroda referensi merupakan elektroda yang berfungsi mengukur dan mendekripsi potensial lambung dan untuk mengontrol arus output rectifier pada nilai yang sesuai dengan tanda dari elektroda. Gambar bahan dari elektroda referensi adalah Zinc Alloy, dan pelat dari elektroda referensi molded dalam sebuah *insulating resive holder*.





Gambar 4.4 Pemasangan elektroda referensi.

Ujung-ujung kabel dikemas dalam cofferdam box yang kedap. Ujung kawat dihubungkan pada kawat yang berasal dari *amplifier* dan *contoler circuit cofferdam box*. Semua tipe anoda referensi diperlengkapi dengan *watertight ring packing* untuk menjamin kekedapan air dari penetrasi lambung untuk hubungan anoda secara elektrik, seperti dalam Gambar 4.5.

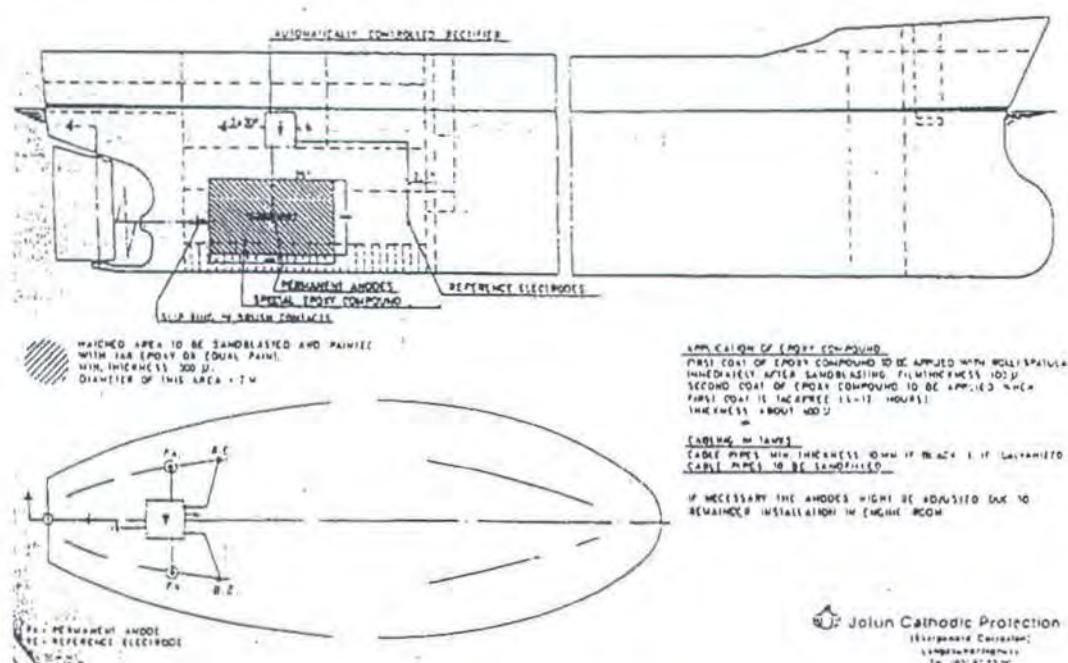
4.2.3. Metoda Pemasangan.

Dalam pemasangan untuk kapal-kapal, anoda-anoda ditempatkan di sekitar haluan atau buritan, karena di situ peralatan untuk sistem lebih mudah dijangkau.

Anoda maupun elektroda referensi dipasang dengan cara melubangi lambung kapal. Kemudian coferdam box dilas pada bagian luar maupun dalam.

anoda maupun elektroda referensi sendiri dipasang dengan baut setelah sebelumnya disisipkan *watertight rubber packing*.

Bagian paling penting pada kapal dalam penentuan distribusi potensial diseluruh lambung adalah buritan, karena adanya paduan bukan besi yang digunakan untuk baling-baling. Oleh karena itu, anoda dan elektroda referensi ditempatkan di bagian buritan, sedangkan *drain point* (kutub negatif) ditempatkan pada daerah haluan. Hal ini dimaksudkan agar arus dapat mencapai bagian haluan, hal ini dapat dilihat dalam gambar 4.5.



Gambar 4.5. Penempatan anoda ICCP pada kapal

Pada model dapat dilakukan simulasi yang teliti menggunakan data yang diperoleh dari pengukuran terhadap kapal sesungguhnya dalam kondisi statis. Ketika dalam simulasi itu ditambahkan faktor kecepatan, ternyata sistem proteksi yang dirancang untuk kondisi statis tidak mampu menghasilkan potensial yang

dibutuhkan untuk daerah buritan. Dengan menambahkan sebuah elektroda pengendali dan mengatur kembali letak elektroda pengendali lain, akan didapatkan tingkat proteksi yang baik diseluruh model, baik dalam kondisi statis maupun dinamis. Ini sekaligus membuktikan betapa pentingnya posisi acuan untuk pengoperasian sistem yang efektif [Trethewey,1991].

Badan kapal yang terdiri atas lambung dan tonjolan-tonjolan dan tambahan-tambahan seperti *bilge keel*, propeler, kemudi, dan lain-lain, diproteksi bersama lambung. Kemudi diproteksi bersama lambung tetapi perlu dipasang penghubung pada rudder bearing untuk memperbaiki konduktivitasnya.

Propeler, ketika berputar terisolasi elektris dari lambung karena adanya lapisan minyak pada bearing. Hal ini tidak terjadi secara langsung, tetapi semakin tampak setelah beberapa lama beroperasi dan terjadi reduksi pada metal baring. Untuk itu perlu dilakukan penyambungan secara elektrik, sehingga terbentuk satu rangkaian antara poros dengan lambung. Beberapa jenis material dapat digunakan untuk menyambungkan poros yang berputar dengan lambung, diantaranya adalah carbon atau grafit brush rubbering pada poros [Morgan, 1987].

Proteksi katodik arus terpasang selalu di kombinasikan dengan metode pelapisan. Pelapisan sebagai proteksi primer sedangkan proteksi katodik sebagai penunjang pada bagian-bagian yang kemungkinan mempunyai cacat. Selama lapisan pelindung masih baru, sistem arus terpasang hampir tidak diperlukan. Namun sesudah kapal dioperasikan cukup lama dan catnya mulai rusak disana-sini, proteksi katodik semakin dibutuhkan. Akhirnya kebutuhan akan

perlindungan oleh sistem proteksi katodik akan lebih besar dari kemampuan yang direncanakan.

Arus anoda yang tinggi dapat menyebabkan kerusakan lebih besar terhadap bahan pelapis, terutama disekitar anoda karena disitu ion-ion hydroksil dalam konsentrasi yang tinggi. Selain itu arus lokal yang tinggi di sekitar anoda dapat mengurangi perlindungan yang di berikan kepada struktur. Jadi walaupun dengan metode arus terpasang jadwal perawatan ulang di galangan lebih renggang dari pada dengan metode anoda tumbal, perawatan lambung kapal tetap merupakan produser yang tidak bisa di sepelekan. Namun meskipun sistem ICCP telah digunakan untuk melindungi lambung kapal, orang masih menambahkan anoda seng sebagai tumbal ditempat-tempat penyedotan air laut karena disitu efek metode arus terpasang tidak memadai.



BAB V

ANALISA EKONOMIS

BAB V

ANALISA EKONOMIS

5.1. Pendahuluan

Perhitungan ekonomis proteksi anoda tumbal dilakukan dengan mengasumsikan bahwa pemilihan spesifikasi bahan maupun peralatan secara teknis maupun ekonomis optimal. Sistem perancangan untuk pemasangan atau penggantian adalah sama dan dilakukan secara periodik berselang dua tahun, sehingga secara ekonomis, proteksi anoda tumbal tidaklah sulit. Biaya anoda dan jumlah kebutuhannya dapat diketahui seiring dengan tahun, sehingga biaya tersebut dapat dihitung tiap pemakaianya atau diperkirakan besarnya biaya penggantian untuk waktu tertentu.

Biaya proteksi katoda sistem katoda arus terpasang (ICCP) berbeda dari sistem anoda tumbal. Biaya tersebut memiliki dua komponen/unsur utama. Yaitu biaya awal atau biaya modal. Sedangkan komponen yang lain adalah biaya operasi, yaitu biaya pemakaian daya listrik dan biaya perawatan.

Biaya awal akan memakan biaya yang sangat besar dan menjadi faktor utama dalam pembiayaan sistem. Biaya ini meliputi biaya anoda, biaya kabel-kabel listrik, biaya generator, dan biaya pemantauan potensial atau biaya kontrol.

Ada keterbukaan variasi didalam mendesain sebuah sistem arus terpasang dengan batasan-batasan yang telah ditentukan. Variasinya dapat dilakukan mulai dari type anoda yang digunakan sampai distribusi anoda atau konsentrasi anoda yang menghasilkan arus a.c yang diperlukan sedimikian rupa sehingga membutuhkan daya listrik kecil dibandingkan dengan distribusi d.c, dengan memakai kabel besar namun



powernya dari unit yang ekonomis. Penambahan tersebut merupakan masalah bagi pemeliharaan, ketangguhan, dan perlengkapan lainnya. [Morgan,1987]

5.2. Biaya Sistem Anoda Tumbal

Biaya untuk sistem ini dapat dikelompokkan menjadi :

- a. Biaya pengadaan anoda
- b. Biaya pemasangan

Berikut ini adalah contoh penghitungan biaya pemakaian anoda tumbal jenis SAP Zinc alloy untuk kapal Caraka Jaya Niaga III Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

1. Biaya pengadaan anoda

Harga anoda/kg = 3 USD untuk jenis SAP Zinc alloy

Anoda yang dibutuhkan 96 buah, jika 1 buah anoda beratnya 8 kg dan 1 USD

kita asumsikan Rp 8.500,- maka harga untuk 1 buah anoda adalah $8 \times 3 \times$

Rp 8.500,- = Rp 204.000,- Sehingga biaya pengadaan 96 buah anoda adalah

$96 \times \text{Rp } 204.000 = \text{Rp } 19.584.000,-$

2. Biaya pemasangan

Jika pemasangan 1 buah anoda membutuhkan 0,25 JO maka untuk pemasangan 83 buah membutuhkan $0,25 \times 96 = 24$ JO. Harga 1 JO adalah Rp 22.500,- [PAL Indonesia]

Biaya pemasangan adalah $41,5 \times \text{Rp } 22.500,- = \text{Rp } 540.000,-$



3. Biaya pemakaian anoda tumbal

$$\begin{aligned}\text{Biaya pemakaian anoda} &= \text{biaya pengadaan} + \text{biaya pemasangan} \\ &= \text{Rp } 19.584.000 + \text{Rp } 540.000,- \\ &= \text{Rp } 20.124.000,-\end{aligned}$$

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat tabel biaya pemakaian anoda dibawah ini :

Tabel 5.1. Biaya pemakaian anoda Zn pada kapal Caraka Jaya Niaga III.

Pekerjaan	Kebutuhan	Harga Satuan	Jumlah
Pengadaan anoda	96 buah	Rp 204.000,-	Rp 19.584.000,-
Pemasangan anoda	24 JO	Rp 22.500,-	Rp 540.000,-
Biaya pemakaian anoda		Rp 20.124.000,-	

Tabel 5.2. Biaya pemakaian anoda Al pada kapal Caraka Jaya Niaga III.

Pekerjaan	Kebutuhan	Harga Satuan	Jumlah
Pengadaan anoda	68 buah	Rp 122.740,-	Rp 8.346.000,-
Pemasangan anoda	17 JO	Rp 22.500,-	Rp 382.500,-
Biaya pemakaian anoda		Rp 8.728.820,-	

Tabel 5.3. Biaya pemakaian anoda Zn pada kapal Palu Sipat.

Pekerjaan	Kebutuhan	Harga Satuan	Jumlah
Pengadaan anoda	128 buah	Rp 204.000,-	Rp 26.112.000,-
Pemasangan anoda	32 JO	Rp 22.500,-	Rp 720.000,-
Biaya pemakaian anoda		Rp 26.832.000,-	

Tabel 5.4. Biaya pemakaian anoda Al pada kapal Palu Sipat.

Pekerjaan	Kebutuhan	Harga Satuan	Jumlah
Pengadaan anoda	90 buah	Rp 122.740,-	Rp 11.046.600,-
Pemasangan anoda	22,5 JO	Rp 22.500,-	Rp 506.250,-
Biaya pemakaian anoda		Rp 11.552.000,-	

Tabel 5.5. Biaya pemakaian anoda Zn pada kapal DCV.

Pekerjaan	Kebutuhan	Harga Satuan	Jumlah
Pengadaan anoda	171 buah	Rp 280.500,-	Rp 47.965.500,-
Pemasangan anoda	85,5 JO	Rp 22.500,-	Rp 1.923.750,-
Biaya pemakaian anoda		Rp 49.889.250,-	

Tabel 5.6. Biaya pemakaian anoda Al pada kapal DCV.

Pekerjaan	Kebutuhan	Harga Satuan	Jumlah
Pengadaan anoda	116 buah	Rp 212.500,-	Rp 24.650.000,-
Pemasangan anoda	29 JO	Rp 22.500,-	Rp 625.500,-
Biaya pemakaian anoda		Rp 25.275.000,-	

Tabel 5.7. Biaya pemakaian anoda Zn pada kapal OHBC.

Pekerjaan	Kebutuhan	Harga Satuan	Jumlah
Pengadaan anoda	317 buah	Rp 510.000,-	Rp 88.918.500,-
Pemasangan anoda	158,5 JO	Rp 22.500,-	Rp 3.566.250,-
Biaya pemakaian anoda		Rp 92.484.750,-	



Tabel 5.8. Biaya pemakaian anoda Al pada kapal OHBC.

Pekerjaan	Kebutuhan	Harga Satuan	Jumlah
Pengadaan anoda	121 buah	Rp 361.250,-	Rp 43.711.250,-
Pemasangan anoda	30,25 JO	Rp 22.500,-	Rp 680.625,-
Biaya pemakaian anoda		Rp 44.391.875,-	

5.3. Biaya Sistem Arus Terpasang

Biaya untuk sistem ini dapat dikelompokan menjadi :

- Biaya pengadaan anoda
- Biaya pemasangan

Berikut ini adalah contoh penghitungan biaya pemakaian ICCP untuk kapal Caraka Jaya III. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

1. Biaya pengadaan anoda

Harga 1 paket ICCP produksi JOTUN NOF (S) PTE LTD

dengan spesifikasi sebagai berikut :

- 1 buah rectifier.
- 2 buah anoda dari titanium.
- 2 buah coferdam untuk anoda.
- 2 buah elektroda referensi.
- 2 buah coferdam untuk elektroda referensi.
- 1 lot lapisan pelindung arus.
- 1 set suku cadang untuk rectifier.
- 1 set alat instalasi .



adalah 25.000 USD. Jika kita asumsikan 1 USD = Rp 8.500,- maka harga 1 paket ICCP adalah $25.000 \times \text{Rp } 8.500 = \text{Rp } 212.500.000,-$

2. Biaya pemasangan

Untuk pemasangan ICCP membutuhkan 84 JO dengan perincian sebagai berikut :

a. Bagian MO membutuhkan 56 JO, dengan perincian sebagai berikut :

1. Marking membutuhkan 2 JO
2. Cutting, bevel dan gerinda membutuhkan 10 JO
3. Welding dan gerinda membutuhkan 32 JO
4. Blasting membutuhkan 4 JO
5. Pemasangan perlindungan arus membutuhkan 8 JO

b. Bagian EO membutuhkan 28 JO, dengan perincian sebagai berikut :

1. Wiring cable membutuhkan 8 JO
2. Penyambungan dan pengecekan kabel membutuhkan 16 JO
3. Commisioning membutuhkan 4 JO

Jika 1 JO Rp 22.500,- maka biaya pemasangan adalah $84 \times \text{Rp } 22.500,- = \text{Rp } 1.890.000,-$

3. Biaya pemakaian ICCP

$$\begin{aligned}\text{Biaya pemakaian ICCP} &= \text{biaya pengadaan} + \text{biaya pemasangan} \\ &= \text{Rp } 212.500.000 + \text{Rp } 1.890.000,- \\ &= \text{Rp } 214.390.000,-\end{aligned}$$

5.4. Perbandingan Biaya

Dalam pemakaian anoda tumbal selama 15 tahun akan membutuhkan 7 kali penggantian, hal ini dikarenakan umur dari anoda tumbal tersebut. Jika suku bunga adalah 10 % pertahun maka dalam 15 tahun biaya yang harus dikeluarkan untuk penggunaan anoda tumbal adalah :

$$i_{\text{real}} = (1 + i_f)^n \quad [\text{Pujawan, 1995}]$$

Dimana, i_{real} = nilai real

i_f = faktor bunga

n = tahun pemakaian

- Dengan menggunakan anoda tumbal

1. Kapal Caraka Jaya Niaga III

a. Dengan menggunakan anoda Zn

Tabel 5.9. Biaya pemakaian anoda Zn pada kapal Caraka Jaya Niaga III dalam 15 tahun.

Tahun pemakaian	Nilai nominal	i_f	Nilai real
0	Rp 20.124.000,00	1	Rp 20.124.000,00
2	Rp 20.124.000,00	1,21	Rp 24.350.040,00
4	Rp 20.124.000,00	1,464	Rp 29.463.548,40
6	Rp 20.124.000,00	1,771	Rp 35.650.893,60
8	Rp 20.124.000,00	2,144	Rp 43.137.581,20
10	Rp 20.124.000,00	2,594	Rp 52.196.473,30
12	Rp 20.124.000,00	3,138	Rp 63.157.732,30
14	Rp 20.124.000,00	3,797	Rp 76.420.865,50
Total investasi			Rp 304.501.126



Dari tabel diatas dapat dilihat, biaya investasi yang dibutuhkan untuk pemakaian Zn anoda dalam 15 tahun adalah Rp 304.501.126

b. Dengan menggunakan anoda Al

Tabel 5.10. Biaya Pemakaian Anoda Al pada kapal Caraka Jaya Niaga III dalam 15 tahun.

Tahun pemakaian	Nilai nominal	i_f	Nilai real
0	Rp 8.728.820,00	1	Rp 8.728.820,00
2	Rp 8.728.820,00	1,21	Rp 10.561.872,20
4	Rp 8.728.820,00	1,464	Rp 12.779.865,40
6	Rp 8.728.820,00	1,771	Rp 15.463.637,10
8	Rp 8.728.820,00	2,144	Rp 18.711.000,90
10	Rp 8.728.820,00	2,594	Rp 22.640.311,00
12	Rp 8.728.820,00	3,138	Rp 27.394.776,40
14	Rp 8.728.820,00	3,797	Rp 33.147.679,40
Total investasi			Rp 149.427.962

Dari tabel diatas dapat dilihat, biaya investasi yang dibutuhkan untuk pemakaian Zn anoda dalam 15 tahun adalah Rp 149.427.962

2. Kapal Palu Sipat

a. Dengan menggunakan anoda Zn

Tabel 5.11. Biaya pemakaian anoda Zn pada kapal Palu Sipat dalam 15 tahun.

Tahun pemakaian	Nilai nominal	i_f	Nilai real
0	Rp 26.832.000,00	1	Rp 26.832.000,00
2	Rp 26.832.000,00	1,21	Rp 32.466.720,00
4	Rp 26.832.000,00	1,464	Rp 39.284.731,20

6	Rp 26.832.000,00	1,771	Rp 47.534.524,00
8	Rp 26.832.000,00	2,144	Rp 57.516.774,95
10	Rp 26.832.000,00	2,594	Rp 69.595.297,69
12	Rp 26.832.000,00	3,138	Rp 82.210.310,20
14	Rp 26.832.000,00	3,797	Rp 101.894.475,30
Total investasi			Rp 459.334.834,10

Dari tabel diatas dapat dilihat, biaya investasi yang dibutuhkan untuk pemakaian Zn anoda dalam 15 tahun adalah Rp 459.334.834,10

b. Dengan menggunakan anoda Al

Tabel 5.12. Biaya pemakaian anoda Al pada kapal Palu Sipat dalam 15 tahun.

Tahun pemakaian	Nilai nominal	i_f	Nilai real
0	Rp 11.552.000,00	1	Rp 11.552.000,00
2	Rp 11.552.000,00	1,21	Rp 13.366.386,00
4	Rp 11.552.000,00	1,464	Rp 16.173.327,06
6	Rp 11.552.000,00	1,771	Rp 19.569.725,74
8	Rp 11.552.000,00	2,144	Rp 23.679.368,15
10	Rp 11.552.000,00	2,594	Rp 28.652.035,46
12	Rp 11.552.000,00	3,138	Rp 34.668.962,91
14	Rp 11.552.000,00	3,797	Rp 41.949.445,12
Total investasi			Rp 189.105.850,40

Dari tabel diatas dapat dilihat, biaya investasi yang dibutuhkan untuk pemakaian Zn anoda dalam 15 tahun adalah Rp 189.105.850,40



3. Kapal DCV

- a. Dengan menggunakan anoda Zn

Tabel 5.13. Biaya pemakaian anoda Zn pada kapal DCV dalam 15 tahun.

Tahun pemakaian	Nilai nominal	i_f	Nilai real
0	Rp 49.889.250,00	1	Rp 49.889.250,00
2	Rp 49.889.250,00	1,21	Rp 60.365.993,00
4	Rp 49.889.250,00	1,464	Rp 73.042.851,00
6	Rp 49.889.250,00	1,771	Rp 88.381.850,00
8	Rp 49.889.250,00	2,144	Rp 106.942.038,00
10	Rp 49.889.250,00	2,594	Rp 129.399.866,00
12	Rp 49.889.250,00	3,138	Rp 156.573.838,00
14	Rp 49.889.250,00	3,797	Rp 189.454.344,00
Total investasi			Rp 854.050.029,00

Dari tabel diatas dapat dilihat, biaya investasi yang dibutuhkan untuk pemakaian Zn anoda dalam 15 tahun adalah Rp 854.050.029,00

- b. Dengan menggunakan anoda Al

Tabel 5.14. Biaya pemakaian anoda Al pada kapal DCV dalam 15 tahun.

Tahun pemakaian	Nilai nominal	i_f	Nilai real
0	Rp 25.275.000,00	1	Rp 25.275.000,00
2	Rp 25.275.000,00	1,21	Rp 30.582.750,00
4	Rp 25.275.000,00	1,464	Rp 37.005.128,00
6	Rp 25.275.000,00	1,771	Rp 44.776.204,00
8	Rp 25.275.000,00	2,144	Rp 54.179.207,00



10	Rp 25.275.000,00	2,594	Rp 65.556.841,00
12	Rp 25.275.000,00	3,138	Rp 79.323.777,00
14	Rp 25.275.000,00	3,797	Rp 95.981.770,00
Total investasi			Rp 432.680.677,00

Dari tabel diatas dapat dilihat, biaya investasi yang dibutuhkan untuk pemakaian Zn anoda dalam 15 tahun adalah Rp 432.680.677,00

4. Kapal OHBC

- a. Dengan menggunakan anoda Zn

Tabel 5.15. Biaya pemakaian anoda Zn pada kapal OHBC dalam 15 tahun.

Tahun pemakaian	Nilai nominal	i_f	Nilai real
0	Rp 92.487.750,00	1	Rp 92.487.750,00
2	Rp 92.487.750,00	1,21	Rp 107.851.838,00
4	Rp 92.487.750,00	1,464	Rp 130.500.723,00
6	Rp 92.487.750,00	1,771	Rp 157.905.875,00
8	Rp 92.487.750,00	2,144	Rp 191.066.109,00
10	Rp 92.487.750,00	2,594	Rp 231.189.992,00
12	Rp 92.487.750,00	3,138	Rp 279.739.890,00
14	Rp 92.487.750,00	3,797	Rp 338.485.267,00
Total investasi			Rp 1.525.873.445,00

Dari tabel diatas dapat dilihat, biaya investasi yang dibutuhkan untuk pemakaian Zn anoda dalam 15 tahun adalah Rp 1.525.873.445,00



- b. Dengan menggunakan anoda Al

Tabel 5.16. Biaya pemakaian anoda Al pada kapal OHBC dalam 15 tahun.

Tahun pemakaian	Nilai nominal	i_f	Nilai real
0	Rp 44.391.875,00	1	Rp 44.391.875,00
2	Rp 44.391.875,00	1,21	Rp 53.714.168,80
4	Rp 44.391.875,00	1,464	Rp 64.994.144,20
6	Rp 44.391.875,00	1,771	Rp 78.642.914,50
8	Rp 44.391.875,00	2,144	Rp 95.157.926,50
10	Rp 44.391.875,00	2,594	Rp 115.141.091,00
12	Rp 44.391.875,00	3,138	Rp 139.320.720,00
14	Rp 44.391.875,00	3,797	Rp 168.578.071,00
Total investasi			Rp 759.940.912,00

Dari tabel diatas dapat dilihat, biaya investasi yang dibutuhkan untuk pemakaian Zn anoda dalam 15 tahun adalah Rp 759.940.912,00

- Dengan menggunakan ICCP

Selama 15 tahun penggunaannya diperkirakan tidak ada perbaikan hanya dibutuhkan biaya operasi. Biaya operasi untuk ICCP adalah :

1. Kapal Caraka Jaya

- Dalam operasinya dibutuhkan 0,6 kwh sehingga dalam satu tahun membutuhkan $8760 \times 0,6 = 5256$ kwh.
- Jika 1 kwh membutuhkan 0,0988 liter maka untuk satu tahun membutuhkan $0,0988 \times 5256 = 519,2928$ liter



- Jika 1 liter solar Rp 1.560,- [Pertamina] maka biaya operasi dalam satu tahun membutuhkan $519,2928 \times \text{Rp } 1.560,- = \text{Rp } 810.096,-$

Jika suku bunga 10 % maka biaya operasi ICCP dalam 15 tahun adalah :

Tabel 5.17. Biaya operasi ICCP pada kapal Caraka Jaya Niaga III dalam 15 tahun.

Tahun pemakaian	Nilai nominal	i_f	Nilai real
1	Rp.810.096,-	1,000	Rp. 810.096,00
2	Rp.810.096,-	1,100	Rp 891.105,60
3	Rp.810.096,-	1,210	Rp 980.216,20
4	Rp.810.096,-	1,331	Rp 1.078.238,00
5	Rp.810.096,-	1,464	Rp 1.186.062,00
6	Rp.810.096,-	1,611	Rp 1.304.668,00
7	Rp.810.096,-	1,771	Rp 1.435.134,00
8	Rp.810.096,-	1,949	Rp 1.578.648,00
9	Rp.810.096,-	2,144	Rp 1.736.513,00
10	Rp.810.096,-	2,358	Rp 1.910.164,00
11	Rp.810.096,-	2,594	Rp 2.101.180,00
12	Rp.810.096,-	2,853	Rp 2.211.298,00
13	Rp.810.096,-	3,318	Rp 2.542.428,00
14	Rp.810.096,-	3,452	Rp 2.796.671,00
15	Rp.810.096,-	3,797	Rp 3.076.338,00
Biaya operasi			Rp 25.738.760,00

Sehingga biaya investasi untuk pemakaian ICCP dalam 15 tahun adalah :

$$\text{Biaya pengadaan} + \text{biaya operasi} = \text{Rp } 214.390.000,00 + \text{Rp } 25.738.760,00$$

$$= \text{Rp } 240.128.760,00$$



Tabel 5.18. Biaya operasi ICCP pada kapal Palu Sipat dalam 15 tahun.

Tahun pemakaian	Nilai nominal	i_f	Nilai real
1	Rp.1.620.194,00	1,000	Rp. 1.620.194,00
2	Rp.1.620.194,00	1,100	Rp 1.782.213,00
3	Rp.1.620.194,00	1,210	Rp 1.960.434,00
4	Rp.1.620.194,00	1,331	Rp 2.156.278,00
5	Rp.1.620.194,00	1,464	Rp 2.372.125,00
6	Rp.1.620.194,00	1,611	Rp 2.609.338,00
7	Rp.1.620.194,00	1,771	Rp 2.870.272,00
8	Rp.1.620.194,00	1,949	Rp 3.157.299,00
9	Rp.1.620.194,00	2,144	Rp 3.473.029,00
10	Rp.1.620.194,00	2,358	Rp 3.820.332,00
11	Rp.1.620.194,00	2,594	Rp 4.202.365,00
12	Rp.1.620.194,00	2,853	Rp 4.622.601,00
13	Rp.1.620.194,00	3,318	Rp 5.084.861,00
14	Rp.1.620.194,00	3,452	Rp 5.593.348,00
15	Rp.810.096,-	3,797	Rp 6.152.682,00
Biaya operasi			Rp 51.477.569,00

Sehingga biaya investasi untuk pemakaian ICCP dalam 15 tahun adalah :

$$\begin{aligned} \text{Biaya pengadaan + biaya operasi} &= \text{Rp } 214.390.000,00 + \text{Rp } 51.477.569,00 \\ &= \text{Rp } 279.735.540,00. \end{aligned}$$



Tabel 5.19. Biaya operasi ICCP pada kapal DCV dalam 15 tahun.

Tahun pemakaian	Nilai nominal	i_f	Nilai real
1	Rp.2.430.290,00	1,000	Rp. 2.430.290,00
2	Rp.2.430.290,00	1,100	Rp 2.673.319,00
3	Rp.2.430.290,00	1,210	Rp 2.940.651,00
4	Rp.2.430.290,00	1,331	Rp 3.234.716,00
5	Rp.2.430.290,00	1,464	Rp 3.558.188,00
6	Rp.2.430.290,00	1,611	Rp 3.914.007,00
7	Rp.2.430.290,00	1,771	Rp 4.305.408,00
8	Rp.2.430.290,00	1,949	Rp 4.735.948,00
9	Rp.2.430.290,00	2,144	Rp 5.209.543,00
10	Rp.2.430.290,00	2,358	Rp 5.730.497,00
11	Rp.2.430.290,00	2,594	Rp 6.303.547,00
12	Rp.2.430.290,00	2,853	Rp 6.933.902,00
13	Rp.2.430.290,00	3,318	Rp 7.627.292,00
14	Rp.2.430.290,00	3,452	Rp 8.390.021,00
15	Rp.2.430.290,00	3,797	Rp 9.229.023,00
Biaya operasi			Rp 77.216.354,00

Sehingga biaya investasi untuk pemakaian ICCP dalam 15 tahun adalah :

$$\begin{aligned} \text{Biaya pengadaan + biaya operasi} &= \text{Rp } 214.390.000,00 + \text{Rp } 77.216.354,00 \\ &= \text{Rp } 333.210.284,00. \end{aligned}$$



Tabel 5.19. Biaya operasi ICCP pada kapal OHBC dalam 15 tahun.

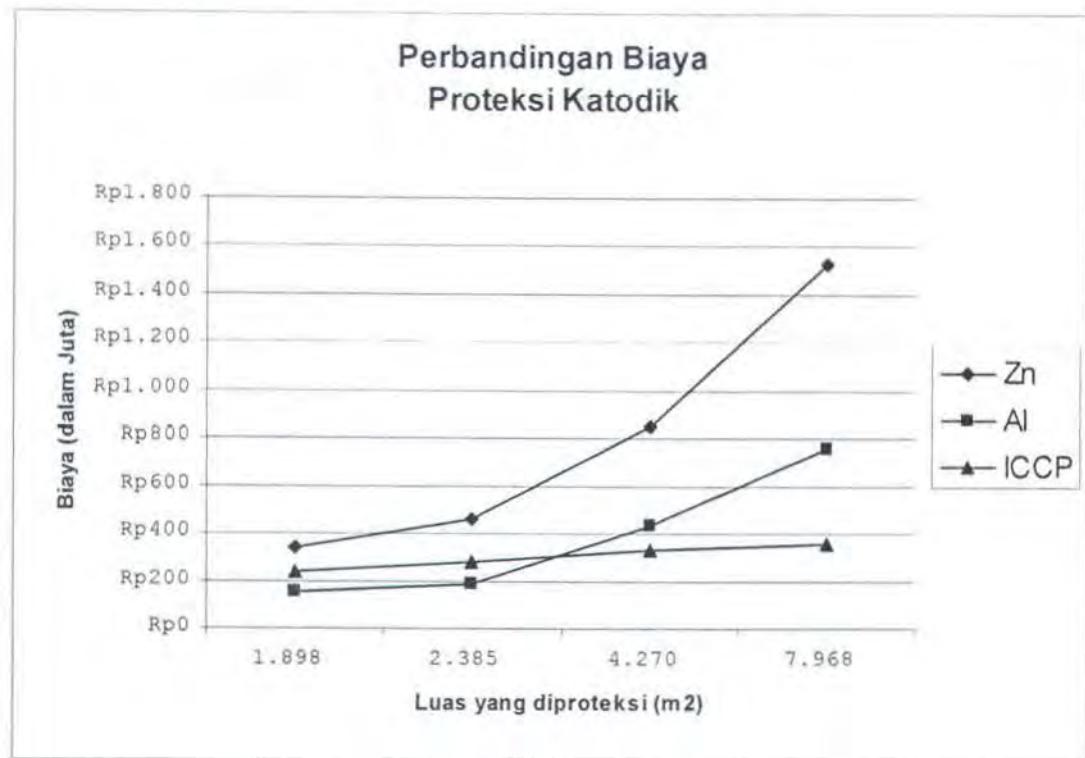
Tahun pemakaian	Nilai nominal	i_f	Nilai real
1	Rp.4.050.484,00	1,000	Rp. 4.050.484,00
2	Rp.4.050.484,00	1,100	Rp 4.455.532,00
3	Rp.4.050.484,00	1,210	Rp 4.901.085,00
4	Rp.4.050.484,00	1,331	Rp 5.391.194,00
5	Rp.4.050.484,00	1,464	Rp 5.930.313,00
6	Rp.4.050.484,00	1,611	Rp 6.523.345,00
7	Rp.4.050.484,00	1,771	Rp 7.175.679,00
8	Rp.4.050.484,00	1,949	Rp 7.893.427,00
9	Rp.4.050.484,00	2,144	Rp 8.682.572,00
10	Rp.4.050.484,00	2,358	Rp 9.550.829,00
11	Rp.4.050.484,00	2,594	Rp 10.505.912,00
12	Rp.4.050.484,00	2,853	Rp 11.556.504,00
13	Rp.4.050.484,00	3,318	Rp 12.712.154,00
14	Rp.4.050.484,00	3,452	Rp 13.983.369,00
15	Rp.4.050.484,00	3,797	Rp 15.381.706,00
Biaya operasi			Rp 128.693.929,00

Sehingga biaya investasi untuk pemakaian ICCP dalam 15 tahun adalah :

$$\begin{aligned} \text{Biaya pengadaan + biaya operasi} &= \text{Rp } 214.390.000,00 + \text{Rp } 128.693.929,00 \\ &= \text{Rp } 358.355.133,00. \end{aligned}$$

Untuk lebih jelas, perbandingan biaya proteksi katodik antara anoda tumbal dan ICCP dapat dilihat dalam grafik berikut :





Gambar 5.1. Grafik Perbandingan Biaya Proteksi Katodik

Keterangan :

Gambar 5.1. menunjukkan perbandingan biaya pemakaian proteksi katodik antara Zn, Al dan ICCP yang dinyatakan dalam perbandingan antara luasan proteksi (m^2) dengan biaya yang dibutuhkan. Adapun nilai – nilai dari perbandingan tersebut dapat ditunjukkan pada tabel di bawah ini :

Tabel 5.18. Perbandingan Biaya Proteksi Katodik

Luas (m^2)	Biaya		
	Zinc Anoda	Alumunium Anoda	ICCP
1898	Rp 344.501.126,00	Rp 149.427.962,00	Rp 240.128.760,00
2385	Rp 459.334.834,00	Rp 189.105.850,00	Rp 279.735.540,00
4270	Rp 854.050.029,00	Rp 432.680.677,00	Rp 333.210.284,00
7968	Rp 1.525.873.445,00	Rp 759.940.912,00	Rp 358.355.133,00



Dari grafik dan tabel di atas dapat dianalisa sebagai berikut :

- Perbandingan biaya proteksi katodik antara Zn, Al dan ICCP

Sampai dengan luasan 2385 m^2 paling ekonomis menggunakan Al dibandingkan menggunakan Zn maupun ICCP. Sedangkan Zn justru lebih mahal daripada ICCP.. Sedangkan pada luasan $2643,0196 \text{ m}^2$ biaya penggunaan Al akan sama dengan biaya penggunaan ICCP. **Dengan kata lain setelah luasan $2643,0196 \text{ m}^2$ penggunaan metode ICCP akan lebih ekonomis dibandingkan dengan metode anoda tumbal (*sacrificial anodes*).**



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 KESIMPULAN

Dari analisa teknis dan analisa ekonomis yang dilakukan terhadap metode *Sacrificial Anodes Cathodic Protection (SACP)* dan *Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)* maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Secara Teknis

No		ICCP	SACP
1	Karakteristik	<ul style="list-style-type: none">- Membutuhkan sumber listrik utama atau sumber tenaga yang lain.- Outputnya dapat dikontrol.- Umumnya membutuhkan sejumlah kecil anoda.- Polaritas yang terbalik dapat mempercepat korosi.	<ul style="list-style-type: none">- Tidak memerlukan sumber tenaga listrik.- Outputnya tidak dapat dikontrol.- Membutuhkan anoda dalam jumlah banyak.- Hubungan boleh terbalik yang dapat menyebabkan polaritasnya terbalik.
2	Pemasangan	<ul style="list-style-type: none">- Memerlukan desain yang teliti- Relatif memerlukan inspeksi pada beberapa	<ul style="list-style-type: none">- Relatif mudah dipasang.- Memerlukan sejumlah besar posisi.



	<p>posisi</p> <ul style="list-style-type: none"> - Membutuhkan lubang-lubang dalam badan kapal untuk memungkinkan hubungan yang terisolasi 	<ul style="list-style-type: none"> - Dapat dibaut atau disambung secara langsung pada permukaan yang harus dilindungi.
--	---	---

2. Secara Ekonomis

- Penggunaan Al lebih ekonomis dibandingkan dengan penggunaan Zn. Dan penggunaan ICCP paling ekonomis dibandingkan Zn dan Al setelah luasan $2643,0196 \text{ m}^2$.

Sehingga dapat disimpulkan untuk kapal dengan **WSA kurang dari $2643,0196 \text{ m}^2$** masih ekonomis menggunakan sistem anoda tumbal (SACP).

6.2 SARAN

Demi berkembangnya tugas akhir ini dan demi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang akan datang maka disarankan agar menganalisa optimasi penggunaan ICCP dan anoda tumbal secara ekonomis dan teknis dengan menggunakan metode statistik.



DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Anam, Khoirul, *Perancangan Sistem Korosi Pada Badan Kapal Dengan Metode Anoda Tumbal dan ICCP Ditinjau Dari Segi Teknis dan Ekonomis*, Tugas Akhir, Teknik Perkapalan, FTK, ITS, 1995.
- Archie W, Culp. Jr, Ph.D., *Prinsip-Prinsip Konversi Energi*, Erlangga, Jakarta, 1996.
- Chandler, Kenneth A, *Marine and Offshore Corrosion*, Butterwarths, London, 1985.
- Fontana MG, Greene ND, *Corrosion Engineering*, Mc Graw Hill, 1983
- La Que, Francis L, *Marine Corrosion Caution and Prevention*, La Jolia, California, 1975
- Morgan, John, *Cathodic Protection*, NACE, Houston, 1987.
- Pujawan, I Nyoman, *Ekonomi Teknik*, Candimas Metropole, Jakarta, 1995.
- Trethewey, Chamberlain, *Korosi Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1991.



LAMPIRAN

Lampiran A

Perhitungan-Perhitungan

A. Biaya Sistem Anoda Tumbal

1. Kapal Caraka Jaya Niaga III

a. Berikut ini adalah penghitungan biaya pemakaian anoda tumbal jenis SAP Zinc alloy untuk kapal Caraka Jaya Niaga III Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

1. Biaya pengadaan anoda

Harga anoda/kg = 3 USD untuk jenis SAP Zinc alloy

Anoda yang dibutuhkan 96 buah, jika 1 buah anoda beratnya 8,5 kg dan 1 USD kita asumsikan Rp 8.500,- maka harga untuk 1 buah anoda adalah $8 \times 3 \times \text{Rp } 8.500,- = \text{Rp } 204.000,-$ Sehingga biaya pengadaan 96 buah anoda adalah $96 \times \text{Rp } 204.000 = \text{Rp } 19.584.000,-$

2. Biaya pemasangan

Jika pemasangan 1 buah anoda membutuhkan 0,25 JO maka untuk pemasangan 83 buah membutuhkan $0,25 \times 96 = 24$ JO. Harga 1 JO adalah Rp 22.500,- [PAL Indonesia]

Biaya pemasangan adalah $41,5 \times \text{Rp } 22.500,- = \text{Rp } 540.000,-$

b. Berikut ini adalah penghitungan biaya pemakaian anoda tumbal jenis SAP Al alloy untuk kapal Caraka Jaya Niaga III Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

1. Biaya pengadaan anoda

Harga anoda/kg = 5 USD untuk jenis SAP Al alloy

Anoda yang dibutuhkan 68 buah, jika 1 buah anoda beratnya 3,8 kg dan 1 USD kita asumsikan Rp 8.500,- maka harga untuk 1 buah anoda adalah $3,5 \times 3 \times \text{Rp } 8.500,- = \text{Rp } 122.170,-$ Sehingga biaya pengadaan 96 buah anoda adalah $96 \times \text{Rp } 122.170,- = \text{Rp } 8.346.000,-$

2. Biaya pemasangan

Jika pemasangan 1 buah anoda membutuhkan 0,25 JO maka untuk pemasangan 83 buah membutuhkan $0,25 \times 83 = 20.75$ JO. Harga 1 JO adalah Rp 22.500,- [PAL Indonesia]

Biaya pemasangan adalah $20.75 \times \text{Rp } 22.500,- = \text{Rp } 466.250,-$

2. Kapal Palu Sipat

a. Berikut ini adalah penghitungan biaya pemakaian anoda tumbal jenis SAP Zinc alloy untuk kapal Palu Sipat. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

1. Biaya pengadaan anoda

Harga anoda/kg = 3 USD untuk jenis SAP Zinc alloy

Anoda yang dibutuhkan 96 buah, jika 1 buah anoda beratnya 8 kg dan 1 USD kita asumsikan Rp 8.500,- maka harga untuk 1 buah anoda adalah $8 \times 3 \times \text{Rp } 8.500,- = \text{Rp } 204.000,-$ Sehingga biaya pengadaan 128 buah anoda adalah $128 \times \text{Rp } 204.000 = \text{Rp } 26.112.000,-$

2. Biaya pemasangan

Jika pemasangan 1 buah anoda membutuhkan 0,25 JO maka untuk pemasangan 83 buah membutuhkan $0,25 \times 128 = 32$ JO. Harga 1 JO adalah Rp 22.500,- [PAL Indonesia]

Biaya pemasangan adalah $32 \times \text{Rp } 22.500,- = \text{Rp } 720.000,-$

b. Berikut ini adalah penghitungan biaya pemakaian anoda tumbal jenis SAP Al alloy untuk kapal Palu Sipat. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

1. Biaya pengadaan anoda

Harga anoda/kg = 5 USD untuk jenis SAP Al alloy

Anoda yang dibutuhkan 90 buah, jika 1 buah anoda beratnya 3,8 kg dan 1 USD kita asumsikan Rp 8.500,- maka harga untuk 1 buah anoda adalah

$3,5 \times 3 \times \text{Rp } 8.500,- = \text{Rp } 122.170,-$ Sehingga biaya pengadaan 96 buah anoda adalah $96 \times \text{Rp } 122.170,- = \text{Rp } 11.552.000,-$

2. Biaya pemasangan

Jika pemasangan 1 buah anoda membutuhkan 0,25 JO maka untuk pemasangan 83 buah membutuhkan $0,25 \times 90 = 17$ JO. Harga 1 JO adalah Rp 22.500,- [PAL Indonesia]

Biaya pemasangan adalah $22,5 \times \text{Rp } 22.500,- = \text{Rp } 506.250,-$

3.. Kapal DCV

a. Berikut ini adalah penghitungan biaya pemakaian anoda tumbal jenis SAP Zinc alloy untuk kapal DCV. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

1. Biaya pengadaan anoda

Harga anoda/kg = 3 USD untuk jenis SAP Zinc alloy

Anoda yang dibutuhkan 171 buah, jika 1 buah anoda beratnya 11 kg dan 1 USD kita asumsikan Rp 8.500,- maka harga untuk 1 buah anoda adalah $11 \times 3 \times \text{Rp } 8.500,- = \text{Rp } 280.500,-$ Sehingga biaya pengadaan 171 buah anoda adalah $96 \times \text{Rp } 280.500 = \text{Rp } 47.965.500,-$

2. Biaya pemasangan

Jika pemasangan 1 buah anoda membutuhkan 0,5 JO maka untuk pemasangan 171 buah membutuhkan $0,5 \times 171 = 85,5$ JO. Harga 1 JO adalah Rp 22.500,- [PAL Indonesia]

Biaya pemasangan adalah $32 \times \text{Rp } 22.500,- = \text{Rp } 1.923.750,-$

b. Berikut ini adalah penghitungan biaya pemakaian anoda tumbal jenis SAP Al alloy untuk kapal DCV. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

1. Biaya pengadaan anoda

Harga anoda/kg = 5 USD untuk jenis SAP Al alloy

Anoda yang dibutuhkan 116 buah, jika 1 buah anoda beratnya 5 kg dan 1 USD kita asumsikan Rp 8.500,- maka harga untuk 1 buah anoda adalah $4,5 \times 3 \times \text{Rp } 8.500,- = \text{Rp } 212.500,-$ Sehingga biaya pengadaan 116 buah anoda adalah $116 \times \text{Rp } 212.500,- = \text{Rp } 24.650.000,-$

2. Biaya pemasangan

Jika pemasangan 1 buah anoda membutuhkan 0,25 JO maka untuk pemasangan 83 buah membutuhkan $0,25 \times 116 = 29$ JO. Harga 1 JO adalah Rp 22.500,- [PAL Indonesia]

Biaya pemasangan adalah $22,5 \times \text{Rp } 22.500,- = \text{Rp } 625.500,-$

4.. Kapal OHBC

a. Berikut ini adalah penghitungan biaya pemakaian anoda tumbal jenis SAP Zinc alloy untuk kapal OHBC. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

1. Biaya pengadaan anoda

Harga anoda/kg = 3 USD untuk jenis SAP Zinc alloy

Anoda yang dibutuhkan 317 buah, jika 1 buah anoda beratnya 11 kg dan 1 USD kita asumsikan Rp 8.500,- maka harga untuk 1 buah anoda adalah $11 \times 3 \times \text{Rp } 8.500,- = \text{Rp } 280.500,-$ Sehingga biaya pengadaan 317 buah anoda adalah $96 \times \text{Rp } 280.500 = \text{Rp } 88.918.500,-$

2. Biaya pemasangan

Jika pemasangan 1 buah anoda membutuhkan 0,5 JO maka untuk pemasangan 171 buah membutuhkan $0,5 \times 317 = 158,5$ JO. Harga 1 JO adalah Rp 22.500,- [PAL Indonesia]

Biaya pemasangan adalah $32 \times \text{Rp } 22.500,- = \text{Rp } 3.566.250,-$

b. Berikut ini adalah penghitungan biaya pemakaian anoda tumbal jenis SAP Al alloy untuk kapal DCV. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

1. Biaya pengadaan anoda

Harga anoda/kg = 5 USD untuk jenis SAP Al alloy

Anoda yang dibutuhkan 121 buah, jika 1 buah anoda beratnya 5 kg dan 1 USD kita asumsikan Rp 8.500,- maka harga untuk 1 buah anoda adalah $8,5 \times 3 \times \text{Rp } 8.500,- = \text{Rp } 361.250,-$ Sehingga biaya pengadaan 121 buah anoda adalah $121 \times \text{Rp } 361.250,- = \text{Rp } 43.711.250,-$

2. Biaya pemasangan

Jika pemasangan 1 buah anoda membutuhkan 0,25 JO maka untuk pemasangan 83 buah membutuhkan $0,25 \times 121 = 30,25$ JO. Harga 1 JO adalah Rp 22.500,- [PAL Indonesia]

Biaya pemasangan adalah $22,5 \times \text{Rp } 22.500,- = \text{Rp } 680.625,-$

B. Biaya Sistem ICCP

Selama 15 tahun penggunaannya diperkirakan tidak ada perbaikan hanya dibutuhkan biaya operasi. Biaya operasi untuk ICCP adalah :

1. Kapal Caraka Jaya

- Dalam operasinya dibutuhkan 0,6 kwh sehingga dalam satu tahun membutuhkan $8760 \times 0,6 = 5256$ kwh.
- Jika 1 kwh membutuhkan 0,0988 liter maka untuk satu tahun membutuhkan $0,0988 \times 5256 = 519,2928$ liter
- Jika 1 liter solar Rp 1.560,- [Pertamina] maka biaya operasi dalam satu tahun membutuhkan $519,2928 \times \text{Rp } 1.560,- = \text{Rp } 810.096,-$

2. Kapal Palu Sipat

- Dalam operasinya dibutuhkan 1,2 kwh sehingga dalam satu tahun membutuhkan $8760 \times 1,2 = 10512$ kwh.
- Jika 1 kwh membutuhkan 0,0988 liter maka untuk satu tahun membutuhkan

$$0,0988 \times 10312 = 1038,585 \text{ liter}$$

- Jika 1 liter solar Rp 1.560,- [Pertamina] maka biaya operasi dalam satu tahun membutuhkan $1038,585 \times \text{Rp } 1.560,- = \text{Rp } 1.620.194,-$

3. Kapal DCV

- Dalam operasinya dibutuhkan 1,8 kwh sehingga dalam satu tahun membutuhkan $8760 \times 1,8 = 15767,998 \text{ kwh}$.
- Jika 1 kwh membutuhkan 0,0988 liter maka untuk satu tahun membutuhkan $0,0988 \times 15767,998 = 1557,878 \text{ liter}$
- Jika 1 liter solar Rp 1.560,- [Pertamina] maka biaya operasi dalam satu tahun membutuhkan $1557,878 \times \text{Rp } 1.560,- = \text{Rp } 2.430.290,-$

4. Kapal OHBC

- Dalam operasinya dibutuhkan 2,25 kwh sehingga dalam satu tahun membutuhkan $8760 \times 2,25 = 26280 \text{ kwh}$.
- Jika 1 kwh membutuhkan 0,0988 liter maka untuk satu tahun membutuhkan $0,0988 \times 26280 = 2596,464 \text{ liter}$
- Jika 1 liter solar Rp 1.560,- [Pertamina] maka biaya operasi dalam satu tahun membutuhkan $2596,464 \times \text{Rp } 1.560,- = \text{Rp } 4.050.484,-$

Lampiran B

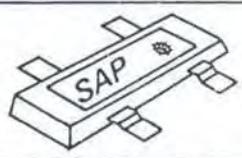
Referensi

ANODE DATA SHEET

SAP ZINC ANODE FOR SHIP HULL.

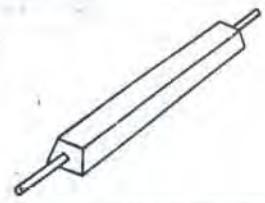
Type	Dimension LxWxH (mm)	Weight (Kg)	Core	Shape
Zn-3.0 Zn-4.0 Zn-5.5	200x100x20 200x100x30 200x100x38	3.0 4.0 5.5	1 Strap 6x40x300	
Zn-6.0 Zn-8.0 Zn-8.5 Zn-11	300x150x20 300x150x25 300x150x27 300x150x35	6.0 8.0 8.5 11.0	2 Straps 6x40x280	
Zn-20	500x125x50	20.0	2 Straps 6x40x250	
K-3.0 K-4.0 K-6.0 K-8.0	200x100x20 200x100x30 300x150x20 300x150x25	3.0 4.0 6.0 8.0	Bolt type	

SAP ALUMINIUM ANODE FOR SHIP HULL

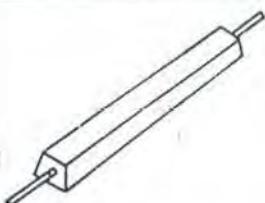
Type	Dimension LxWxH (mm)	Weight (Kg)	Core	Shape
Al-3.8 Al-5.0 Al-5 B	300x150x38 300x150x45 356x114x57	3.8 5.0 5.5	6x40x440 6x40x440 6x40x440 with hole	
Al-8.5	500x125x50	8.5	2 Straps 6x40x250	
Al-11 Al-14	600x140x45 610x150x56	11.0 14.0	6x40x770 6x40x830	

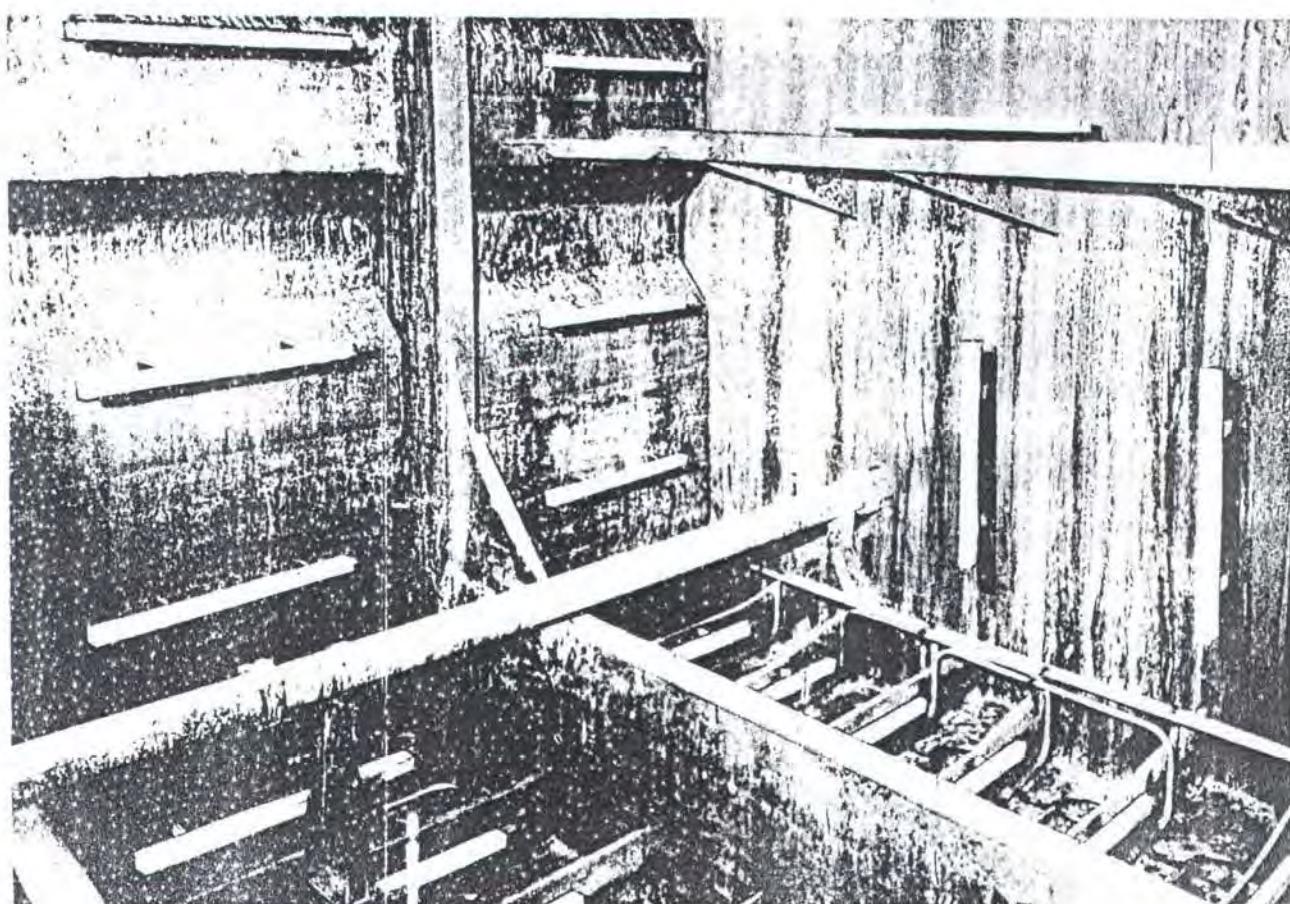
SEA WATER TANK/BALLAST TANK ANODE

ZINC ANODE

Type	Dimension WxHxL (mm)	Weight (Kg)	Core Dia x Lc	Shape
BBO-Z18.9	61x65x 655	18.9	11x1.155	
BBO-Z29.4	61x65x1,030	29.4	11x1.530	
BBO-Z39.9	61x65x1,400	39.9	11x1.900	
BBO-Z51.2	61x65x1,800	51.2	11x2.300	

ALUMINIUM ANODE

Type	Dimension WxHxL (mm)	Weight (Kg)	Core Dia x Lc	Shape
BBO-A 7.8	61x65x 655	7.8	11x1.155	
BBO-A12.0	61x65x1,030	12.0	11x1.530	
BBO-A16.2	61x65x1,400	16.2	11x1.900	
BBO-A20.7	61x65x1,800	20.7	11x2.300	



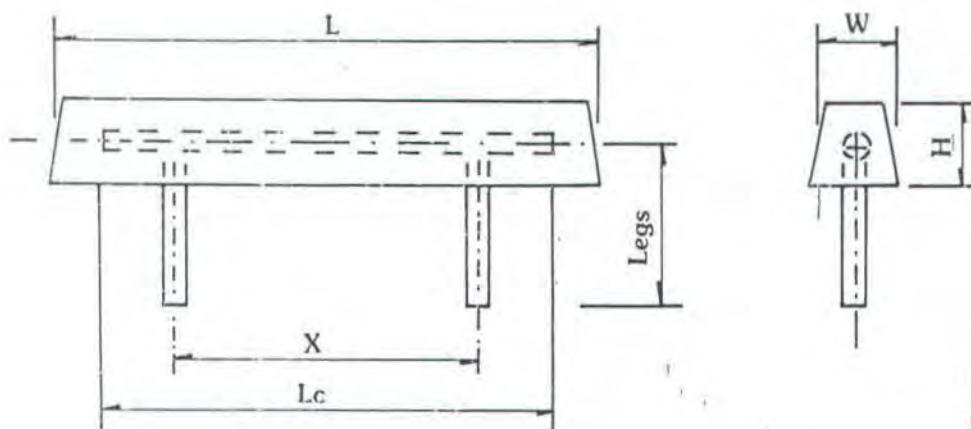
BRACELET ALUMINIUM ANODE – HALF SHELL TYPE

Type	Dimension (mm)			Weight (Kg)	Shape	
	A	B	C			
BR2-A30	320	220	304	30.00		
BR2-A35	324	222	394	35.00		
BR2-A45	378	276	394	45.00		
BR2-A50	428	327	394	50.00		
BR2-A70	425	325	500	70.00		
BR2-A95	717	613	406	95.00		
BR2-A170	748	622	525	170.00		

ALUMINIUM OFFSHORE ANODE

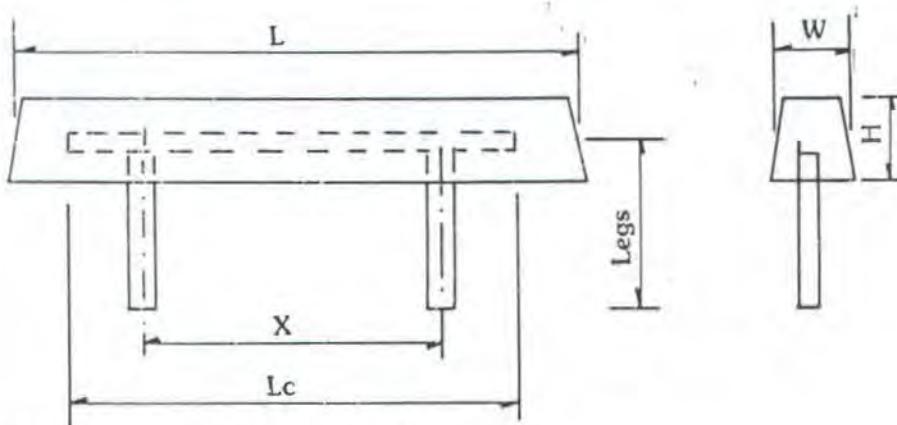
ALUMINIUM ANODE – SPP TYPE

No.	Type	Weight (Kg)	Dimension (WxHxL) mm	Core Dimension		Schedule	Legs (mm)
				Lc (mm)	X (mm)		
1	SPP-A172	172.37	178x190x1,845	1,595	1,345	2.0" schedule 80 pipe	285.00
2	SPP-A202	202.24	178x190x2,170	1,865	1,615	2.0" schedule 80 pipe	285.00
3	SPP-A233	232.55	178x190x2,500	2,195	1,890	2.0" schedule 80 pipe	285.00
4	SPP-A254	253.70	250x276x1,325	1,075	825	2.0" schedule 80 pipe	414.00
5	SPP-A304	303.60	250x276x1,590	1,340	1,090	2.0" schedule 80 pipe	414.00
6	SPP-A406	405.76	250x276x2,120	1,815	1,565	2.5" schedule 80 pipe	414.00
7	SPP-A456	455.64	250x276x2,385	2,080	1,775	2.5" schedule 80 pipe	414.00
8	SPP-A506	505.52	250x276x2,650	2,345	2,040	2.5" schedule 80 pipe	414.00
9	SPP-A534	533.75	250x276x2,800	2,495	2,190	2.5" schedule 80 pipe	414.00
10	SPP-A605	605.33	349x349x1,800	1,550	1,300	4.0" schedule 80 pipe	523.50
11	SPP-A654	654.45	349x349x1,950	1,700	1,450	4.0" schedule 80 pipe	523.50
12	SPP-A704	703.88	349x349x2,100	1,795	1,490	4.0" schedule 80 pipe	523.50



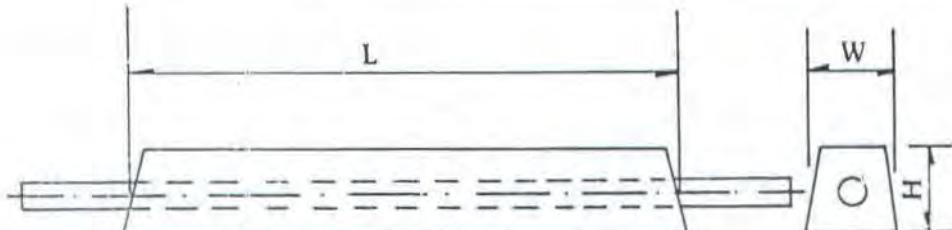
ALUMINIUM ANODE – SLP TYPE

No.	Type	Weight (Kg)	Dimension (WxHxL) mm	Core Dimension		Schedule	Legs (mm)
				Lc (mm)	X (mm)		
1	SLP-A179	178.80	178x190x1,845	1,595	1,345	2.0" schedule 80 pipe	285.00
2	SLP-A210	209.77	178x190x2,170	1,865	1,615	2.0" schedule 80 pipe	285.00
3	SLP-A241	241.42	178x190x2,500	2,195	1,890	2.0" schedule 80 pipe	285.00
4	SLP-A258	258.01	250x276x1,325	1,075	825	2.0" schedule 80 pipe	414.00
5	SLP-A309	308.99	250x276x1,590	1,340	1,090	2.0" schedule 80 pipe	414.00
6	SLP-A415	414.87	250x276x2,120	1,815	1,565	2.5" schedule 80 pipe	414.00
7	SLP-A466	466.10	250x276x2,385	2,080	1,775	2.5" schedule 80 pipe	414.00
8	SLP-A517	517.32	250x276x2,650	2,345	2,040	2.5" schedule 80 pipe	414.00
9	SLP-A546	546.32	250x276x2,800	2,495	2,190	2.5" schedule 80 pipe	414.00
10	SLP-A628	628.43	349x349x1,800	1,550	1,300	4.0" schedule 80 pipe	523.50
11	SLP-A680	679.80	349x349x1,950	1,700	1,450	4.0" schedule 80 pipe	523.50
12	SLP-A731	730.66	349x349x2,100	1,795	1,490	4.0" schedule 80 pipe	523.50



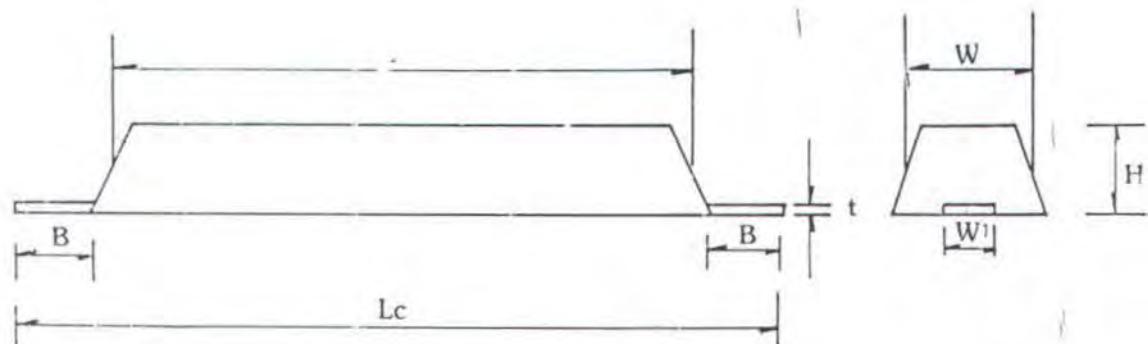
ALUMINIUM ANODE – SPC TYPE

No.	Type	Weight (Kg)	Dimension (WxHxL) mm	Schedule Dimension
1	SPC-A175	174.66	178x190x1,845	2.0" schedule 80 pipe
2	SPC-A205	204.50	178x190x2,170	2.0" schedule 80 pipe
3	SPC-A235	234.81	178x190x2,500	2.0" schedule 80 pipe
4	SPC-A255	254.74	250x276x1,325	2.0" schedule 80 pipe
5	SPC-A305	304.64	250x276x1,590	2.0" schedule 80 pipe
6	SPC-A407	407.40	250x276x2,120	2.5" schedule 80 pipe
7	SPC-A457	457.28	250x276x2,385	2.5" schedule 80 pipe
8	SPC-A507	507.16	250x276x2,650	2.5" schedule 80 pipe
9	SPC-A535	535.39	250x276x2,800	2.5" schedule 80 pipe
10	SPC-A605	605.11	349x349x1,800	4.0" schedule 80 pipe
11	SPC-A654	654.23	349x349x1,950	4.0" schedule 80 pipe
12	SPC-A703	703.35	349x349x2,100	4.0" schedule 80 pipe

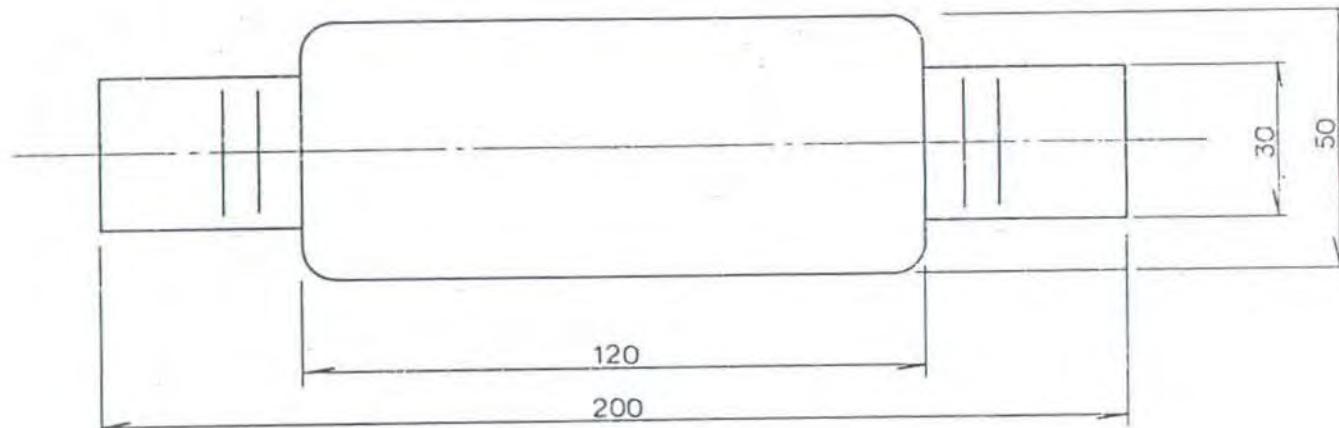


ALUMINIUM ANODE – FLUSH MOUNTED (FFF) TYPE

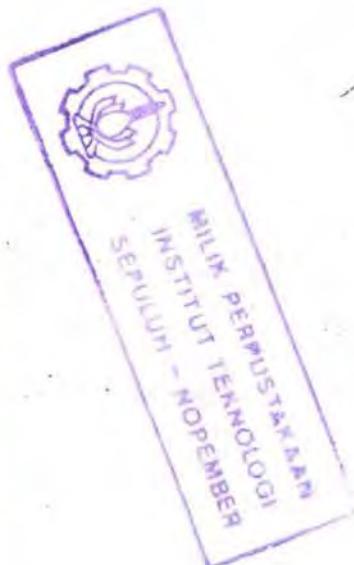
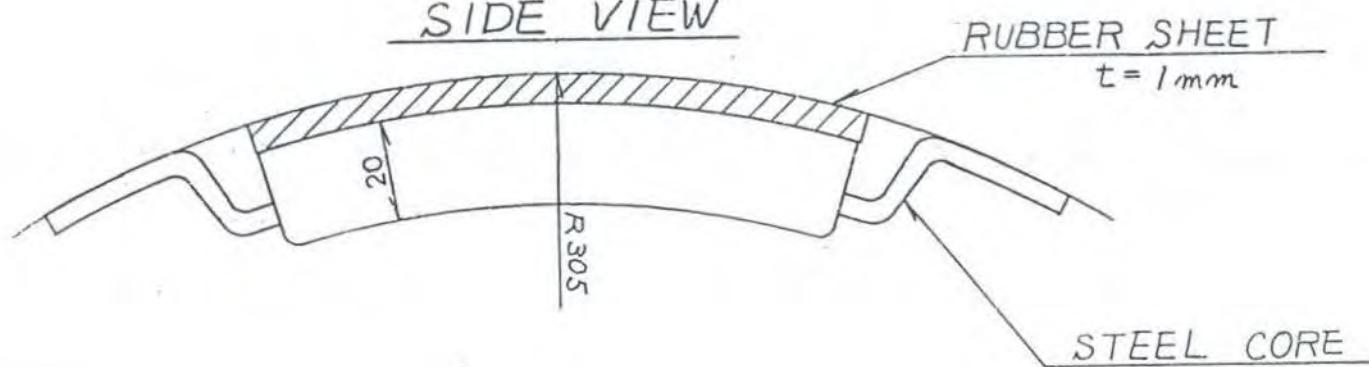
No.	Type	Weight (Kg)	Dimension (WxHxL) mm	Core Dimension		
				Lc (mm)	W' (mm)	t (mm)
1	FFF-A48	48.20	178x190x 490	890	65	10
2	FFF-A53	52.92	178x190x 540	940	65	10
3	FFF-A84	84.03	178x190x 870	1,270	65	10
4	FFF-A115	114.68	178x190x1,195	1,595	65	10
5	FFF-A145	145.32	178x190x1,520	1,920	65	10
6	FFF-A176	175.97	178x190x1,845	2,245	65	10
7	FFF-A207	206.62	178x190x2,170	2,570	65	10
8	FFF-A238	237.73	178x190x2,500	2,900	65	10



PLAN

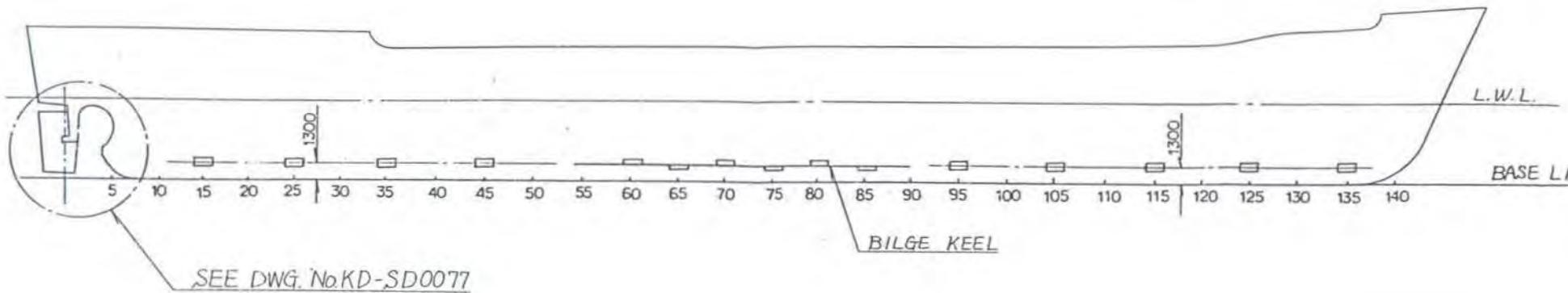


SIDE VIEW

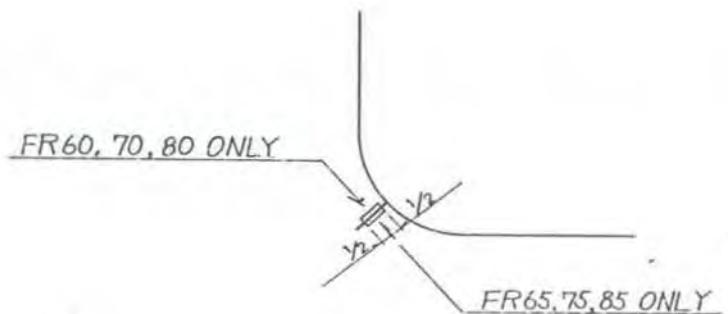


承認 APP'D	照査 CHK'D	尺度 SCALE	名称 TITLE
..	..	1 : 15	
担当 DSGN'D E. L. Landa '90.12.7	監査 DRW'N Y. Nishikawa '90.12.7	単位 UNIT mm	ZAP SP - 1
中川防蝕工業株式会社 NAKAGAWA CORROSION PROTECTING CO., LTD.			図面番号 DWG. NO. KD-SD0078

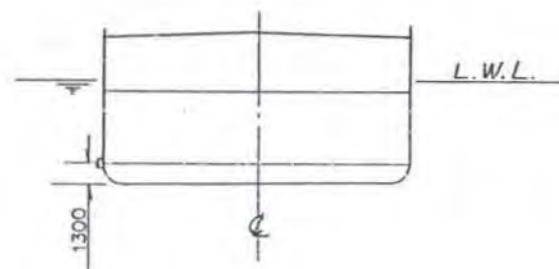
SIDE VIEW S = 1/300



FR 60~FR85 SEC



FR105 SEC



□ ALAP-K AS-9S 15^{PCS} x P/S = 30^{PCS}

MARK	DESCRIPTION	DRAWN & DSON'D	CHK'D & APP'D	DATE

尺寸 SCALE :	単位 UNIT	名稱 TITLE CARAKA JAYA NIAGA III 2 ND PH 3650 DWT. SEMI-CONTAINER
承認 APP'D M. Gotoh 190-12-7	監査 CHK'D ...	CATHODIC PROTECTION SYSTEM ANODES ARRANGEMENT FOR
担当 DSON'D U. Itohda 190-12-7	RW/N Y. Matsuura 190-12-5	EXTERNAL HULL
中川防蝕工業株式会社 DWG.NO. KD SD0076		图面番号 DWG.NO. KD SD0076

Table 6.3.2 Average (maintenance) design current densities as a function of depth and climatic region (see Table 6.3.3)

Depth (m)	Design Current Densities (average) in A/m ²			
	Tropical (> 20°C)	Sub-Tropical (12-20°C)	Temperate (7-12°C)	Arctic (< 7°C)
0 - 30	0.070	0.080	0.100	0.120 ^b
> 30	0.060	0.070	0.050	0.100

^b Effects of any ice scouring are not included.

6.3.10 It is becoming increasingly recognized that cathodic protection of concrete reinforcing steel is necessary to ensure long-term integrity of submerged concrete structures. However, even in cases where corrosion protection of reinforcement is not considered necessary, any anodes dedicated to the corrosion protection of components mounted on/embedded in the external concrete surfaces must also be designed to account for current drain from the cathodic protection system to the reinforcement.

6.3.11 The cathodic current density of steel embedded in concrete is mainly controlled by the reduction of oxygen. This is transported by capillary action of pore water driven by evaporation in the atmospheric zone and in internal dry compartments. The cathodic current density will therefore be dependent on depth and climatic conditions.

6.3.12 Table 6.3.3 gives design current densities applicable as both initial/final and average design values. It is to be noted that they refer to the total surface area of concrete reinforcing steel, not to the surface area of concrete.

Table 6.3.3 Design current densities (initial/final and average) for concrete reinforcing steel

Elevation (m)	Design Current Densities in A/m ²			
	Tropical (> 20°C)	Sub-tropical (12-20°C)	Temperate (7-12°C)	Arctic (< 7°C)
+5 to -10	0.0030	0.0025	0.0015	0.0010
<-10	0.0020	0.0015	0.0010	0.0008

6.3.13 For light weight aggregate concrete or other concrete grades with equivalent pore structure, the design current densities in Table 6.3.3 can be reduced by 40%.

6.3.14 When the actual reinforcing steel surface area (m²) to reinforced concrete volume (m³) ratio exceeds 5, an adjustment factor S/B may be applied to the design current densities in Table 6.3.3.

6.3.15 For reinforcing steel coated with fusion bonded epoxy or equivalent (min 200 µm DFT), see paragraph 6.4.10.

6.3.16 For surfaces with a thermally sprayed aluminium coating (200 µm nominal thickness) a value of 0.010 A/m² is to be applied as average design current density. This value is applicable to all conditions covered by Table 6.3.2. As the free corrosion potential of thermal sprayed aluminium is more negative than -0.80 V_{rel.} Ag/AgCl/seawater, initial/final design current densities as defined in paragraphs 6.3.1 to 6.3.4 shall not apply.

6.3.17 For internally heated components with an external thermally sprayed aluminium coating, the design current density shall be increased by 0.0002 A/m² for each °C that the metal/seawater interface is assumed to exceed 25°C (compare Paragraph 6.3.8).

6.4 COATING BREAKDOWN FACTOR AND PAINT COATINGS

6.4.1 The coating breakdown factor (f_c) describes the anticipated reduction in cathodic current density due to the application of an electrically insulating coating. $f_c = 0$ means that the coating is 100% electrically insulating, thus decreasing the cathodic current density to zero. $f_c = 1$ implies that the coating has no protective properties, i.e. the cathodic current density of an initially coated surface is the same as for a bare steel surface.

6.4.2 It should be noted that the coating breakdown factor should not be confused with coating degradation as apparent by visual examination. A coating showing extensive blistering may still retain high electrically insulating properties. Conversely, an apparently perfect coated surface may allow a significant passage of current.

6.4.3 The coating breakdown factor is a function of coating properties, operational parameters and time. The coating properties are dependent on coating materials, surface preparation and the coating application. The coating breakdown factor (f_c) can be described as

$$f_c = k_1 + k_2 \cdot t$$

where t is the coating life time in years, k_1 and k_2 are constants that are dependent on the coating properties.

6.4.4 For practical reasons, four paint coating categories have been defined to facilitate correlation of the coating breakdown factor to coating properties:

category I : One layer of primer coat, about 50 µm nominal DFT (Dry Film Thickness)

category II : One layer of primer coat, plus *minimum* one layer of intermediate top coat, 150 to 250 µm nominal DFT

category III : One layer of primer coat, plus *minimum* two layers of intermediate/top coats, minimum 300 µm nominal DFT

category IV : One layer of primer coat, plus *minimum* three layers of intermediate top coats, minimum 450 µm nominal DFT

The constants k_1 and k_2 , used for calculating the coating break-down factors are given in Table 6.4.1.

In Figs. 6.4.1 to 6.4.4 coating break-down factors are presented as a function of time in a graphical form.

6.4.5 It is assumed that coating damage is mainly dependent on marine growth (incl. cleaning operations to remove such growth) and the erosional effects of waves and currents, all of which are related to depth. For simplicity, the effect of seawater temperature has been excluded.

6.4.6 It has further been assumed that the applied coating system is suitable for submerged marine applications, that all coating work has been carried out in accordance with the coating manufacturer's recommendations, and that surface preparation has included blast cleaning to minimum SA 2.5 in accordance with ISO 8501-1.

For coatings applied without blast cleaning (incl. machined, ground and cold-rolled surfaces), a coating break-down factor $f_c = 1$ shall be applied in calculations of average and final current demands, while the initial demand shall be calculated as for Category I.

6.4.7 Documented long-term experience of subsea paint coating systems is scarce, hence the coating breakdown factors given in Paragraph 6.4.8 below are estimated on a conservative basis. It is appreciated that the definitions of Coating Categories according to Paragraph 6.4.4 do not account for either the generic type of coating or more complex paint coating systems. Operator's experience of a specific paint coating system may justify the use of less conservative coating break-down factors than specified in this document.

6.4.8 For cathodic protection design purposes the average and final coating breakdown factors are to be calculated by introducing the design life (t_f):

$$f_c^{\text{average}} = f_c \text{ (average)} = k_1 + k_2 \cdot \frac{t_f}{2}$$

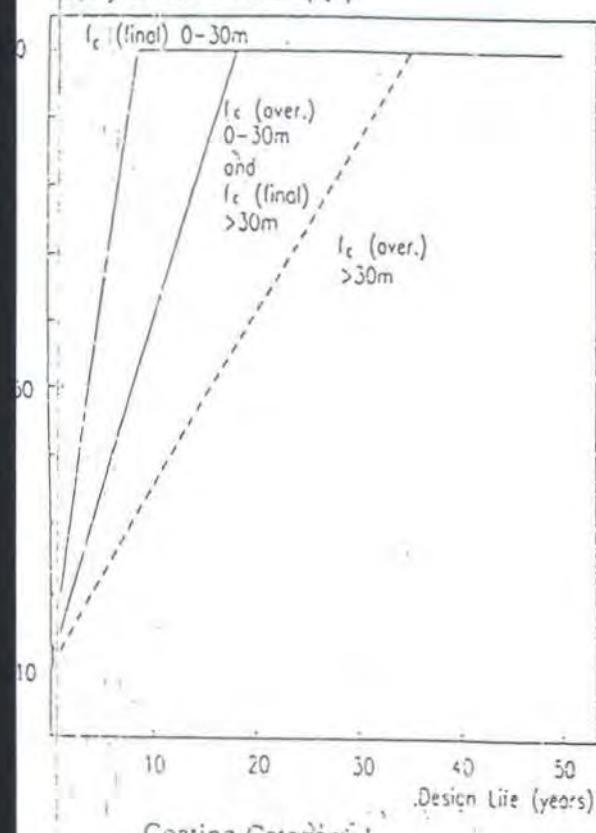
$$f_c \text{ (final)} = k_1 + k_2 \cdot t_f$$

If the calculated value exceeds 1, $f_c = 1$ shall be applied in the design.

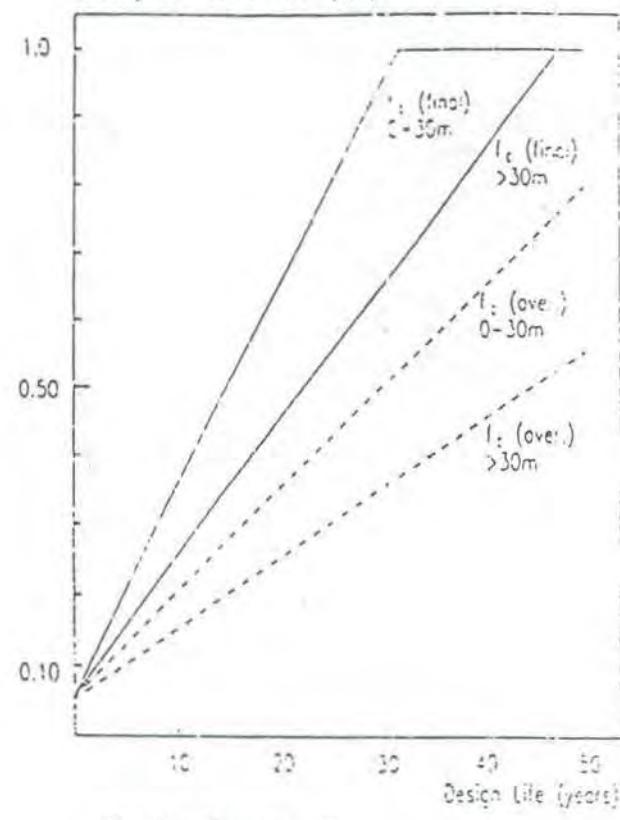
It is appreciated that the linear equations above are intended for the purpose of design only, and are not intended to reflect the true mode of coating breakdown.

When the design life of the cathodic protection system exceeds that of the coating system, f_c (average) may be calculated as:

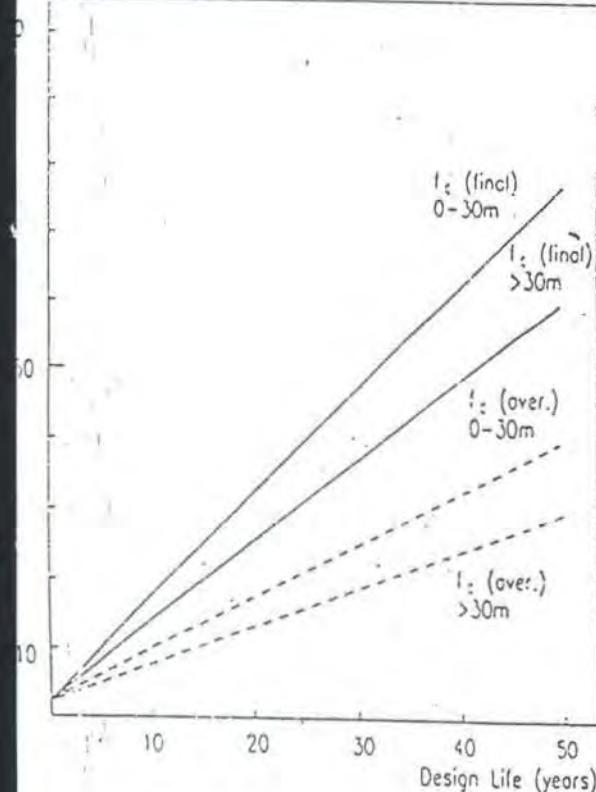
$$f_c \text{ (avg.)} = 1 - \frac{(1 - k_1)^2}{2k_2 t_f}$$

Coating Breakdown Factor (I_c)

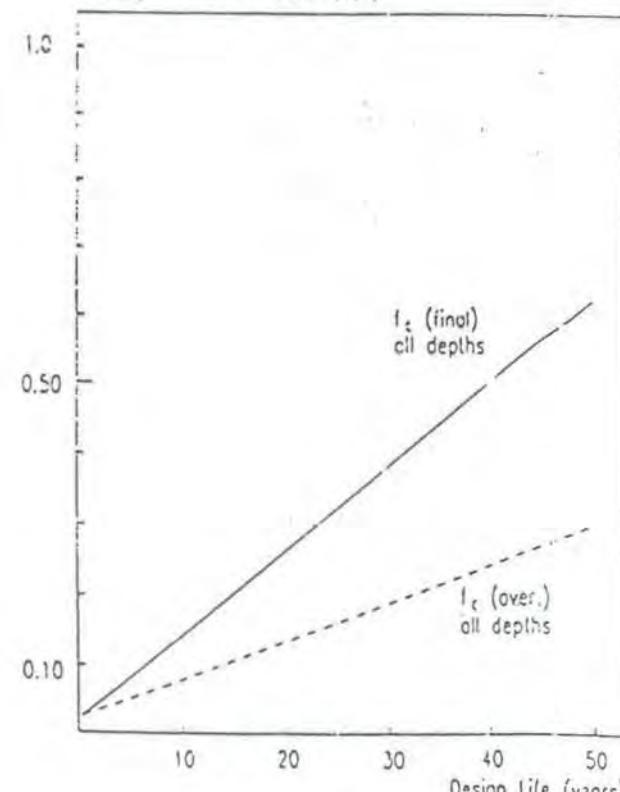
Coating Category I

Coating Breakdown Factor (I_c)

Coating Category II

Coating Breakdown Factor (I_c)

Coating Category III



Coating Category IV

Fig. 6.4.1 to 6.4.4. Graphical representation of coating breakdown factor as a function of time.

Table 6.4.1 Constants (k_1 and k_2) for calculation of paint coating breakdown factors.
Coating Categories are defined in Paragraph 6.4.4.

Depth (m)	Coating Category			
	I ($k_1 = 0.10$) k_1	II ($k_1 = 0.05$) k_2	III ($k_1 = 0.02$) k_1	IV ($k_1 = 0.02$) k_2
0 - 30	0.10	0.03	0.015	0.012
> 30	0.05	0.02	0.012	0.012

6.4.9 Data for depths > 30 m may be applied to flooded compartments and to closed compartments with free access to air.

6.4.10 Data for Coating Category III, depth > 30 m, are applicable to calculations of cathodic current density demands for concrete reinforcing steel coated with fusion bonded epoxy or equivalent (min. 200 μm DFT).

6.4.11 The coating breakdown factors as defined above do not include any allowance for damage to paint coatings during fabrication or installation. If such damage is anticipated to be significant, the affected surface area is to be estimated and included in design calculations (7.3/7.4) as bare metal surface.

6.5 PIPELINE COATINGS

6.5.1 The coating systems commonly applied for subsea pipelines and associated risers are highly efficient at reducing the current demand for cathodic protection. It is emphasized, however, that the economic consequences of a marginal cathodic protection design leading to unanticipated retrofitting of anodes and/or repairs of corrosion damage, are exceedingly high compared to the initial installation costs of a pipeline cathodic protection system. It is also common practice to upgrade the design life of subsea pipeline systems. Furthermore, the possibilities of monitoring pipeline cathodic protection are limited. Consideration of these factors justifies a conservative design of pipeline cathodic protection systems.

6.5.2 The coating breakdown factors (f_c) as defined in 6.4 and specified below for pipeline coatings shall be applied for design calculations unless otherwise specified or approved by the Operator. The recommended coating breakdown factors are applicable to pipeline coating systems based on:

- asphalt + concrete weight coating
- fusion bonded epoxy + adhesive + polyethylene or polypropylene
- polychloroprene rubber
- equivalent coating systems based on an inner layer dedicated to corrosion protection and one or more outer layer(s) for mechanical protection, possibly in combination with gravity or thermal insulation functions.

It is further assumed that pipe coatings and field joint coating systems have been selected to be suitable to the maximum design temperature of the pipeline, and that they are applied according to specifications reflecting good industrial practice.

6.7.2 To calculate the initial anode resistance, R_s (initial), the initial anode dimensions are to be inserted into the relevant anode resistance formula of Table 6.7.1.

The final anode resistance, R_s (final), i.e. the resistance when the anode has been consumed to its utilization factor (6.9), shall be assessed as recommended in Paragraphs 6.7.3 to 6.7.7 below.

6.7.3 All anode types:

When the anode has been consumed to its utilization factor u , the remaining anode mass m is given by:

$$m \text{ (final)} = m \text{ (initial)} \cdot (1-u)$$

The initial and final volume of the anode can be calculated from the anode mass, density and volume of insert materials. When details of anode inserts are not available, their volume may be either deleted or estimated to provide a conservative approach.

6.7.4 Slender stand-off anodes:

Assume a length reduction corresponding to 10% of the net anode mass/volume reduction when the anode has been consumed to its utilization factor (see Section 6.8), i.e.

$$L \text{ (final)} = L \text{ (initial)} - 0.10 \cdot u \cdot L \text{ (initial)}$$

where L (final/initial) refer to the anode length. Assume the final shape is a cylinder. Calculate the final length and radius according to Paragraph 6.7.3 above.

6.7.5 Long Flush-Mounted Anodes:

Assume that the final shape is a semi-cylinder. Calculate the final length and radius (= width) as in Paragraph 6.7.4 above.

6.7.6 Half-Shell Bracelet Anodes:

For pipeline half-shell bracelet anodes with ends mounted flush with concrete weight coating and gaps filled with mastic, calculate the final exposed surface area from the initial dimensions and net mass, and the utilization factor in Table 6.9.1.

6.7.7 Short Flush-Mounted Anodes and "Other Shapes" with anode resistance calculated from the formula

$$R_s = \frac{0.315 \cdot \rho}{\sqrt{A}}$$

Assume that the final exposed surface area is equivalent to the initial surface area of the anode facing the surface to be protected.

7.4.2 The individual areas (A_c) of each unit to be cathodically protected (7.2) are to be multiplied with the relevant design current density (i_c), and the coating breakdown factor (f_c), if applicable:

$$I_c = A_c \cdot f_c \cdot i_c$$

where I_c is the current demand for a specific surface area, i_c is to be selected from Section 6.3. f_c refers to Table 6.4.1 and paragraphs 6.5.3/6.5.4 for paint coatings and pipeline coatings respectively.

7.4.3 For items with major surface areas of bare (uncoated) metal, the current demands required for initial polarization, I_c (initial), and for re-polarization at the end of the design life, I_c (final), are to be calculated, together with the average current demand I_c (average) required to maintain cathodic protection throughout the design period. For pipelines and other items with high quality coatings, the initial current demand can be deleted in the design calculations.

7.5 CURRENT DRAIN CALCULATIONS

7.5.1 More complex offshore structures often include temporary or permanent components which are not considered to require cathodic protection but will *drain* current from the system. Such items may be components used during installation only, or secondary structural components which can readily tolerate some corrosive wear. Also metallic materials with intrinsic resistance to corrosion in seawater will still drain current from the cathodic protection system.

7.5.2 All items which exert a significant current drain on the cathodic protection system are to be included in the surface area and current demand calculations as specified in sections 7.2 to 7.4.

7.5.3 For components freely exposed to seawater, the design current densities in Tables 6.3.1 and 6.3.2 are to be applied. For current drain to concrete reinforcement, see Paragraph 6.3.10.

7.5.4 For parts of steel skirts and piles to be buried in sediments, a design current density (initial/final and average) of 0.020 A/m² is recommended as a conservative approach. Current drain to open pile internals shall cover 10 x diameter.

7.5.5 Unless otherwise specified by the Operator, a current drain of 5A shall be included for each well when well casings are a part of the object to be protected.

7.5.6 For interfacing cathodic protection systems (e.g. template/pipeline/platform) designed according to this document, no current drain between individual systems needs to be included in the design calculations.

7.6 SELECTION OF ANODE TYPE AND DIMENSIONS

7.6.1 The type of anode (5.8) to be utilized is largely dependent on fabrication, installation and operational parameters. Consequently the anode type is normally specified by the Operator. The anode type is determining for which anode resistance formulas (6.7) and anode utilization factors (6.9) are used in further calculations.

7.6.2 For pipeline bracelet anodes that are mounted flush with the coating, the thickness of the coating layer will be decisive to the anode dimensions.

7.7 ANODE MASS CALCULATIONS

The total net anode mass M (kg) required to maintain cathodic protection throughout the design life t_e (yrs) is to be calculated from I_e (average) for each unit of the object (including any current drain).

$$M = \frac{I_e(\text{average}) \cdot t \cdot 8760}{U \cdot \epsilon}$$

where ϵ (A·h/kg) is the electrochemical efficiency of the anode material (6.6), u is the utilization factor (6.9) and 8760 refers to hours per year.

7.8 CALCULATION OF NUMBER OF ANODES

7.8.1 For the anode type selected (7.6) the number of anodes, anode dimensions and anode net mass shall be selected to meet the requirements for initial/final current output (A) and the current capacity ($A\cdot h$) which relate to the protection current demand of the protection object.

7.8.2 The anode current output (I_a) is calculated from Ohm's law:

$$I_a = \frac{E_e^* - E_s^*}{R_a}$$

where E_e^* (V) is the *design* closed circuit potential of the anode (6.6.5), R_a (ohm) is the anode resistance (6.7) which is assumed to be equivalent to the total circuit resistance. E_s^* (V) is the *design* protective potential which is chosen to -0.80 V (Ag/AgCl/seawater).

$\Delta E^* = E_e^* - E_s^*$ is referred to as the *design driving voltage*.

Note: As the initial and final design current densities in Section 6.3 refer to a protection potential of -0.80 V (Ag/AgCl/seawater) during the initial polarization and any transient depolarization/re-polarization, $E_e^* = -0.80$ V shall always be used for design calculations. This applies also to anaerobic environments when the protective potential (5.4) has been chosen to -0.90 V (Ag/AgCl/seawater). The latter potential is then applicable as a criterion for monitoring that adequate protection has been achieved, but does not affect the design calculations.

7.8.3 The anode current output is to be calculated for the initial and final life of the cathodic protection system. In the latter case anodes shall be assumed to be consumed to their utilization factor. Guidelines for calculation of final anode resistances are given in Section 6.7.



