

## **ANALISA KEBUTUHAN ANODA KORBAN SENG PADA PLAT BOTTOM KAPAL DI PT. INDONESIA MARINA SHIPYARD**

**Sunarto, Deni Septian**

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Gresik

### **ABSTRAK**

*Konstruksi bottom kapal adalah bagian pertama kali terkena air laut dan paling cepat mengalami korosi., sampai saat ini salah satu cara untuk melindungi korosi adalah dengan sistem metoda catodic protection. Metoda catodic protection yang sering dipakai menggunakan anoda korban. Jenis anoda korban yang digunakan adalah paduan seng. Analisa dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektifitas anoda korban sebagai catodic protection dan mengetahui kebutuhan anoda korban untuk memperlambat laju korosi. Metodologi dalam penelitian ini adalah bertempat di PT. INDONESIA MARINA SHIPYARD. Dan sebagai obyek penelitian adalah kapal KMP. CITRA MANDALA SAKTI, dengan menggunakan media air laut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa anoda korban paduan seng mempunyai sifat bekerja secara optimal untuk menghambat laju korosi dengan rata-rata 0,30 mm/tahun. Dengan demikian kebutuhan anoda korban seng yang terpasang pada permukaan yang terkena air laut, dengan luas plat bottom kapal, memakai anoda korban seng sebagai catodic protection.*

**Kata Kunci : Baja. Seng. Korosi**

### **PENDAHULUAN**

#### **Latar Belakang**

Dalam era globalisasi saat ini transportasi sangatlah penting sebagai alat penghubung. Alat transportasi kapal laut adalah salah satu alat transportasi yang sangat penting. disamping sebagai alat transportasi juga sebagai pengantar

barang. Dalam konstruksi kapal laut, ada suatu bagian yang perlu di perhatikan dalam segi perbaikan yaitu area bawah garis air.

Di lihat dari segi konstruksi pada kapal laut, plat bottom kapal adalah daerah yang pertama kali terkena air laut, pada daerah lambung ini dan bagian bawah garis air (BGA) ataupun daerah atas

garis air (AGA) semisal bagian lambung sangatlah rentan terkena korosi. Korosi pada plat kulit kapal dapat mengakibatkan turunnya kekuatan dan umur pakai kapal, serta mengurangi jaminan keselamatan dan keamanan muatan barang dan penumpang.

Dari kerusakan kerusakan atau korosi pada konstruksi bangunan plat kapal laut adalah karena air laut. Dan sampai saat ini penggunaan besi baja sebagai bahan utama untuk pembuatan bangunan kapal baja. Dari segi penggunaan, besi dan baja untuk bangunan kapal memang cukup kuat. Tetapi besi dan baja mempunyai dampak kelemahan dan kecenderungan yang besar untuk terkena korosi air laut.

Untuk menghindari dampak yang timbul akibat korosi air laut, maka plat lambung kapal perlu di beri perlindungan korosi secara berkala. Dan sampai saat ini untuk melindungi plat kulit kapal bagian bawah atau bottom kapal terhadap korosi air laut masih menggunakan, perlindungan secara pasif (dengan pengecatan) dan perlindungan secara aktif dengan metoda (*cathodic protection*).

Katodic protection dapat didefinisikan dalam arti sel elektrokimia untuk mengendalikan korosi dengan mengkonsentrasikan reaksi oksigen pada sel galvanis dan menekan korosi pada katoda dalam sel yang sama pada proteksi katodik, logam yang akan di lindungi di jadikan katoda dan reaksi oksidasi akan terjadi pada anoda. (Anoda adalah tempat berlangsungnya oksidasi) sedangkan (Katoda adalah tempat berlangsungnya reduksi) dimana hubungan tersebut menunjukkan bahwa penambahan elektron ke struktur akan menekan penguraian logam dan meningkatkan laju pembentukan hidrogen, jika arus mengalir dari kutub (+) ke (-), maka struktur terlindungi jika arus memasuki struktur/ logam melalui elektrolit,

Dalam hal ini metode yang digunakan untuk menahan laju korosi dalam plat lambung kapal adalah dengan sistim perlindungan memakai anoda korban (*cathodic protection*), perlindungan dengan anoda korban mempunyai kelebihan diantaranya lebih sederhana, simpel dan biaya perawatan yang lebih rendah. Jenis anoda korban yang banyak digunakan adalah paduan zink dan paduan aluminium.

Anoda korban aluminium mempunyai kelebihan dengan *reliability* karakter yang lebih lama dan juga mempunyai karakteristik arus dan berat yang ringan dibandingkan dengan anoda korban paduan zink.

Dan anoda korban zink mempunyai kelebihan dengan *reliability* karakter yang mudah larut untuk menyebar melindungi bagian kulit bottom kapal dan jenis anoda korban ini lebih sering di pakai dan sangat cocok untuk system regulasi kapal yang dalam tiap tahunnya harus menjalani undocking dan untuk melihat kelayakan dari bangunan kapal, terutama bagian bottom kapal.

Kualitas anoda korban dapat dipengaruhi oleh komposisi paduan pada anoda korban tersebut. Ada beberapa anoda korban zink yang ada dipasaran pada saat ini yang biasa digunakan di perusahaan dok dan galangan kapal seperti PT. INDONESIA MARINA SHIPYARD Gresik, sebagai *cathodic protection* pada bottom kapal, dan diantaranya mempunyai komposisi paduan yang berbeda.

Selain kemampuan anoda korban zink yang berbeda-beda dikarenakan adanya perbedaan komposisi paduan, adakalanya di lapangan ditemui plat – plat bottom kapal yang terserang korosi semisal *Uniform corrosion*, *pitting corrosion*, *stress corrosion*, dan *erosion corrosion*,. Besar beratnya korosi

dikarenakan kurangnya kebutuhan berat dan jumlah anoda korban yang dipasang. Serta posisi pemasangan yang kurang tepat, oleh karena itu saya ingin mengamati dan menganalisa tentang kinerja dan kebutuhan pemasangan anoda korban dengan merek anoda korban paduan zink sebagai *cathodic protection* plat bottom kapal serta pengaruhnya terhadap laju korosi di dalam media air laut.

Dengan demikian kebutuhan zink anoda yang terpasang pada permukaan plat yang terkena air laut untuk sebuah ukuran kapal dan dengan luas pada bottom kapal, dengan memakai anoda korban zink sebagai proteksi katodik pada plat bottom kapal.

Sifat dan karakter dari anoda korban sangatlah tergantung pada komposisi dan paduannya. sehingga hal ini menyebabkan pihak perusahaan atau dock dan galangan kapal seperti PT. INDONESIA MARINA SHIPYARD sangat kesulitan untuk menentukan pilihan yang tepat dalam pemakaian anoda korban.

Anoda korban zink dengan komposisi paduan yang sesuai dengan karakteristik untuk memproteksi plat bottom kapal dari korosi dan menempelnya hewan laut, dari sarat standart kelayakan kapal yang tiap tahunnya menjalani proses docking kapal dan akan tetapi anoda ini bersifat mudah larut.

### Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efektifitas kebutuhan anoda korban paduan zink, sebagai proteksi katodik pada plat lambung kapal (*lapisan plat yang terkena air*), dan secara rinci tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menghitung laju korosi plat baja pada bottom kapal yang sedang menjalani repair dan pendedokan di galangan

kapal untuk menentukan efektifitas anoda korban yang terpasang.

2. Menghitung kebutuhan anoda korban zink sebagai proteksi katodik untuk plat baja pada bottom kapal yang terkena air laut, untuk memenuhi standar kelayakan yang berlaku.

## KAJIAN PUSTAKA

### Pengertian Korosi

Korosi adalah kerusakan karena sifat dari logam dengan proses elektrokimia, yang biasanya berjalan lebih lambat. Contoh yang paling umum adalah korosi oksida pada logam besi, dengan pembentukan karat.

Dengan demikian korosi menyebabkan banyak kerugian. Korosi juga di definisikan sebagai penurunan kualitas logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. (Trethewey, 1991)

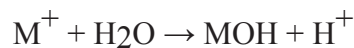
Beberapa hal penting menyangkut definisi ini adalah :

1. Korosi yang berhubungan dengan logam, seperti persamaan berikut :  
$$M \rightarrow M^{ne+} + ne$$

M = simbol untuk atom logam  
n = jumlah ion suatu unsure
2. Melalui penggunaan istilah dalam arti penurunan mutu atau kerusakan, korosi adalah proses yang tidak di inginkan dalam logam yang akan mengalami korosi dan akan mengalami penipisan pada permukaan, atau kerusakan dalam perubahan bentuk.
3. Penurunan kualitas logam tersebut tidak hanya melibatkan reaksi kimia, tetapi juga reaksi elektrokimia yakni antara logam yang bersangkutan terjadi perpindahan elektron. Elektron adalah suatu yang bermuatan negatif, maka pengangkutannya menimbulkan arus listrik, karena reaksi tersebut dipengaruhi oleh potensial listrik.

### Mekanisme Korosi

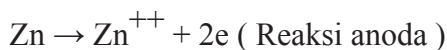
Korosi secara elektrokimia dapat di ilustrasikan dengan reaksi antar ion logam dengan molekul air. Mula-mula akan terjadi hidrolisis yang akan mengakibatkan keasaman meningkat (Trethewey, 1991). Hal ini dapat diterangkan dengan persamaan berikut :



Persamaan ini menggambarkan reaksi hidrolisis yang umum, dimana pada elektrolit yang sebenarnya akan terdapat peran klorida yang penting tetapi akan menjadi rumit untuk diuraikan. Kecenderungan yang rendah dari klorida untuk bergabung dengan ion-ion hidrogen dalam air mendorong menurunnya pH larutan elektrolit (Trethewey, 1991).

Pada umumnya proses pengkaratan terdiri dari proses elektro kimia, yang mekanismenya sama dengan yang terjadi di dalam baterai batu center (Sri Widharto, 2004). Hal ini dapat diterangkan dengan persamaan berikut.

Pada mangkuk seng terjadi reaksi oksidasi.



Sedangkan pada elektroda karbon terjadi reaksi reduksi



Akibat oksidasi metal tersebut, metal Zn diubah menjadi ion Zn yang terhidrasi ( *Hydrated Zincions* )  $Zn^{2+} \cdot nH_2O$ . Semakin besar arus yang terjadi, semakin banyak metal Zn yang menjadi ion sehingga metal seng kehilangan massa atau dengan kata lain berkarat. Berat metal yang bereaksi, sesuai dengan hukum Faraday, dinyatakan dalam persamaan di bawah ini :

Berat Metal yang beraksi =  $kIt$

Dimana :

I = Arus dalam Ampere

K = Konstanta =  $3,39 \times 10^{-4} \text{ g/C}$

C = Coulomb ( 1 C = 1 Amper dalam 1 detik )

T = Waktu dalam detik

### Korosi pada Media Air Laut

Korosi dalam media air laut adalah media korosi yang terjadi pada lingkungan air laut di dorong oleh faktor : tingkat atau kadar gas dalam air laut (*aerosols*), hujan (*rain*), embun (*dew*), kondensasi (*condensation*) dan tingkat kelembaban (*humidity*) serta resistivitas. Secara alami air laut mengandung ion klorida (*chloride ions*) dengan kombinasi tingginya penguapan (*moisture*), unsur yang terkandung dalam air laut dapat dilihat dalam Tabel.2.3.1 dan persentasi oksigen terkandung yang juga turut memperparah korosi karena air laut.

Korosi dalam air laut tergantung pada:

1. Tingkat Klorida
2. pH
3. Tingkat Oksigen
4. Suhu air laut

Tabel. 2.3.1.  
Unsur pokok dalam media air laut (Benjamin D, 2006)

Anion	Part/ Million	Equevalents per Million	Part per Million per unit Chlorinity
Chloride, $Cl^-$	18.980,00	535,30	998,90
2-Sulfate, $SO_4$	2.649,00	55,10	139,40
Bicarbonete, $HCO_3^-$	139,70	2,30	7,35
Bromine, $Br^-$	64,60	0,80	3,40
Fluoride, $F^-$	1,30	0,10	0,07
Boric Acid, $H_3BO_3$	26,00	-	1,37
TOTAL		593,60	

Cation	Part/ Million	Equevalents per Million	Part per Million per unit Chlorinity
Sodium, Na <sup>+</sup>	10.556,10	159,00	555,60
Magnesium, MG <sup>2+</sup>	1.272,00	104,60	66,95
Calcium, Ca <sup>2+</sup>	400,10	20,00	21,06
Potassium, K <sup>+</sup>	380,00	9,70	20,00
Strontium, Sr <sup>2+</sup>	13,30	0,30	0,70
TOTAL		593,60	

Air laut merupakan lingkungan yang korosif untuk besi dan baja, terutama karena resistivitas air laut sangat rendah ( $\pm 25$  Ohm-cm) dibandingkan dengan resistivitas air tawar ( $\pm 4000$  Ohm-cm). Proses korosi air laut adalah merupakan proses elektrokimia. Faktor-faktor yang mendorong korosi plat baja dalam media air laut adalah

1. Sifat air laut (*biologis dan fisik kimia*)
2. Sifat logam (*pengaruh komposisi kimia*)

#### Sifat kimia – fisika air laut

Kandungan garam yang terlarut dalam air laut dan suhu menentukan konduksi listrik pada air laut, yang merupakan salah satu factor mempercepat terjadinya korosi. Pada salinitas garam yang sama, kenaikan suhu air laut menyebabkan konduktifitas listrik air laut meningkat, sedangkan pada suhu yang sama dari air laut dengan peningkatan salinitas menyebabkan tingkat konduktifitas listrik air laut meningkat.

#### Sifat biologis air laut

Pengaruh *fouling* (pengotoran) pengotoran pada bottom kapal akibat melekatnya hewan dan tumbuhan laut akan menimbulkan korosi pada plat

bottom kapal. Proses korosi terjadi pada saat melekatnya mikro organisme bersel tunggal pada bottom kapal dengan bantuan cat sebagai zat perekatnya, sehingga ada lapisan yang mudah mengelupas. Pada lapisan yang mengelupas akan timbul benih-benih hewan laut seperti tirem, kerang dan tumbuhan laut yang akan terus berkembang biak.

Mikro organisme atau sel-sel yang melekat pada bottom kapal dapat menyebabkan pertukaran zat yang menghasilkan zat-zat agresif seperti : NH<sub>4</sub>OH, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S dan atom-atom yang agresif, mengakibatkan terbentuknya reaksi elektrokimia dan gas oksigen. Gas oksigen dengan proses *chlorophile* akan membentuk sulfit dan sulfat yang dapat menghasilkan zat yang berpengaruh terhadap terjadinya korosi air laut.

#### Susunan kimia logam

Selain unsur Fe pada plat baja kapal ada juga terdapat unsur lainnya seperti C, Si, Mn, Cu, Cr, Ni, S dan P, unsure-unsur yang sangat berpengaruh untuk menimbulkan korosi air laut adalah unsure : C, Mn, S dan P.

#### Pembentukan *mill scale* pada plat baja

Pembentukan *mill scale* terdiri dari tiga lapisan, lapisan terluar adalah Fe<sub>2</sub>O, lapisan tengah Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dan FeO, sedangkan lapisan yang dekat dengan plat kapal adalah FeO dan Fe. Perbedaan potensial elektrokimia antara plat baja kapal  $\pm 0,28$  volt. Perbedaan potensial elektrokimia tersebut menyebabkan terjadi reaksi dalam air laut untuk menimbulkan korosi pada plat baja.

#### Zona Korosi Air Laut

Laju korosi dalam lingkungan laut tergantung dari posisi plat baja kapal yang dipasang, antara lain, zona di atas

permukaan air laut, dan zona di bawah permukaan air laut atau zona antara air laut (*zona pasang surut*). Konsentrasi klorida air laut tergantung pada tingkat kedekatan dan ketinggian dari permukaan air laut, dan korosi terlihat berkurang pada daerah yang lebih tinggi dari permukaan air laut karena kurangnya percikan air

garam yang bekerja sebagai elektrolit dan juga karena temperatur lebih tinggi dan kelembaban lebih rendah.

Kemudian gelombang yang pecah pada permukaan plat baja bottom kapal juga berkontribusi terhadap laju korosi plat tersebut, terutama terjadi pada daerah paling dekat dengan permukaan air laut (*splash zone*)

**Tabel.2.4.1. Pengaruh perubahan lingkungan air laut terhadap korosi baja ( Fontana 86 )**

Faktor dalam air laut	Pengaruh pada besi dan baja
Ion klorida	Sangat korosif terhadap logam yang mengandung besi. Baja Karbon dan logam besi tidak dapat di pasifkan ( garam air laut) mengandung klorida lebih dari 55% ).
Kehantaran listrik	Kehantaran yang tinggi memungkinkan anoda dan listrik katoda tetap bekerja walau jaraknya jauh, jadi peluang terkena korosi meningkat disbanding dalam air tawar.
Oksigen	Korosi pada baja dikendalikan secara katodik, Oksigen akan mendepolarisasi katoda, sehingga mudah terjadi korosi terutama dengan kandungan oksigen yang tinggi.
Kecepatan aliran air laut	Laju korosi meningkat dengan adanya gelombang dan arus laut yang tinggi hal ini menyebabkan : 1. menghancurkan lapisan anti karat, 2. Menghasilkan banyak oksigen, mempercepat penetrasi, membuka rongga di permukaan baja.
Temperatur	Temperatur air laut yang tinggi akan meningkatkan terjadinya korosif.
<i>Fouling</i> (biologis)	Pengotoran pelat baja karena binatang laut akan meningkatkan terjadinya korosif.
Tegangan	Tegangan yang berulang akan menyebabkan kelelahan material terutama yang telah terkena korosi, dan akan mempercepat kegagalan struktur
Pencemaran	Sulfida dalam polutan yang mencemari air laut akan meningkatkan korosif walaupun penurunan oksigen dapat mengurangi korosi.
<i>Silt</i> dan sendimen Tersuspensi	Erosi pada permukaan baja oleh bahan tersuspensi dalam air laut akan cenderung meningkatkan korosi
Terbentuknya Lapisan	Lapisan karat dan kerak mineral (garam-garam kalsium dan magnesium) akan mengganggu difusi oksigen ke permukaan katoda sehingga memperlambat korosi

### Salinitas Air Laut

Korosi karena media air laut juga dipengaruhi oleh tingkat penggaraman atau salinitas air laut. Salinitas didefinisikan sebagai berat keseluruhan dalam gram, kadar garam-garam non organik pada 1 kg air laut (jika unsur-unsur klorida dan semua unsure karbonat digantikan dengan unsur-unsur oksida dalam jumlah sesuai). salinitas air laut dinyatakan dengan satuan perseribu ( $^{\circ}/_{\infty}$ ),

Salinitas air laut ini bervariasi antara : 33,00 ‰ 37,00 ‰. Konsentrasi garam terlarut atau ion/molekul dalam air laut dapat dilihat pada Tabel.2.5.1. berikut.

### Perlindungan Korosi dengan Anoda Karbon

Dalam hal anoda korban ada dua jenis proteksi katodik, yaitu dengan

metoda (*anoda korban*) dan dengan metoda (*arus tanding*). Anoda korban relative lebih murah, mudah dipasang bila dibandingkan dengan metoda arus tanding. Keuntungan lain dalam metoda anoda korban (*sacrificial anode*) adalah tidak diperlukannya peralatan listrik yang mahal dan tidak ada kemungkinan salah arah dalam pengaliran arus.

Mungkin yang paling sederhana untuk menjelaskan cara kerja perlindungan katodik dengan anoda korban adalah menggunakan konsep tentang sel korosi basah. Adalah bahwa dalam sel anod adalah yang berkarat atau korosi, sedangkan yang tidak terkorosi adalah katoda. Anoda yang terhubung ke struktur dengan tujuan mempengaruhi perlindungan terhadap korosi, dengan cara ini disebut (*anoda korban*). Kita bisa mengambil keuntungan dari pengetahuan mengenai seri galvanik untuk memilih suatu bahan

**Tabel.2.5.1. Konsentrasi Ion/Molekul pada air laut densitas 1,023 g/cm<sup>3</sup> pada 25<sup>o</sup>C (Anggono,2000)**

Garam	Salinitas ( $^{\circ}/_{\infty}$ )		
	33	35	37
NaCl	23.13	24.53	25.93
MgCl <sub>2</sub>	4.900	5.200	5.497
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4.090	4.090	4.090
CaCl <sub>2</sub>	1.090	1.160	1.230
KCl	0.660	0.695	0.735
NaHCO <sub>3</sub>	0.201	0.201	0.201
KBr	0.101	0.101	0.101
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.027	0.027	0.027
SrCl <sub>2</sub>	0.024	0.025	0.026
NaF	0.003	0.003	0.003

yang akan menjadi anoda. Anoda korban yang biasa digunakan di lingkungan laut diantaranya adalah jenis anoda seng dan aluminium.

Anoda korban zink yang dianjurkan untuk dipakai pada kapal berdasarkan Biro Klasifikasi Indonesia dalam *Regulation for the Corrosion Protection and Coating System* sesuai Tabel.2.6.1

$$CR = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$

Dimana :

- CR = Laju korosi (mm/th)
- W = Massa yang terkorosi (gram)
- A = Luas tercelup (cm<sup>2</sup>)
- K = 8.76 x 10<sup>4</sup>
- T = Waktu (jam)
- D = Densitas (gram/cm<sup>3</sup>)

### Perhitungan Laju Korosi Plat Baja

Dalam hal ini perlu memperhitungkan luas relative dari anoda dan katoda, karena itu apabila anoda telah berkarat atau terkorosi habis maka katoda akan segera terkorosi. Jadi laju korosi anoda harus diperhitungkan untuk memperkirakan penggantian anoda. Parameter untuk menghitung laju korosi adalah keluaran arus per satuan luas permukaan terbuka yang juga disebut laju pengausan. Juga dinyatakan dengan laju hilangnya logam dalam satuan volume maupun satuan masa pertahun dalam luas permukaan. Dalam perlindungan korosi dengan metode anoda korban ini, laju korosi dapat dinyatakan sebagai berikut (Trethewey, 1991).

### Perhitungan Kebutuhan Anoda Korban

Luas permukaan basah ( *bawah garis air* ) merupakan bagian dari luas bangunan luas permukaan desain bangunan bagian bawah kapal ( Bottom ) adalah bangunan yang terendam air laut, dibutuhkan berapa banyak anoda untuk yang diperlukan. tempat peletakan anoda korban dan lain sebagainya.

Rumus – Rumus dan Tabel – Tabel yang diperlukan dalam perhitungan, mengacu pada standar *Det Norske Veritas Industry Norway AS*, RP B401 yang terdapat dalam Tabel.2.8.1 sebagai berikut.

**Tabel.2.6.1 Anoda korban zink dalam aplikasi media air laut (BKI, 2004)**

Elemen	KI- Zn1	KI- Zn2
Al	0,100 – 0,500	≤ 0,0100
Cd	0,025 – 0,070	≤ 0,0040
Cu	≤ 0,005	≤ 0,0050
Fe	≤ 0,005	≤ 0,0014
Pb	≤ 0,006	≤ 0,0060
Zn	> 99,22	≥ 99,880
Potential (T=20 <sup>o</sup> C)	-1,03 Volt Ag/AgCl/See	-1,03 Volt Ag/AgCl/See
Qg (T=20 <sup>o</sup> C)	780 Ah/kg	780 Ah/kg
Efficiency (T=20 <sup>o</sup> C)	95%	95%



**Tabel.2.8.1. Desain arus rata-rata densitas berdasarkan kedalaman dan iklim (Det Norske Verita Industri Norway, 1993 )**

Kedalaman (m)	Desain arus densitas ( rata-rata ) dalam A/m <sup>2</sup>			
	Tropical (>20°C)	Sub Tropical (12-20°C)	Beriklim sedang (7-12°C)	Sangat dingin (<712°C)
0 ≤ 30	0.070	0.080	0.100	0.120 <sup>(1)</sup>
>30	0.060	0.070	0.080	0.100

**Perhitungan arus (Ic)**

Jika daerah masing-masing (Ac) tiap unit yang diproteksi dikalikan dengan desain arus densitas (ic), dan factor kerusakan lapisan (fc), maka akan diperoleh: (Fontana, 1986)

$$Ic = Ac \times fc \times ic \text{ .(Ampere)}$$

Dimana Ic adalah permintaan arus, Ac area yang akan diproteksi, fc factor kerusakan lapisan dan ic factor desain arus densitas, mengacu pada Tabel 2.8.1. Sedangkan area individu atau area yang akan diproteksi, diperoleh dengan menggunakan rumus :

$$Ac = (2T + B) \times Lbp \times p \text{ ...}(m^2)$$

Dimana :

Lbp : Panjang antara garis tegak...(m)

T : Sarat air ..(m)

B : Lebar Kapal ...(m)

p : Faktor, untuk kapal cargo nilainya 0.85

Untuk desain katodik rata – rata dan terakhir factor kerusakan pelapis di hitung dengan memperhatikan desain umur.

$$fc \text{ (rata - rata)} = k_1 + k_2$$

$$fc \text{ (terakhir )} = k_1 + k_2 \cdot tf$$

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

fc (rata – rata ) mungkin dihitung menggunakan

$$fc \text{ (rata - rata)} = 1 - \frac{(1 - k_1)}{2k_2tf}$$

**Tabel 2.8.2. Konstanta (k1 dan k2) untuk perhitungan faktor kerusakan pelapis(Det Norske Veritas Industry Norway, 1993)**

Kedalaman (m)	Kategori Pelapis			
	(k1 = 0.1) k2	(k1 = 0.05) k2	(k1 = 0.02) k2	(k1 = 0.02) k2
0 .< 30	0.10	0.03	0.015	0.012
> 30	0.05	0.02	0.012	0.012

### Kemampuan material anoda korban

Dalam Tabel 2.8.2 memberikan nilai efisiensi elektrokimia ( $\epsilon$ ) anoda korban yang digunakan dalam perhitungan desain untuk berat anoda korban yang disyaratkan.

Macam material	Electrochemical efficiency ... (Ah/kg)
Al	2000
Zn	700

### Perhitungan arus keluar.

Untuk menghitung arus yang keluar dari anoda korban maka diperlukan rumus dari hukum ohm (Fontana, 1986):

$$I_s = \frac{E^{\circ} c - E^{\circ} a}{R_a} \quad (\text{Ampere})$$

dimana :

$I_s$  = Arus yang keluar dari anoda

$E^{\circ} c$  = Desain proteksi potensial dimana air laut Ag/Ag Cl = -0.80 V

$E^{\circ} a$  = Desain sirkuit tertutup potensial anoda (V)

$R_a$  = Hambatan anoda, dimana di asumsikan sama dengan total hambatan sirkuit

Sirkuit tertutup potensi anoda untuk Al dan Zn berdasarkan anoda korban dapat dilihat pada Tabel 2.8.3 di bawah ini.

Baja karbon yang digunakan dalam penelitian ini adalah Kapal baja

Tabel 2.8.4. Sirkuit tertutup potensial anoda untuk Al dan Zn berdasarkan anoda korban (Fontana, 1986)

Macam material anoda	Lingkungan	Sirkuit tertutup anoda Potensial
Al	Air laut	- 1,05
	Endapan	- 0,95
Zn	Air laut	- 1,00
	Endapan	- 0,95

### Komposisi Anoda korban

Tabel 2.9.1. Komposisi anoda korban paduan seng dan paduan aluminium (Anggono, 2000)

Anoda Paduan Seng		Anoda Paduan Aluminium	
Unsur	Komposisi (% Berat)	Unsur	Komposisi (% Berat)
Kadmium	0.150	Tembaga	0.006
Tembaga	0.005	Besi	0.012
Besi	0.005	Seng	0.150
Silikon	0.125	Silikon	5.000
Aluminium	0.500	Titanium	0.040
Timbal	0.006	Indium	0.030
Seng	<i>Balanced</i>	Aluminium	<i>Balanced</i>

dengan seluruh bangunan terbuat dari baja paduan dengan komposisi kimia sesuai standar untuk konstruksi kapal yang dikeluarkan oleh biro klasifikasi kapal (*Standards: ABS, BKI, DNV, RINA, GL, LR, BV, NK, KR, CCS*).

## METODOLOGI PENELITIAN

### Metodologi Penelitian.

Lokasi uji dan analisa dalam penelitian ini adalah bertempat di dock dan galangan kapal PT. Indonesia Marina Shipyard, Gresik. Jawa Timur, pada tahun 2014.

Dari hasil penelitian dan peninjauan serta pengukuran di galangan kapal PT. Indonesia Marina Shipyard Gresik dilakukan untuk mendapatkan data hasil dari ketebalan plat baja pada bottom kapal.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah melalui pengamatan dan pengukuran di lapangan kerja dock PT. Indonesia Marina Shipyard, Gresik. untuk mengambil data laju korosi plat baja pada kulit kapal yang terkena air (*daerah bawah garis air*) kapal.

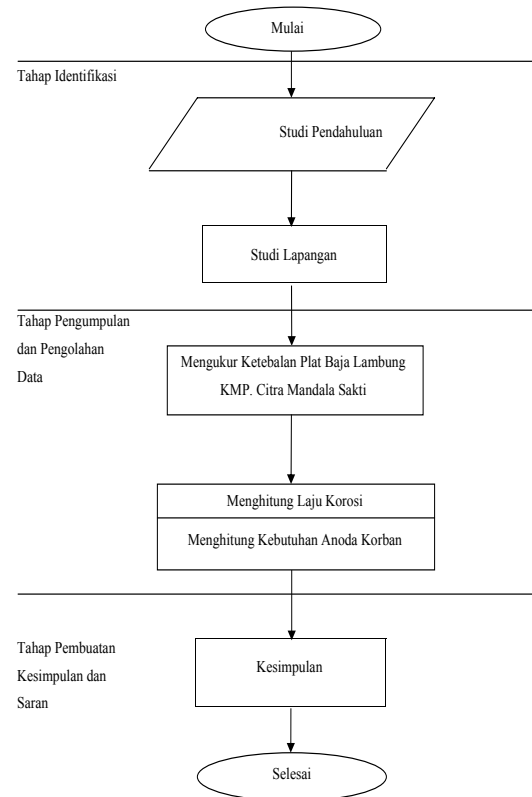
### Sumber dan jenis penelitian.

Dari tahap pengamatan dan pengukuran, kemudian diklarifikasi dengan daftar pustaka tentang korosi dan perlindungan plat lambung kapal untuk menggunakan anoda korban yang biasa dilakukan oleh pihak galangan kapal, khususnya saat melakukan pengedockan dan penggantian dalam pemasangan anoda korban.

Kemudian dalam tahap selanjutnya adalah mencari data dan informasi yang dibutuhkan dalam mengatasi masalah tersebut, selanjutnya diterapkan langkah-langkah untuk menganalisa dalam penelitian ini melalui metoda penerapan

yang ada di dock, PT. Indonesia Marina Shipyard, Gresik

### Diagram Alir Penelitian



**Gambar.3.3. Diagram alir penelitian**

### Penjelasan

#### Studi Pendahuluan

Studi pendahuluan ini dilakukan dengan cara peninjauan langsung di lapangan untuk memperoleh data laju korosi plat baja lambung kapal, data hasil pengukuran ketebalan plat Kulit bawah garis air (BGA) kapal yang masih tersisa kemudian dianalisa untuk menentukan laju korosi yang terjadi.

#### Studi Lapangan

Data hasil hasil dari pengukuran ketebalan plat Kulit bawah garis air (BGA) kapal yang masih tersisa dianalisa untuk menentukan laju korosi yang terjadi dan menentukan kebutuhan anoda korban.

### Mengukur Ketebalan Plat

Data dan penelitian di lakukan dengan cara melalui metode penempatan alat ukur (*ultrasonic test*) pada lambung kapal kemudian mengambil ukuran ketebalan plat sebagai data hasil analisa dan dicatat dalam tabel

### Menghitung Laju Korosi dan Kebutuhan Anoda Korban

Setelah ukuran ketebalan plat diketahui kemudian dicatat dan dihitung laju korosi dari pengurangan ketebalan dari tahun sebelumnya dan laju korosi diketahui kemudian dilakukan analisa jumlah anoda korban yang dipasang pada plat lambung kapal.

Kebutuhan berat Anoda Korban dapat di hitung dengan persamaan :

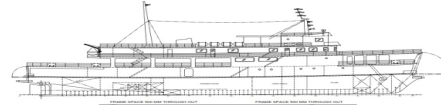
1. Hitung luas plat yang akan di proteksi
2. Hitung keperluan arus proteksi rata-rata
3. Menentukan berat anoda korban total
4. Menentukan jumlah anoda korban
5.  $Jml = \text{berat total anoda korban} / \text{berat netto anoda korban}$
6. Penambahan anoda korban 20% untuk tempat kritis dan sebagai faktor keamanan
7. Menentukan jarak antar anoda korban  
Jarak = panjang kapal yang tercelup air / jumlah anoda korban

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisa dan Penelitian di Lapangan

Penelitian dilakukan pada kapal KMP. CITRA MANDALA SAKTI saat kapal menjalani docking/naik dok di PT. Indonesia Marina Shipyard. KMP. CITRA MANDALA SAKTI merupakan kapal jenis penumpang, yang beroperasi di perairan laut Indonesia dengan salinitas air laut antara  $33 \text{ }^{\circ}/_{\text{oo}}$  s/d  $37 \text{ }^{\circ}/_{\text{oo}}$ , dengan ukuran kapal :

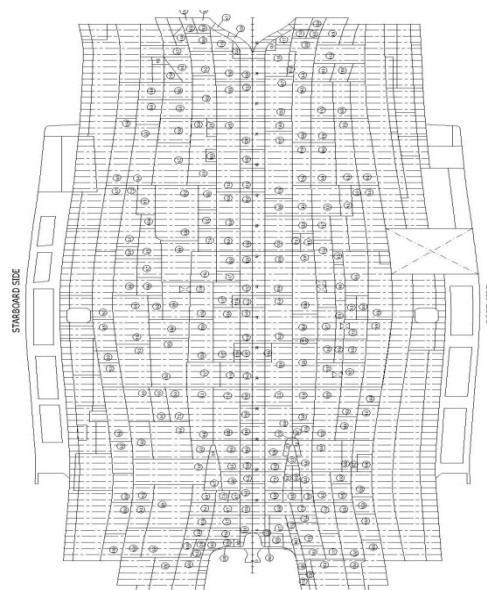
- *Length Over All (Loa)* : 48,94 m
- *Length Between Perpendicular* : 42,91 m
- *Breadth (B)* : 12,40 m
- *Depth (H)* : 03,40 m
- *Draught (T)* : 02,28 m



Gambar 4.1.1. KMP. CITRA MANDALA SAKTI

Anoda korban paduan zink yang dipasang pada plat lambung kapal sebanyak 26 buah x 8 kg = 208 kg. Lebar plat lambung kapal sesuai dengan gambar. bukaan kulit yang terbagi dalam lajur plat dan hasil pengukuran tebal plat lambung kapal setelah kapal berlayar selama 3 tahun di perairan laut Indonesia, dilakukan dengan *ultrasonic test*, sebanyak 265 uji titik.

Distribusi titik uji *ultrasonic test* secara memanjang, sebagaimana terlihat dalam Gambar.4.1.2, berikut :



Gambar.4.1.2. Titik uji ketebalan pada KMP. CITRA MANDALA SAKTI

1. Lajur Kell : 28 buah titik ultrasonic test
2. Lajur A : 63 buah titik ultrasonic test (33 kiri dan 30 kanan)
3. Lajur B : 62 buah titik ultrasonic test (31 kiri dan 31 kanan)
4. Lajur C : 46 buah titik ultrasonic test (23 kiri dan 23 kanan)
5. Lajur D : 42 buah titik ultrasonic test (22 kiri dan 20 kanan)
6. Lajur E : 24 buah titik ultrasonic test (12 kiri dan 12 kanan)

- Jenis layar : LCD
- Resolusi : 0.001"/ 0.01 mm
- Satuan : Metrik & Britis
- Batas pengukuran : 0.04 ~8.0" (1 ~200mm) standar
- Batas kecepatan suara : 1000 ~ 9999 m/s (3,280 ~32,805 ft/s)
- Temperatur kerja : 0 ° C ~ +50° C ( 32 ~122 F°)
- Frekuensi : 5 MHz

Data dan penelitian di lakukan dengan melalui metode penempatan alat ukur (*ultrasonic test*) pada titik sesuai dengan gambar pada bukaan kulit kemudian mengukur ketebalan plat sebagai data hasil analisa dan dicatat dalam tabel.4.1.1. sebagai berikut :

**Tabel.4.1.1. Data ketebalan plat pada bukaan kulit kapal**

No.	Tebal Plat Docking tahun lalu	Tebal Plat Docking tahun ini
1	<i>t.1</i>	<i>t.2</i>
2	<i>t.1</i>	<i>t.2</i>
3	<i>t.1</i>	<i>t.2</i>
~ 250	<i>t.1</i>	<i>t.2</i>

**Alat ukur ketebalan Plat.**

Instrumen alat ukur yang digunakan adalah *ultrasonic test*, alat ini digunakan untuk mengukur ketebalan pada plat lambung kapal.



**Gambar . 4.2.1. Alat ukur ketebalan plat (ultrasonic test) dengan spesifikasi teknis :**

**Hasil Perhitungan Laju Korosi**

Data hasil penelitian di lapangan terhadap KMP. CITRA MANDALA SAKTI, yang telah disusun di atas selanjutnya dilakukan perhitungan Laju Korosi plat lambung kapal KMP. CITRA MANDALA SAKTI dengan, menggunakan persamaan berikut.

$$CR = \frac{K \times W}{A \times D \times T} \text{ (mm/tahun)}$$

Dimana :

- K = Konstanta =  $8,76 \times 10^4$
- W =  $\Delta W$  = Selisih berat awal dan berat akhir (gram)
- A = Luas plat lambung kapal yang Tercelup air laut ( $cm^2$ )
- D = Densitas pelat baja = 7,85(gram/ $cm^3$ )
- T = Umur proteksi (jam)

Jadi laju korosi untuk KMP. CITRA MANDALA SAKTI adalah :

$$CR = \frac{K \times W}{A \times D \times T} \text{ ( mm/tahun )}$$

$$\begin{aligned}
 K &= 87.600 \\
 W &= 5.696.764 \\
 A &= 7.853.500 \text{ (cm}^2\text{)} \\
 D &= \text{Densitas pelat baja} = 7,85\text{(gram/cm}^3\text{)} \\
 T &= 26.280 \text{ (jam)} \\
 CR &= \frac{87.600 \times 5.696.764}{7.853.500 \times 7.85 \times 26.280} = \\
 &= \frac{499.036.526.400}{1.620.161.343.000} \text{ (gram)} \\
 &= 0.308 \text{ ( mm/tahun )}
 \end{aligned}$$

Penurunan berat plat lambung kapal setelah tiga tahun berlayar, dapat dilihat dalam Tabel.4.3.1. berikut ini .

Data berat awal lajur plat lambung kapal keseluruhan adalah 74.561,94 kg, dan setelah dilakukan pengukuran tebal plat setelah berlayar selama 3 tahun menjadi 68.865.76 kg, sehingga terjadi penurunan berat sebesar 5.696,17 kg atau 1.898,72 kg/ tahun.

Titik standart tebal plat dalam aturan Class BKI, untuk ketebalan plat >10 mm adalah maksimum pengurangan tebal pelat 3,00 mm, atau 30% penyusutan dari ketebalan plat. dari hasil penelitian di lapangan pengurangan tebal plat baja kapal rata-rata adalah 0.308 mm/tahun, sehingga masih dalam batas toleransi untuk standart Clas BKI (< 30%).

Penurunan berat plat lambung kapal terjadi karena korosi pada plat

yang tercelup dalam air laut dan korosi ini di percepat dengan adanya arus laut saat kapal berlayar akan menciptakan gelombang yang membentur dibadan kapal, sehingga memperbanyak jumlah oksigen bebas.

Disamping itu air laut merupakan media yang sangat korosif bagi plat lambung kapal, dan pada bagian bottom kapal juga terjadi korosi karena terdapat hewan laut yang menempel / *fouling* (korosi karena proses biologis binatang dalam air laut),

*Bio fouling* atau binatang laut merupakan mikro organisme bersel satu yang menempel dan berkembang biak pada plat lambung kapal, sehingga akan meningkatkan terjadinya korosi.

Pengaruh *bio fouling* (mikro organisme bersel satu) yang menempel pada plat tidak merata. Proses korosi

**Tabel.4.3.1. Penurunan berat dan laju korosi lajur plat lambung kapal**

NO	Lajur Pelat Lambung Kapal	Berat awal, W <sub>0</sub> (gram)	Berat akhir, W <sub>1</sub> (gram)	Selisih berat, ΔW (gram)	Luas Pelat A(m <sup>2</sup> )	Laju korosi CR (mm/th)
1	Lajur Keel	4,237,869,60	3,708,135,90	529,734	44,98	0,500
2	Lajur A kiri	9,212,760,00	8,475,739,20	737,021	117,36	0,267
3	Lajur A kanan	9,212,760,00	8,475,739,20	737,021	117,36	0,267
4	Lajur B kiri	6,532,998,44	6,532,998,44	491,731	89,49	0,233
5	Lajur B kanan	6,532,998,44	6,532,998,44	491,731	89,49	0,233
6	Lajur C kiri	5,949,907,50	5,711,911,20	237,996	75,79	0,133
7	Lajur C Kanan	5,949,907,50	5,473,914,90	475,993	75,79	0,267
8	Lajur D kiri	7,024,729,50	6,743,740,32	280,989	89,49	0,133
9	Lajur D kanan	7,024,729,50	6,322,256,55	702,473	89,49	0,333
10	Lajur E kiri	5,949,907,50	5,473,914,90	475,993	75,80	0,267
11	Lajur E kanan	5,949,907,50	5,414,415,83	535,492	75,80	0,300
<b>Total</b>		74,561,937,60	68,865,764,87	5,696,764,87	785,35	0,308

yang terjadi akibat pertukaran zat yang akan menghasilkan zat agresif, seperti : NH<sub>4</sub>OH, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S. Pada reaksi elektrokimia terbentuk O<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> dari *chlorophile* akan membentuk sulfat atau sulfat yang akan meningkatkan laju korosi.

### Hasil Perhitungan arus dan Kebutuhan Anoda Korban

Perhitungan arus dan kebutuhan anoda korban pada kapal KMP. CITRA MANDALA SAKTI, dengan anoda korban yang di gunakan paduan zink dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$M = \frac{Ic \times T \times 8760}{\mu \times \epsilon} = \dots (kg)$$

Dimana :

M = Berat anoda korban paduan zink (kg)

Ic = Kebutuhan arus proteksi (Ampere)

T = Umur proteksi (tahun), T = 3 Tahun (Peraturan BKI)

μ = Faktor guna anoda korban, μ = 0,85

ε = *Electrochemical efficiency* (Ah/kg),

ε = 700, Anoda zink

Kebutuhan arus proteksi :

$$Ic = Ac \times fc \times ic \text{ (Ampere)}$$

Dimana :

Ac = Luas plat lambung kapal yang diproteksi dengan paduan zink (m<sup>2</sup>)

$$Ac = \{(2T)+B\} \times Lpp \times \rho \dots(m^2)$$

Dimana :

T = Sarat air kapal = 2,28 m

B = Lebar kapal = 12,40 m

Lpp = Panjang kapal = 42,91 m

ρ = Faktor efisiensi jenis kapal, ρ = 0,85 (untuk kapal penumpang)

$$Ac = \{(2 \times 2,28) + 12,40\} \times 42,91 \times 0,85$$

$$Ac = 612,755 \text{ m}^2$$

fc = faktor kerusakan lapisan (tabel)

$$fc = k1 + k2 \cdot tf \dots(\text{Ampere})$$

Dimana :

k1 = 0,02 (mengacu pada DNV RPB401)

k2 = 0,015 (mengacu pada DNV RPB401)

tf = Umur Proteksi = 3 tahun

$$fc = k1 + k2 \cdot tf = 0,002 + 0,015 \times 3 = 0,0525 \text{ (Ampere)}$$

ic = Arus Densitas rata-rata (Ampere/m<sup>2</sup>),

$$ic = 0,100 \text{ Ampere/m}^2 \text{ (tabel)}$$

Sehingga :

$$Ic = Ac \times fc \times ic = 612,755 \times 0,0525 \times 0,100 = 3,217 \dots(\text{Ampere})$$

Maka berat anoda korban yang dibutuhkan :

$$M = \frac{Ic \times T \times 8760}{\mu \times \epsilon} = \frac{3,217 \times 3 \times 8760}{0,85 \times 700} = 142,087 \text{ (kg)}$$

Sesuai hasil perhitungan kebutuhan anoda korban di atas diperoleh gambaran bahwa jumlah anoda korban yang dipasang di plat area bawah garis air di kapal KMP. CITRA MANDALA SAKTI lebih banyak (26 buah) dari pada jumlah yang diperoleh dari hasil perhitungan (18 buah) klu di bagi dalam @ 8 kg/buah. Sehingga dapat dikatakan bahwa pemasangan anoda korban paduan zink pada plat lambung kapal telah melebihi batas kebutuhan dari faktor tempat kritis 20% sehingga jumlah menjadi ( 21 buah dalam satuan @ 8 kg/buah ) dan telah sesuai dengan standar kelayakan yang berlaku.

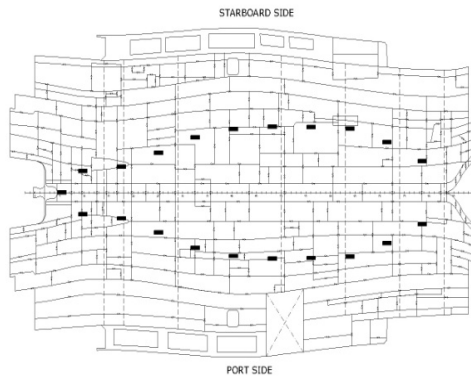
Selanjutnya apabila pemasangan anoda korban disusun berdasarkan luas plat pada lambung kapal / area bawah garis air maka dapat di bagi sesuai dengan jarak masing-masing lajur pelat lambung kapal dengan kebutuhan anoda korban dan, sesuai dengan perhitungan dan penambahan 20% untuk tempat kritis, seperti area yang mengalami arus yang deras atau daerah yang dinilai cukup penting untuk bagian kapal.

### Penempatan Anoda Korban

Jumlah total adalah : 21 buah anoda @ 8 Kg, yang dipasang. Jarak

penempatan anoda korban adalah, panjang jarak kapal dibagi jumlah anoda korban.

Berikut posisi penempatan anoda korban pada lajur plat lambung kapal dapat dilihat dalam Gambar. 4.5.1



**Gambar.4.5.1. Penempatan posisi anoda korban pada KMP. CITRA MANDALA SAKTI**

## KESIMPULAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan kebutuhan anoda korban sesuai dasar pembahasan pada KMP. CITRA MANDALA SAKTI, secara teknis dapat diketahui bahwa untuk memperlambat laju korosi plat lambung area bawah garis air kapal selama 3 tahun berlayar, dibutuhkan anoda korban paduan zink sebanyak @ 8 kg x 21 buah.

Anoda korban paduan zink yang dipasang pada plat lambung kapal secara arus ternyata dapat memperlambat laju korosi rata-rata sebesar 0,308 mm/tahun.

### Saran

Berdasarkan hasil penelitian di lapangan anoda korban paduan zink memiliki kinerja yang optimal, dalam arti dapat memperlambat laju korosi plat baja seminimal mungkin, dan anoda

korban zink sifatnya mudah larut dan menyebar untuk memproteksi, sehingga benar-benar dapat berfungsi sebagai anoda yang memang dikorbankan.

Untuk itu disarankan kepada para pengguna anoda korban baik pemilik kapal, ataupun pihak galangan kapal, sebaiknya memakai anoda korban zink untuk melindungi plat lambung kapal yang mengalami arus cukup kuat semisal area baling-baling atau haluan dan area yang dinilai penting pada bagian kapal ditambahkan berat pada tonage anoda agar dapat menjaga kebutuhan proteksi sampai kapal menjalani docking kembali.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anggono, 2000, *Studi Perbandingan Kinerja Anoda Korban Paduan Aluminium dengan Paduan Seng dalam Lingkungan Air Laut*, Jurnal Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra, Surabaya, Volume 2
- Benjamin D. Craig, 2006, *Corrosion Prevention and Control : A Program Management Guide for Selecting Materials by : Advanced Materials, Manufacturing, and Testing Information Analysis Center (AMMTIAC)*.
- DNV Recommended Practice RP.B401, 1993, *Cathodic Protection Design*, Det Norske Veritas Industry Norway AS, Hovik.
- Fontana, Mars G, 1986, *Corrosion Engineering*, 3th Edition, Mc Graw Hill Book Co., New York.
- PT. Biro Klasifikasi Indonesia, 2004, *Regulator for the Corrosion and Coating System*, Edition 2004, BKI, Jakarta .



PT. Biro Klasifikasi Indonesia, 2006,  
*Rules for The Classification and  
Construction of Seagoing Steel  
Ships*, Volume II, Rules For Hull,  
Edition 2006, BKI, Jakarta .

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