

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Pengertian korosi

Korosi sudah mulai dikenal sejak tahun 23 Masehi yaitu pada zaman pemerintahan kekaisaran Romawi karena mereka telah mempergunakan besi secara luas, baik untuk persenjataan maupun perkakas lain. Korosi yang terjadi pada saat itu mempunyai pengertian yang sama dengan sekarang yaitu merupakan proses degradasi dari suatu logam karena terjadinya reaksi kimia antara logam tersebut dengan lingkungannya.

Dengan demikian maka korosi dapat didefinisikan sebagai destruktif atau penurunan kekuatan material yang disebabkan karena adanya reaksi antara material tersebut dengan lingkungannya.

Pada dasarnya korosi adalah peristiwa pelepasan elektron-elektron dari logam misalnya besi yang berada di dalam larutan elektrolit (air laut), sedangkan atom-atom bermuatan positif dari logam

besi (Fe) akan bereaksi dengan ion *hidroksil* (OH) membentuk *ferri hidroksida* (Fe (OH)₃) yang dikenal sebagai karat.

Dengan demikian maka banyak orang mengartikan korosi sebagai karat sehingga tidak salah kalau dikatakan bahwa korosi dan karat dianggap sinonim.

II.2 Proses Terjadinya Korosi

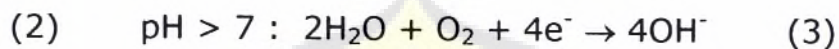
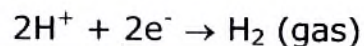
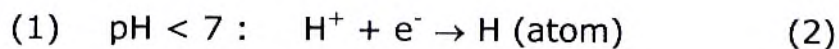
Untuk dapat memahami teori proses terjadinya korosi pada permukaan logam, kita dapat melihat pada suatu konsep sel korosi sederhana (gambar II.1). Pada konsep sel korosi sederhana ini ada empat komponen penting, yaitu :

a. Anoda, adalah bagian yang terkorosi dan akan melepaskan elektron-elektron dari atom-atom logam netral untuk membentuk ion-ion. Reaksi korosi suatu logam M bisa dinyatakan dalam persamaan sederhana :



Banyaknya elektron yang diambil dari masing-masing atom ditentukan oleh valensi logam yang bersangkutan. Umumnya harga $z = 1, 2$ atau 3 .

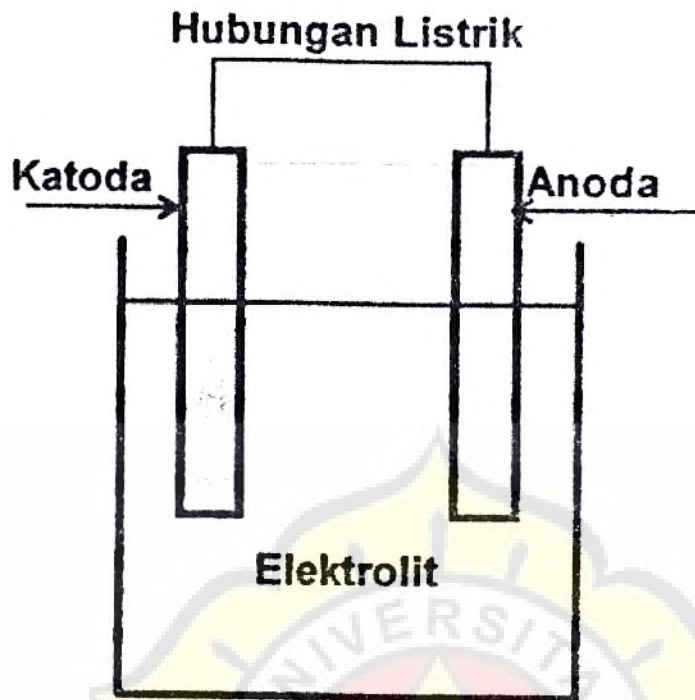
b. Katoda, yaitu bagian yang biasanya tidak mengalami korosi, walaupun mungkin menderita kerusakan-kerusakan. Ada dua reaksi yang umum terjadi pada katoda, dengan bergantung pada pH larutan yaitu sebagai berikut :



Reaksi ini akan mengkonsumsi elektron-elektron yang dihasilkan oleh proses anoda, serta terjadi perubahan energi yang cukup besar.

c. Elektrolit, merupakan istilah yang diberikan pada larutan yang bersifat menghantarkan listrik. Larutan ini biasanya mempunyai harga konduktivitas tertentu. Air PAM mempunyai konduktivitas antara 10 sampai 20 mS m^{-1} , sedangkan air laut mempunyai konduktivitas 250 kali lebih besar dari air biasa.

d. Hubungan listrik, antara anoda dan katoda yang harus terjadi kontak listrik pada arus didalam sel korosi dapat mengalir dan hubungan ini secara fisik tidak diperlukan jika anoda dan katoda merupakan bagian dari logam yang sama.



Gambar II.1 Sel Korosi Sederhana

Dengan melihat sistem pada gambar II.1, korosi bisa terjadi pada anoda, jika antara anoda dan katoda terdapat selisih energi bebas. Selisih energi ini merupakan perwujudan potensial listrik yang dapat diukur dengan menyisipkan sebuah voltmeter pada rangkaian listrik pada gambar II.1. Apabila rangkaian antara elektroda dalam keadaan tertutup, potensial menggerakkan arus yang tidak lain adalah elektron-elektron yang dihasilkan oleh reaksi pada persamaan 1. Semua reaksi korosi di lingkungan air dapat dianggap tidak berbeda dengan konsep sel korosi basah tersebut diatas. Meskipun sel itu merupakan bagian

dari permukaan logam yang sama, namun anoda dan katoda biasanya dapat dibedakan. Dengan demikian jika kita ingin menghindari terjadinya proses korosi, maka caranya adalah menghilangkan salah satu dari keempat komponen tersebut diatas.

II.3 Faktor – faktor yang mempengaruhi terjadinya korosi pada permukaan lambung basah kapal

Korosi terdiri dari dua bagian yang besar yaitu korosi kering dan korosi basah. Dalam bagian ini hanya dibahas mengenai korosi basah atau korosi yang berlangsung dalam air.

Korosi adalah gejala yang timbul secara alami. Pengaruhnya dialami oleh hampir semua zat dan diatur oleh perubahan-perubahan energi. Air merupakan suatu zat pelarut yang sangat berdaya guna yang mampu melarutkan zat lain dalam jumlah yang lebih besar dari zat cair lainnya.

Unsur-unsur yang mempengaruhi terjadinya korosi adalah :

II.3.1 Pengaruh senyawa kimia

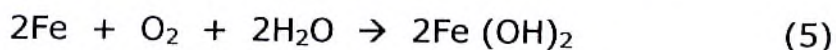
Unsur-unsur yang terdapat dalam air laut adalah garam-garam, gas-gas suspensi dan senyawa organik. Garam-garam ini berasal dari hasil erosi batuan yang terbawa dari sungai dan berlangsung dalam

waktu yang lama. Kandungan garam pada air laut sering disebut juga sebagai salinitas. Salinitas ini didefinisikan sebagai kandungan total bahan-bahan padat dalam gram pada satu kilogram air laut, dimana semua karbonat telah berubah menjadi oksida, dan *bromine* serta *iodine* digantikan oleh *chlorine* dan semua zat-zat organik sudah teroksidasi seluruhnya. Pada lautan terbuka harga salinitas bervariasi antara 32 dan 36. Pada daerah tropis harga ini lebih tinggi lagi mencapai kurang lebih 41.

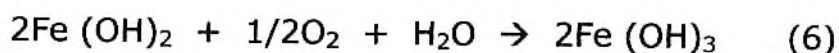
Cara yang dipakai untuk menentukan salinitas adalah dengan menghitung jumlah kadar *Chlor* yang ada pada suatu sampel (*Chloronitas*). Dari hasil pengukuran ini kemudian dapat menentukan besarnya salinitas yaitu sebagai berikut :

$$\text{Salinitas} = \text{Chloronitas} \times 1,80655 \quad (4)$$

Korosi yang terjadi karena proses kimia secara langsung adalah jenis serangan korosi tanpa adanya aliran listrik dalam logam. Proses korosi semacam ini dapat dilihat pada berkaratnya besi secara merata dalam udara lembab yang terbuka, persamaan reaksinya adalah :



Selanjutnya *ferohidroksida* $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ini (dalam udara lembab) teroksidasi menjadi *ferihidroksida* $\text{Fe}(\text{OH})_3$ menurut reaksi berikut :



Pada proses ini unsur air dan oksigen memegang peranan penting dalam pembentukan karat.

II.3.2 Faktor elektrokimia

Jika dua buah logam yang berlainan ditempatkan dalam cairan yang terdapat aliran listrik dan dihubungkan satu dengan yang lainnya, maka mengalirilah aliran listrik. Logam yang kurang mulia akan terkorosi. Makin tidak mulia suatu logam atau makin rendah tegangan logam, maka makin mudah logam tersebut terkorosi. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada tabel II.1 berikut ini ²⁾ :

Tabel II.1 Daftar Deret Tegangan Dari Setiap Logam

Deret Tegangan (V)				
Kalium	-2,92	Zat cair 0,00	Tembaga	0,34
Natrium	-2,72		Perak	0,38
Magnesium	-2,30		Air raksa	0,80
Aluminium	-1,30		Emas	1,38
Zinc	-0,76			
Chrom	-0,76			
Besi	-0,44			
Kadmium	-0,40			
Nikel	-0,23			
Timah	-0,14			
Timbal	-0,12			

2) Beumer, B. J. M; *Materialkunde*; Bharatara Karya Aksara, Jakarta, 1985, Hal. 100

Proses korosi secara elektrokimia atau sel galvanik dapat terjadi bila ada anoda, katoda dan larutan elektrolit. Atau dapat terjadi pada dua buah logam yang berbeda potensial elektrodanya, kemudian kontak antar satu dengan yang lainnya dalam lingkungan yang sama dengan elektrolit.

Prinsip terjadinya *electrochemical corrosion* adalah bahwa atom-atom pada permukaan logam bila dihubungkan dengan suatu larutan elektrolit misalnya air laut, akan masuk ke dalam larutan tadi sebagai ion dan akan meninggalkan beberapa elektron pada logam, sehingga logam itu akan bermuatan listrik. Kecenderungan peningkatan suatu logam memberikan ion-ion pada larutan elektrolit, maka semakin banyak elektron yang ditinggalkan pada logam itu. Semakin besar muatan listriknya maka besar arus listriknya lebih meningkat. Kalau logam itu kita beri muatan listrik (dari sumber lain) yang besarnya sesuai dengan muatan logam itu, maka logam akan berhenti memberikan ion-ion kepada elektrolit.

Yang dimaksud dengan logam disini adalah anoda dan katoda. Dimana anoda adalah kutub negatif dan terjadi reaksi oksidasi, sedangkan katoda adalah kutub positif dan terjadi reaksi reduksi. Anoda adalah logam dimana aliran listrik yang terjadi mengalir meninggalkan

logam tersebut, kemudian masuk ke elektrolit. Atau dengan kata lain anoda adalah logam yang mengalami pengkaratan, sedangkan katoda adalah logam dimana arus listrik yang terjadi mengalir dari elektrolit menuju ke logam (konstruksi) tersebut, sehingga konstruksi tidak mengalami korosi. Jadi dapat disimpulkan bahwa semakin negatif potensial elektrokimia dari suatu logam, maka kecenderungan logam itu memberikan ionnya pada larutan semakin mudah terkorosi. Dibawah ini diberikan potensial elektrokimia untuk beberapa jenis logam di dalam larutan elektrolit air laut.

Arus listrik yang ditimbulkan oleh ion-ion tersebut didalam elektrolit adalah sama dengan arus elektron (e) yang diterima didalam hubungan antara anoda dan katoda.

Besarnya arus tersebut berdasarkan hukum *Ohm* sebagai berikut :

$$I = E / R \quad (7)$$

Dimana I adalah kuat arus dalam *Amphere*, E adalah beda potensial elektrokimia antara anoda dan katoda dalam Volt dimana antara anoda dan katoda terjadi hubungan elektrik, R adalah tahanan dalam *Ohm*. Arah dari arus I adalah dari katoda menuju anoda, sedangkan arah dari arus elektron (e) adalah sebaliknya yaitu dari anoda ke katoda. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada tabel II.2 berikut ini :

Tabel II.2 *Corrosion* potensial untuk beberapa metal dan *alloys* pada air laut yang tenang (20° C)³⁾

Material	Potensial (V)
<i>Basic Magnesium</i>	
<i>Zinc</i>	-1,50
<i>Aluminium</i>	-1,05
<i>Steel</i>	-0,75
<i>Austenitic Cast Iron</i>	-0,65
<i>Stainless Steel (Active)</i>	-0,54
<i>Lead</i>	-0,50
<i>Naval Brass</i>	-0,35
<i>HT Brass</i>	-0,24
<i>Aluminium Bronze</i>	-0,22
<i>Copper</i>	-0,21
<i>Nikel Aluminium Bronze</i>	-0,19
<i>Austenitic Stainless Steel</i>	-0,08
<i>Titanium</i>	-0,05
<i>Noble Graphite</i>	+0,02

Material yang digunakan untuk suatu konstruksi perlu diperhatikan jenisnya agar terhindar dari proses pengkaratan. Sebagai contoh baja dan aluminium dihubungkan dan dicelupkan ke dalam air laut sebagai media elektrolit, maka elektron akan mengalir dari aluminium yang mempunyai potensial yang lebih kecil dari baja. Aluminium bertindak sebagai anoda dan baja sebagai katoda. Elektron yang mengalir ini akan menyebabkan ion dari aluminium akan terlepas dan masuk ke dalam elektrolit, sehingga aluminium tersebut akan mengalami pengkaratan.

3) Rowlands, J. C. & Coor, T. F. I; *Marine Engineering Practice*, Vol. 2 Part 11

Dalam suatu *galvanic couple*, logam yang mempunyai potensial elektrokimia yang lebih rendah akan bertindak sebagai anoda dan yang lainnya sebagai katoda.

II.3.3 Struktur material yang tidak homogen

Tidak homogennya suatu material dan paduannya atau metalurgi disebabkan karena beberapa faktor antara lain :

- a. Campuran metal (susunan kimia).
- b. Cara pembuatan (pekerjaan mekanis dari material itu).
- c. Pekerjaan panas (fabrikasi).

Pada pekerjaan mekanis akan menyebabkan perbedaan susunan kristal yang saling berdekatan dalam suatu logam. Misalnya pada pembuatan haluan kapal dimana pelat mengalami pembengkokan. Apabila logam (pelat) tersebut tercelup dalam air laut maka akan terjadi aliran listrik yang menyebabkan sebagian dari kristal tersebut bertindak sebagai katoda terhadap kristal yang lainnya, dengan demikian maka akan terjadi pengkaratan. Selain itu proses pengerjaan panas dan mekanis akan selalu menimbulkan usaha perlawanan dan perubahan terhadap struktur material yaitu pada susunan kristalnya. Pada proses pengelasan atau pemotongan dengan las potong akan menyebabkan

terjadinya perubahan-perubahan tadi. Oleh karena itu perlu sekali diperhatikan cara-cara dan urutan pengelasan. Hal ini dapat dijumpai pada galangan-galangan kapal yang dalam pembuatan kapal hampir seluruhnya menggunakan metode las, sehingga dalam proses pengelasan dan pemotongan dapat menyebabkan struktur material menjadi tidak homogen.

II.3.4 Deformasi plastis dan deformasi elastis

Pengkaratan dapat terjadi pada seluruh permukaan logam atau sebagian saja. Pada waktu pembuatan, hampir semua logam mengalami pengerjaan antara lain pengerolan pada permukaan. Pengerjaan pengerolan ini dapat menyebabkan deformasi. Deformasi plastis dan deformasi elastis akan menyebabkan ketangguhan dari logam menjadi berkurang. Hal ini tersebut akan menyebabkan suatu logam mempunyai ketahanan terhadap korosi menjadi rendah.

Deformasi yang disebabkan karena pengerolan tersebut dapat menyebabkan permukaan logam mempunyai sifat-sifat yang tidak homogen pada struktur materialnya. Hal ini memungkinkan logam tersebut mempunyai struktur kristal yang berlainan. Akibatnya terjadi suatu deformasi maka akan timbul tegangan-tegangan.

Tegangan elastis dan tegangan dinamis akan menyebabkan permukaan logam mempunyai sifat anoda, sehingga akan menimbulkan korosi. Tegangan statis dapat menyebabkan turunnya ketahanan kekuatan dari material. Karena lelahnya material maka akan timbul korosi.

II.3.5 Kondisi permukaan logam

Bentuk dari permukaan logam dapat menyebabkan timbulnya korosi. Kondisi permukaan yang kasar merupakan salah satu faktor penyebab korosi, hal ini disebabkan karena pada permukaan material akan timbul aliran turbulen sehingga akan menyebabkan terjadinya korosi erosi.

II.3.6 Sifat – sifat lingkungan

Elektrolit yang korosif seperti SO_2 , NO , HCl , H_2S sangat suka pada material untuk menimbulkan korosi. Elektrolit yang berhubungan dengan logam, dimana elektrolit tersebut dapat mempengaruhi atas difusi, hasil pengkaratan, banyaknya oksigen yang terkandung, jumlah ion yang terurai, presentasi larutan dalam elektrolit dan lain-lain.

Sifat-sifat lingkungan ini ditentukan oleh :

a. Pengaruh oksigen

Sejumlah besar gas-gas udara terlarut dalam air laut walaupun jumlah ini terdapat dalam perbandingan yang tidak sama seperti yang ada di udara. Oksigen terlarut sangat berperan dalam proses korosi di laut. Jumlah oksigen terlarut ditentukan oleh proses fotosintetis dan pertukaran atmosfer di permukaan air laut. Proses pertukaran ini dipengaruhi oleh difusi, penggantian air yang ada dan adanya gelembung-gelembung udara yang terjadi pada saat turbulensi.

Proses larutnya oksigen ini bersumber dari atmosfer, dipengaruhi oleh sifat-sifat fisika dari gas yang ada di laut dan udara. Umumnya oksigen dijumpai di lapisan permukaan karena pertukaran atmosfer hanya terjadi pada permukaan air laut. Distribusi oksigen di laut mempengaruhi gerakan air, proses kehidupan di laut dan proses kimia.

Kelarutan maksimum oksigen dalam air dengan tekanan satu atmosfer pada temperatur 25°C adalah 10 mg O₂/l. Oksigen yang terkandung didalam air laut mempunyai peranan penting pada

proses pengkaratan logam. Karena oksigen dapat membentuk lapisan pelindung oksida logam pada permukaan pelat.

Fotosintetis akan meningkatkan kandungan oksigen, sedangkan dekomposisi organisme akan menurunkan kandungan oksigen. Dengan demikian kandungan oksigen dipengaruhi oleh kedalaman air laut. Mikroorganisme dapat menimbulkan korosi pada badan kapal yang disebut korosi mikroorganisme. Semakin banyak kandungan oksigen dalam air laut maka makin cepat proses korosi terbentuk. Khususnya bagi kapal-kapal yang menggunakan material aluminium, semakin banyak kandungan oksigen dalam air laut maka semakin banyak terbentuknya lapisan oksida pada permukaan logam, sehingga proses korosi makin berkurang.

Oksigen merupakan faktor yang cukup penting pada proses korosi, khususnya pada reaksi katoda. Konsentrasi oksigen pada air laut dalam keadaan setimbang bergantung dari temperatur dan salinitas. Sebagai contoh pada temperatur 25°C dengan salinitas sekitar 35, konsentrasi oksigen adalah 6,5 ppm. Sedangkan pada temperatur 5°C dengan salinitas yang sama konsentrasi oksigen adalah 9,7 ppm. Semakin rendah harga salinitas, harga konsentrasi oksigen semakin tinggi. Pada kebanyakan logam

kecuali aluminium, kandungan oksigen yang rendah pada suatu kedalaman laut yang besar akan menyebabkan rendahnya laju korosi.

b. Konsentrasi ion hidrogen

Konsentrasi ion hidrogen (pH) air laut normal biasanya berkisar antara 8,1–8,3. Penyerangan organisme laut yang menyebabkan kehilangan oksigen dan penurunan pH dari hidrogen sulfida dibawah 8. Ketika konsentrasi CO_2 direduksi oleh proses fotosintesa tumbuh-tumbuhan, maka alkalinitas dapat naik dengan pH lebih dari 9. Pada kedalaman yang berbeda terjadi reaksi yang berbeda pula, maka pH yang lebih tinggi dapat dicapai pada saat fotosintesa terjadi di dekat permukaan air. pH yang rendah terjadi pada kedalaman yang aktivitas penguraian organisme terbesar, yaitu pada tingkatan oksigen terendah. Kandungan oksigen yang lebih rendah mempunyai pengaruh yang besar dalam mereduksi pengkaratan.

c. Unsur halogen

Dengan adanya unsur-unsur halogen seperti Cl, Br dan I, maka dapat menyebabkan rusaknya pasivitas suatu material atau tahanan terhadap pengkaratan akan hilang. Hal tersebut akan menyebabkan timbulnya *pitting corrosion* dan *cravice corrosion*.

Pengaruh dari ion-ion tersebut yang merupakan faktor utama dalam berkembangnya pengkaratan awal dengan hancurnya pasivitas yaitu kemampuan untuk membentuk hasil korosi asam yang dapat larut, misalnya *ferro chlorida*, *aluminium chlorida*.

Dengan adanya reaksi metal dengan *chlorida* maka akan mempercepat terjadinya korosi dan reaksi pengkaratan akan terus berjalan atau berulang. Yang dimaksud dengan pasivitas yaitu kehilangan kemampuan untuk bereaksi dari suatu metal terhadap *environmetal* tertentu.

d. Mikroorganisme / biologi

Melekatnya binatang laut pada badan kapal dibawah garis air dapat menimbulkan pengkaratan. Dengan melekatnya binatang laut tersebut maka akan menyebabkan beberapa kerugian selain

pengkaratan juga mengurangi kecepatan kapal, pemborosan pemakaian bahan bakar dan rusaknya lapisan cat.

Melekatnya binatang dan tumbuhan laut yang berhubungan dengan proses korosi adalah pada permukaan lambung basah kapal melekatnya mikroorganisme bersel satu yang terdapat pada permukaan air, yang melekat pada permukaan lapisan cat dengan pertolongan zat perekat dari binatang laut tersebut, yang akan mengakibatkan penumpukan lapisan yang baru, hal ini sangat membantu binatang dan tumbuhan laut untuk berkembang lagi.

Korosi akibat sifat biologi air laut berbahaya juga bagi kapal-kapal. Penempelan binatang-binatang dan tumbuhan laut ini makin lama pada badan kapal sangat mempengaruhi kekuatan dari pelat kulit kapal dibawah garis air. Kapal bila perlu lama ditambatkan, maka akan mempercepat proses penempelan binatang dan tumbuhan laut.

e. Temperatur

Temperatur juga merupakan faktor yang berpengaruh terhadap kecepatan reaksi korosi. Makin tinggi temperatur maka makin besar pula kecepatan reaksinya. Dengan bertambah

besarnya temperatur, maka kecepatan reaksi kimia biasa atau elektrokimia akan semakin besar. Oleh karena itu temperatur air laut mempunyai pengaruh yang besar terhadap proses terjadinya korosi.

Temperatur erat sekali hubungannya dengan kedalaman air laut. Temperatur pada permukaan air laut berbeda tergantung dari daerahnya. Variasi temperatur adalah dari -20°C pada kutub-kutub sampai 35°C pada katulistiwa. Perbedaan dari temperatur tersebut dipengaruhi oleh variasi dari musim, angin dan arus.

II.3.7 Pengaruh arus listrik

a. Konduktivitas listrik

Konduktivitas listrik air laut, 250 kali lebih besar dari air biasa. Harga konduktivitas listrik ini bergantung dari harga *chlorinity* dan temperatur. Semakin rendah temperatur semakin rendah harga konduktivitas listrik, sedangkan semakin tinggi harga *chlorinity*, maka semakin tinggi pula konduktivitas listriknya.

Semakin tinggi harga konduktivitas listrik air laut, maka resistance dari elektrolit akan kecil pengaruhnya dalam

mengendalikan besarnya arus pada proses korosi. Semakin tinggi harga konduktivitas listrik ini juga menyebabkan semakin luasnya daerah yang terkena korosi. Akan tetapi, tingginya konduktivitas listrik air laut ini sangat berguna dalam aplikasi *cathodic protection*, dimana hal tersebut memungkinkan semakin luasnya daerah yang diproteksi. Demikian juga dengan daerah-daerah yang sulit terjangkau, akan sangat membantu jika konduktivitas air laut lebih tinggi walaupun arus anoda yang dihasilkan oleh *galvanic action* sangat kecil.

b. Penyambungan arus pada badan kapal

Proses pengkaratan pada pelat kulit badan kapal akan berlangsung pada saat kapal dihubungkan dengan jaringan arus luar sembarang (bila kapal *docking* atau tambat) dengan sambungan isolasi yang kurang baik, hal ini dapat dijelaskan bahwa pada sambungan isolasi yang kurang baik akan menurunkan tegangan listrik.

Penyambungan arus listrik dari sembarang sumber listrik ke kapal harus ditinjau keadaan kapalnya. Apabila kapal tambat pada tambatan (untuk reparasi terapung atau penyelesaian pekerjaan

pada kapal baru), maka arus bolak-balik yang diambil dari pelabuhan atau daratan yang digunakan sebagai *power supply* harus diisolasi atau dihindari terjadinya kontak dengan badan kapal. Apabila *power supply* yang digunakan tidak diisolasikan terhadap badan kapal dan terjadi arus listrik yang deras maka tak dapat dihindari terjadinya proses korosi pada badan kapal.

Pemakaian arus *Direct Current (DC)* pada umumnya tidak digroundkan ke mesin utama atau komponen mesin lain, tetapi digroundkan pada badan kapal, dimana kutub negatif dihubungkan ke badan kapal. Disamping itu apabila pada kapal terdapat sumber arus listrik *DC* yang berupa *battery* atau *accu*, terlihatlah daerah yang tertutup oleh karat pada tempat dimana *accu* tersebut ditempatkan. Terlepas dari pada itu dengan memperhitungkan juga berbagai sebab yang mengakibatkan pengkaratan, perlulah diperhatikan penyambungan arus listrik pada badan kapal.

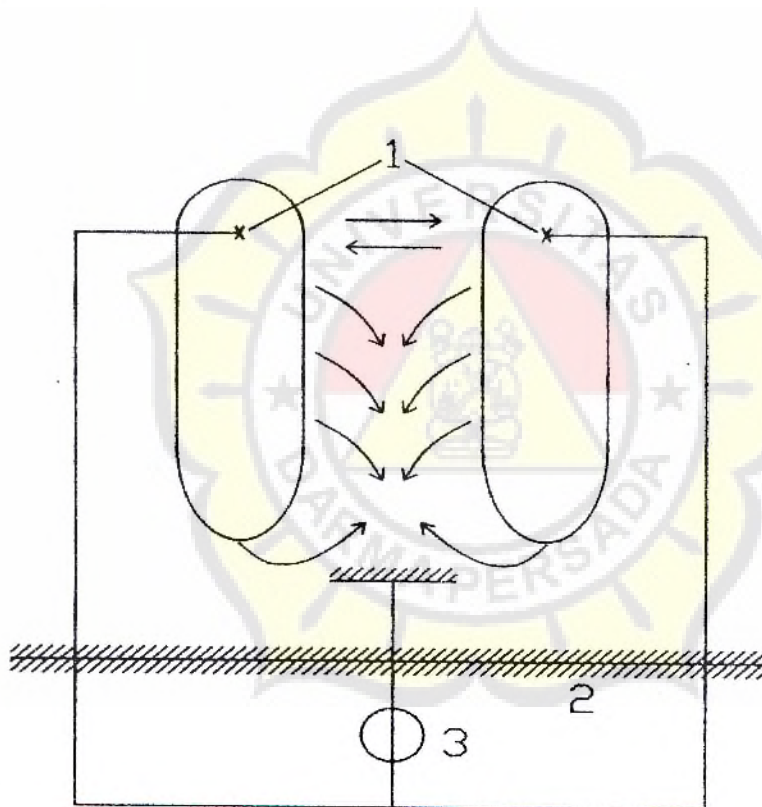
c. Arus listrik untuk pengelasan

Pengelasan dan operasi perawatan pada *metal hulls* yang berada di air harus dihindari pengaruh arus liar (*Stray Current*)

terhadap badan kapal. Pada saat kapal terapung di air dan dilakukan proses pengelasan maka *power supply* yang digunakan harus diisolasikan dengan cara menempatkan *power supply* tersebut diatas kapal. Jadi *power supply* yang dibutuhkan untuk perawatan harus diusahakan menggunakan *power supply* yang berasal dari kapal itu sendiri. Apabila hal ini tidak mungkin untuk dilaksanakan, maka dapat dilakukan dengan *power supply* darat dengan syarat mesin pengelasan tersebut dihindari adanya kontak dengan dasar bumi (*Earth Ground*).

Penyambungan arus listrik pada pengelasan perlu diperhatikan intensif, pengaruh arus listrik pada pengelasan harus diperhitungkan, serta turunnya tegangan pada pengelasan kemungkinan bisa saja terjadi sepanjang sembarang titik pengelasan. Pada pengelasan kapal yang sedang terapung, baik pada bangunan kapal baru atau reparasi kapal, dapat dilaksanakan bersamaan pada beberapa titik pengelasan. Jumlah arus listrik keseluruhan dapat mencapai ribuan ampere. Sedangkan perbedaan potensial antara dua titik pada kapal dapat mencapai beberapa mili volt, selanjutnya perbedaan potensial ini akan menimbulkan pengkaratan yang intensif pula.

Badan kapal dapat dihubungkan dengan kutub negatif dari generator listrik pada beberapa titik di kapal. Pada hubungan tersebut harus betul-betul diadakan hubungan yang baik sebab bila tidak, maka dapat menimbulkan kebocoran arus atau arus balik. Pada gambar II.2 terlihat arus listrik balik dari badan kapal ke air.



1. Tempat pengelasan
2. Tambatan
3. Generator las

Gambar II.2 Hubungan Arus Listrik Balik Dari Badan Kapal Ke Air

Pada kejadian ini sekitar seperempat arus listrik yang digunakan akan berbalik ke kutub negatif melalui air laut. Apabila pengelasan hanya berlangsung pada kapal yang pertama saja, maka kapal yang pertama akan sebagai anoda dan kapal yang kedua sebagai katoda, hal ini disebabkan kapal kedua kenyataannya sebagai kelanjutan pengardean kutub negatif. Arus balik yang terlihat pada gambar sebagai anak panah, akan mengakibatkan korosi.

Untuk beberapa kapal yang sedang tambat pada tambatan dan dilakukan proses pengelasan, maka sebaiknya untuk tiap-tiap kapal digunakan generator atau mesin las tersendiri. Perlu diperhatikan pula apabila dipakai kabel listrik negatif dengan isolasi yang jelek, dalam kejadian ini arus listrik balik relatif lebih besar dan pada beberapa tempat tertentu intensifnya semakin lebih besar disebabkan lebih besarnya tahanan kabel yang dihubungkan dengan badan kapal. Walaupun tukang las berusaha membersihkan dengan baik tempat persinggungan dengan kutub negatifnya, tetapi kenyataannya sering terjadi terbakarnya kabel listrik. Diusahakan kontak persinggungan yang baik dan permukaan yang licin serta kabel listrik diklem.

d. Pengaruh arus liar (*Stray Current*)

Terjadinya kontak antara dua material yang berbeda dapat menimbulkan korosi. Suatu kapal aluminium yang tambat dalam waktu yang cukup lama pada dermaga baja, kapal baja dan struktur material lain, maka untuk tali tambatnya digunakan tali manila atau *synthetic fiber rope* sebagai pengganti *wire rope*. Terjadinya persentuhan antara lambung kapal dengan dermaga baja atau kapal baja sebaiknya dihindari. Kapal dibawah pengaruh arus listrik sembarang atau liar, berarti kapal terletak pada daerah kutub arus listrik liar dari sembarang sumber arus listrik. Sifat arus listrik yang melalui dan yang menyelubungi badan kapal ini akan mempengaruhi terjadinya proses pengkaratan. Keaktifan proses pengkaratan ini terletak dari letak kapal terhadap kutub-kutub arus listrik dimana jelas terlihat daerah negatif dan positif dari kapal. Hal ini dapat terjadi apabila kapal tambat dalam waktu yang cukup lama dan kutub-kutub arus listrik liar tidak berubah, sehingga proses pengkaratan akan berlangsung apabila kondisi yang mempengaruhinya tidak berubah. Proses pengkaratan tersebut akan terlihat pada lambung kapal yang menempel pada

tambahan. Pengkaratan ini terutama disebabkan karena pengaruh kutub arus listrik sembarang tadi.

Kutub-kutub arus listrik sembarang yang memungkinkan terjadinya arus listrik liar antara lain :

- Arus listrik dari suatu sumber listrik.
- Arus listrik yang disambungkan dari sumber listrik misalnya dari generator listrik darat.
- Arus listrik dari pengelasan pada kapal atau pengelasan yang berdekatan dengan kapal tersebut.

II.4 Akibat korosi pada permukaan lambung basah kapal

Banyak negara dalam perhitungan keuangan negaranya dilaporkan bahwa negara mengalami kerugian yang cukup besar akibat korosi pada logam. Indonesia dalam sebuah laporan disampaikan bahwa negara mengalami kerugian akibat korosi adalah sekitar 1,5 trilyun Rupiah setiap tahun. ⁴⁾

Biaya korosi hampir selalu lebih besar dari biaya yang sesungguhnya untuk penggantian. Tambahan biaya ini disebut biaya tak langsung dan biasanya terjadi salah satu dari yang berikut ini :

4) Jauwena, SH. MBA & Suwito, D. P. Ir; *Korosi dan Pencegahannya Pada Lingkungan Air dan Tanah*; PT. Mitra Adhisarana Niaga, Jakarta, 1996, Hal. 4

1. Kerugian produksi selama pekerjaan terhenti akibat perbaikan.
2. Tingginya biaya perawatan.
3. Biaya ganti rugi kepada konsumen atas kerusakan akibat korosi dan kerugian di sektor penjualan akibat hilangnya kepercayaan konsumen.
4. Turunnya mutu produksi akibat kontaminasi dari korosi terhadap bahan-bahan yang digunakan dalam proses produksi.
5. Adanya tambahan modal kerja karena peningkatan biaya pekerja dan besarnya persediaan suku cadang.

Selain yang telah disebutkan, korosi juga mengakibatkan turunnya kekuatan kapal pada tempat-tempat tertentu (lokal) maupun keseluruhan sehingga keselamatan penumpang dan barang tidak terjamin dan umur kapal menjadi semakin pendek, serta memperbesar tahanan kapal sehingga kecepatan kapal berkurang dan makin banyaknya bahan bakar yang digunakan.

II.5 Tempat – tempat pada lambung basah kapal yang sering mengalami korosi

Korosi dapat terjadi pada keseluruhan lambung basah kapal namun pada daerah-daerah tertentu laju korosi sangat cepat, daerah-

daerah ini yang dimaksudkan pada bagian ini, yaitu : pada daun kemudi, buritan kapal, *propeller bracket* karena adanya penonjolan, selain itu jika *propeller* terbuat dari bahan yang berbeda dengan badan kapal, maka akan terjadi *galvanic corrosion*.

1. Pada almari lambung / kotak laut (*sea chest*), katub – katub laut yang sebagian besar terbuat dari bahan *bronze*.
2. Pada sisi atas dari lunas bilga, di daerah tengah panjang kapal sering terjadi perubahan tinggi sarat kapal.
3. Pada sisi bawah dari lunas bilga, akan terjadi kemungkinan tergoresnya badan kapal bila kapal sedang bergerak pada daerah perairan dangkal.
4. Pada daerah haluan kapal, sering terjadi perubahan tinggi sarat dan sering tergoresnya badan kapal akibat benturan dengan benda-benda terapung.
5. Pada lunas, akan mengalami goresan-goresan bila kapal sedang bergerak pada perairan dangkal.
6. Lunas bilga, karena adanya penonjolan.
7. Tempat-tempat yang permukaannya tidak rata termasuk daerah – daerah sambungan las ataupun keling.
8. Tempat-tempat yang memakai pelat ganda (*Doubling Plate*).

9. Kadang-kadang terjadi pada daun *propeller*, yang timbul setelah didahului dengan terjadinya lubang-lubang kecil akibat kavitasi.

II.6 Laju korosi

Baja karbon murni akan mengalami korosi hampir semua lingkungan atmosfer bila kelembaban relatif melebihi 60%. Begitu lapisan butir-butir air terbentuk pada permukaannya, laju korosi ditentukan oleh berbagai faktor lingkungan, tetapi yang paling penting adalah pemasokan oksigen, pH dan hadirnya ion-ion agresif, terutama oksida-oksida belerang dan klorida.

Komposisi baja, kondisi permukaan dan sudut *exposure*nya juga berpengaruh terhadap laju korosi. Penambahan kandungan karbon, mangan dan silikon cenderung mengurangi laju korosi, walaupun ada mangan sulfida dalam baja bubut memproduksi sel-sel galvanik lokal dan mengurangi laju korosi.

Baja giling atau baja yang diasamkan terkorosi lebih cepat dibanding baja yang dibubut atau digosok. Kerak giling (*mill scale*) yakni lapisan oksida besi yang terbentuk selama perlakuan panas, penggilingan dan pengepresan dalam keadaan panas, merupakan katoda yang sangat efektif pada permukaan baja. Lapisan itu terdiri dari

FeO yang berlangsung berbatasan dengan logam, Fe_3O_4 di atasnya dan Fe_2O_3 sebagai kulit yang paling luar. Walaupun kerak giling mungkin bertindak sebagai lapisan penghalang yang dapat mengurangi korosi oleh udara, namun perlindungan yang diberikannya tidak awet. Kerak itu mudah pecah atau gompel apabila logam mengalami beban kejut atau getar dan akibat muai termal yang berbeda, sebagian permukaan logam akan tersingkap dan terkorosi dengan cepat. Cat yang dilapiskan ke permukaan kerak tidak akan ada gunanya karena pasti akan terkelupas bersama kerak.

Pelat dalam posisi tegak lurus lebih lambat menderita serangan korosi dibanding bila dalam posisi 45° . Pada posisi 45° ini, korosi paling banyak dialami oleh bagian yang disebelah bawah. Ketika logam masih telanjang, laju korosi memang tinggi, tetapi laju itu kemudian turun secara konstan berkat terbentuknya lapisan oksida pada permukaan logam.

Laju korosi untuk baja yang terendam dalam air, seperti yang telah dijelaskan oleh interaksi berbagai faktor. Air juga memainkan peran yang sangat besar, yaitu jika meningkatnya laju aliran khusus ditempat terjadinya olakan, akan meningkatkan laju korosi. Dalam air tawar, laju korosi sebesar 0,05 mm/Thn itu sudah biasa walaupun laju

itu mungkin turun hingga 0,01 mm/Thn bila endapan mengandung kapur sudah terbentuk. Dalam air laut, laju korosi rata-rata berada diantara 0,0 – 0,15 mm/Thn⁵⁾ tetapi kalau serangan berupa sumuran, penetrasi yang terjadi jauh lebih dalam. Apabila disitu terdapat kerak, atau bila lokasinya berada di daerah pasang surut sehingga selalu mengalami keadaan basah/kering yang berulang, angka diatas akan menjadi lebih besar. Laju korosi paling cepat untuk baja lunak dalam lingkungan laut terjadi di daerah hempasan gelombang, karena terdapat banyak sekali oksigen. Disini laju korosi mungkin empat atau lima kali lebih cepat dibanding bila logam itu terendam seluruhnya di tempat yang sama.

Untuk struktur baja yang berlapis cat yang digunakan di laut utara biasanya ketebalan sengaja berkisar 12 mm agar dapat mencapai usia 15 hingga 20 tahun.

II.7 Pengendalian korosi pada permukaan lambung basah kapal dengan metode *chatodic protection*

II.7.1. Prinsip dasar proteksi katodik

Perlindungan logam dengan menggunakan metode proteksi katodik sudah dimulai sejak tahun 1950 dan telah digunakan untuk

5) Trethewey, Kenneth R. & Chamberlain, J; *Opcit*, Hal. 283

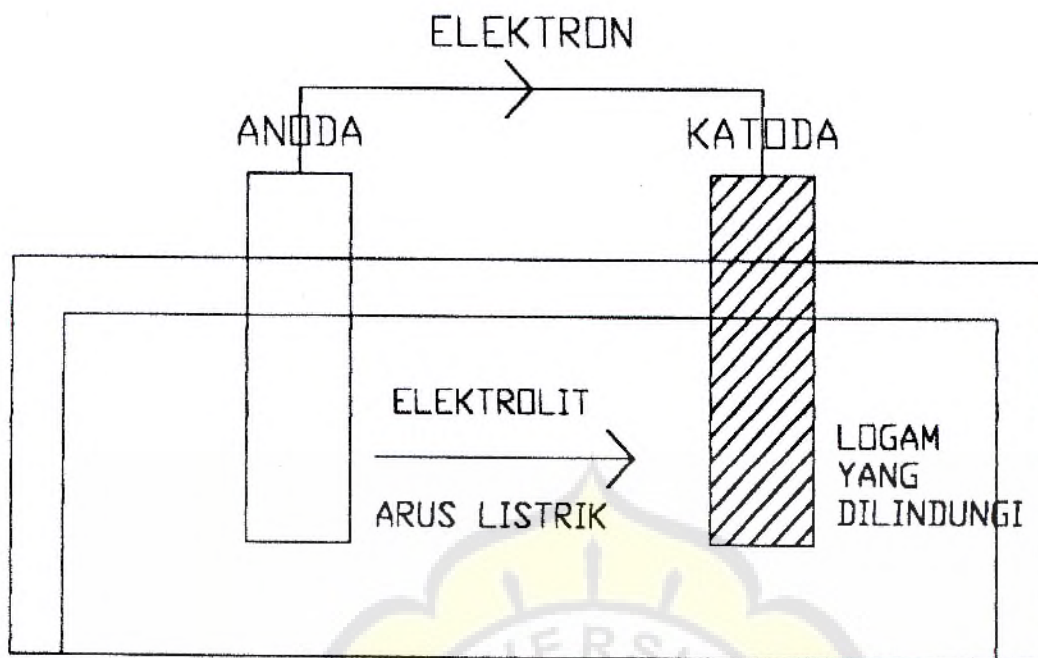
semua jenis logam, tetapi kebanyakan dipakai untuk melindungi baja. Di negara kita cara ini baru digunakan pada tahun 1970.⁶⁾

Sistim proteksi katodik merupakan suatu metode elektrokimia yang sudah umum dan intensif untuk digunakan. Proteksi katodik merupakan suatu metode pencegahan korosi yang digunakan untuk mereduksi atau mengeliminasi korosi dengan membuatnya menjadi katodik dalam sel elektrokimia melalui pemberian arus yang cukup.

Proteksi katodik ini hanya dapat digunakan pada material yang mempunyai sifat konduktor dan berhubungan dengan larutan elektrolit. Proteksi katodik adalah cara perlindungan logam terhadap serangan korosi dengan jalan mengalirkan elektron ke logam tersebut, sehingga potensial logam terhadap lingkungan turun sampai potensial proteksi. Logam secara teknis dianggap tidak terkorosi lagi apabila sistim ini merupakan rangkaian tertutup, seperti terlihat pada gambar II.3.⁷⁾

6) Sulaiman, A; *Proteksi Katodik dan Permasalahannya*; Puslitbang Metalurgi LIPI, Jakarta, 1987, Hal. 1

7) *Ibid*, Hal. 18



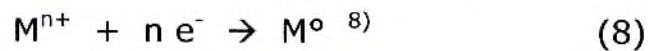
Gambar II.3 Prinsip Proteksi Katodik

Arus listrik mengalir dari anoda sebagai pelindung melalui larutan elektrolit (air) ke katoda sebagai struktur yang dilindungi. Proses ini berlangsung terus hingga anoda tidak berfungsi lagi. Proteksi katodik ini terdiri dari dua macam, yaitu :

a. Metode arus tanding (*Impressed Current Cathodic Protection / ICCP*)

Cara ini memerlukan *rectifier* (penyearah) yang berfungsi sebagai penggerak elektron dari anoda ke katoda sehingga katoda tidak kekurangan elektron atau dengan kata lain tidak mengalami korosi

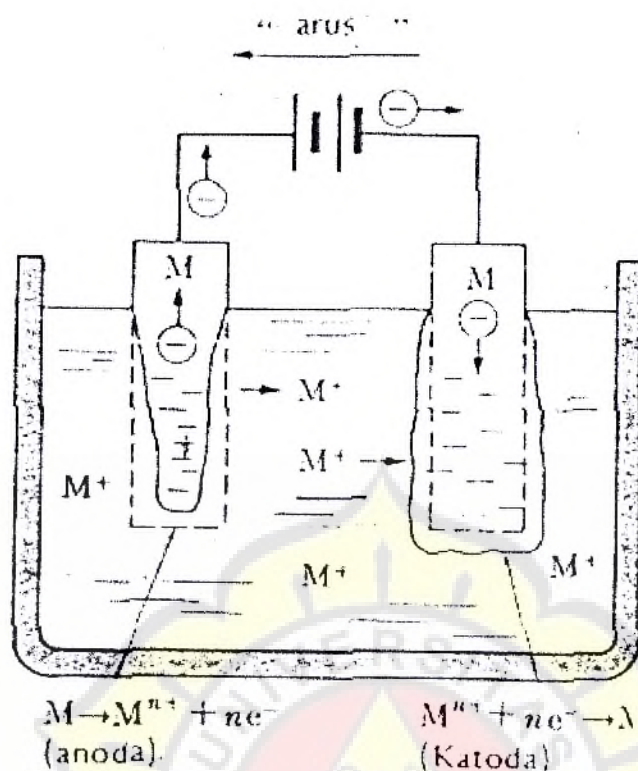
dan sebaliknya anodalah yang akan habis atau mengalami korosi. Pada gambar II.4 elektron yang disebelah kanan disebut katoda, menerima elektron dari rangkaian luar, maka terjadi reaksi berikut :



dan berlangsung proses pelapisan. Ketika reaksi ini berlangsung elektroda sebelah kiri atau anoda menghasilkan elektron untuk rangkaian luar melalui baterai yang bertindak sebagai pompa. Elektron berasal dari atom logam elektroda kiri, yang mengalami oksidasi sampai tingkat valensi yang lebih tinggi.

Pada gambar II.4 untuk pelapisan elektron diperlukan dua elektroda, larutan elektrolit dan sumber elektron untuk penggunaan komersil, elektron dihasilkan oleh suatu sumber arus searah yang dihubungkan dengan elektroda. Pada gambar ini elektroda yang disebelah kanan disebut katoda menerima elektron dari rangkaian luar dan berlangsung proses pelapisan. Ketika proses ini berlangsung elektroda sebelah kiri (anoda) menghasilkan elektron untuk rangkaian luar, sehingga anoda yang mengalami korosi.

8) Van Vlack, Lawrence H; *Ilmu dan Teknologi Bahan*; University of Michigan; PT. Erlangga 1993, Hal. 485

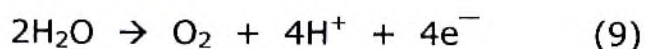


Gambar II.4 Pelapisan secara elektro dengan menggunakan arus dari luar (arus terpasang) ⁹⁾

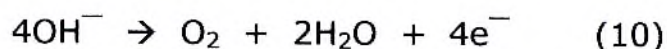
Dalam metode arus terpasang, anoda yang dipasang pada struktur harus dilindungi dengan bahan isolasi untuk melindungi logam di sekeliling dari kerapatan arus yang berlebihan. Keuntungan dari metode arus terpasang adalah bahwa sistim ini dapat menggunakan anoda yang tidak termakan. Dalam elektrolit-elektrolit dengan pH 7 atau kurang, reaksi yang berlangsung pada anoda adalah oksidasi air, seperti terlihat pada reaksi-reaksi berikut : ¹⁰⁾

9) *Ibid*, Hal. 486

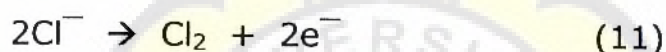
10) Trethewey, Kenneth R. & Chamberlain, J; *Opcit*, Hal. 332



Dalam larutan basa, reaksi yang terjadi adalah oksidasi ion-ion hidroksil.



Penggunaan anoda-anoda permanen ini meniadakan keharusan memperbaharui bahan anoda yang begitu banyak secara berkala sehingga cara ini lebih murah. Di air laut, reaksi anoda yang paling mungkin biasanya adalah oksidasi ion-ion klorida adalah gas klorin.



Selain keuntungan diatas, ada juga beberapa keuntungan lainnya. Namun ada beberapa kerugiannya yang membuat sehingga pemilik kapal lebih banyak mempergunakan anoda korban sebagai pencegah korosi, antara lain :

1. Meskipun sistim *ICCP* telah digunakan untuk melindungi lambung kapal, orang masih menambah anoda-anoda *zinc* sebagai tumbal di tempat-tempat penyedotan air laut, karena disitu efek metode arus terpasang mungkin tidak memadai.
2. Standar penilaian proteksi berdasarkan arus atau tingkat kerapatan arus masih bisa meragukan bila yang sesungguhnya diinginkan adalah informasi tentang potensial sejati seluruh

struktur. Kesulitan mendapatkan data potensial yang andal inilah yang menyebabkan orang terpaksa menggunakan pengukuran kerapatan arus sebagai tolak ukur penilaian.

3. Banyak kapal dengan rancangan ICCP menggunakan lebih dari dua buah elektroda acuan, suatu kenyataan yang menambah ketidakpastian tentang ukuran kemampuan melindungi luas struktur yang besar.
4. Pengetahuan tentang sistim-sistim arus terpasang dalam kondisi-kondisi dinamik sangat kecil. Kebanyakan data pada laporan-laporan penelitian yang sudah diterbitkan diperoleh dari kondisi statik. Hal ini karena sulitnya mendapatkan hasil yang konsisten di lingkungan-lingkungan bergerak. Jadi masih sedikit yang kita ketahui tentang pengaruh gerak kapal di laut terhadap distribusi potensial proteksi pada bagian seluruh lambungnya.

Battery sistim pada kapal sering digunakan sebagai arus DC pada *anodic protection*. Anoda permanen digunakan dalam sistim *impressed current* arus DC. *Platinized titanium*, *platinized niobium*, *platinum*, *duriron* dan *grafit* adalah material yang digunakan sebagai bahan anoda *impressed current* (anoda permanen). Anoda permanen harus dipisahkan/diisolasi terhadap badan kapal dengan

menggunakan *dielectric shielding* untuk mencegah kerusakan pelat *hull* yang dekat dengan atau disekeliling penempatan anoda. Bila tidak dipisahkan maka akan terjadi kerusakan pada pelat kulit atau *chatodic corrosion*. Banyaknya kebutuhan *shielding* tersebut sesuai dengan petunjuk atau *instructionnya*.

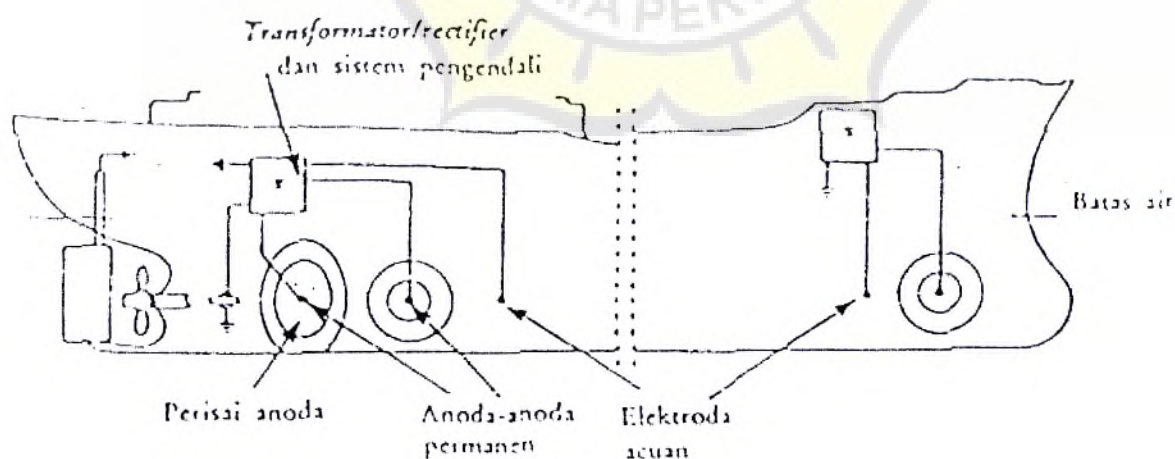
Sistim pengaliran arus mungkin akan mengalami kerusakan atau tidak berfungsi disebabkan karena :

- *Power supply* atau *battery* rusak.
- Kabel putus, terlepas atau sambungannya kurang baik.
- Anoda terlepas atau hilang.
- Anodanya terkena suatu lapisan film, cat atau hasil korosi.
- Pengaturan yang salah atau hubungan yang kurang tepat.

Hubungan sumber arus *DC* dengan anoda dan badan kapal harus tepat. Bila terjadi hubungan yang salah, dengan kutub positif dari sumber *DC* dihubungkan dengan badan kapal dan kutub negatif dihubungkan dengan anoda, maka badan kapal akan mengalami pengkaratan yang tajam. Sebuah contoh yaitu pada percobaan yang dilakukan terhadap sebuah kapal perang Angkatan Laut Kerajaan Inggris, *HMS – Blackwood*, ternyata justru menimbulkan efek yang sangat memalukan ketika itu ada dua sistim yang diterapkan,

masing-masing untuk melindungi salah satu sisi kapal. Sialnya pada waktu pemasangan, penyambungan kabel ke salah satu sistim terbalik. Akibatnya sisi kapal yang seharusnya terhindar dari korosi malahn larut dengan cepat, sementara anoda yang terbuat dari besi tua sendiri terlindungi. Kesalahan ini baru disadari ketika kapal mulai mengalami kebocoran yang serius.¹¹⁾

Oleh karena itu dalam pengoperasian pencegahan korosi dengan menggunakan metode *impressed current* memerlukan operator yang ahli dan mengerti masalah tersebut agar dapat melakukan pengontrolan sesuai dengan yang dibutuhkan. Gambar berikut merupakan sebuah contoh penggunaan *impressed current* pada sebuah kapal.



Gambar II.5 Contoh sistim proteksi arus terpasang.¹²⁾

11)Trethewey, Kenneth R. & Chamberlain, J; *Opcit*, Hal. 334

12)Trethewey, Kenneth R. & Chamberlain, J; *Opcit*, Hal. 335

b. Metode anoda korban (*Sacrificial Anodes Cathodic Protection* / SACP)

Cara ini dilakukan karena adanya perbedaan potensial dari logam-logam yang dikenal sebagai *Elektromotive Forces Series* atau *Galvanic Series* (Deret Volta), sehingga bila dua jenis logam terhubung secara listrik berada di dalam larutan elektrolit, maka logam yang kurang mulia (potensial rendah) akan terkorosi dan lebih mulia tidak terkorosi. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada bagian berikut.

II.7.2. Proteksi katodik dengan metode anoda korban

Penggunaan anoda-anoda korban pada struktur-struktur baik di lingkungan laut maupun yang tertanam dalam tanah telah dipraktekan selama puluhan tahun dan akan terus menjadi metode proteksi korosi yang sangat penting. Anoda korban relatif murah, mudah dipasang dan bila dibandingkan dengan metode arus terpasang, maka metode ini dapat diterapkan di tempat-tempat yang tidak dilengkapi catu daya. Keuntungan lainnya adalah tidak diperlukan peralatan listrik yang mahal dan tidak adanya kemungkinan salah arah dalam mengalirkan arus, sebagaimana yang telah dialami oleh kapal *HMS – Blackwood*.

Metode anoda korban paling tepat untuk penerapan-penerapan skala kecil, walaupun telah digunakan secara luas dengan hasil yang sama pada struktur-struktur berukuran besar. Meski demikian, untuk itu anoda-anoda harus sering diganti dan kalau dibutuhkan banyak sekali, maka struktur harus diberi tegangan ekstra. Lapisan cat tidak ada yang sempurna, selalu saja ada cacat pada lapisan itu sehingga sebagian permukaan logam berhadapan langsung dengan lingkungan. Upaya ekstra untuk mengurangi jumlah cacat seperti itu menyebabkan biaya pengecatan melambung, apalagi untuk menghilangkannya sama sekali. Sebaliknya biaya proteksi katodik akan menurun bila permukaan logam dilapisi.

Penggunaan anoda korban untuk melindungi lambung kapal kini kurang populer bila dibandingkan dengan metode arus terpasang, tetapi masih dijumpai pada kapal-kapal kecil, karena untuk kasus ini metode arus terpasang tidak ekonomis.

Dalam praktek ada tiga macam logam yang dipergunakan sebagai anoda korban yaitu Magnesium (Mg), Aluminium (Al) dan *Zinc* (Zn). Logam-logam tersebut masih ditambah lagi dengan beberapa unsur paduan misalnya Fe, Ni, Ca, Cd, Hg, Pb, Si, S, Sr, Ti dan lain-lain, yang bertujuan untuk memperoleh karakteristik anoda yang lebih baik. Anoda

Magnesium (Mg) mempunyai potensial yang lebih rendah (lebih negatif) daripada anoda Aluminium (Al) dan Zinc (Zn), karena itu gaya dorongnya lebih tinggi, sehingga lebih efektif bila digunakan untuk lingkungan elektrolit yang konduktifitasnya rendah seperti tanah dan air tawar. Sebaliknya anoda Al dan Zn mempunyai potensial yang lebih tinggi daripada anoda Mg, sehingga gaya dorongnya rendah. Oleh karena itu jenis anoda ini cocok untuk lingkungan elektrolit yang konduktifitasnya tinggi seperti air laut.

Pemakaian Al sebagai anoda korban mempunyai keuntungan yakni kapasitas arusnya relatif tinggi dan lebih tinggi dari anoda yang dibuat dari Zn dan Mg, tetapi karena Aluminium murni cenderung membentuk lapisan oksida (Al_2O_3) yang bersifat pasif, maka perlu penambahan unsur paduan tertentu untuk mempertahankan keaktifannya. Anoda ini baik untuk dipakai pada lingkungan air laut dan banyak dipakai untuk konstruksi lepas pantai. Tetapi pada lingkungan dengan temperatur diatas 176°C anoda ini tidak efektif lagi untuk dipakai. Pada lambung (*hull*) kapal kebanyakan dipakai anoda Zn yang mempunyai tahanan jenis lebih tinggi, hal ini karena disamping lingkungannya adalah lingkungan elektrolit yang konduktifitasnya tinggi dan juga di daerah

lambung (*hull*) kapal terdapat arus/aliran air laut yang bisa menyebabkan erosi. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada tabel II.3 ¹³⁾

Tabel II.3 Hubungan Potensial, Kapasitas dan Tahanan Jenis
Tiga Macam Bahan Untuk Anoda Korban

Logam Dasar	Potensial (Volt)	Kapasitas (Ah / Kg)	Tahanan Jenis (Ohm – M)
Magnesium	- 2,61	2205	1,74
Aluminium	- 1,90	2981	2,70
<i>Zinc</i>	- 1,00	820	7,10

Zinc merupakan bahan anoda yang paling umum dan orang lebih suka menggabungkannya dengan lapisan cat. Anoda-anoda itu dilas atau dibaut ke dinding lambung kapal. Seringkali dalam susunan yang cukup rapat pada bagian buritan, karena bagian itulah yang paling membutuhkan perlindungan. Disini olakan hebat yang disebabkan oleh putaran baling – baling yang cenderung merusak lapisan pelindung dan selanjutnya dinding segera mengalami korosi benturan (*impingement corrosion*). Korosi kavitasi (*cavitation corrosion*) juga bisa dialami oleh bagian ini. Disamping itu komponen-komponen yang dipasang pada bagian buritan seperti baling-baling sering dibuat dari paduan bukan besi (umumnya paduan tembaga) dan ini bisa menjadi katoda yang

13) Darmadi, Imam & Yulianto, Sugeng; *Perlindungan Korosi Dengan Metode Chatodic Protection*; PT. BKI, Jakarta 1993, Hal. 11

begitu aktifnya sehingga selain dengan pengecatan pada bagian buritan juga perlu dilindungi dengan cara katodik. Anoda juga mungkin dipasang pada bagian lunas kapal, serta dalam sistim mesin yakni pada bagian-bagian yang menerima masukan air laut. Pada struktur yang bentuk geometrisnya sederhana, pembagian anoda bisa merata, tetapi pada struktur yang kompleks penempatan anoda lebih rumit dan sering hanya berdasarkan pengalaman terdahulu bukan dari perhitungan ilmiah.

Sebuah faktor lain yang berpengaruh terhadap penggunaan anoda korban adalah efek *throwing power*. Istilah *throwing power* digunakan untuk menerangkan efek proteksi, sehubungan dengan jarak dari anoda ke logam yang dilindungi. Jika karat itu besar, sebagian potensial digunakan untuk mengatasi hambatan elektrolit. Kebanyakan perancang mengandalkan pengalaman mereka di bidang ini dan seringkali faktor seni lebih berperan ketimbang faktor teknik. Bagaimanapun, perhitungan-perhitungan yang melibatkan gradien medan potensial hanya dimungkinkan bila struktur sederhana dan dapat dijadikan dasar ilmiah untuk menentukan lokasi anoda dengan tujuan mengusahakan medan potensial seragam di seluruh struktur.

Bahan untuk anoda yang banyak dan jenisnya tepat bila didistribusikan secara merata diseluruh struktur akan memungkinkan polarisasi katodiknya mencapai potensial lebih negatif daripada itu. Anoda-anoda yang dihubungkan ke struktur dengan tujuan mengefektifkan perlindungan terhadap korosi dengan cara ini disebut anoda – anoda korban (*Sacrificial Anodes*). Karena proteksi ini bergantung pada efek galvanik, perlu sekali mengusahakan agar anoda-anoda mempunyai kontak listrik yang baik dengan struktur yang dilindungi. Anoda-anoda biasanya ditempatkan ke struktur pada titik-titik yang telah ditentukan.

Bahan anoda tumbal tradisional untuk baja dalam air laut adalah *Zinc*. Sir Humphrey Davy dalam tahun 1824 ¹⁴⁾ melaporkan keberhasilan anoda *Zinc* untuk melindungi pelapis tembaga pada kapal perang. Walaupun anoda korban yang digunakan sebelum masa Perang Dunia Pertama hanya untuk mencegah korosi pada tabung kondenser kapal perang. Baru sesudah tahun 1950 teknik itu digunakan pada skala cukup besar. Sejak itu, sebuah paduan Zn yang disebut *C-Sentry R*, yang mengandung 0,1–0,5% Al dan 0,025 – 0,15% Kadmium, telah digunakan secara luas dibidang industri kelautan. R merek dagang *Impalloy Ltd*.

14) Trethewey, Kenneth R. & Chamberlain, J; *Opcit*, Hal. 320

Perlindungan yang diberikan oleh Zn akan luar biasa seandainya logam itu dapat dilarutkan dengan laju yang kurang lebih konstan. Namun biasanya yang terjadi tidak demikian, Zn murni yang tersedia dipasaran, terkorosi di air laut sambil membentuk selapis kulit kedap air yang sangat membatasi keluaran arusnya. Dari bahan-bahan tidak murni (*impurities*) : besi, tembaga dan timbal, yang paling menimbulkan efek merusak anoda adalah besi. Kelarutannya dalam Zn sedemikian rendahnya ($< 0,0014\%$) sehingga kalau lebih maka kelebihan itu akan berupa partikel-partikel terpisah. Ini pada gilirannya membentuk sel galvanik lokal yang menghasilkan suatu lapisan Zn hidroksida/Zn karbonat yang tidak dapat larut dan tidak menghantarkan listrik. Dalam hal ini penambahan Al menguntungkan, karena menyebabkan terbentuknya antar logam Al/Fe yang lebih tidak mulia sehingga mengurangi efek sel-sel korosi lokal. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada tabel bahan-bahan anoda dan sifatnya berikut ini¹⁵⁾.

15) *Ibid*, Hal. 321

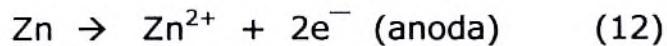
Tabel II.4 Tiga macam bahan untuk anoda korban

dan sifat masing-masing.

Sifat	Paduan seng* (C-sengy) ¹	Paduan aluminium (Galvalum II) ¹	Paduan magnesium (Galvomag) ¹
Komposisi (%)	Al: 0.4-0.6 Cd: 0.075-0.125 Cu: < 0.005 Fe: < 0.0014 Pb: < 0.15 Si: < 0.125 Zn: rem	Al: sisa Cu: < 0.005 Fe: < 0.1 Hg: 0.02-0.05 Si: 0.11-0.21 Zn: 0.3-0.5 Lain-lain: masing-masing < 0.02	Al: < 0.01 Cu: 0.02 Fe: < 0.03 Mg: rem Mn: 0.5-1.3 Ni: 0.001 Pb: < 0.01 Sn: < 0.01 Zn: < 0.01
Kapasitas	780 Ah kg ⁻¹	2640 Ah kg ⁻¹	1232 Ah kg ⁻¹
Pengrusakan (berat)	10.7 kg Ay ⁻¹	3.2 kg Ay ⁻¹	4.1 kg Ay ⁻¹
Pengrusakan (volume)	1518 ml Ay ⁻¹	1180 ml Ay ⁻¹	2296 ml Ay ⁻¹
Ketahanan	6.5 A m ⁻²	6.5 A m ⁻²	10.8 A m ⁻²
E _{kor} (SSC)	- 1050 mV	- 1050 mV	- 1700 mV

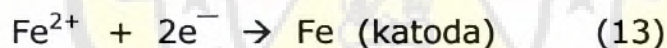
Prinsip utama dari proteksi katodik metode anoda korban adalah mengalirkan elektron dari anoda ke katoda, sehingga logam bertindak sebagai katoda tidak terkrosi, karena dialiri elektron. Sistem pencegahan korosi metode anoda korban yang dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Elektron–elektron *Zinc* yang mengandung atom–atom Zn, mengalami reaksi oksidasi yaitu :



pada reaksi ini.

- Terbentuk ion Zn^{2+} , yang masuk ke dalam larutan.
- Terjadi pelepasan elektron yang tertimbun (tertinggal) dari elektroda Zn. Akibatnya penimbunan ini, elektron Zn kelebihan elektron, sehingga bermuatan listrik negatif. Elektroda Zn ini disebut anoda karena pada elektroda ini terjadi reaksi oksidasi.
- Kation Fe^{2+} yang terdapat dalam larutan mengalami reaksi reduksi yaitu :

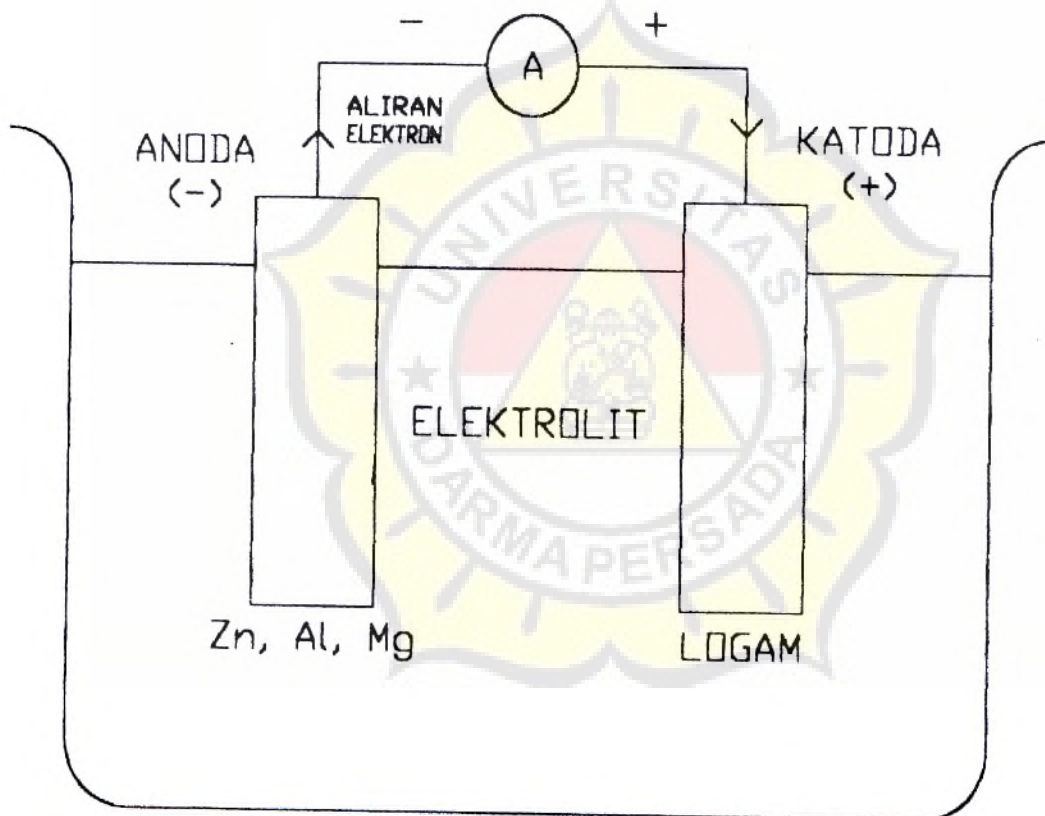


pada reaksi ini.

- Terbentuk atom Fe yang menempel di elektroda Fe.
- Terjadi pengambilan elektron yang diperoleh pada elektroda Fe, karena elektroda Fe kekurangan elektron sehingga bermuatan listrik positif. Elektroda Fe disebut katoda karena pada elektroda ini terjadi reaksi reduksi.

Terbentuknya atom Fe yang menempel pada elektroda Fe yang dapat menanggulangi atau memperlambat laju korosi pada logam Fe.

Bahan anoda korban yang biasanya dipakai untuk melindungi logam (katoda) ada tiga macam yaitu : Zn, Al dan Mg. Dari anoda-anoda ini mengalirlah arus listrik ke katoda melalui elektrolit, sehingga katoda tidak kekurangan elektron. Hal ini yang menyebabkan sehingga katoda tidak mengalami korosi. Perhatikan gambar II.6 ¹⁶⁾.



Gambar II.6 Sistem kerja proteksi katodik metode anoda korban dengan sebuah amperemeter.

16) *Ibid*, Hal. 37

Perawatan secara teratur di galangan kering perlu sekali sehingga anoda-anoda yang telah termakan digantikan dengan yang baru. Pada setiap pemeriksaan orang akan menemukan bahwa kebanyakan anoda telah termakan. Penggantian anoda korban secara keseluruhan dengan demikian termasuk prosedur perawatan yang rutin.

Kiranya penting untuk dicatat bahwa dalam kegiatan-kegiatan semacam ini anoda-anoda sering ikut dicat oleh pekerja-pekerja yang kurang mendapatkan informasi ketika mereka bertugas mengecat seluruh lambung kapal.

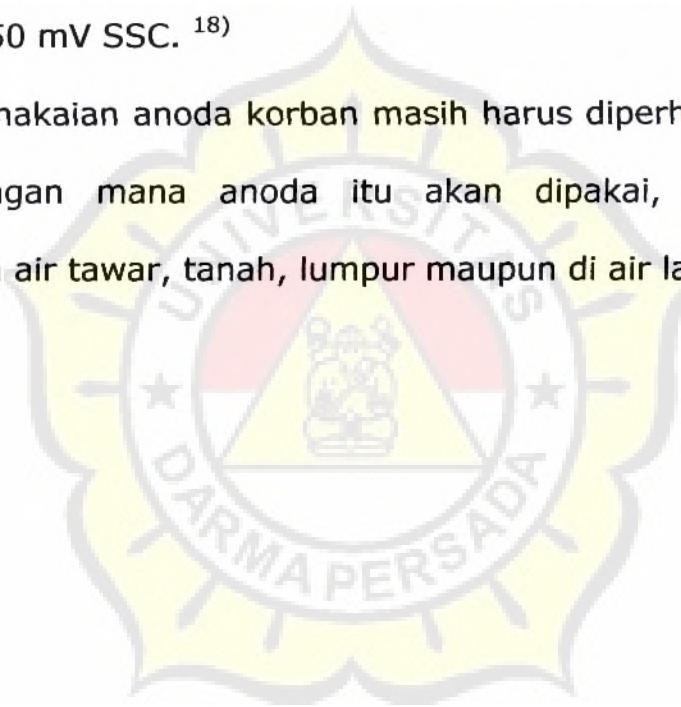
II.7.3 Persyaratan dasar *chatodic protection*

Secara umum persyaratan dasar yang diperlukan sebagai anoda antara lain : ¹⁷⁾

- Memiliki potensial yang cukup negatif untuk menyediakan arus yang memadai, semakin negatif potensialnya maka anoda semakin reaktif.
- Kapasitas arus per satuan berat, hal ini menentukan banyaknya anoda yang diperlukan.
- Nilai ekonomisnya.

17) Darmadi, Imam & Yulianto, Sugeng; *Opcit*, Hal. 11

- Efisiensi pemakaian anoda. Efisiensi yang tinggi adalah harapan dari perencana, jangan sampai perhitungan jumlah anoda yang ditentukan secara teoritis terlalu menyimpang dengan jumlah yang harus dipakai.
- Memiliki potensial proteksi antara -800 mV SSC sampai dengan -900 mV SSC. Harga yang biasanya dipakai oleh perencana adalah -850 mV SSC. ¹⁸⁾
- Dalam pemakaian anoda korban masih harus diperhatikan juga di lingkungan mana anoda itu akan dipakai, apakah di lingkungan air tawar, tanah, lumpur maupun di air laut.



18) Trethewey, Kenneth R. & Chamberlain, J; *Opcit*, Hal. 315