



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERBANDINGAN EFISIENSI ANODA ALUMINIUM PADA LINGKUNGAN
AIR LAUT DAN PASIR LAUT**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik (ST.)**

**ENRIKO FADLY
0405040244**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
JUNI 2009**

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

PERBANDINGAN EFISIENSI ANODA ALUMINIUM PADA LINGKUNGAN AIR LAUT DAN PASIR LAUT

Yang dibuat untuk melengkapi persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Logam Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau instansi manapun kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 26 Juni 2009

Enriko Fadly
NPM 0405040244

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Enriko Fadly
NPM : 0405040244
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Perbandingan Efisiensi Anoda Aluminium Pada Lingkungan Air Laut dan Pasir Laut

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Andi Rustandi, MT ()
Penguji 1 : Prof. Dr. Ir. Johnny Wahyuadi S. ()
Penguji 2 : Ir. Yunita Sadeli, M.Sc ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal :

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Departemen Metalurgi Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk dapat menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- 1) Ir. Andi Rustandi, MT, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- 2) Seluruh dosen penguji yang telah memberi masukan untuk penulisan skripsi ini;
- 3) Seluruh dosen-dosen yang telah memberikan saya ilmu dan bimbingan dalam pembelajaran selama menjadi mahasiswa departemen Metalurgi dan Material;
- 4) Muhammad Aduyatatama, S.T yang membantu proses penelitian di laboratorium
- 5) Teman-teman angkatan 2005 yang telah bersama-sama melewati masa kuliah dan banyak membantu saya selama penulisan skripsi ini
- 6) Seluruh mahasiswa departemen Metalurgi dan Material, baik senior maupun junior yang mendukung saya selama kuliah
- 7) Seluruh karyawan dan staf departemen Metalurgi dan Matreial yang membantu saya selama kuliah
- 8) Orang tua dan saudara saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
- 9) Seluruh teman-teman saya yang telah memberikan bantuan dan dukungan moral dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa akan membalas segala kebaikan kepada seluruh pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 26 Juni 2009

Penulis



LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Enriko Fadly
NPM : 0405040244
Program Studi : Metal
Departemen : Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

PERBANDINGAN EFISIENSI ANODA ALUMINIUM PADA LINGKUNGAN AIR LAUT DAN PASIR LAUT

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 26 Juni 2008

Yang menyatakan

(Enriko Fadly)

ABSTRAK

Nama : Enriko Fadly
Program Studi : Metalurgi dan Material
Judul : Perbandingan Efisiensi Anoda Aluminium Pada Lingkungan Air Laut dan Pasir Laut.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan efisiensi anoda aluminium pada lingkungan air laut dan pada lingkungan pasir laut. Pengujian efisiensi anoda aluminium pada penelitian ini menggunakan metode DNV RP-B401. Berdasarkan hasil pengujian resistivitas, didapatkan hasil bahwa pada media pasir laut memiliki resistivitas 40,8 Ωcm , lebih besar dibandingkan resistivitas air laut yakni sebesar 20,1 Ωcm . Dari hasil ini dapat diketahui resistivitas pada pasir laut lebih besar daripada air laut. Dari hasil perhitungan efisiensi anoda, diperoleh bahwa anoda aluminium pada lingkungan air laut memiliki efisiensi rata-rata yang lebih besar yaitu sebesar 90,1 % dibandingkan dengan efisiensi rata-rata anoda aluminium pada pasir laut sebesar 88,6 %. Dari penelitian ini diperoleh hasil bahwa berdasarkan nilai efisiensinya anoda aluminium masih dapat dipergunakan baik pada air laut maupun pasir laut.

Kata Kunci:

Anoda aluminium, efisiensi, air laut, pasir laut.

ABSTRACT

Name : Enriko Fadly
Study Program : Metallurgy and Materials
Judul : Comparison of Aluminium Anode Efficiency in Seawater and Sand.

The purpose of this research was to study the comparison of aluminium anode efficiency in the seawater and in the sand. This anode efficiency test was using the DNV RP-B401 standard method. Based on the result of the resistivity calculation, the resistivity of sand was 40,8 Ωcm , it was higher than the resistivity of seawater which was 20,1 Ωcm . From the calculation of the anodes efficiency, the result shown that in seawater aluminium anode efficiency was 90,1%, it was higher from the aluminium anode efficiency in sand which has efficiency of 88,6%. From this research, the aluminium anode was appropriate to be used in seawater or sand consider it's efficiency.

Keywords:

Aluminium anode, efficiency, seawater, sand.

DAFTAR ISI

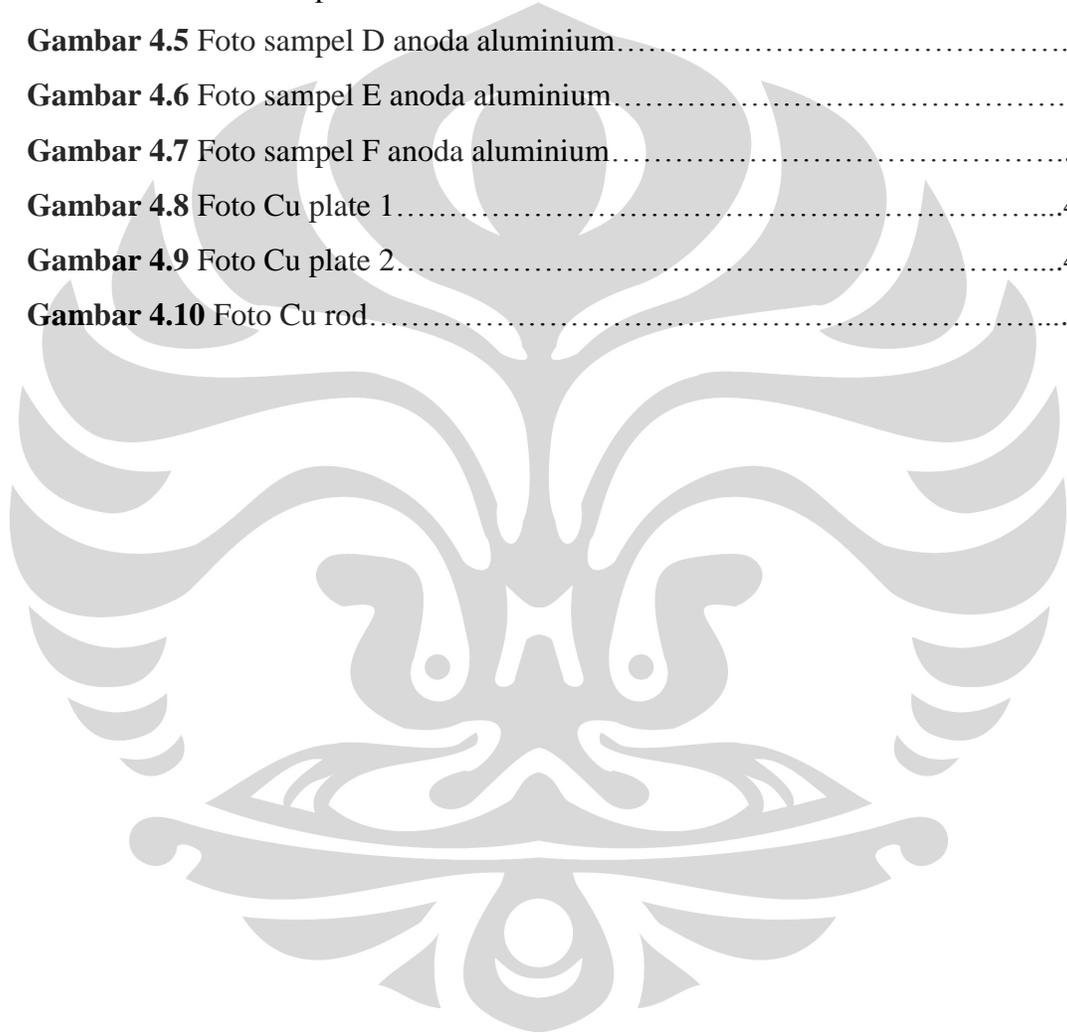
HALAMAN JUDUL	i
HALAMANPERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Batasan Penelitian	2
1.4 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 DASAR TEORI	4
2.1 Lingkungan Air Laut	4
2.2 Definisi Korosi	6
2.3 Jenis-jenis Korosi	10
2.4 Perlindungan Katodik.....	21
2.4.1 Anoda Korban	22
2.4.2 Arus Tanding.....	25

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1 Diagram Alir Penelitian	26
3.2 Alat dan Bahan.....	27
3.2.1 Alat.....	27
3.2.2 Bahan	27
3.3 Prosedur Preparasi Sampel	28
3.4 Pengujian Berat Awal	28
3.5 Persiapan Pengujian Efisiensi Anoda	28
3.6 Pengujian pH.....	30
3.7 Pengukuran Resistivitas.....	30
3.8 Pengujian Potensial	31
3.9 Pembersihan Sampel Uji.....	32
3.10 Penghitungan Berat Akhir.....	33
BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	34
4.1 Hasil Preparasi Sampel	34
4.2 Hasil Pengujian Berat A	34
4.3 Hasil Pengujian pH	35
4.4 Hasil Pengujian Komposisi Anoda Aluminium	36
4.5 Hasil Pengujian Resistivitas	38
4.6 Hasil Pengujian Potensial.....	39
4.7 Hasil Pengujian Berat Akhir	39
4.8 Perhitungan Efisiensi Anoda Aluminium	45
4.9 Pembahasan.....	46
BAB 5 PENUTUP	48
5.1 Kesimpulan	48
DAFTAR PUSTAKA	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Anion dan kation pada air laut.....	4
Gambar 2.2 Komposisi kimia air laut.....	5
Gambar 2.3 Efek NaCl terhadap laju korosi.....	5
Gambar 2.4 Skema terjadinya korosi logam.....	8
Gambar 2.5 Diagram pourbaix logam Fe.....	9
Gambar 2.6 Bentuk-bentuk korosi.....	11
Gambar 2.7 Contoh korosi seragam pada pipa.....	12
Gambar 2.8 Galvanik series untuk air laut.....	13
Gambar 2.9 Korosi galvanic.....	15
Gambar 2.10 Korosi celah pada sambungan lasan.....	15
Gambar 2.11 Morfologi pitting.....	17
Gambar 2.12 Potensial pitting yang dipengaruhi Cl.....	18
Gambar 2.13 Pelarutan membentuk Fe ³	19
Gambar 2.14 Skema proses pertumbuhan pitting pada besi.....	20
Gambar 2.15 Contoh anoda Magnesiun.....	23
Gambar 2.16 Contoh anoda zinc.....	24
Gambar 2.17 Penggunaan anoda Al.....	24
Gambar 2.18 Skema proteksi impressed current.....	25
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	26
Gambar 3.2 Anoda aluminium pada air laut dan pasir laut.....	29
Gambar 3.3 Rangkaian percobaan.....	29
Gambar 3.4 Pengukuran pH.....	30
Gambar 3.5 Pengukuran resistivitas air laut dan pasir laut.....	31
Gambar 3.6 Power supply.....	31
Gambar 3.7 Pengukuran potensial.....	32

Gambar 3.8 Proses pencucian.....	32
Gambar 3.9 Pengitungan berat akhir.....	34
Gambar 4.1 Optical emission spectrometer (OES).....	36
Gambar 4.2 Foto sampel A anoda aluminium.....	40
Gambar 4.3 Foto sampel B anoda aluminium.....	40
Gambar 4.4 Foto sampel C anoda aluminium.....	41
Gambar 4.5 Foto sampel D anoda aluminium.....	41
Gambar 4.6 Foto sampel E anoda aluminium.....	42
Gambar 4.7 Foto sampel F anoda aluminium.....	42
Gambar 4.8 Foto Cu plate 1.....	43
Gambar 4.9 Foto Cu plate 2.....	43
Gambar 4.10 Foto Cu rod.....	44



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Dimensi anoda.....	34
Tabel 4.2 Berat awal anoda aluminium sebelum pengujian.....	35
Tabel 4.3 Berat awal Cu rod dan Cu plate.....	35
Tabel 4.4 pH air laut dan pasir laut.....	35
Tabel 4.5 Komposisi sampel anoda aluminium.....	37
Tabel 4.6 Komposisi paduan anoda Al dan Zn.....	38
Tabel 4.7 Hasil uji resistivitas.....	38
Tabel 4.8 Hasil pengujian potensial.....	39
Tabel 4.9 Data hasil berat akhir anoda Al.....	44
Tabel 4.10 Data hasil berat akhir Cu rod dan Cu plate.....	45
Tabel 4.11 Efisiensi Anoda Al.....	46
Tabel 4.12 Efisiensi rata-rata anoda Al.....	46

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Recommended Practice DNV RP B-401.....50



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 . Latar Belakang

Salah satu permasalahan yang sering terjadi pada industri yang melibatkan penggunaan material logam adalah masalah korosi. Saat ini telah digunakan berbagai macam tipe proteksi untuk melindungi logam dari korosi. Proteksi ini dilakukan dengan pertimbangan biaya perawatan akan lebih ekonomis daripada penggantian komponen bila terjadi kerusakan. Selain kerugian penggantian akibat kerusakan, korosi juga terkadang menyebabkan industri harus menghentikan operasi yang juga akan memberikan dampak kerugian. Oleh karena itu proteksi menjadi faktor yang sangat penting untuk mengurangi laju korosi yang terjadi, karena pada dasarnya korosi tidak dapat kita hentikan namun kita hanya dapat mengurangi laju korosinya saja. Berbagai tipe proteksi yang telah banyak dipakai antara lain adalah dengan proteksi katodik, coating, dan inhibitor.

Proteksi katodik merupakan metode proteksi yang banyak dipakai dunia industri. Proteksi katodik banyak dimanfaatkan, karena prinsip kerja yang sederhana dan dapat dipakai hampir pada semua kondisi. Proteksi katodik akan memanfaatkan anoda korban, yaitu logam lain yang berada dalam media elektrolit yang sama dengan material yang akan dilindungi. Pada dasarnya proteksi katodik akan melindungi material dengan mengalirkan arus dari eksternal anoda ke struktur yang akan dilindungi. Terdapat beberapa jenis anoda korban, anoda korban yang sering dipakai untuk proteksi katodik diantaranya adalah:

Anoda Aluminium

Anoda Zinc

Anoda Magnesium

Untuk penggunaan anoda korban harus disesuaikan dengan kondisinya. Setiap akan bekerja dengan baik pada lingkungan tertentu. Sehingga dalam aplikasi, industri harus memilih jenis anoda korban yang sesuai. Ketidaksihesuaian anoda korban yang dipakai dengan lingkungan, akan menyebabkan anoda tidak bekerja dengan baik, bahkan tidak akan memberikan proteksi kepada struktur logam yang akan dilindungi.

Salah satu industri yang banyak memanfaatkan proteksi katodik ini adalah industri pengeboran di lepas pantai. Pada pengeboran lepas pantai banyak dibangun struktur dari logam untuk keperluan operasional. Pada lingkungan laut ini banyak memanfaatkan proteksi katodik, dengan menggunakan anoda korban jenis Aluminium. Hal ini karena Anoda Aluminium membutuhkan ion Cl^- untuk bekerja dengan baik, dan ion Cl^- ini terkandung pada air laut.

Penggunaan anoda Aluminium pada lingkungan laut ini sebenarnya terbagi menjadi dua daerah penggunaan. Anoda Aluminium terkadang dipasang pada struktur yang berada pada air laut. Namun sebagian struktur yang tertanam di dasar laut juga menggunakan proteksi katodik. Hal ini membuat ada anoda Aluminium yang ditanam di dasar laut. Perbedaan mendasar dari kedua kondisi ini yaitu anoda Aluminium yang ditanam akan berada pada media pasir laut, sedangkan yang tidak ditanam hanya berada pada media air laut saja.

Saat ini telah banyak penelitian yang membahas pemakaian Anoda Aluminium di laut. Namun, penulis dan pembimbing akan meneliti perbandingan efisiensi dari anoda Aluminium jika dipakai pada lingkungan air laut dan jika tertanam di dasar laut.

1.2. Tujuan Penelitian

1. Untuk membandingkan efisiensi anoda Aluminium pada air laut dengan efisiensi anoda Aluminium pada pasir laut.

1.3. Batasan Penelitian

1. Penelitian dilakukan pada skala lab dengan menggunakan media air laut dan pasir laut.
2. Efisiensi dihitung dari arus dan massa anoda yang berkurang sebelum dan sesudah pengujian.
3. Pengujian dilakukan mengacu kepada standar pengujian DNV RP-B401

1.4. Sistematika Penulisan

Bab I berisi latar belakang, tujuan penelitian, batasan penelitian, dan metode penulisan.

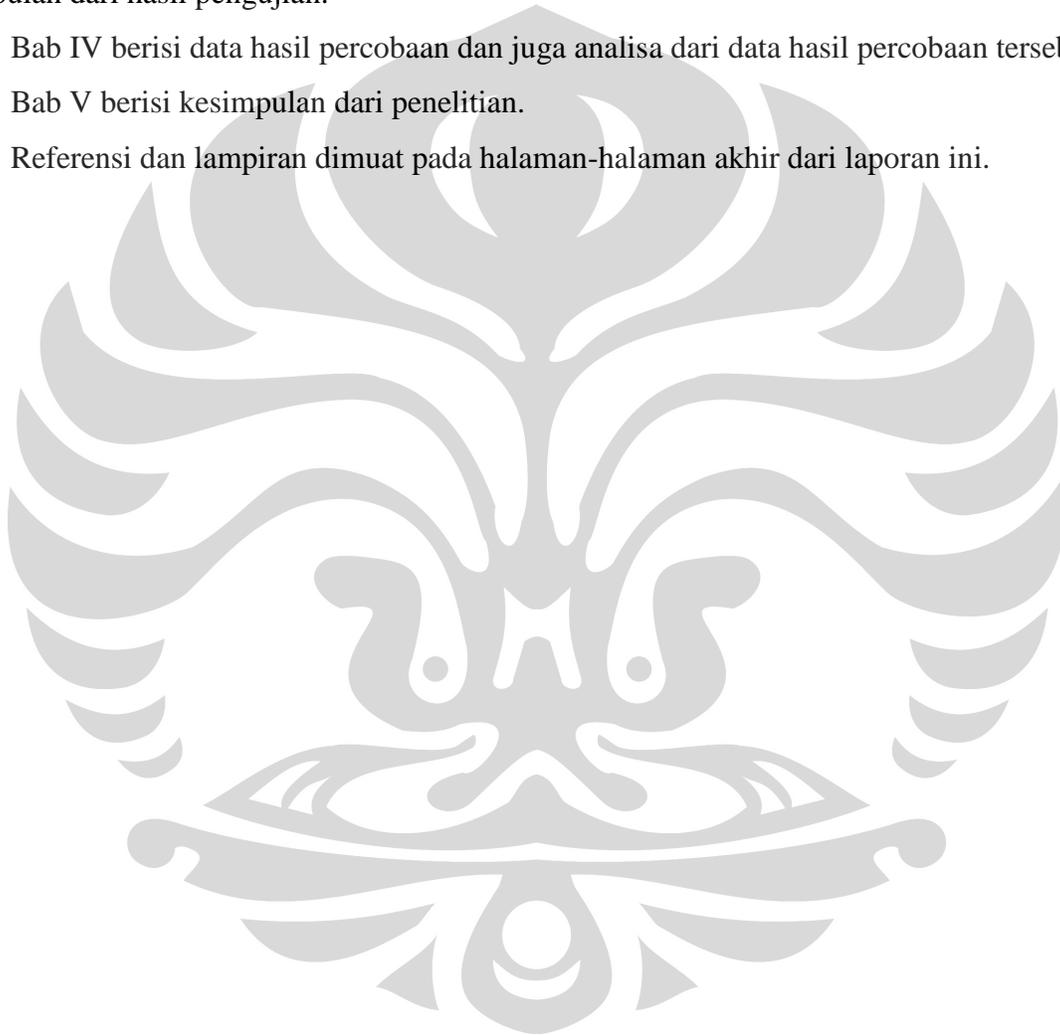
Bab II menjelaskan teori mengenai korosi, proteksi katodik, dan penggunaan anoda Aluminium di Laut.

Bab III menjelaskan proses penelitian, mulai dari proses preparasi sampel, pengujian, dan kesimpulan dari hasil pengujian.

Bab IV berisi data hasil percobaan dan juga analisa dari data hasil percobaan tersebut.

Bab V berisi kesimpulan dari penelitian.

Referensi dan lampiran dimuat pada halaman-halaman akhir dari laporan ini.



BAB 2

DASAR TEORI

2.1. Lingkungan Air Laut

Lebih dari 70% permukaan bumi tertutup oleh air laut, sehingga performa material yang akan digunakan pada struktur yang memiliki hubungan terhadap lingkungan air laut perlu diteliti performanya. Jenis material yang ada dewasa ini memiliki jangkauan karakteristik yang luas terhadap lingkungan air laut itu sendiri. Salah satu faktor yang perhitungkan adalah waktu pemaparan struktur pada air laut. Jika dilihat berdasarkan kondisi pemaparannya, kinerja atau performa material yang digunakan dibagi atas beberapa zona: atmosfer, daerah *splash*, *tidal*, *shallow ocean*, *deep ocean*, dan *mud* (lumpur).

Pada dasarnya air laut terdiri atas berbagai unsur, dimana beberapa dari unsur ini merupakan penyebab terjadinya korosi. Ion yang terkandung di lingkungan air laut biasanya hadir sebagai ion yang berpasangan atau ion kompleks dan sangat jarang sebagai ion tunggal. Berikut adalah ion anion dan kation serta komposisi kimia yang terkandung di air laut:

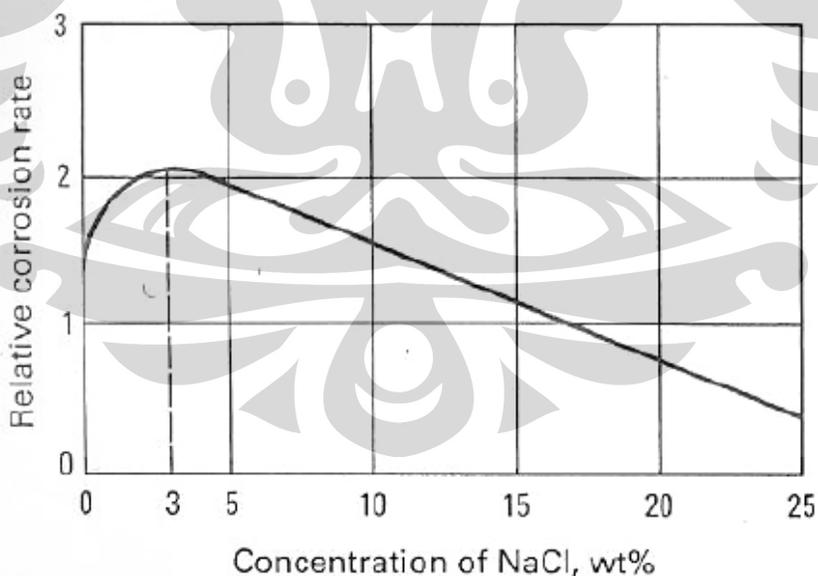
Anions	Parts Per Million	Milliequivalents Per Litre
Chloride	18980	535.3
Sulfate	2649	55.2
Bicarbonate	142	2.3
Bromide	65	0.8
Fluoride	1.4	0.07
Borate	24.9	0.58
		594.25
Cations		
Sodium	10561	459.4
Potassium	380	9.7
Magnesium	1272	104.4
Calcium	400	20.0
Strontium	13	0.3
		593.8

Gambar 2.1 Anion dan kation pada air laut^[1]

Compound	Concentration (g/L)
NaCl	24.53
MgCl ₂	5.20
Na ₂ SO ₄	4.09
CaCl ₂	1.16
KCl	0.895
NaHCO ₃	0.201
KBr	0.101
H ₃ BO ₃	0.027
SrCl ₂	0.025
NaF	0.003
Ba(NO ₃) ₂	0.0000994
Mn(NO ₃) ₂	0.000034
Cu(NO ₃) ₂	0.0000308
Zn(NO ₃) ₂	0.0000096
Pb(NO ₃) ₂	0.0000066
AgNO ₃	0.0000049

Gambar 2.2 Komposisi kimia air laut^[1]

Dari tabel diatas kita bisa melihat bahwa salah satu komposisi terbesar dari air laut adalah NaCl. Untuk mensimulasi kondisi dari air laut ini maka kita bisa membuat kondisi air laut dengan larutan 3,5 % NaCl yang merupakan kadar % NaCl dari air laut sebenarnya. Pada kondisi 3,5% NaCl ini kita bisa melihat juga laju korosi yang terjadi pada kurva berikut:



Gambar 2.3 Efek NaCl terhadap laju korosi^[1]

Pada gambar kurva diatas kita bisa melihat pada kadar NaCl 1-3 persen terjadi peningkatan laju korosi hingga mencapai konsentrasi 3,5% NaCl merupakan laju korosi

tertinggi. Kemudian diatas kadar NaCl tersebut laju korosi terus menurun. Dari sini bisa kita ketahui besarnya laju korosi material baja jika berada di lingkungan air laut yang memiliki kadar NaCl 3,5%.

2.2. Definisi Korosi

Korosi dapat didefinisikan sebagai kerusakan atau degradasi mutu suatu material baik material logam maupun non logam karena bereaksi dengan lingkungannya^[4]. Pada material logam, proses korosi melibatkan reaksi elektrokimia yaitu reaksi pelepasan elektron (reaksi oksidasi) dan penerimaan elektron (reaksi reduksi).

Korosi pada logam dapat terjadi karena logam cenderung mencari bentuk senyawa yang lebih stabil seperti bentuk aslinya di alam. Bila dianalogikan, logam yang terkorosi seperti kebalikan dari proses ekstraksi logam tersebut. Besi yang pada awalnya adalah bijih besi (senyawa oksida) yang diolah akan terkorosi oleh air dan oksigen menjadi senyawa oksida.

Untuk mengontrol pertumbuhan korosi maka diperlukan pembelajaran pada ilmu termodinamika yang mempelajari tentang spontan atau tidaknya jalannya suatu reaksi sehingga dapat diprediksi apakah secara teoritis reaksi korosi dapat terjadi. Selain itu pembelajaran kinetika elektroda juga diperlukan untuk menghitung kecepatan reaksi korosi pada suatu material.

Korosi sebagai suatu peristiwa perusakan logam dengan suatu reaksi elektrokimia antara logam dengan lingkungannya, dengan beberapa komponen sebagai syarat terjadinya korosi, yaitu^[9]:

1. Anoda

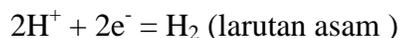
Anoda adalah logam (M) yang akan terkorosi sehingga pada anoda akan terjadi reaksi oksidasi:



2. Katoda

Katoda merupakan material yang akan tereduksi sehingga akan menggunakan elektron dari reaksi yang dihasilkan oleh anoda. Reaksi yang umumnya terjadi di katoda adalah :

- a. Evolusi H₂ dari larutan asam atau netral:



- b. Reduksi pelarutan oksigen pada larutan asam atau netral



- c. Reduksi dari oksidator yang terlarut pada reaksi redox seperti:



3. Media elektrolit, sebagai penghantar arus listrik, dan
4. Adanya hubungan arus listrik antara anoda dengan katoda.

Mekanisme korosi dalam elektrokimia dapat ditinjau dari potensial standar (reduksi), dimana suatu logam yang memiliki potensial reduksi lebih rendah dibandingkan dengan potensial reduksi sistem memiliki kecenderungan spontan untuk beroksidasi. Sebagai contoh logam Fe yang dicelupkan dalam larutan asam akan teroksidasi, karena potensial reduksi Fe lebih rendah dibandingkan potensial reduksi H_2 .



Setiap atom Fe akan kehilangan 2 elektron dan melepas ion positif (kation) Fe^{2+} , di mana kation terlepas dari logam dan terlarut sedangkan elektron akan tetap berada dalam logam. Lingkungan asam kaya akan H^+ terlarut yang memiliki kecenderungan sebagai akseptor elektron, sehingga membatasi akumulasi elektron dalam logam dengan cara bereaksi pada permukaan logam dengan membentuk gas H_2 .



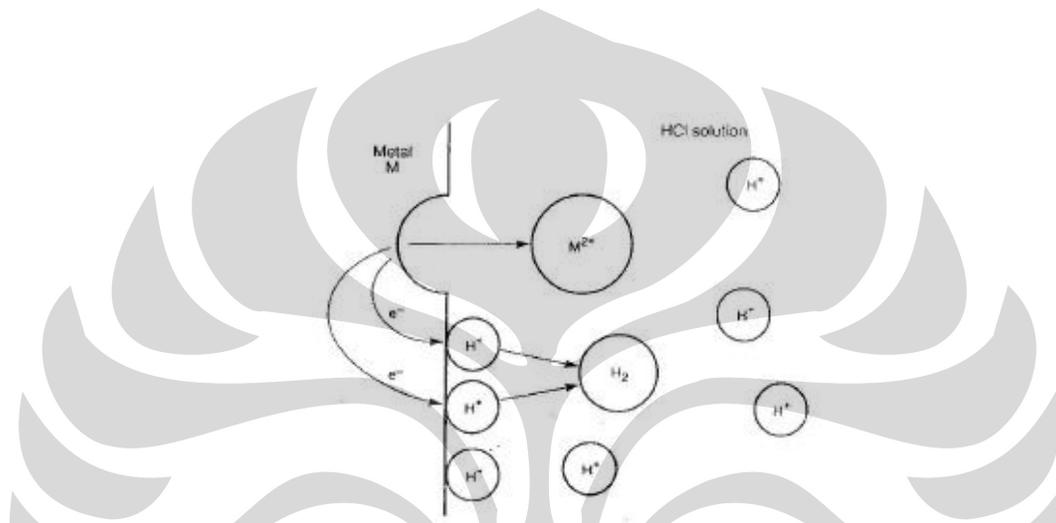
Jika melihat dalam berbagai sudut pandang dari keseluruhan proses oksidasi dan reduksi, peristiwa korosi dapat digolongkan menjadi beberapa reaksi umum seperti di bawah ini^[3] :

Anoda :



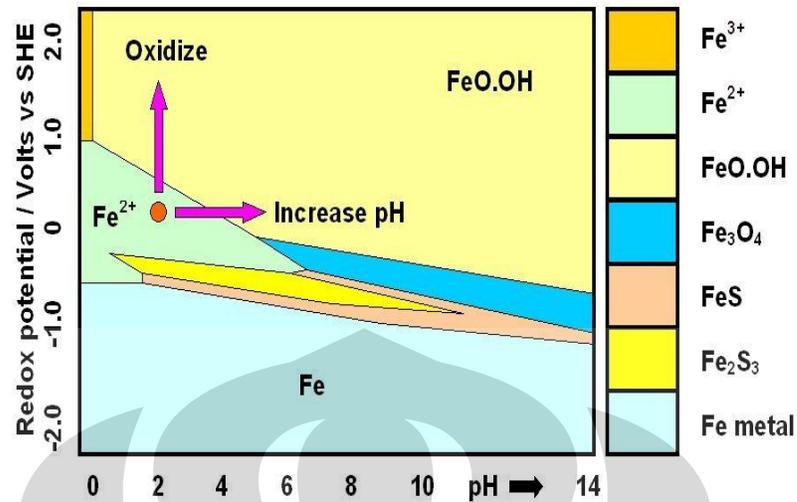
Katoda :

- a. evolusi hidrogen (asam) : $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$ (2.4)
- b. reduksi air (netral/basa) : $\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ (2.5)
- c. reduksi oksigen (asam) : $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ (2.6)
- d. reduksi oksigen (netral/basa) : $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$ (2.7)
- e. reduksi ion logam : $\text{M}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{M}^{2+}$ (2.8)
- f. deposisi logam : $\text{M}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{M}$ (2.9)



Gambar 2.4 Skema terjadinya korosi logam ^[10]

Sel-sel korosi dapat berupa rangkaian sel yang terdiri atas 2 jenis logam yang berbeda, sel dengan perbedaan konsentrasi ion logam atau sel dengan perbedaan konsentrasi oksigen yang kesemuanya menghasilkan perbedaan potensial sebagai faktor utama penyebab terjadinya korosi. Lingkungan merupakan faktor yang sangat penting dalam proses korosi karena lingkungan yang berbeda akan memperlihatkan perilaku korosi yang berbeda. Lingkungan yang agresif dengan banyak kandungan oksidan, seperti oksigen, akan lebih korosif dibandingkan dengan lingkungan dengan aerasi yang minim.



Gambar 2.5 Diagram Pourbaix Logam Fe^[15]

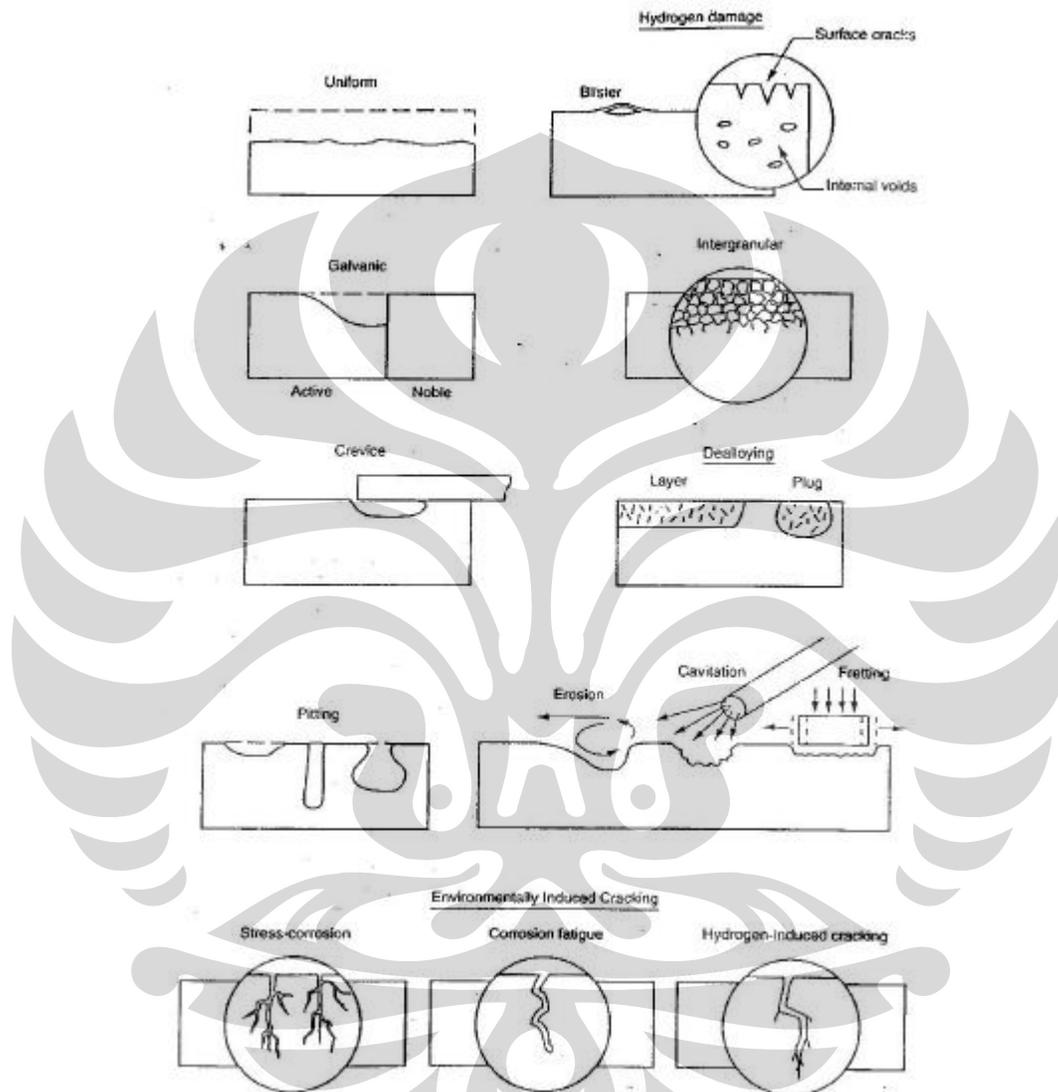
Hal ini juga terlihat jika material berada pada lingkungan dengan pH yang bervariasi maka memperlihatkan perilaku yang berbeda. Perilaku logam dalam lingkungan dengan berbagai pH ditunjukkan oleh diagram *Pourbaix*. Diagram tersebut menunjukkan adanya kondisi terkorosi, *passive* dan *immune* pada logam dengan range pH tertentu.

2.3 Jenis-jenis Korosi

Setiap jenis korosi yang terjadi akan memiliki bentuk yang berbeda pula. Berbagai bentuk korosi terjadi karena proses mekanisme korosi yang berbeda-beda. Jenis-jenis korosi antara lain^[10]:

- a. korosi seragam
- b. korosi galvanic
- c. korosi celah
- d. korosi pitting
- e. HIC (*Hydrogen Induced Cracking*)
- f. *hydrogen damage*
- g. korosi batas butir
- h. dealloying

- i. korosi erosi
- j. SCC (*Stress Corrosion Cracking*)
- k. korosi fatik



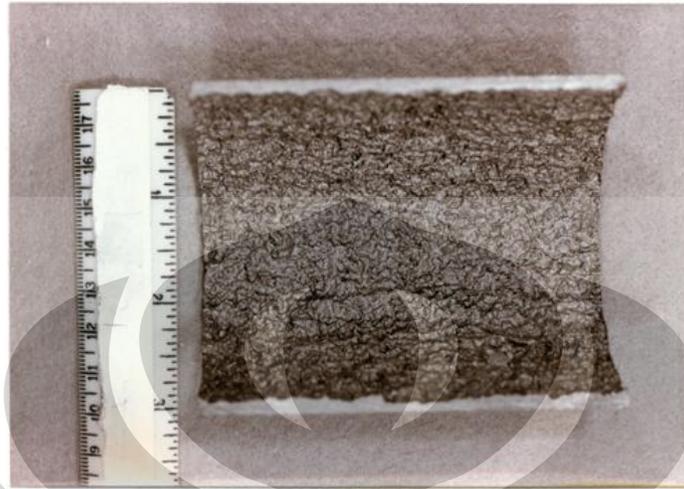
Gambar 2.6 Bentuk-bentuk korosi ^[10]

Beberapa jenis korosi yang dapat terjadi dilingkungan laut antara lain adalah:

a.korosi seragam (*uniform corrosion*)

Korosi jenis ini tergantung pada faktor kecepatan reaksi oksidasi pada permukaan logam, di mana kecepatan oksidasi yang terjadi relatif sama pada seluruh permukaan yang terserang

sehingga terjadi kehilangan logam secara progresif. Lapisan produk korosi yang protektif akan melindungi logam dasar sehingga laju korosi akan menurun.

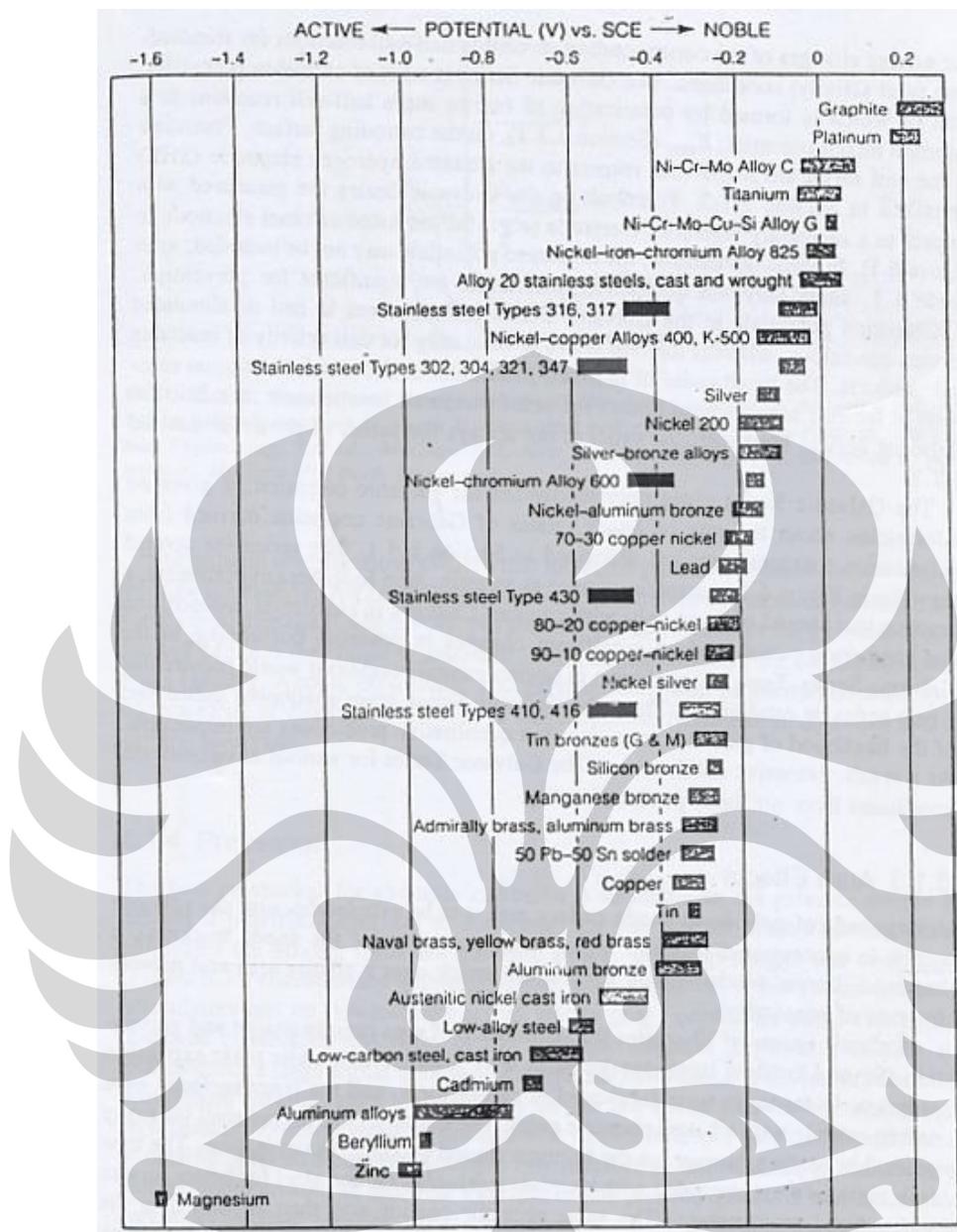


Gambar 2.7 Contoh korosi seragam pada pipa ^[2]

b.korosi galvanik

Korosi galvanik terjadi jika dua buah logam/paduan yang tidak sejenis terhubung secara elektrik dalam suatu elektrolit korosif, salah satu di antaranya terkorosi sedangkan lainnya tidak. Hal ini disebabkan potensial reduksi setiap logam berbeda-beda. Deret emf dapat digunakan untuk memprediksi korosi galvanik, suatu logam akan terkorosi jika dihubungkan secara galvanik dengan logam lain yang memiliki potensial standar lebih besar. Kecepatan korosi jenis ini ditentukan oleh sifat media dan besarnya perbedaan potensial standar logam, di mana kecepatan korosi tinggi pada kondisi resistivitas media kecil, korosif, atau beda potensial standar (ΔE_0) besar.

Susunan potensial elektroda logam-logam dapat dilihat pada *Galvanik Series* pada lingkungan air laut. Susunan galvanik series dapat dilihat pada Gambar 2.8



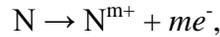
Gambar 2.8 Galvanik series untuk air laut^[10]

Senyawa yang berada di sebelah atas lebih mulia dari pada senyawa yang berada di sebelah bawahnya.

Pada logam M dan N yang saling berpasangan, terjadi reaksi korosi :



logam yang memiliki nilai potensial reduksi yang lebih rendah adalah M, sehingga M menjadi anoda pada sel galvanik. Logam yang lebih positif N memiliki kecepatan reaksi anodiknya:



menurun karena terjadi kelebihan elektron dari logam M. N menjadi katoda dari sel galvanik, dan kecepatan korosi menurun adalah dasar dari proteksi katodik dengan anoda korban seperti M. Bilangan m dan n menunjukkan jumlah pertukaran elektron dari masing-masing reaksi.

Kecepatan korosi galvanik diukur dengan rapat arus galvanik pada anoda karena rapat arus anoda pada setiap titik pada anoda tergantung dari polarisasi anoda dan katoda, konduktivitas larutan, bentuk geometri fisik *couple*, dan perbandingan luas permukaan katoda dan anoda. Faktor-faktor yang lain adalah:

1. Jenis logam
2. Lingkungan korosif
3. Jarak antara kedua logam

Pengaruh jenis logam adalah makin jauh perbedaan antara potensial reduksi logam yang satu dengan dengan logam yang lain maka makin mudah bagi pasangan sel galvanik ini untuk terkorosi. Lingkungan yang agresif/korosif akan mempercepat laju korosi suatu sel galvanik. Bila lingkungan tersebut terdapat zat-zat inhibitor korosi maka akan menghambat laju korosi.

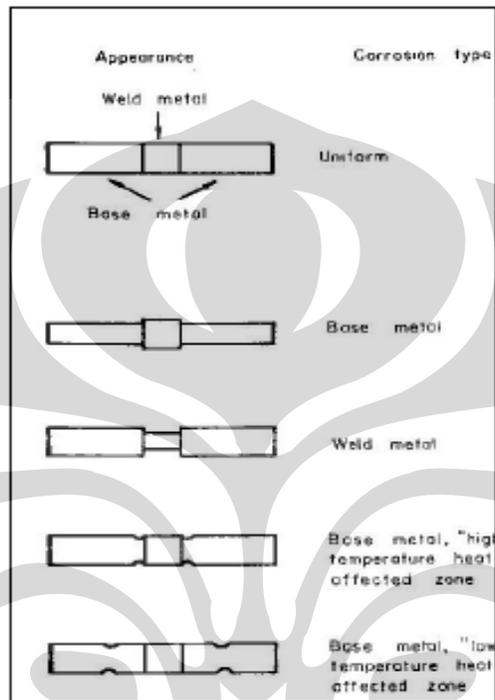
Jika jarak antara kedua logam bertambah besar laju korosi akan menurun. Bila korosi galvanik ini terjadi dalam larutan maka konduktivitas larutan tersebut juga mempengaruhi kecepatan korosi.



Gambar 2.9. korosi galvanik ^[5]

c.korosi celah

Korosi jenis ini dapat terjadi melalui beberapa cara seperti retak atau porositas pada permukaan, cacat desain, sambungan lasan. Umumnya korosi ini memang terjadi pada daerah yang memiliki sambungan (*joint*). Berikut contoh korosi celah:



Gambar 2.10 Korosi celah pada sambungan lasan [12]

Mekanisme korosi celah adalah:

1. Inisiasi karena perbedaan aerasi

Korosi mengkonsumsi oksigen yang terlarut dalam volume yang kecil pada celah, merusak pasifitas dan meningkatkan konsentrasi kation logam, yang akan menarik muatan kation negatif seperti Cl^- dari larutan. Lalu celah akan menjadi tempat inisiasi untuk korosi yang terlokalisasi. Proses inisiasi korosi celah sama seperti pada korosi karena perbedaan konsentrasi pada aliran air. Oksigen yang terlarut akan habis karena digunakan untuk membentuk produk korosi, pada bagian dekat permukaan oksigen yang habis akan diganti. Habisnya oksigen akan membuat logam pada permukaan dalam menjadi anoda dan katoda akan terbentuk pada permukaan logam dengan aliran air oleh reduksi dari kelebihan oksigen yang terlarut. Permukaan

pada aliran air menjadi terpasifasi oleh pembentukan lokal alkali dari reaksi reduksi pelarutan oksigen. Sehingga logam akan terserang korosi di daerah yang kekurangan kelarutan oksigen.

2. Propagasi karena konsentrasi klorida

Konsentrasi klorida dan hidrolisa asam menghasilkan konsentrasi larutan asam klorida di dalam celah menghasilkan anoda yang terlokalisasi yang terhubung dengan area permukaan yang luas sebagai katoda. Korosi celah tumbuh secara *autocatalytic* seiring dengan banyaknya klorida yang tertarik pada celah, menghasilkan reaksi hidrolisis yang mengakibatkan meningkatnya keasaman.

d.korosi pitting

Korosi bisa ditemukan dalam berbagai bentuk, namun yang umum terjadi pada lingkungan air laut dibagi menjadi korosi merata dan lokal (korosi galvanik dan sumuran/*pitting*). Korosi merata merupakan jenis yang paling banyak mengkonsumsi logam, namun jenis korosi lokal lebih berbahaya serta sukar untuk diprediksi dan dikendalikan. Walaupun korosi lokal tidak mengkonsumsi banyak material, penetrasi dan kegagalan yang terjadi lebih cepat dibandingkan dengan yang merata.

Kecepatan korosi dapat dilihat sebagai penipisan ketebalan per satuan waktu dengan rumus berikut :

$$mpy = \frac{534W}{DAT} \quad (2.10)$$

di mana : D = densitas (g/cm^3)

W = massa yang hilang (mg)

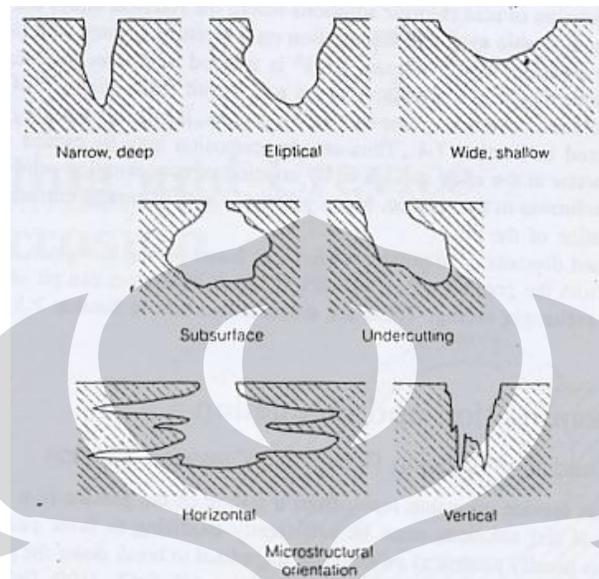
A = luas permukaan (in^2)

T = waktu penetrasi (jam)

Korosi jenis ini hasil dari rusaknya lapisan pasif pada permukaan logam, umumnya berada dalam media yang mengandung klor (Cl).

Pitting tidak dapat diprediksi, khususnya pada kondisi pembentukan pitting yang dalam. Permukaan pitting biasanya tertutup oleh deposit dari aliran proses dan endapan produk korosi.

Berdasarkan bahan penyusun logam dan kondisi kimia lingkungan, morfologi pitting akan bermacam-macam seperti Gambar 2.11

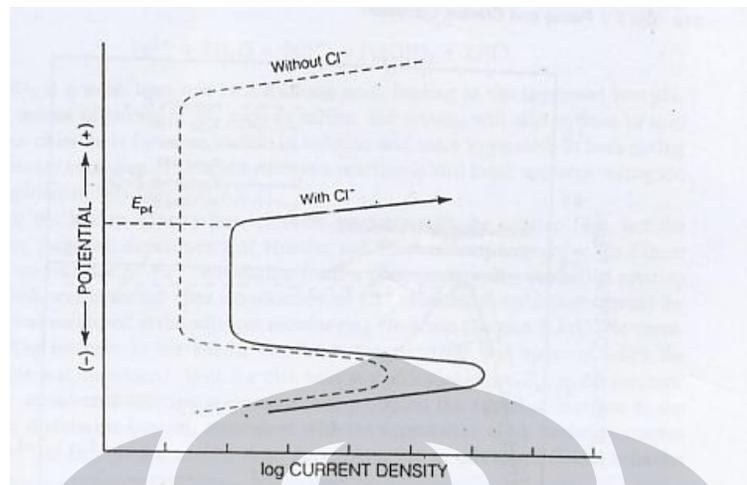


Gambar 2.11 Morfologi pitting^[10]

Serangan korosi celah tergantung dari geometri dan dimensi celah. Celah yang sempit biasanya menghasilkan serangan yang lebih banyak karena volume celah yang kecil dibutuhkan untuk memperkuat serangan korosi celah. Mekanisme korosi pitting dibagi menjadi dua tahap yaitu:^[10]

1. Inisiasi: potensial pitting

Pitting berinisiasi pada potensial pitting, E_{pit} . Kehadiran klorida pada larutan asam akan meningkatkan potensiostatik atau potensiodinamik arus anodik pada semua potensial, tetapi yang paling besar adalah kenaikan arus pada potensial pitting seperti yang digambarkan pada Gambar 2.10. Pitting juga berinisiasi diatas E_{pitt} ketika potensial ditetapkan secara kimia oleh oksidator yang terlarut.



Gambar 2.12 Potensial pitting yang dipengaruhi oleh Cl^-

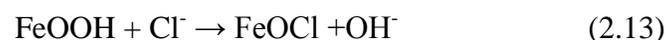
Ketika potensial naik dan mencapai potensial pitting, E_{pit} , konsentrasi Cl^- meningkat pada permukaan pasif stainless steel, hal ini dihasilkan dari gaya elektrostatis antara muatan positif pada permukaan dan muatan negatif Cl^- dari anion. Sehingga akan membentuk "pulau" klorida yang tebal di permukaan logam bahkan pada potensial dibawah E_{pit} . Kandungan klorida yang tinggi, pH lingkungan mikro yang rendah akan tercipta dibawah pulau dengan reaksi hidrolisis, yang akan menyebabkan produk korosi seperti:



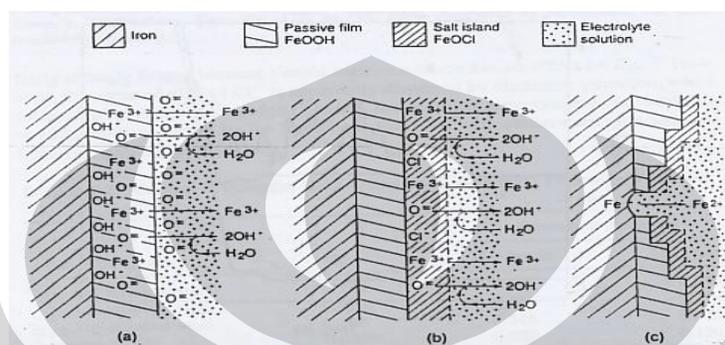
$\text{Fe}(\text{OH})_2$ adalah basa lemah dan HCl adalah asam kuat, sehingga akan menciptakan pH yang rendah. Anion dari asam kuat lain seperti sulfat dan nitrat juga akan menciptakan pH yang asam, tetapi klorida lebih mudah bergerak dalam larutan dan lebih agresif dalam korosi pitting dan celah. Jika ion klorida tidak hadir maka lapisan pasif akan terlarut secara lambat dengan reaksi:



dimana FeOOH merupakan lapisan pasif. Klorida bertujuan sebagai katalis pembebasan Fe^{3+} dengan pergantian dari lapisan terluar dari lapisan pasif (Gambar 2.13b);



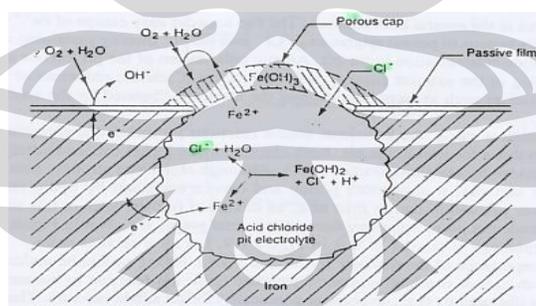
Dimana FeOCl adalah komposisi pulau garam pada lapisan pasif. Pada E_{pit} , klorida dalam jumlah yang cukup berkonsentrasi dalam pulau garam pada permukaan untuk memulai reaksi anodik yang baru pada tahap inisiasi. Peningkatan arus anodik diatas E_{pit} dapat merepresentasikan kurva polarisasi untuk karakteristik proses anodik yang baru pada lingkungan pitting.



Gambar 2.13 (a) Pelarutan lambat lapisan pasif membentuk Fe^{3+} ; (b) kenaikan pelarutan pada pulau garam yang dapat larut membentuk Fe^{3+} ; (c) pelarutan anodik secara langsung pada inisiasi pitting membentuk Fe^{3+} [10]

2. Propagasi: potensial pelindung

Pitting pada besi pada larutan alkali klorida seperti pada Gambar 2.14. menunjukan produksi muatan Fe^{2+} pada anodik menarik anion negatif, seperti Cl^- , pada tempat inisiasi.



Gambar 2.14 Skema proses pertumbuhan pitting pada besi [10]

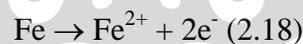
Reaksi hidrolisa



menghasilkan penurunan pH lokal di lokasi inisiasi, sehingga terjadi mekanisme *self-propagating* atau *autocatalytic* untuk pertumbuhan pitting. Larutan asam klorida akan mempercepat pelarutan anoda, yang mengkonsentrasikan klorida dalam *pit* (sumur). Penutup hasil korosi, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, yang tidak larut berkumpul pada mulut pit (sumur) dengan mekanisme: Fe^{2+} berdifusi keluar dari dalam sumur yang asam lalu terjadi oksidasi menjadi Fe^{3+} dan mengendap pada larutan netral. Penutup menghalangi kelurnya Fe^{2+} tetapi cukup berlubang untuk migrasi Cl^- kedalam *pit* (sumur), sehingga memungkinkan untuk terjadi konsentrasi asam klorida yang tinggi. Polarisasi anodik di dalam sumur terjadi dengan cara pemasangan dengan katoda pasif permukaan bagian luar sumur. Reduksi katodik yang terjadi adalah oksidator yang terlarut seperti oksigen akan mengkonsumsi elektron yang dibebaskan oleh reaksi anoda pada sumur, sehingga pertumbuhan pitting tidak dapat berlanjut tanpa reaksi reduksi katodik untuk mengkonsumsi elektron yang dibebaskan oleh reaksi anoda pada sumur.

2.4 Perlindungan Katodik

Perlindungan katodik dihasilkan dari polarisasi katodik dari sebuah permukaan logam yang terkorosi untuk mereduksi laju korosi^[10]. Reaksi yang umum terjadi pada logam Fe dalam air laut adalah :



Polarisasi katodik dari potensial korosi (E_{corr}) pada sistem di atas mengurangi laju reaksi dengan elektron berlebih, di mana menggeser kesetimbangan dari kanan ke kiri. Kelebihan elektron ini akan meningkatkan laju reduksi oksigen dan produksi OH^- dalam cara yang sama saat polarisasi katodik^[10].

Polarisasi katodik ini dapat dilakukan dengan pemberian arus oleh *rectifier*, yang kemudian disebut dengan metode arus tanding, atau dengan menghubungkan logam yang lebih reaktif pada logam yang akan dilindungi, yang dikenal sebagai metode anoda korban.

Proteksi katodik ini merupakan metode yang umum digunakan untuk melindungi struktur logam dari korosi. Sistem proteksi katodik ini biasanya digunakan untuk melindungi baja, jalur

pipa, tangki, tiang pancang, kapal, anjungan lepas pantai dan casing (selubung) sumur minyak di darat. Dan sekarang merupakan salah satu metode yang efektif untuk melindungi baja dari korosi induksi klorida.

Prinsip dari proteksi katodik sederhana. Larutan logam direduksi melalui aplikasi arus katodik. Pada dasarnya, proteksi katodik mengurangi tingkat korosi struktur logam dengan menurunkan potensial korosinya, yaitu dengan membuat logam lebih dekat dengan bentuk *immune*.

Untuk memahami proteksi katodik, kita terlebih dahulu harus memahami mekanisme korosi, dimana harus ada tiga kondisi yang menyebabkan terjadinya korosi:

1. Dua logam yang berbeda
2. Ada elektrolit
3. Dua logamnya terhubung.

Proteksi katodik menghindari korosi dengan mengubah semua muatan-muatan anodik pada permukaan logam menjadi katodik dengan mengalirkan arus listrik (atau electron bebas) dari sumber alternatif.

2.4.1 Anoda Korban (*Sacrificial Anode*)

Perlindungan katodik dengan bentuk ini menggunakan prinsip pasangan galvanik, di mana jika suatu pasangan logam tak serupa terhubung secara elektrik dalam suatu media yang sama, maka logam yang memiliki potensial reduksi lebih rendah/negatif akan mengalami reaksi oksidasi, sehingga logam lainnya akan mengalami reaksi reduksi atau dengan kata lain akan terlindungi dari proses oksidasi (korosi). Material yang digunakan sebagai anoda korban harus memiliki kriteria sebagai berikut:

1. logam aktif dengan potensial korosi lebih kecil/negatif dari potensial korosi struktur yang diproteksi,
2. potensial korosi harus mampu melawan hambatan elektrolit,
3. tidak dalam kondisi pasif pada lingkungan kerjanya,
4. efisiensi tinggi, dan
5. nilai ekonomis tinggi.

Pada saat ini, anoda korban dibuat dalam berbagai bentuk dengan menggunakan *alloy* (campuran logam) dari seng, magnesium dan aluminium. Potensial elektrokimia, kapasitas arus, dan laju konsumsi dari campuran logam ini lebih besar sebagai CP daripada besi.

Anoda korban dirancang agar memiliki voltase aktif lebih tinggi daripada logam yang terdapat pada struktur baja. Untuk mendapatkan CP yang efektif, potensial dari permukaan baja dipolarisasi (didorong) agar menjadi lebih negatif hingga permukaannya memiliki potensial yang seragam. Pada tahap ini, daya dorong yang dapat menyebabkan reaksi korosi menjadi tertahan. Anoda korban kemudian akan terus terkorosi, memakan material anoda hingga suatu saat perlu diganti. Polarisasi disebabkan oleh laju arus dari anoda yang menuju ke katoda. Daya dorong bagi laju arus dari CP adalah perbedaan potensial elektrokimia antara anoda dan katoda.

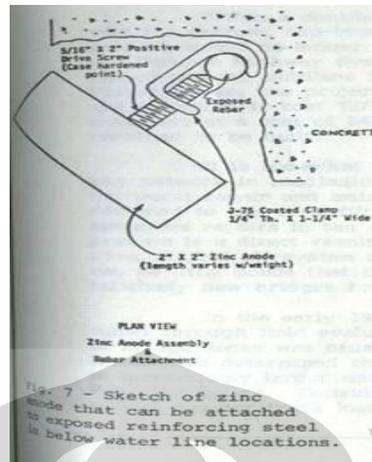
Material anoda korban

1. Anoda magnesium, merupakan anoda korban yang paling sering digunakan pada aplikasi di bawah tanah. Beberapa jenis magnesium oksida telah digunakan di daerah lepas pantai karena mampu mempolarisasi potensial lebih cepat dibandingkan dengan anoda paduan zinc atau aluminium. Magnesium cenderung lebih cepat terkorosi pada air laut. Nilai konsumsi anoda Mg sebesar 7,7 Kg/A/Y.



Gambar 2.15 Contoh anoda magnesium^[6]

2. Anoda zinc, digunakan untuk proteksi katodik di dalam air tawar. Zinc cocok sebagai katodik proteksi pada air tawar. Anoda Zn tidak direkomendasikan untuk dipakai pada temperature di atas 50° C karena pada temperatur ini Zn akan menjadi pasif. Nilai konsumsi anoda Zn sebesar 11,25 Kg/A/Y.



Gambar 2.16 Contoh anoda Zn ^[7]

- Aluminium anode, digunakan pada struktur bangunan di lepas pantai, dimana beratnya yang kecil memberikan keuntungan. Aluminium tidak akan terpasivasi di air laut bila ditambahkan dengan paduan yang tepat, seperti merkuri atau indium. Namun di beberapa tempat masih melarang penggunaan adisi merkuri karena alasan tingkat polusi yang tinggi. Anoda aluminium membentuk lapisan pasif yang dapat dipecahkan oleh ion Cl^- yang banyak terdapat di air laut, oleh karenanya penggunaan anoda Al sangat tepat di lingkungan laut. Konsumsi Anoda aluminium adalah 3,5 kg/A/Y.

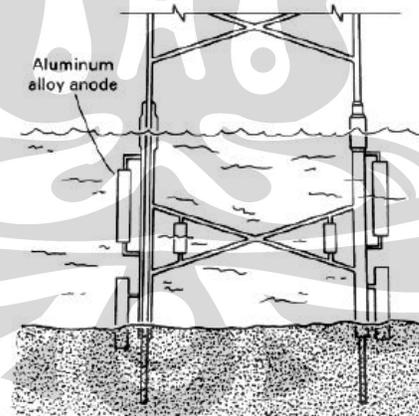


Fig. 10 Welded-on aluminum sacrificial anodes used to protect on offshore platform

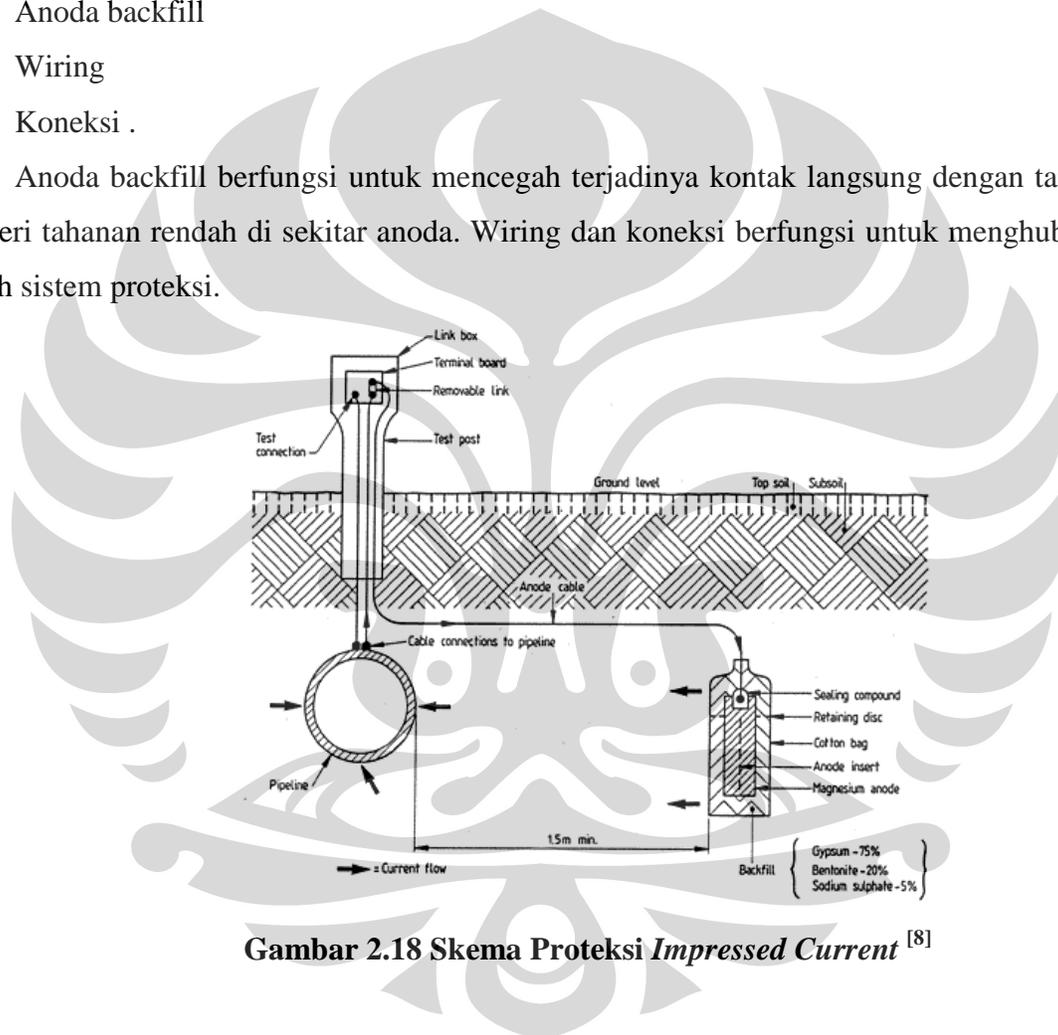
Gambar 2.17 Penggunaan anoda Al

2.4.2 Arus Tanding (*Impressed Current*)

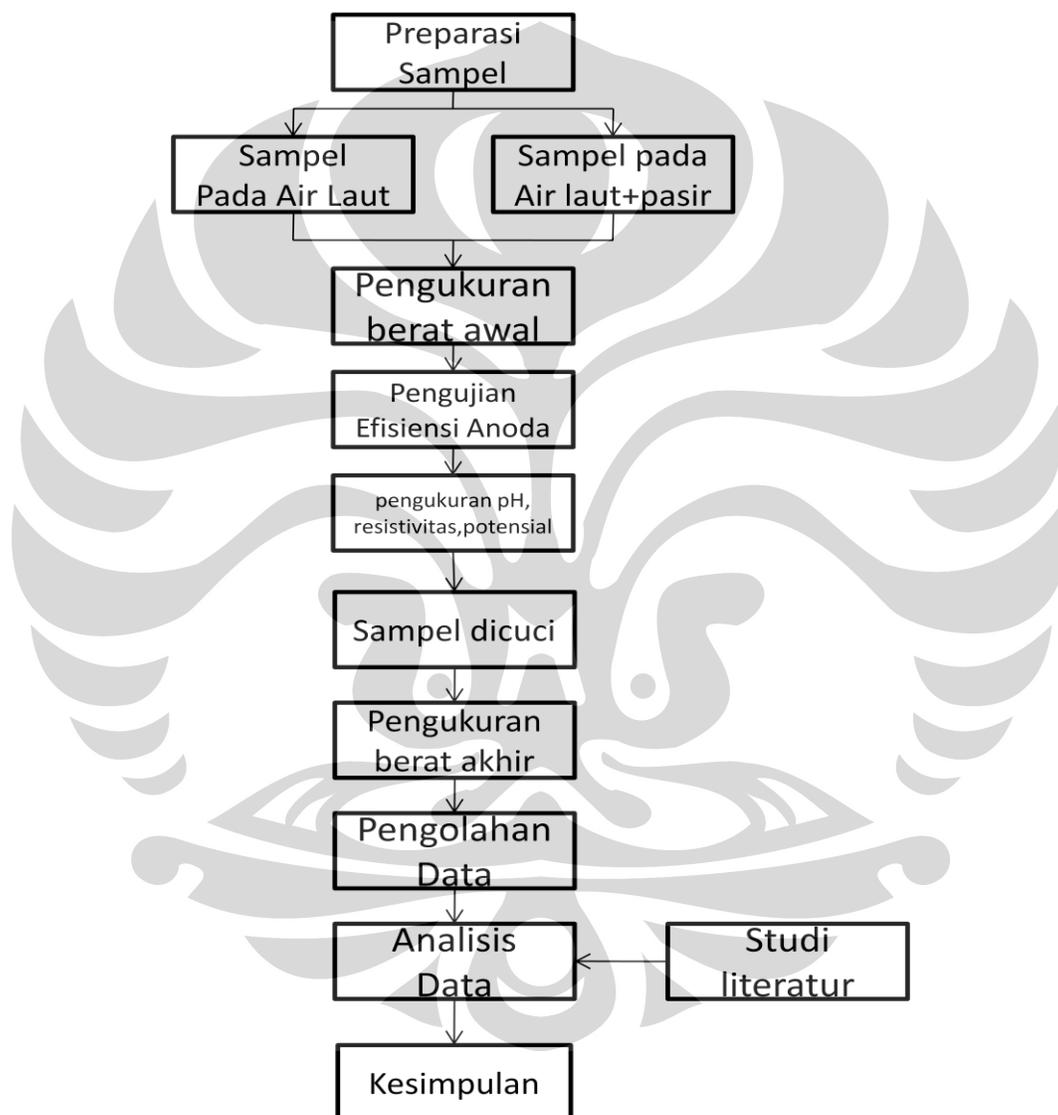
Sistem proteksi arus tanding merupakan proteksi katodik dengan menggunakan anoda yang bersifat inert dan memanfaatkan sumber arus DC untuk mengalirkan arus proteksinya. Anoda yang biasanya dipakai pada system arus tanding ini adalah *silicon chromium ferro anode* atau *mixed metal anode*. Komponen yang terdapat pada sistem impressed current ini antara lain:

1. Power supply
2. Anoda inert
3. Anoda backfill
4. Wiring
5. Koneksi .

Anoda backfill berfungsi untuk mencegah terjadinya kontak langsung dengan tanah dan memberi tahanan rendah di sekitar anoda. Wiring dan koneksi berfungsi untuk menghubungkan seluruh sistem proteksi.



Gambar 2.18 Skema Proteksi *Impressed Current* [8]

BAB 3**METODOLOGI PENELITIAN****3.1 Diagram Alir Penelitian****Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian**

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

1. *Power supply*
2. Multimeter
3. Wadah/ember
4. Kabel
5. *Rod wire*
6. Coloumeter
7. Resistor
8. Timbangan

3.2.2 Bahan

1. Anoda Aluminium
2. Air laut
3. Pasir laut
4. Amplas
5. Pipa baja
6. $\text{CuSO}_4 + 5\text{H}_2\text{O}$
7. Larutan H_2SO_4
8. Ethanol
9. Aquades

3.3 Prosedur Preparasi Sampel

Material yang dipergunakan adalah anoda Aluminium. Untuk uji coba anoda Aluminium ini maka sampel Al harus dipreparasi dengan bentuk silinder dan ukuran diameter 10 mm dengan

panjang 50 mm yang dibuat dengan proses *machining*. Sebuah lubang dengan diameter 2 mm dibuat dengan dibor disalah satu ujung spesimen untuk dihubungkan dengan kawat tembaga. Sampel kemudian dibersihkan dengan air, setelah itu dicuci dengan ethanol lalu dikeringkan

3.4 Pengujian Berat Awal

Penghitungan berat awal dilakukan setelah seluruh sampel bersih dan kering. Penghitungan ini dilakukan untuk mengetahui berat awal dari anoda aluminium dan berat awal dari *Cu rod* dan *Cu plate* yang dipergunakan pada coloumeter untuk mengetahui besarnya arus yang terpakai pada pengujian. Penghitungan berat dilakukan dengan timbangan digital. Penimbangan dilakukan tiga kali untuk setiap sampelnya kemudian dihitung berat rata-ratanya.

3.5 Persiapan Pengujian Efisiensi Anoda

Pada pengujian ini, digunakan dua kondisi sebagai variable pengujian yaitu pengujian yang dilakukan pada air laut dan pengujian yang dilakukan pada air laut ditambah pasir. Untuk air laut yang digunakan bisa menggunakan air laut asli atau menggunakan air laut buatan dengan mengikuti standar ASTM D1141. Pada pengujian ini dipakai air laut asli. Sedangkan untuk penggunaan pasir, dipakai pasir laut yang diambil langsung dari pasir laut daerah Ancol. Dari setiap air laut yang dipergunakan minimal jumlahnya adalh 10 liter berdasrkan standar DNV



RP_B401.

Gambar 3.2 Anoda aluminium pada air laut dan pasir laut

Kemudian dilakukan penyusunan rangkaian uji coba. Penyusunan rangkaian ini adalah berdasarkan NACE standard TM0190-98 untuk pengujian anoda aluminium pada lab.

Temperatur dari media pengujian ini juga harus dijaga antara 20°C - 23°C. Pengaturan temperature ini dilakukan dengan menjaga suhu ruangan dengan *Air Conditioner*.



Gambar 3.3 Rangkaian percobaan

3.6 Pengujian pH

Tujuan dari pengukuran pH dari media yang dipakai adalah untuk membandingkan kondisi dari kedua media yang memungkinkan terjadinya korosi. Pada kondisi yang berbeda akan terjadi perbedaan laju korosi yang mungkin terjadi dan hal ini berhubungan dengan tujuan pengujian untuk melihat perbandingan dari efisiensi anoda pada lingkungan yang berbeda antara air laut dibandingkan air laut ditambah pasir.



Gambar 3.4 Pengukuran pH

3.7 Pengukuran Resistivitas

Untuk melihat perbedaan kondisi lainnya pada lingkungan air laut dan pasir laut maka dilakukan pengujian resistivitas. Pengukuran resistivitas ini dilakukan dengan resistivimeter. Tujuan dari pengukuran resistivitas ini adalah untuk membandingkan resistivitas pada lingkungan air laut dan lingkungan pasir laut. Perbedaan resistivitas lingkungan akan mempengaruhi laju korosi suatu material dan pada uji coba ini dapat mempengaruhi efisiensi dari anoda aluminium.



Gambar 3.5 Pengukuran resistivitas air laut dan pasir laut

3.8 Pengujian Potensial

Tujuan dari pengukuran potensial ini adalah untuk melihat potensial proteksi dari anoda selama proses pengujian. Pengukuran potensial ini dilakukan selama 4 hari setiap 24 jam sekali. Setiap 24 jam dilakukan perubahan besar arus yang diberikan melalui power supply.



Gambar 3.6 Power supply

Arus yang diberikan dari hari pertama hingga keempat adalah sebagai berikut:

Hari ke 1 : 1,5 mA/cm²

Hari ke 2: 0,4 mA/cm²

Hari ke 3 : 4,0 mA/cm²

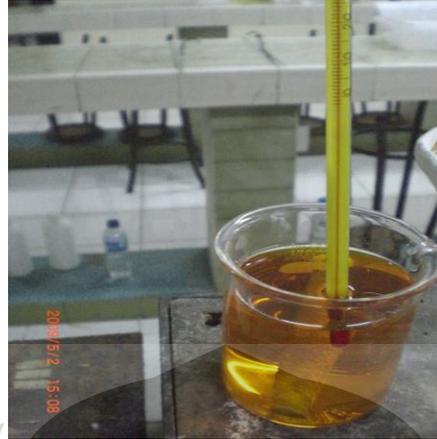
Hari ke 4 : 1,5 mA/cm²



Gambar 3.7 Pengukuran potensial

3.9 Pembersihan Sampel Uji

Sampel uji pada akhir pengujian dibersihkan dengan cara dicuci dengan air yang mengalir. Setelah dicuci dengan air yang mengalir kemudian sampel anoda aluminium dibersihkan selama 10 menit pada temperatur 80°C dengan menggunakan larutan 20gr chromium trioxide dan 30 ml phosphoric acid per liter air. Tujuan pembersihan ini adalah untuk menghilangkan sisa sealing compound dari kawat penghubung dan menghilangkan sisa produk korosi dari specimen. Kemudian tahap akhir proses pembersihan ini adalah mencuci sampel dengan air lalu alkohol sebelum akhirnya dikeringkan.



Gambar 3.8 Proses pencucian dengan 20gr chromium trioxide dan 30 ml phosphoric acid per liter air

3.10 Penghitungan Berat Akhir

Pada akhir pengujian, setelah seluruh sampel uji coba telah dicuci dan telah kering, maka dilakukan penimbangan kembali untuk melihat perubahan berat yang terjadi dari sebelum uji coba dan setelah dilakukan uji coba. Penghitungan berat akhir dilakukan untuk setiap sampel anoda aluminium, Cu rod, dan Cu plate pada Coloumeter yang dipakai. Penghitungan berat akhir dilakukan dengan menggunakan timbangan digital. Penghitungan berat akhir ini dilakukan sebanyak tiga kali untuk setiap sampelnya, kemudian dihitung berat rata-ratanya.



Gambar 3.9 Penghitungan berat akhir

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Preparasi Sampel

Sampel anoda Aluminium dipreparasi dengan proses *machining* sehingga memiliki dimensi :

<i>Panjang</i>	51 mm
<i>Diameter</i>	15 mm
<i>Diameter lubang</i>	2 mm

Tabel 4.1. Dimensi anoda

Ukuran dari dimensi sampel anoda korban ini mengikuti standard dari DNV RP-B401. Pada pengujian menggunakan enam sampel yang diberi kode A,B,C,D,E, dan F. Sampel A,B, dan C untuk digunakan pada lingkungan air laut dan sampel D,E,dan F untuk digunakan pada pasir laut.

4.2 Hasil Pengujian Berat Awal

Pengujian berat awal di bagi menjadi dua bagian. Pengujian berat pertama adalah pengujian berat sampel anoda aluminium yang dipakai. Kemudian dilakukan juga pengujian berat terhadap Cu *rod* dan Cu *plate* untuk coulometer. Hasil dari penghitungan berat awal dari anoda dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut ini:

kode	Berat sebelum diuji (gram)
-------------	----------------------------

Sample	1 st	2 nd	3rd	Rata-rata
A	11.1937	11.1936	11.1938	11.1937
B	10.5641	10.5641	10.564	10.5641
C	10.9255	10.9255	10.9255	10.9255
D	11.6249	11.6249	11.6249	11.6249
E	11.1118	11.1119	11.1120	11.1119
F	11.2929	11.2929	11.2929	11.2929

Tabel 4.2 Berat awal anoda aluminium sebelum pengujian

Penghitungan berat berikutnya dilakukan untuk *Cu rod* dan *Cu Plate* coloumeter. Berikut adalah tabel 4.3 yang menunjukkan hasil penghitungan berat awal *Cu rod* dan *Cu plate*:

	1 st	2nd	3rd	Rata-rata
Cu rod	6.9415	6.9416	6.9416	6.9416
Cu Plate	24.2742	24.2743	24.2743	24.2743
Cu Plate 2	24.0752	24.0750	24.0750	24.075

Tabel 4.3 Berat awal *Cu rod* dan *Cu plate* Coloumeter

4.3 Hasil Pengujian pH

Pengujian pH dilakukan untuk air laut dan pasir laut dengan menggunakan pH meter. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut ini:

Media	pH
Air Laut	8
Pasir Laut	8

Tabel 4.4 pH Air laut dan pasir laut

Dari hasil pengujian pH ini bisa diketahui bahwa pada lingkungan air laut dan pasir laut tidak memiliki perbedaan pada nilai pH nya.

4.4 Hasil Pengujian Komposisi Anoda Aluminium

Hasil dari pengujian komposisi didapat melalui pengujian *Optical Emission Spektrometer* (OES). Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui unsur-unsur yang terdapat pada sampel anoda aluminium.



Gambar 4.1 *Optical Emission Spektrometer (OES)*

Hasil dari pengujian komposisi ini dapat dilihat pada tabel 4.5 berikut ini:

Sampel	kode	Si	Fe	Cu	Zn	In	Al
--------	------	----	----	----	----	----	----

A	460/T4/018	0.121	0.0268	<.00100	3.05	0.0105	96.77
B	460/T4/018	0.121	0.0268	<.00100	3.05	0.0105	96.77
C	445/T4/991	0.127	0.0273	<.00100	2.50	0.0107	97.32
D	445/T4/991	0.127	0.0273	<.00100	2.50	0.0107	97.32
E	470/T4/018	0.157	0.0622	<.00100	2.37	0.0109	97.38
F	470/T4/018	0.157	0.0622	<.00100	2.37	0.0109	97.38

Tabel 4.5 Komposisi sampel anoda aluminium ^[11]

Komposisi dari sampel A sama dengan sampel B demikian juga sampel C sama dengan sampel D dan sampel E sama dengan sampel F. kesamaan komposisi ini terjadi karena sampel berasal dari *heat* Anoda yang sama. Hal ini bisa dilihat dari kode sampel yang memiliki komposisi sama akan memiliki kode yang sama juga.

Komposisi yang didapat dari pengujian dengan Optic Emission Spectrometer ini dibandingkan dengan komposisi standard dari sebuah anoda aluminium. Komposisi standard paduan anoda aluminium diketahui berdasarkan DNV RP-B401, standard komposisi dari anoda aluminium adalah sebagai berikut:

<i>Alloying/Impurity Element</i>	<i>Zn-base</i>	<i>Al-base</i>
Zn	rem.	2.5-5.75
Al	0.10-0.50	rem.
In	na	0.015-0.040
Cd	≤ 0.07	≤ 0.002
Si	na	≤ 0.12
Fe	≤ 0.005	≤ 0.09
Cu	≤ 0.005	≤ 0.003
Pb	≤ 0.006	na

Tabel 4.6 Komposisi paduan anoda Al dan Zn^[13]

Berdasarkan literatur, diketahui bahwa komposisi indium dari seluruh anoda aluminium dibawah standard. Hal ini akan berpengaruh, karena fungsi paduan indium adalah membantu mencegah pasivasi dari anoda aluminium.

4.5 Hasil Pengujian Resistivitas

Pengujian resistivitas dilakukan pada air laut dan pasir laut. Hasil pengujian resistivitas dapat dilihat pada tabel 4.7 berikut:

	Resistivitas (Ω cm)
Air laut	21,1
Pasir laut	40,8

Tabel 4.7 Hasil uji resistivitas

Resistivitas adalah kemampuan suatu material atau media untuk menahan arus listrik yang akan melewatinya, yang dinyatakan dalam satuan ohm-cm.^[14] Dari hasil pengujian resistivitas dapat diketahui bahwa pada lingkungan pasir laut memiliki tingkat resistivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan resistivitas pada air laut. Hal ini membuat arus proteksi dari anoda aluminium pada lingkungan pasir akan memiliki hambatan yang lebih besar. Hal ini dapat mempengaruhi efisiensi dari anoda aluminium pada lingkungan pasir laut.

4.6 Hasil Pengujian Potensial

Pengujian potensial dilakukan untuk melihat potensial proteksi dari anoda. Pengujian potensial dilakukan selama 96 jam (4 hari) diukur setiap 24 jam. Berikut adalah tabel hasil pengukuran potensial pada hari terakhir.

Sample Code	Closed Circuit Potential of Anodes at the end of 4th testing periode Vs Ag/AgCl Reference Cell (- millivolt)			
	1	2	3	avg

A	1070	1084	1082	1078.00
B	1070	1073	1075	1072.67
C	1052	1053	1049	1051.33
D	1135	1133	1134	1134.00
E	1097	1095	1101	1097.67
F	1083	1081	1079	1081.00

Tabel 4.8 Hasil pengujian potensial anoda

4.7 Hasil Pengujian Berat Akhir

Sampel anoda aluminium, Cu *rod*, dan Cu *plate* yang telah dibersihkan setelah pengujian, ditimbang beratnya. Berikut adalah foto dari setiap sampel anoda, Cu *rod*, dan Cu *plate* yang ditimbang setelah dibersihkan:



Gambar 4.2 Foto sampel A anoda aluminium



Gambar 4.3 Foto sampel B anoda aluminium



Gambar 4.4 Foto sampel C anoda aluminium



Gambar 4.5 Foto sampel D anoda aluminium



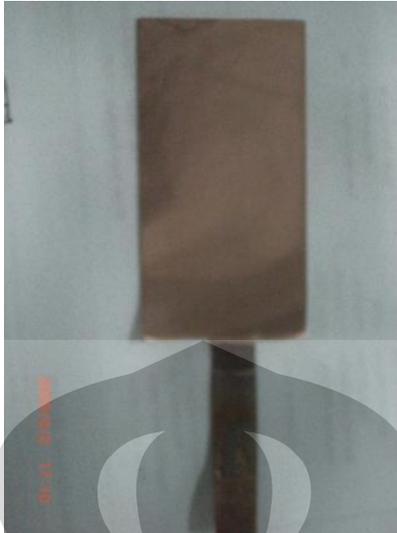
Gambar 4.6 Foto sampel E anoda aluminium



Gambar 4.7 Foto sampel F anoda aluminium



Gambar 4.8 Foto Cu plate 1



Gambar 4.9 Foto Cu plate 2



Berat setelah diuji (gram)

Gambar 4.10 Foto Cu rod

Hasil pengujian berat akhir dari anoda aluminium, Cu *rod*, dan Cu *plate* dapat dilihat pada tabel 4.8 berikut:

1st	2 nd	3rd	Rata-rata
10.4047	10.4047	10.4047	10.4047
9.7767	9.7766	9.7765	9.7796
10.1784	10.1785	10.1784	10.1784
10.8348	10.8347	10.8346	10.8347
10.3230	10.3229	10.3228	10.3229
10.5037	10.5037	10.5037	10.5037

Tabel 4.9 Data hasil berat akhir anoda Al

Berat akhir	1st	2 nd	3rd	Rata-rata
Cu rod	9.4062	9.4063	9.4062	9.4062
Cu Plate	22.7982	22.7983	22.7982	22.7982
Cu Plate 2	23.0023	23.0024	23.0023	23.0023

Tabel 4.10 Data hasil berat akhir Cu rod dan Cu plate

4.8 Perhitungan Efisiensi Anoda Aluminium

Perhitungan efisiensi dari anoda aluminium ini dilakukan berdasarkan persamaan berikut ini^[13]:

$$\varepsilon = \frac{C * 1000}{\Delta w}$$

e = Electrochemical Efficiency (Ampere.hours/kg)

C = Total current charge from Coulometer (Ampere.hours)

D_w =average aluminium weight loss (grams)

Nilai dari C (total perubahan arus coloumeter) dapat diperoleh dengan persamaan:

$$\text{Total Current Charge (ampere hours)} = 0.8433 * \Delta\text{Weight Cu rod (grams)}$$

Dari persamaan untuk nilai C, maka diperoleh perhitungan sebagai berikut:

$$C = 0,8433 \times 2,4646$$

$$C = 2,0783$$

Data hasil perhitungan efisiensi elektrokimia dari anoda aluminium dapat dilihat pada tabel 4.10 berikut:

Kode	efisiensi anode	efisiensi anode
Sample	(ampere.hours/kg)	(%)
A	2,634.09	88.40
B	2,639.11	88.56
C	2,781.82	93.34
D	2,630.09	88.25
E	2,635.76	88.44
F	2,634.09	88.39

Tabel 4.11 Efisiensi anoda Al

Dari hasil perhitungan efisiensi anoda Al, maka dapat dilihat bahwa efisiensi anoda Al pada lingkungan air laut lebih tinggi daripada lingkungan pasir laut, dengan rata-rata sebagai berikut:

Lingkungan	Efisiensi Rata-rata
Air Laut	90,1
Pasir laut	88,36

Tabel 4.12 Efisiensi anoda pada air laut dan pasir laut

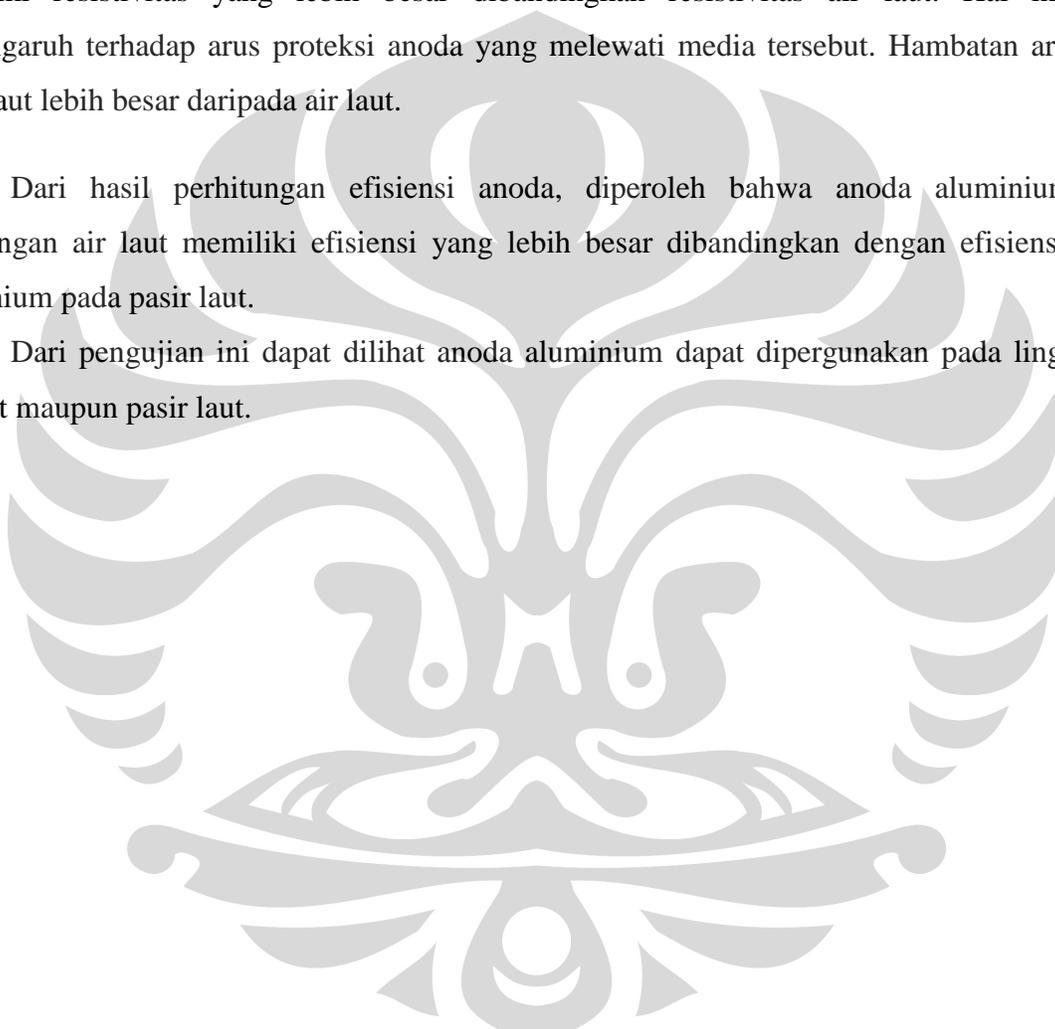
4.9 Pembahasan

Pengujian efisiensi anoda aluminium pada penelitian ini menggunakan metode DNV RP-B401. Telah dibandingkan melalui proses pengujian antara efisiensi anoda aluminium pada air laut dengan efisiensi anoda aluminium pada pasir laut.

Berdasarkan hasil pengujian resistivitas, didapatkan hasil bahwa pada media pasir laut memiliki resistivitas yang lebih besar dibandingkan resistivitas air laut. Hal ini dapat berpengaruh terhadap arus proteksi anoda yang melewati media tersebut. Hambatan arus pada pasir laut lebih besar daripada air laut.

Dari hasil perhitungan efisiensi anoda, diperoleh bahwa anoda aluminium pada lingkungan air laut memiliki efisiensi yang lebih besar dibandingkan dengan efisiensi anoda aluminium pada pasir laut.

Dari pengujian ini dapat dilihat anoda aluminium dapat dipergunakan pada lingkungan air laut maupun pasir laut.

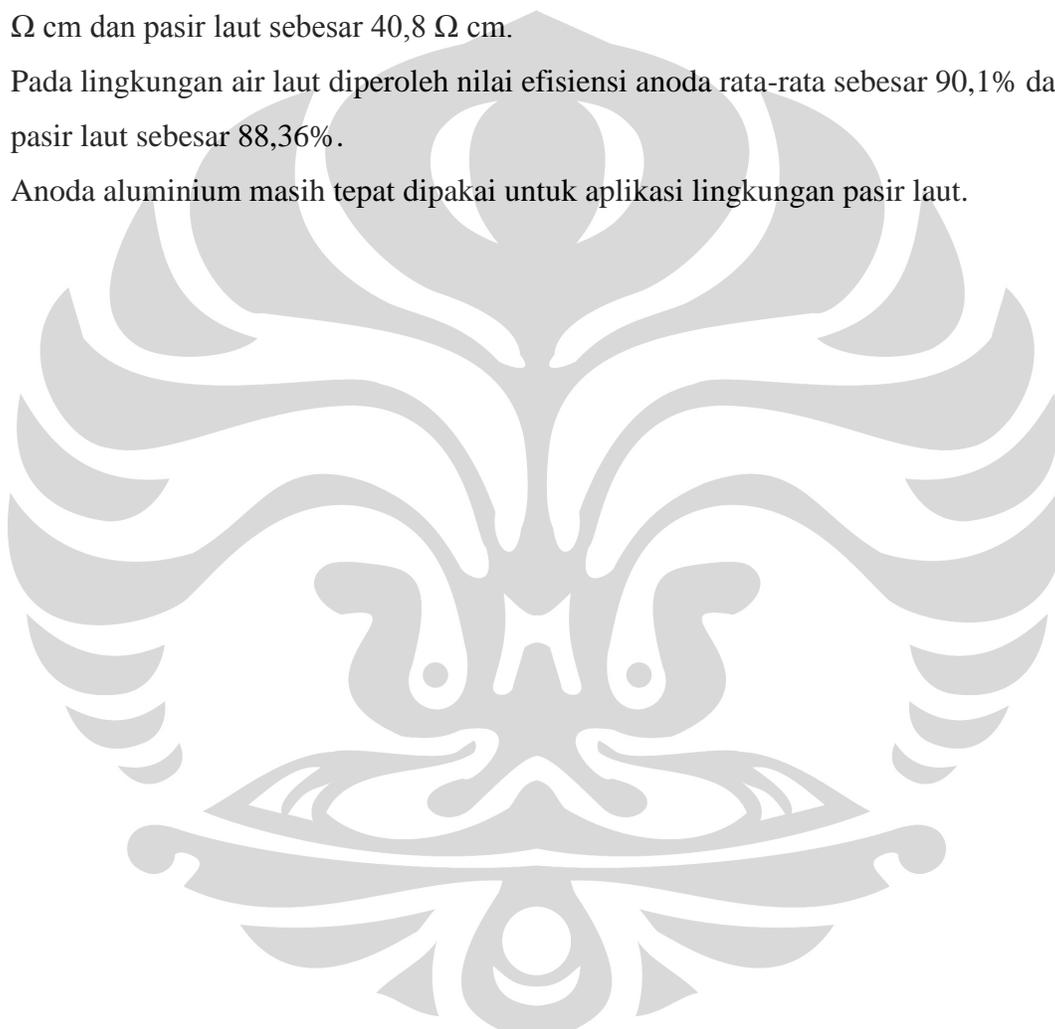


BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan pengujian diperoleh nilai resistivitas air laut sebesar 21,1 Ω cm dan pasir laut sebesar 40,8 Ω cm.
2. Pada lingkungan air laut diperoleh nilai efisiensi anoda rata-rata sebesar 90,1% dan pada pasir laut sebesar 88,36%.
3. Anoda aluminium masih tepat dipakai untuk aplikasi lingkungan pasir laut.



DAFTAR PUSTAKA

1. NACE Corrosion Engineers References Handbook, 3th Edition
2. <http://octane.nmt.edu/waterquality/corrosion/uniform.htm>
3. Patton, Charles C., *Applied Water Technology*, Campbell Petroleum Series, Oklahoma: 1986.
4. Fontana, Mars G., *Corrosion Engineering, 3rd Ed.*, McGraw-Hill Book Company, New York: 19872
5. <http://corrosion.ksc.nasa.gov>
6. <http://www.westcoastcorrosion.com>
7. depts.washington.edu
8. <http://www.marpo.gr>
9. Manganon, Pat L. *The Principle of Material Selection for engineering design*, Prentice Hall, Florida:1999
10. Jones, Denny A. *Principles and Prevention of Corrosion, 2nd edition*, Prentice Hall International, Inc.Singapore:1999
11. Data perusahaan “x”.
12. *Welding Handbook 7th edition vol.1*, AWS, USA:1981
13. DNV RP-B401
14. <http://www.electronicconcepts.com>
15. <http://www.mtyrer.net/resources/Pbx.jpg>
16. NACE TM097-98

11. Annex B – Laboratory Testing of Galvanic Anode Materials for Quality Control

11.1 General

11.1.1 This laboratory test procedure is intended for quality control of Al-base and Zn-base anode materials during manufacture of galvanic anodes. In this Annex, the definitions of Owner, Purchaser and Contractor (i.e. anode manufacturer) in 3.1 apply.

Guidance note:

The results from testing according to this procedure are not applicable to cathodic protection design because electrochemical data from short-term testing, typically using high anodic current densities will tend to be non-conservative with respect to the actual long-term performance in the field.

---end-of-Guidance-note---

11.1.2 The testing shall be performed according to a detailed procedure describing all relevant steps. For testing at the premises of Contractor, Owner/Purchaser shall have the right to witness the testing.

11.1.3 All requirements of this procedure shall be considered as mandatory, unless deviations have been agreed, see 8.1.3. Owner/Purchaser may, however, choose to specify an alternative test procedure.

11.1.4 Compared to the 1993 revision of this document, some amendments have been made, primarily regarding sampling of testing material. Moreover, a detailed testing procedure is required for quality control purposes. Use of 3 % NaCl solution as alternative to natural or synthetic seawater is not allowed in the 2004 revision. Acceptance criteria have further been included in 8.6.6. Other revisions are for clarification or simplification only.

11.2 Sampling and Preparation of Test Specimens.

11.2.1 Unless otherwise specified, quality control of electrochemical properties (i.e. electrochemical efficiency and closed-circuit anode potential) shall be carried out for each 15,000 kg of anodes produced. Sampling for potential testing (by separate mini-castings) shall, however, be performed for each heat of anode material produced. All samples for testing shall have adequate marking. For retainment of samples, see 8.6.1. Owner/Purchaser shall have the right to select sample for testing, e.g. based on a review of chemical composition of the individual heats.

Guidance note:

The individual heats are sometimes much smaller than 15,000 kg and it is then essential that the testing is performed on a heat that is representative for all those produced. Hence, the heat selected should have contents of alloying and/or impurity elements in the lower and upper ranges, respectively.

---end-of-Guidance-note---

11.2.2 Cylindrical test specimens with a diameter of 10 mm \pm 1 mm and a length of 50 mm \pm 5 mm shall be prepared by machining of samples. A hole of about 2 mm diameter shall be drilled and tapped on one end for connection of a titanium support rod. The specimen shall subsequently be rinsed in tap water followed by ethanol, dried and weighed to an accuracy of \pm 0.1 mg.

11.2.3 The specimens shall be adequately marked throughout all stages of preparation, storage and testing.

11.3 Equipment and Experimental Procedure

11.3.1 After mounting of the support rod, the specimen ends

and the part of the rod exposed to the test solution shall be coated with a suitable sealing compound such as polychloroprene glue or silicon rubber.

11.3.2 The testing solution shall be natural seawater (of adequate purity and a salinity of minimum 30 ‰) or synthetic seawater according to ASTM D1141.

Guidance note:

Seawater constituents other than chloride, sulphate, bicarbonate/carbonate, sodium, calcium and magnesium ions have no effect on the electrochemical performance of galvanic anodes and may be omitted when preparing synthetic seawater. Tap water is acceptable for preparation of the solution.

---end-of-Guidance-note---

11.3.3 A minimum of 10 litres per test specimen shall be used. The solution shall be continuously purged with air and shall not be exchanged during the test period. The temperature shall be maintained at 20 ± 3 °C.

11.3.4 Each specimen shall be suspended in the centre of an uncoated cylindrical steel container (e.g. made of a pipe section), the wetted surface area of which shall be minimum 20 times the exposed anode specimen area, i.e. minimum 400 cm², approximately. The general arrangement is shown in Fig. 11-1.

11.3.5 Galvanostatic control shall be effected by means of a DC constant current source, capable of controlling the current according to 11.3.7 below. The specimen and the cathode shall be coupled to the positive and negative rectifier terminals, respectively. Multiple testing cells may be connected in series to one DC source.

11.3.6 A current integrator, e.g. a copper coulometer or an electronic device capable of determining the total discharged current to an accuracy of \pm 2%, shall be inserted into the circuit containing one or more test cells in circuit.

11.3.7 The current through the cell(s) shall be adjusted to provide anodic current densities, based on the initially exposed surface area, in accordance with the following scheme:

Day 1:	1.5 mA/cm ²
Day 2:	0.4 mA/cm ²
Day 3:	4.0 mA/cm ²
Day 4:	1.5 mA/cm ²

The current density shall be controlled to an accuracy of 0.1 mA/cm² and shall be maintained for a period of 24 hours \pm 1 hour. The total testing time shall be 96 hours \pm 4 hours.

11.3.8 At the end of each testing period, the anode potential shall be measured at three positions per specimen. A standard reference electrode (silver/silver chloride or calomel) with an electrolyte bridge (e.g. a Luggin capillary) shall be used. The tip of the bridge shall be positioned within 1 mm from the specimen surface, however, without disturbing any corrosion products formed on the anode specimen. Reference electrodes shall be calibrated at intervals not exceeding one week. Potential recordings using a reference electrode other than 'Ag/AgCl/seawater' (e.g. a SCE) shall be converted to this reference.

11.3.9 After completion of the full test period, the support rod and sealing compound shall be removed and the specimen cleaned of corrosion products. Aluminium-based specimens shall be cleaned for 10 min at 80°C in a solution of 20 g chromium trioxide and 30 ml phosphoric acid per litre water. Zinc-based specimens shall be immersed for 2 hours in a saturated

ammonium chloride solution at ambient temperature. Specimens shall subsequently be rinsed in tap water, thereafter in ethanol and weighed to an accuracy of ± 0.1 mg.

11.3.10 The electrochemical efficiency, ϵ (Ah/kg), shall be calculated from

$$\epsilon = (C-1000)/\Delta w$$

where C is the total current charge in Ah and Δw is the weight loss in grams.

11.4 Acceptance Criteria and Re-Testing

11.4.1 The acceptance criteria in 8.6.7 apply.

11.4.2 Failures during testing which are obviously due to operational errors may be disregarded and testing repeated on a new specimen of the same sample (ref. 8.6.8) or a specimen cut from an anode of the same heat.

11.4.3 In the case of failure to meet the specified requirements, re-tests may be carried out on 3 specimens from each heat of the testing lot (normally representing up to 15,000 kg of anode material). Failure of any specimen of a heat shall lead to rejection of all anodes from that heat.

11.5 Documentation

11.5.1 The test report shall contain relevant data for the anode material(s) tested, including heat number, chemical composition and casting date. Specimen preparation, test equipment and testing procedure shall be outlined.

11.5.2 All recorded potentials (i.e. 3 per specimen) shall be presented in tabular form, as-recorded and converted to Ag/

AgCl/seawater, if applicable. Specimen weight loss and total current charge shall be given in addition to the calculated electrochemical efficiency. A photograph of the cleaned specimen shall be included in the report.

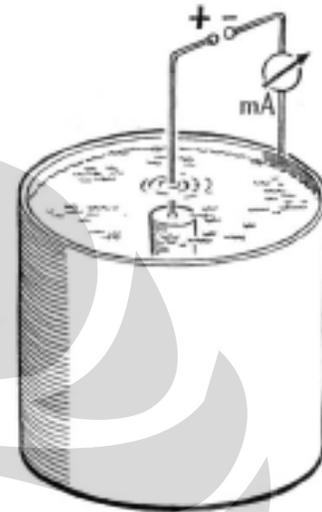


Figure 11-1
General arrangement for quality control testing of galvanic anode materials