



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL 184834

ANALISIS PENGARUH BENTUK ANODA DAN MEDIA ELEKTROLIT TERHADAP KARAKTERISTIK EFISIENSI ANODA KORBAN METODE IMMERSI DENGAN PENGUJIAN DNVGL-RPB401

ZAID SULAIMAN
NRP 02511540000070

Dosen Pembimbing
Tubagus Noor Rohmanudin, ST., M.Sc.
Lukman Noerochim, ST, MSc.Eng, Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - TL 184834

**ANALISIS PENGARUH BENTUK ANODA DAN
MEDIA ELEKTROLIT TERHADAP
KARAKTERISTIK EFISIENSI ANODA KORBAN
METODE IMMERSI DENGAN PENGUJIAN
DNVGL-RPB401**

**ZAID SULAIMAN
NRP 0251154000070**

**Dosen Pembimbing
Tubagus Noor Rohmannudin, ST., M.Sc.
Lukman Noerochim, ST, MSc.Eng, Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 184834

**ANALYSIS THE EFFECT OF SHAPE OF ANODE
AND ELECTROLYTE ON THE EFFICIENCY
CHARACTERISTICS OF SACRIFICE ANODE
IMMERSE METHOD WITH DNVGL-RPB401
TESTING**

**ZAID SULAIMAN
NRP 0251154000070**

**Advisors
Tubagus Noor Rohmannudin, ST., M.Sc.
Lukman Noerochim, ST, MSc.Eng, Ph.D.**

**MATERIALS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALISIS PENGARUH BENTUK ANODA DAN MEDIA
ELEKTROLIT TERHADAP KARAKTERISTIK EFISIENSI
ANODA KORBAN METODE IMMERSI DENGAN
PENGUJIAN DNVGL-RPB401**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Korosi dan Kegagalan
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ZAID SULAIMAN
NRP. 0251154000070

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc.(Pembimbing I)
2. Lukman Noerochim, S.T, M.Sc.Eng, Ph.D.:....(Pembimbing II)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALISIS PENGARUH BENTUK ANODA DAN MEDIA
ELEKTROLIT TERHADAP KARAKTERISTIK EFISIENSI
ANODA KORBAN METODE IMMERSI DENGAN
PENGUJIAN DNVGL-RPB401**

Nama : Zaid Sulaiman
NRP : 0251154000070
Departemen : Teknik Material FTI-ITS
Pembimbing : Tubagus Noor Rohmannudin, ST., M.Sc.
Co-Pembimbing : Lukman Noerochim, ST, MSc.Eng, Ph.D

Abstrak

Korosi merupakan kerusakan yang terjadi secara alamiah. Salah satu metode pencegahan korosi adalah proteksi katodik menggunakan anoda korban. Salah satu standar yang biasa digunakan dalam desain proteksi katodik adalah DnVGL-RPB401. Selain itu, pengujian DnVGL-RPB401 dapat digunakan untuk mengukur kapasitas arus anoda. Pada penelitian kali ini, variasi bentuk anoda yang digunakan adalah bentuk anoda silinder, Balok dan kerucut. Variasi media elektrolit adalah larutan NaCl murni, larutan garam dapur dan air laut kenjeran. Pada media larutan NaCl murni, masing-masing bentuk anoda memiliki efisiensi yaitu 86%, 83%, dan 78%. Bentuk anoda selinder memiliki efisiensi paling tinggi karena jarak antara anoda dengan katoda yang sama pada anoda silinder sehingga distribusi rapat arusnya merata. Kemudian pada bentuk anoda yang silinder, masing-masing media elektrolit memiliki efisiensi yaitu 114%, 86% dan 83%. Larutan garam dapur memiliki efisiensi paling tinggi karena sedikitnya kandungan NaCl yang merupakan penyebab korosi dan adanya kalium Iodida yang merupakan penghambat korosi.

Kata Kunci : *DNVGL-RPB401, Kapasitas Arus, Media Elektrolit, Bentuk Anoda, Efisiensi Anoda*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALYSIS THE EFFECT OF SHAPE OF ANODE AND
ELECTROLYTE ON THE EFFICIENCY
CHARACTERISTICS OF SACRIFICE ANODE IMMERSIVE
METHOD WITH DNVGL-RPB401 TESTING**

Student's Name : Zaid Sulaiman
Student's ID : 0251154000070
Department : Material Engineering FTI-ITS
Advisor : Tubagus Noor Rohmannudin, ST., M.Sc.
Co-Advisor : Lukman Noerochim, ST, MSc.Eng, Ph.D

Abstract

Corrosion is a damage which occurs naturally. One method of corrosion prevention is cathodic protection using the sacrificial anode. one standard commonly used in cathodic protection design is DnVGL-RPB401. In addition, DnVGL-RPB401 testing can be used to measure anode current capacity. In this research, the variation of shape of the anode was the shape of a cylinder anode, rectangular prism and cone. The variation of electrolyte is pure NaCl solution, Kitchen Salt solution and Kenjeran sea water. In the electrolyte pure NaCl solution, each anode form has an efficiency of 86%, 83%, and 78% respectively. the cylindrical anode shape has the highest efficiency because the same distance between anode and cathode at the cylindrical anode. so that the current distribution is evenly distributed. Then in the form of cylindrical anodes, each electrolyte medium has an efficiency of 114%, 86% and 83% respectively. The salt solution has the highest efficiency because of the low content of NaCl which is the cause of corrosion and the presence of potassium Iodide which is a corrosion inhibitor.

Keywords : DNVGL-RPB401, Electrochemical, Electrolyte, Anode Shape, Anode Efficiency

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan limpahan karunia, pikiran, kesehatan dan semangat hingga penulis dapat menyelesaikan seluruh rangkaian penyusunan laporan Tugas Akhir dengan judul “**Analisis Pengaruh Bentuk Anoda dan Media Elektrolit terhadap Karakteristik Efisiensi Anoda Korban Metode Immersi dengan Pengujian DnVGL-RPB401**”. Laporan ini disusun untuk memenuhi persyaratan studi di Departemen Teknik Material FTI – Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.

Penulis menyadari bahwa tanpa adanya bantuan dari seluruh pihak, laporan ini tidak akan terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ini mengucapkan terimakasih kepada beberapa pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan pada penulis hingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan, yaitu:

1. Tubagus Noor Rohmannudin. ST., M.Sc dan Bapak Lukman Noerochim ST., M.Sc, Eng, Ph.D selaku dosen pembimbing tugas akhir dari awal hingga akhir pengerjaan laporan dan memberikan banyak ilmu terkait tugas akhir yang dikerjakan oleh penulis.
2. Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI – ITS.
3. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, ST., M.Sc. selaku kepala prodi Departemen Teknik Material FTI-ITS dan dosen wali saya

Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat kepada seluruh pihak yang membaca. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam menulis laporan tugas akhir ini, sehingga penulis menerima kritik dan saran yang dapat membangun serta memperbaiki kekurangan demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

Surabaya, 5 juli 2019
Penulis,

Zaid Sulaiman
0251154000070

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR . Error! Bookmark not defined.

Abstrak	vii
Abstract	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Korosi	5
2.2 Mekanisme Korosi	5
2.3 Elektrokimia	6
2.4 Jenis-jenis Korosi	8
2.5 Perlindungan Terhadap Korosi	13
2.6 Proteksi Katodik	15
2.7 Anoda Korban Aluminium	18
2.8 Korosi pada Air Laut	21
2.9 Pengaruh Kalium Iodida Terhadap Korosi	24
2.10 Pengaruh Geometri Anoda Terhadap Distribusi Rapat Arus dan Potensial Listrik	26
2.11 Penelitian Sebelumnya	27
2.12 DNV•GL (<i>Det Norske Veritas</i>)•(<i>Germanischer Lloyd</i>)	30
2.13 Anoda	32
2.14 Pengaruh Unsur Paduan Terhadap Anoda Logam Aluminium	33
2.15 Pengujian Anoda Korban	35
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	37

3.1 Diagram Alir.....	37
3.2 Standar yang Digunakan.....	38
3.3 Alat dan Bahan	38
3.4 Pengujian DnVGL-RPB401 standar.....	38
3.5 Media Elektrolit.....	41
3.6 Komposisi Anoda Korban	42
3.7 Komposisi Katoda	43
3.8 Tabel Eksperimen Pengujian	44
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	45
4.1 Hasil Data	45
4.2 Pembahasan	56
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	65
5.1 Kesimpulan.....	65
5.2 Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN	71
UCAPAN TERIMA KASIH	75
BIODATA PENULIS	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Standar Potensial Elektrokimia	6
Gambar 2.3	Skema Korosi Galvanic	9
Gambar 2.4	<i>Galvanic Series in Seawater</i>	9
Gambar 2.5	Variasi Terjadinya Korosi Lubang	10
Gambar 2.6	Skema Terjadinya Presipitasi Kromium Karbida ..	11
Gambar 2.7	Skema Terjadinya Korosi Celah	13
Gambar 2.8	Laju Pertumbuhan Lapisan Boehmit dalam Air Mendidih dan Uap Air	14
Gambar 2.9	Skema Gambar Penggunaan ICCP	17
Gambar 2.10	Skema Penggunaan SACP	18
Gambar 2.11	Pengaruh Kandungan Oksigen, Temperatur, <i>Ph</i> dan Salinitas	23
Gambar 2.12	Pengaruh Konsentrasi Sulfat pada Banyaknya Massa yang Hilang pada Logam Aluminium	24
Gambar 2.13	Pengujian SEM Baja Karbon Rendah	25
Gambar 2.14	Analisis Geometri Anoda Galvanik	26
Gambar 2.15	Distribusi Rapat Arus	26
Gambar 2.16	Distribusi Rapat Arus	27
Gambar 3.1	Diagram Alir Pengujian DnVGL-RPB401	37
Gambar 3.2	Skema Perancangan Percobaan DnVGL-RPB401 ..	41
Gambar 3.3	Pipa Katoda	44
Gambar 4.1	<i>Open Potential Circuit</i> Anoda Variasi Bentuk Anoda	46
Gambar 4.2	<i>Closed Circuit Potential</i> Anoda Variasi Bentuk Anoda	47
Gambar 4.3	<i>Open Circuit Potential</i> Katoda Variasi Bentuk Anoda	47
Gambar 4.4	<i>Closed Circuit Potential</i> Katoda Variasi Bentuk Anoda	48
Gambar 4.5	<i>Open Circuit Potential</i> Anoda Variasi Media Elektrolit	49

Gambar 4.6	<i>Closed Circuit Potential</i> Anoda Variasi Media Elektrolit.....	49
Gambar 4.7	<i>Open Circuit Potential</i> Katoda Variasi Media Elektrolit.....	50
Gambar 4.8	<i>Closed Circuit Potential</i> Katoda Variasi Media Elektrolit.....	51
Gambar 4.9	Massa Anoda yang Hilang pada Media Larutan NaCl Murni	52
Gambar 4.10	Korelasi Antara Massa Anoda yang Hilang dengan Efisiensi Anoda Korban.....	53
Gambar 4.11	Massa Anoda yang Hilang dengan Bentuk Anoda Silinder	54
Gambar 4.12	Korelasi Antara Massa Anoda yang Hilang dengan Efisiensi Anoda	55
Gambar 4.13	Ilustrasi Geometri Jarak Antara Anoda dan Katoda dengan Bentuk Anoda.....	56
Gambar 4.14	Ilustrasi Distribusi Persebaran Rapat Arus Pada Pengujian DnVGL-RPB401	61
Gambar 4.15	Spesimen Bentuk Balok Setelah Pengujian DnVGL-RPB401	62
Gambar 4.16	Spesimen Bentuk Kerucut Setelah Pengujian DnVGL-RPB401	62
Gambar 4.17	Spesimen Bentuk Silinder Setelah Pengujian DnVGL-RPB401	63

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Rekomendasi <i>Anode Utilisation Factor</i>	19
Tabel 2.2 Menghitung Tahanan Anoda	21
Tabel 2.3 Kandungan Garam dalam	22
Tabel 2.4 Hasil Uji Resistivitas Pada Media Air Laut dan Pasir Laut	28
Tabel 2.5 Hasil Perhitungan Efisiensi Anoda pada Media Air Laut dan Pasir Laut	28
Tabel 2.6 Komposisi Anoda Paduan Seng	29
Tabel 2.7 Hasil Pengujian pada Anoda Korban Paduan Seng....	29
Tabel 2.8 Jenis-Jenis DNV GL	31
Tabel 2.9 Anoda Korban.....	33
Tabel 3.1 Komposisi Garam Dapur yang Digunakan sebagai Media Elektrolit	42
Tabel 3. 2 Komposisi Aluminium	43
Tabel 3.3 Komposisi Katoda	43
Tabel 3.4 Tabel Eksperimen	44
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Potensial Anoda Korban.....	45
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Efisiensi Anoda Korban	52
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Komposisi Media Elektrolit	57

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Korosi merupakan fenomena alami yang terjadi pada logam, dan menyebabkan logam mengalami degradasi akibat adanya reaksi antara logam dengan lingkungannya. seperti bencana alam lainnya, korosi mampu menyebabkan kerusakan berbahaya dan membutuhkan biaya yang mahal untuk memperbaiki semuanya. Bahkan di Amerika Serikat, biaya akibat kerusakan korosi pada logam adalah sebesar 276 miliar dolar setiap tahunnya (T.Ross, 2001). Akan tetapi, yang membedakan korosi dengan bencana alam lainnya adalah bahwa korosi dapat dikendalikan.

Metode pengendalian korosi telah terbukti untuk mencegah dan mengendalikan terjadinya korosi. Contoh dari metode pengendalian korosi diantaranya adalah pelapisan logam, menggunakan logam yang tahan korosi, menambahkan inhibitor dan perlindungan katodik.

Perlindungan katodik biasa digunakan pada saluran pipa, tangki penyimpanan tanah, struktur *offshore* dan masih banyak industri lainnya. Pengendalian korosi metode proteksi katodik dapat dilakukan dengan merubah potensial antar muka logam dengan ionnya ke daerah imun dengan memberikan arus katodik. Penurunan potensial dapat dilakukan dengan menghubungkan benda kerja dengan pengorbanan anoda (*Sacrifice anoda*) atau memberukan arus paksa (*Impressed Current*). Prinsip pengorbanan anoda adalah menambahkan sebuah material dengan material yang memiliki potensial lebih kecil yang biasa disebut anoda dan akan menghambat terjadinya korosi pada katoda.

Salah satu pengujian pada Anoda Korban adalah Standar DnVGL-RPB401. Standar pengujian DnVGL-RPB401 digunakan untuk mengetahui *Consumption Rate* anoda, Efisiensi anoda, potensial anoda, dan kapasitas anoda. Dalam aplikasi Industri struktur *offshore*, material anoda yang paling sering digunakan adalah material Aluminium dan Seng. Aluminium memiliki

kapasitas arus yang lebih tinggi dibandingkan seng. Selain itu logam Aluminium (Suratman R, 2001) memiliki ketahanan korosi yang sangat baik disebabkan adanya lapisan oksida tipis yang menempel sangat kuat pada permukaannya, bahkan jika lapisan ini rusak karena tergores maka lapisan oksida ini dapat diperbaiki kembali pada lingkungan tertentu. Maka dari itu dilakukan penelitian untuk mengetahui karakteristik logam Aluminium dengan membandingkan efisiensi anoda, potensial anoda, pola korosi yang terbentuk.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian kali ini adalah

1. Bagaimana pengaruh media elektrolit NaCl murni, garam dapur dan air laut kenjeran pada pengujian DnVGL-RPB401 terhadap efisiensi dan Potensial Anoda?
2. Bagaimana pengaruh bentuk anoda korban pada pengujian DnVGL-RPB401 terhadap efisiensi anoda dan potensial Anoda?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian kali ini adalah

1. Temperature media adalah temperature kamar
2. PH media elektrolit diasumsikan netral
3. Arus listrik yang mengalir dari rectifier diasumsikan stabil

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah

1. Menganalisis pengaruh media elektrolit berupa NaCl Murni, Garam Dapur dan Air Laut pada pengujian DnVGL-RPB401 terhadap efisiensi Anoda
2. Menganalisis pengaruh bentuk anoda pada pengujian DnVGL-RPB401 terhadap efisiensi Anoda

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat yang dapat diperoleh antara lain :

1. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan informasi pengaruh media elektrolit dan bentuk anoda terhadap efisiensi anoda Aluminium
2. Mempelajari mekanisme proteksi katodik anoda korban dengan variasi media elektrolit dan bentuk anoda terhadap efisiensi anoda pada pipa baja carbon.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Korosi

Korosi pada dasarnya diakibatkan oleh adanya interaksi antara bahan dan lingkungannya. Interaksi ini menyebabkan adanya reaksi kimia atau elektrokimia yang menyebabkan kerusakan dan penurunan sifat-sifat material dari material yang bersangkutan (Ahmad, 2006)

2.2 Mekanisme Korosi

Pada korosi yang bersifat elektrokimia terdapat dua reaksi pada elektrode (Marcus, 2002) : reaksi oksidasi pada logam (anoda) dan reduksi zat oksidasi (katoda). Pada reaksi oksidasi, atom logam akan membentuk ion positif atau kation. Sedangkan pada reaksi reduksi, atom logam akan membentuk ion negatif atau anion. Reaksi oksidasi sesuai dengan Persamaan 2.1 sedangkan reaksi Katodik, hidrogen akan mengalami evolusi hidrogen sesuai Persamaan 2.2, reduksi oksigen larutan asam ditunjukkan Persamaan 2.3 dan larutan basa atau netral pada Persamaan 2.4. sedangkan ion logam mengalami reduksi seperti Persamaan 2.5.

Reaksi oksidasi (Fontana, 1986) :



Reaksi katodik (Fontana, 1986) :

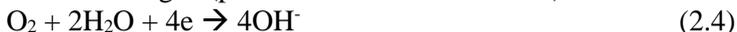
Evolusi hidrogen



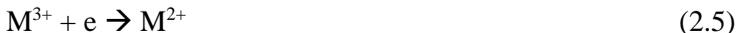
Reduksi oksigen (pada larutan asam)



Reduksi oksigen (pada larutan netral atau basa)



Reduksi ion metal



2.3 Elektrokimia

2.3.1 Potensial Elektrokimia

Potensial elektrokimia digunakan untuk memprediksi kecenderungan terbentuknya korosi pada logam (Raja, 2015). Standar Potensial Elektrokimia dapat dilihat pada Gambar 2.1.

$\text{Au}^{3+} + 3e^- = \text{Au}$	+1.498
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e^- = 2\text{H}_2\text{O}$	+1.229
$\text{Pt}^{2+} + 2e^- = \text{Pt}$	+1.20
$\text{Pd}^{2+} + 2e^- = \text{Pd}$	+0.987
$\text{Ag}^+ + e^- = \text{Ag}$	+0.800
$\text{Hg}^{2+} + 2e^- = \text{Hg}$	+0.854
$\text{Hg}_2^{2+} + 2e^- = 2\text{Hg}$	+0.789
$\text{Fe}^{3+} + e^- = \text{Fe}^{2+}$	+0.771
$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^- = 4\text{OH}^-$	+0.401
$\text{Cu}^{2+} + 2e^- = \text{Cu}$	+0.337
$2\text{H}^+ + 2e^- = \text{H}_2$	0.000 (Reference)
$\text{Pb}^{2+} + 2e^- = \text{Pb}$	-0.126
$\text{Sn}^{2+} + 2e^- = \text{Sn}$	-0.136
$\text{Ni}^{2+} + 2e^- = \text{Ni}$	-0.250
$\text{Co}^{2+} + 2e^- = \text{Ni}$	-0.277
$\text{Tl}^+ + e^- = \text{Tl}$	-0.336
$\text{In}^{3+} + 3e^- = \text{In}$	-0.342
$\text{Cd}^{2+} + 2e^- = \text{Cd}$	-0.403
$\text{Fe}^{2+} + 2e^- = \text{Fe}$	-0.440
$\text{Cr}^{3+} + 3e^- = \text{Cr}$	-0.744
$\text{Zn}^{2+} + 2e^- = \text{Zn}$	-0.763
$\text{Al}^{3+} + 3e^- = \text{Al}$	-1.662
$\text{Mg}^{2+} + 2e^- = \text{Mg}$	-2.363
$\text{Na}^+ + e^- = \text{Na}$	-2.714
$\text{K}^+ + e^- = \text{K}$	-2.925

Gambar 2.1 Standar Potensial Elektrokimia pada Temperatur 25°C , Volts vs *Standart Hydrogen Electrode(SHE)* (Raja,2015)

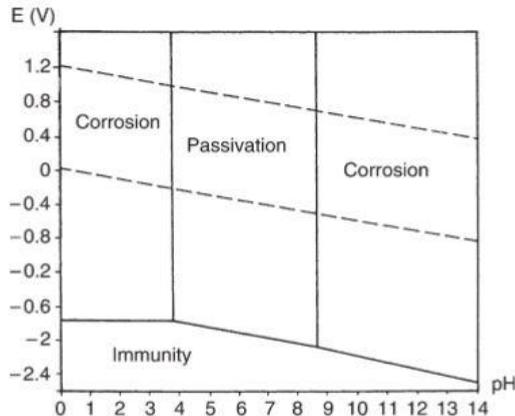
Dalam sel elektrokimia akan terdapat 2 reaksi, yaitu reaksi anodik (oksidasi) dan reaksi katodik (reduksi) yang akan menimbulkan voltase sel positif (E_{cell}). Untuk menghitung E_{cell} mengikuti persamaan 2.6

$$E_{\text{cell}} = E_{\text{cathodic}} - E_{\text{anodic}} \quad (2.6)$$

Contohnya ketika ada logam Cu dan Zn pada suatu larutan asam. Dari standar potensial elektrokimia Zn memiliki nilai potensial yang lebih negatif dibandingkan logam Cu, hal ini membuat Zn mengalami reaksi anoda (oksidasi). Sehingga yang akan mengalami korosi adalah logam Zn dan Cu tidak akan mengalami korosi.

2.3.2 Diagram Pourbaix Aluminium

Diagram E-pH Aluminium menjelaskan serangan korosi dengan media asam dan alkaline. Diagram ini digunakan untuk menentukan stabilitas aluminium dan kemungkinan terjadinya reaksi, seperti mengetahui kondisi logam apakah aktif, pasif atau imun. Akan tetapi pada diagram ini tidak dapat memprediksi laju korosi. Diagram Pourbaix dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Diagram Porbaix Aluminium (Fontana,1986)

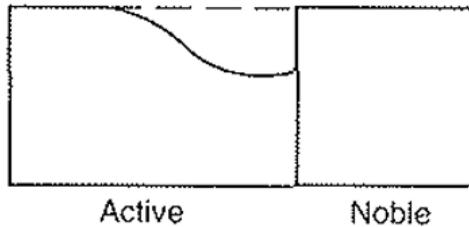
2.4 Jenis-jenis Korosi

2.4.1 Korosi Merata (*Uniform Corrosion*)

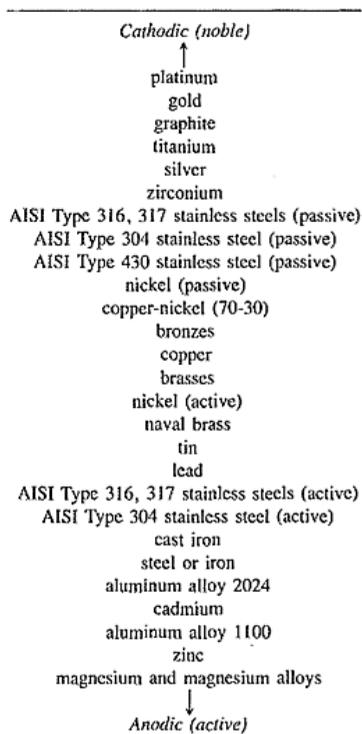
Korosi Merata terjadi ketika lingkungan korosi mengenai seluruh permukaan logam (Jones,1992). Selain itu tingkat korosi *uniform* dan penyebabnya dapat diketahui dengan mudah, tingkat korosi biasa diukur dengan mpy (*mils per year*) dan mm/y (milimeter per *year*). Untuk pencegahannya bisa menggunakan pemilihan material yang lebih baik, *coating*, inhibitor dan proteksi katodik (Raja,2015).

2.4.2 Korosi Galvanik

Ketika 2 paduan yang berbeda dipasangkan pada sebuah larutan elektrolit yang korosif, maka salah satunya paduannya akan terkorosi dan yang satunya lagi akan terlindungi dari korosi. Pada Gambar 2.4 dapat dilihat bahwa sebuah paduan (*anodic*) akan mengalami korosi terlebih dahulu ketika dipasangkan dengan paduan yang memiliki potensial lebih positif atau lebih mulia (*cathodic*). Potensial yang lebih negatif akan menjadi reaksi anodik atau oksidasi sehingga akan mengalami korosi (jones,1992). Sehingga reaksi anodik terjadi pada paduan yang memiliki potensial lebih negatif dari pada paduan pada reaksi katodik yang memiliki potensial lebih positif. Sehingga pada reaksi anodik akan terkorosi, sedangkan pada katodik akan terproteksi dan tidak mengalami korosi. Skema terjadinya korosi galvanik dapat dilihat pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Skema Korosi Galvanic, Paduan *Active* (Reaksi Anodik) akan Mengalami Korosi dan Paduan *Noble* Tidak Akan terkorosi (Jones, 1992)

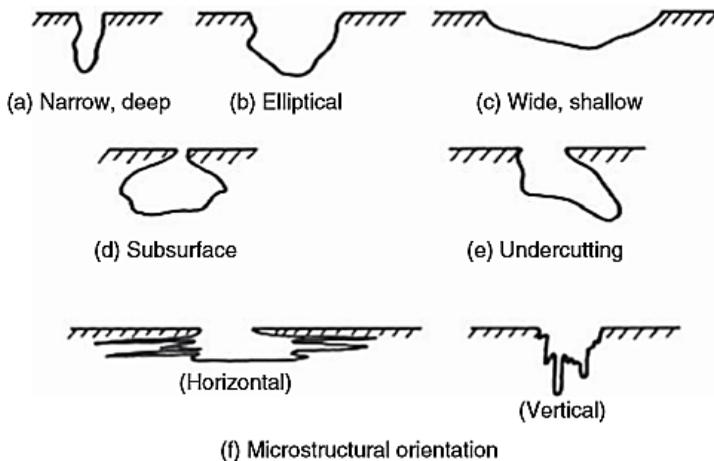


Gambar 2.4 *Galvanic Series in Seawater* (Jones, 1992)

2.4.3 Korosi *Pitting* (Lubang)

Serangan korosi yang terlokalisasi pada permukaan logam akan menghasilkan lubang korosi, lubang korosi yang dihasilkan berupa lubang yang dalam, korosi pada permukaan ataupun melemahkan lapisan pasif pada permukaan logam sehingga menghasilkan korosi lokal (*Jones, 1992*). Mekanisme korosi lokal terjadi dengan 2 tahap, yaitu tahap inisiasi dan tahap propagasi (*Raja, 2015*).

Untuk mencegah korosi lubang dapat memilih material yang tahan korosi seperti menambahkan paduan N dan Mo pada baja tahan karat atau mengatur lingkungan yang memiliki ion yang lebih sedikit, seperti ion klorida yang akan menyebabkan korosi lubang (*Raja, 2015*). Variasi terjadinya korosi lubang pada logam dapat dilihat pada Gambar 2.5

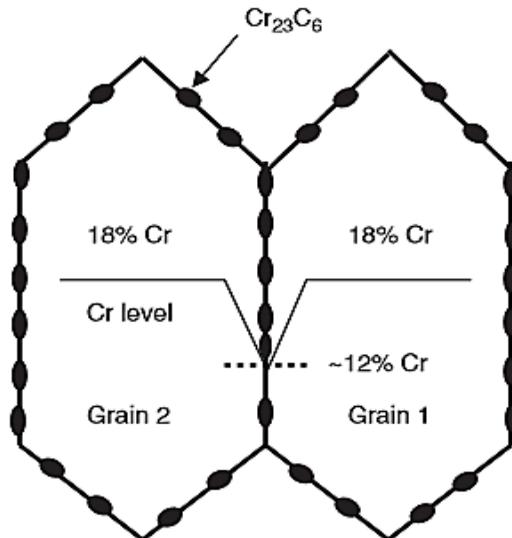


Gambar 2.5 Variasi Terjadinya Korosi Lubang (*Raja, 2015*)

2.4.4 Korosi pada batas butir (*Intergranular Corrosion*)

Batas butir pada paduan dapat menjadi wilayah terjadinya serangan korosi lokal. Pemisahan zat kimia pada batas butir, menipisnya elemen pasif pada batas butir dan presipitasi pada batas

butir adalah penyebab utama terjadinya korosi pada batas butir (Raja, 2015). Contohnya pada Baja Tahan Karat Austenit, ketika dipanaskan pada temperature 550-850°C, maka Kromium Karbida ($Cr_{23}C_6$) akan tumbuh dan mengendap pada batas butir pada saat pendinginan. Akibatnya wilayah yang berdekatan dengan batas butir akan mengalami kekerugan Kromium, daerah yang kekurangan Kromium tersebut akan rentan terserang korosi. presipitasi Kromium Karbida dan menipisnya Kromium pada batas butir dapat dilihat pada Gambar 2.6. sehingga menyebabkan batas butir yang mengalami kekurangan Kromium mengalami korosi pada batas butir.



Gambar 2.6 Skema Terjadinya Presipitasi Kromium Karbida dan Menipisnya Kromium pada Batas Butir (Raja,2015)

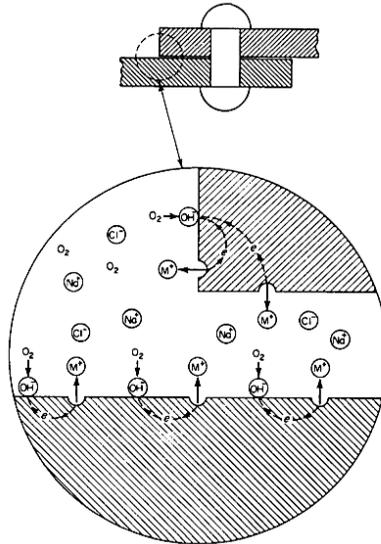
2.4.5 Korosi Celah

Korosi celah adalah korosi lokal yang terjadi pada sebuah lekukan material : daerah yang penyambung atau pengelasan dan di bawah daerah yang terjadi endapan. daerah celah sendiri sangat kecil dan sangat sulit untuk dilalui cairan yang melalui permukaan logam. Serangan korosi ini biasa disebut dengan serangan endapan.

Awalnya reaksi ini terjadi seperti korosi pada umumnya, termasuk pada bagian celah. Elektron yang dibuat oleh ion logam akan mengurangi oksigen melalui reaksi reduksi (Persamaan 2.7). Satu ion hidroksida akan dihasilkan oleh ion logam pada larutan (Persamaan 2.8). Dan dalam waktu singkat, oksigen pada celah akan berkurang akibat pergerakannya yang terbatas. Akan tetapi pengurangan oksigen ini tidak mengurangi terjadinya korosi. Setelah oksigen habis, tidak ada reaksi oksigen lebih lanjut, meskipun logam tetap berubah menjadi ion logam (M^+), yang tentunya akan diseimbang dengan perpindahan ion klorida pada celah. Hal ini menyebabkan meningkatnya konsentrasi logam klorida pada metal. Kecuali logam alkali (Na dan K), logam garam, termasuk klorida dan sulfat. Yang terjadi adalah proses hidrolisis pada air, Persamaan 2.9.



Skema terjadinya korosi celah pada logam dapat dilihat pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 Skema Terjadinya Korosi Celah (Fontana,1986)

Salah satu cara untuk melawan korosi celah pada desain saluran drainase kapal adalah mengurangi sudut yang tajam dan area yang diam. Fasilitas drainase dibersihkan dan dicuci dan mencegah terjadinya endapan pada daerah bawah kapal (Fontana,1986)

2.5 Perlindungan Terhadap Korosi

Berikut merupakan cara untuk mencegah korosi pada logam adalah

1. memodifikasi sifat permukaan logam dengan cara aplikasi lapisan Boehmit, *anodising* atau *Cladding*
2. perlindungan terhadap lingkungan dengan pelapisan
3. memodifikasi sifat medianya dengan cara inhibitor

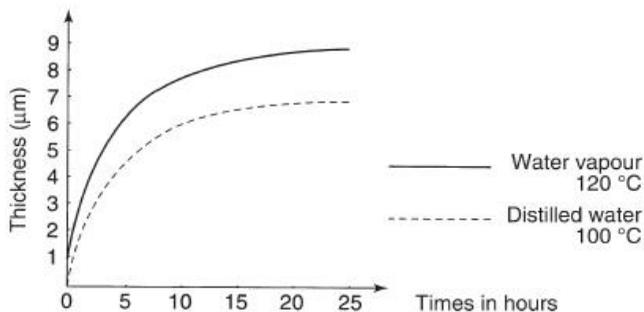
2.5.1 Lapisan Boehmit

Lapisan Boehmit (AlOOH) adalah lapisan oksidan yang terbentuk dengan cara bereaksi dengan air pada temperatur 75°C dengan reaksi pada Persamaan 2.10



Lapisan boehmit terbentuk mulai dari batas butir kemudian pada permukaan. Lapisan boehmit tumbuh pada air atau uap. Adanya oksigen pada air tidak mempengaruhi pertumbuhan lapisan boehmit. Jika temperature terlalu tinggi, maka lapisan boehmit akan terlokalisasi dan akan menyebabkan korosi pada bata butir.

Berikut Gambar 2.8 merupakan grafik laju pertumbuhan lapisan boehmit dalam air mendidih (pada temperature 100°C) dan air menguap (pada temperature 120°C) terhadap lamanya waktu dalam jam.



Gambar 2.8 Laju Pertumbuhan Lapisan Boehmit dalam Air Mendidih dan Uap Air (Vargel,2004)

2.5.2 Perlakuan Chemical Conversion

Perlakuan *Chemical Conversion* dapat membentuk lapisan oksidan dan kompleks hingga mencapai 0,05 – 0,15 mikrometer. Lapisan kompleks ini diperoleh dari asam, alkaline

fosfat atau basa krom. Perlakuan ini digunakan untuk membentuk lapisan dasar untuk cat, pernis dan perekat. Hal tersebut sedikit meningkatkan ketahanan korosi aluminium.

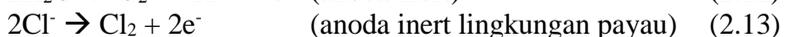
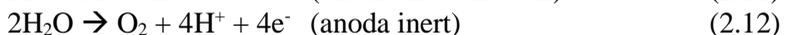
2.5.3 Proteksi Katodik

Perlindungan katodik terdiri dari menempatkan logam untuk dilindungi yaitu katoda. proteksi katodik ini digunakan dengan cara menghubungkannya dengan logam yang memiliki potensial lebih elektronegatif. Perbedaan potensial antara kedua logam harus minimal 100 mV. Dua metode perlindungan katodik yang berbeda digunakan

1. Anoda korban : contoh kasusnya adalah perlindungan baja oleh logam seng dengan cara melarutkan logam seng. Metode ini adalah paling sering digunakan untuk aluminium;
2. Arus paksa: arus diterapkan antara anoda (non-konsumsi) dan katoda (yaitu logam yang akan dilindungi) sehingga beda potensial antara anoda dan katoda berkurang.

2.6 Proteksi Katodik

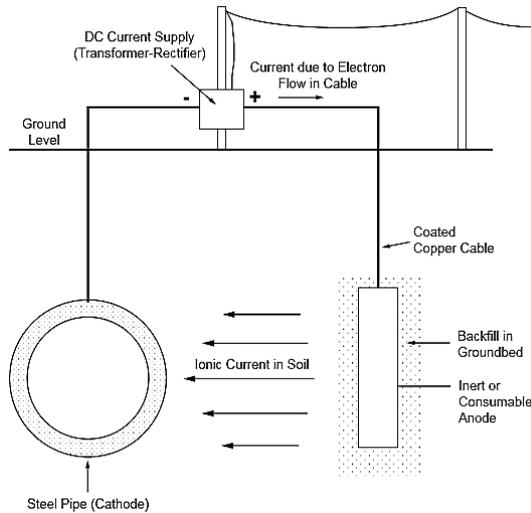
Proteksi katodik merupakan salah satu pengendalian korosi pada logam. Prinsip dari proteksi katodik adalah dengan memberikan elektron kepada pipa dengan menggunakan sumber DC dan tambahan anoda (Pierre,1999). Diagram Pourbaix digunakan untuk menentukan kemungkinan terjadinya reaksi katodik dengan menggunakan potensial katodik. Reaksi pada anoda tergantung pada material dan lingkungan. Persamaan 2.11 oksidasi anoda korban, Persamaan 2.12 dan Persamaan 2.13 reaksi anoda inert.



Proteksi Katodik berdasarkan sumber arus searahnya dibagi menjadi 2 : sumber arus searah dari luar disebut metod arus yang dipaksakan (*Impressed Current*) dan arus listrik searah diperoleh dari reaksi galvanik yang disebut metode anoda korban (*Sacrificial Anode*). proses proteksi katodik biasanya berupa reaksi elektrokimia dimana logam yang dilindungi akan bertindak sebagai katoda. Arus mengalir berasal dari anoda melalui sel elektrolit menuju ke katoda. Sehingga kemampuan proteksi terhadap katoda dapat dicapai dengan mengalirkan arus listrik tersebut (Peabody,2001).

2.6.1 Proteksi Katodik Arus Paksa (*Impressed Current Cathodic Protection*)

Proteksi katodik arus paksa adalah perlindungan katodik dengan menggunakan sumber arus dari luar. Keuntungan dari arus paksa adalah membutuhkan jumlah anoda yang sedikit, dapat digunakan untuk area proteksi yang luas dan dapat digunakan untuk tahanan lingkungan yang tinggi. Sumber arus berasal dari rectifier, rectifier ini mengubah arus AC menjadi DC, dimana kutub negatif dihubungkan ke struktur yang dilindungi dan kutub positif dihubungkan ke anoda. Arus mengalir dari anoda melalui elektrolit ke permukaan struktur, kemudian mengalir sepanjang struktur dan kembali ke rectifier. Struktur menerima arus dari elektrolit, maka struktur menjadi terproteksi.



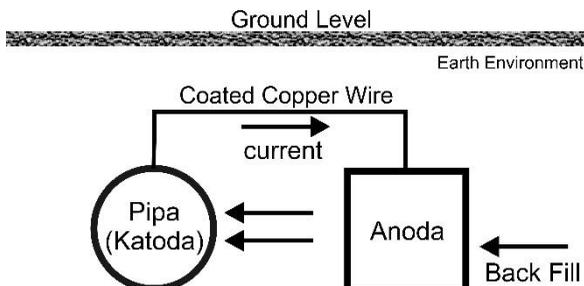
Gambar 2.9 Skema Gambar Penggunaan ICCP dalam Tanah (Pierre, 1999)

Dari Gambar 2.9, arus mengalir dari rectifier ke anoda yang sifatnya inert. kemudian arus akan mengalir dari anoda ke katoda melalui media (tanah), katoda akan terproteksi oleh arus. Dan arus akan kembali ke rectifier. Akan tetapi penggunaan ICCP memiliki beberapa kerugian diantaranya beresiko mengalami *Overprotection* dan pembuatannya lebih kompleks dari metode anoda korban. Selain itu ada kemungkinan menimbulkan masalah efek interferensi arus terhadap struktur sekitarnya (Pierre.1999)

2.6.2 Proteksi Katodik Anoda Korban (*Sacrificial Anode Cathodic Protection*)

Penggunaan anoda korban relatif lebih murah, mudah di *install* dan yang membedakan dengan metode arus paksa adalah tidak menggunakan *power supply*. Kelebihan dari metode anoda korban adalah tidak membutuhkan alat elektronik yang mahal dan tidak akan ada sumber arus yang salah arah (Pierre, 2008). Proteksi katodik dapat digunakan dengan menghubungkan Anoda korban

ke struktur (katoda). Pada dasarnya prinsipnya adalah membuat sel galvanik, dengan menggunakan anoda yang kurang mulia (potensial lebih negatif) dan anodanya akan berkurang pada reaksi galvanik. Adanya arus galvanik akan melindungi struktur katoda. Akan tetapi jumlah anoda perlu diperhatikan agar tidak terjadi (Pierre, 1999).



Gambar 2.10 Skema Penggunaan SACP (Fontana,1986)

Pada metode anoda korban (Gambar 2.10), anoda yang memiliki potensial lebih rendah akan cenderung mengalami oksidasi atau melepas elektron. Kemudian elektron mengalir dari anoda ke katoda. adanya kelebihan elektron pada katoda membuat adanya arus yang mengalir dari katoda ke anoda. Adanya arus dari katoda menyebabkan adanya arus galvanik yang dikeluarkan oleh anoda untuk melindungi katoda.

Kelemahan proteksi katodik metode anoda korban dibandingkan arus paksa adalah arus proteksinya relatif rendah, dan resistivitas lingkungan juga rendah. Karena kondisi demikian, metode ini kurang ekonomis jika dipakai untuk keperluan memproteksi struktur yang relatif besar (Peabody.2001)

2.7 Anoda Korban Aluminium

2.7.1 Karakteristik Anoda Korban Aluminium

Anoda Aluminium merupakan anoda yang paling sering digunakan pada air laut, karena hasil korosi dari Aluminium tidak mengotori air dan pada air laut anoda menjadi mudah untuk

membentuk lapisan pasif akibat adanya NaCl. Contoh anoda Aluminium yang paling sering digunakan adalah paduan Galvalum-Aluminium (Fe = 0,08, Si = 0,11-0,21, Zn = 0,35 – 0,5, dan Hg = 0,035 – 0,4) yang memiliki kapasitas arus 2830 A.h/Kg (Ahmad,2006)

2.7.2 Menghitung Massa Anoda Total

Untuk menghitung massa anoda total M_a (Kg), dibutuhkan desain proteksi katodik t_f (years). Persamaan 2.14 digunakan untuk menghitung arus yang dibutuhkan I_c (A) untuk material yang ingin diproteksi

$$M_a = \frac{I_c \cdot t_f \cdot 8760}{u \cdot \epsilon} \quad (2.14)$$

nilai ϵ (kapasitas arus) untuk logam Aluminium dengan lingkungan air laut adalah 2000 Ah/kg, μ (*Anode Utilisation factor*) ditentukan berdasarkan penggunaan tipe anoda.

pada DnVGL-RPB401, terdapat rekomendasi *Anode Utilisation Factor* pada kegunaan anoda untuk proteksi katodik. Nilai *Anode Utilisation Factor* tersebut ditentukan berdasarkan jenis kegunaan anodanya. Nilai *Anode Utilisation Factor* terdapat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Rekomendasi *Anode Utilisation Factor* untuk Proteksi Katodik

Anode type	Anode utilisation factor
Long slender stand-off $L \geq 4r$	0.90
Short slender stand-off $L < 4r$	0.85
Long flush mounted $L \geq 4$ width and $L \geq 4$ thickness	0.85
Short flush-mounted, bracelet and other types	0.80

2.7.3 Kapasitas Arus Anoda

Untuk menghitung kapasitas arus anoda (Ah/kg) menggunakan persamaan sebagai berikut (DnVGL-RPB401,2017) :

$$C_a = m_a \cdot \varepsilon \cdot \mu \quad (2.15)$$

Dimana m_a adalah massa untuk satuan anoda.

2.7.4 Efisiensi Anoda

Nilai efisiensi anoda diperoleh dengan membandingkan kapasitas sebenarnya dan kapasitas teoritis kemudian dikalikandengan prosentase. Nilai efisiensi ini menunjukkan kelayakan suatu material sebagai anoda korban.

$$\text{Efisiensi} = (\text{Kapasitas sebenarnya} / \text{Teoritis}) \times 100\% \quad (2.16)$$

2.7.5 Potensial Anoda

Apabila potensial anoda menjadi semakin negatif, maka arus keluaran anoda menjadi semakin besar. Potensial anoda terdiri dari 2 macam yaitu :

1. *Open Circuit Potential (OCP)*

OCP adalah nilai potensial anoda pada lingkungannya sebelum dihubungkan dengan material yang akan diproteksi. Nilai Potensial ini akan mempengaruhi *driving potential* dalam proses perancangan sistem proteksi katodik

2. *Closed Circuit Potential (CCP)*

CCP adalah nilai potensial anoda korban setelah dihubungkan dengan material yang akan diproteksi (katoda). potensial ini berguna untuk melihat apakah anoda korban dapat memenuhi fungsinya untuk melindungi struktur material yang akan diproteksi pada lingkungan elektrolit tertentu.

2.7.7 Arus Keluaran Anoda

Arus keluaran anoda dihasilkan karena adanya perbedaan potensial antara katoda dan anoda, kemudian dibagi dengan besarnya tahanan anoda dalam elektrolit seperti Persamaan 2.17

$$I_a = (E_k - E_a) / R_a \quad (2.17)$$

Dimana :

- I_a = arus keluaran anoda (amper)
- E_a = Potensial anoda (volt)
- E_k = Potensial katoda (volt)
- R_a = tahanan anoda dalam elektrolit (ohm)

2.7.8 Tahanan Anoda

Tahanan anoda terhadap lingkungan elektrolit digunakan untuk menghitung arus keluaran anoda. tahanan anoda sendiri ditentukan dari tahanan lingkungan elektrolit, bentuk geometri dan arah pemasangannya. Tahanan anoda dapat diketahui melalui Tabel 2.2 sebagai berikut.

Tabel 2.2 Menghitung Tahanan Anoda (DNVGL-RP-B401,2017)

Anode type	Resistance formula
Long slender stand-off ^{1) 2)} $L \geq 4r$	$R_a = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \left(\ln \frac{4 \cdot L}{r} - 1 \right)$
Short slender stand-off ^{1) 2)} $L < 4r$	$R_a = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \left[\ln \left[\frac{2L}{r} \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{r}{2L} \right)^2} \right) \right] + \frac{r}{2L} - \sqrt{1 + \left(\frac{r}{2L} \right)^2} \right]$
Long flush mounted ²⁾ $L \geq 4 \cdot \text{width and}$ $L \geq 4 \cdot \text{thickness}$	$R_a = \frac{\rho}{2 \cdot S}$
Short flush-mounted, bracelet and other types	$R_a = \frac{0.315 \cdot \rho}{\sqrt{A}}$

2.8. Korosi pada Air Laut

2.8.1 Salinitas

Pada lautan yang besar, (seperti Atlantic dan Pasific) memiliki salinitas antara 32 sampai 37,5 gram garam terlarut per liter. Pada umumnya korosi pada air laut disebabkan adanya ion Klorida (Cl^-), Yaitu sekitar 19 gram/liter ion klorida pada Natrium

Klorida dan Magnesium klorida (Vargel, 2004). Ion Klorida sendiri cenderung meyebabkan pecah lapisan pasif pada logam seperti pada baja tahan karat dan aluminium. Cara kerja ion klorida ini adalah ion Cl^- melakukan penetrasi melalui lapisan film pasif, kemudian *pitting* akan terbentuk pada daerah anodik, sehingga korosi berlangsung dengan sendirinya atau disebut *autokatalitik* (L. Laque, 1975). Berikut pada Tabel 2.3 merupakan kandungan garam dalam air laut

Tabel 2.3 Kandungan Garam dalam Laut (Vargel, 2004)

Species	Concentration ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	$\text{meq}\cdot\text{l}^{-1}$
Chlorides (Cl^-)	19.353	545.15
Sulphates (SO_4^{2-})	2.712	28
Bicarbonates (HCO_3^-)	0.142	2
Bromides (Br^-)	0.067	
Sodium (Na^+)	10.760	468
Magnesium (Mg^{2+})	1.294	11.3
Calcium (Ca^{2+})	0.413	21
Potassium (K^+)	0.387	

Pada air muara cenderung mengalami korosi lebih cepat dari pada tengah laut. Hal ini disebabkan tidak mengendapnya kalsium dan magnesium karbonat pada air muara dan aktivitas biologis yang melambat dan limbah industri yang membuat (Vargel,2004).

2.8.2 Kandungan Oksigen

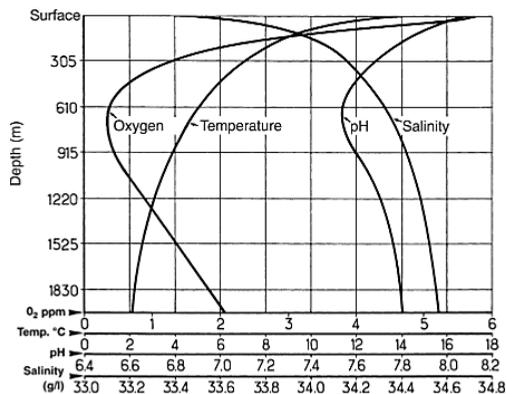
Air laut mengandung 6-8 mg/liter (ppm) oksigen terlarut. Kandungan oksigen berbeda-beda tergantung dari kedalaman lautnya. Peran oksigen terhadap tahan korosi Aluminium sama antara air laut maupun air tawar. Mempercepat laju korosi dengan cara mendepolarisasikan katoda dan berkontribusi pada pembentukan lapisan oksida untuk melindungi logam (Vargel,2004).

2.8.3 Temperatur

Tahanan korosi pada laut tropis lebih rendah dari pada laut *arctic*. Hal ini disebabkan meningkatnya temperature membuat melambatnya terjadinya korosi : kandungan oksigen berkurang, aktivitas biologis meningkat dan mengendapnya kalsium karbonat seiring meningkatnya temperature, sehingga membentuk lapisan pelindung. Tidak ada perbedaan yang signifikan tahanan korosi logam Aluminium antara hangat dan dinginnya laut (Vargel,2004).

2.8.4 Power of Hydrogen (pH)

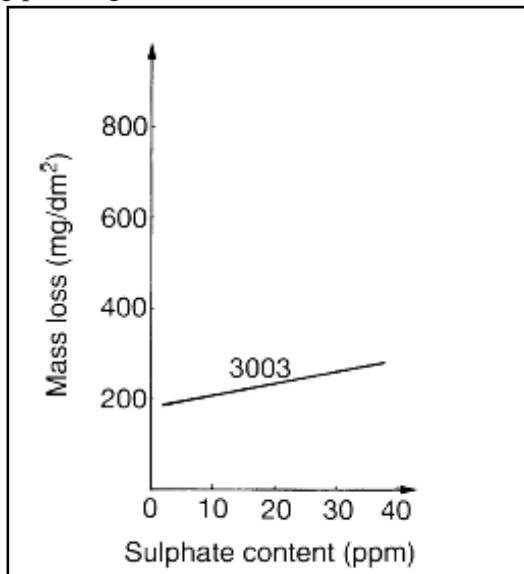
pH pada mendekati permukaan air laut sangat stabil dan sekitar 8,2, tergantung pada aktivitas plankton dan alga laut, dan juga tergantung pada kedalaman. *pH* yang stabil menyebabkan terbentuknya lapisan oksida pada Aluminium. Dan membuat tahanan korosi logam Aluminium menjadi baik di air laut (Vargel,2004). Berikut pada Gambar 2.11 merupakan pengaruh kandungan oksigen, temperatur, *pH* dan salinitas terhadap kedalaman air laut.



Gambar 2.11 Pengaruh Kandungan Oksigen, Temperatur, *Ph* dan Salinitas Terhadap Kedalaman Air Laut (Vargel,2004)

2.8.5. Pengaruh Konsentrasi Sulfat

Pada air, Sulfat akan bereaksi dengan kalsium, magnesium dan natrium. Ion Sulfat bereaksi pada tahanan korosi pada logam Aluminium lebih lemah dari pada ion klorida. Akan tetapi Ion Sulfat berpengaruh untuk meningkatkan kedalaman korosi secara signifikan dan menghambat pembentukan lapisan pasif pada logam. (Vargel,2004). Gambar 2,12 merupakan pengaruh banyaknya konsentrasi Sulfat terhadap banyaknya massa anoda yang hilang pada logam Aluminium



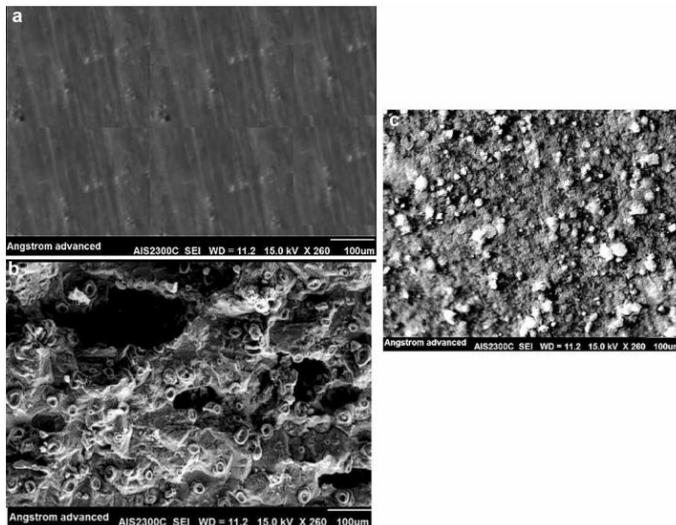
Gambar 2.12 Pengaruh Konsentrasi Sulfat pada Banyaknya Massa yang Hilang pada Logam Aluminium (Vargel,2004)

2.9 Pengaruh Kalium Iodida Terhadap Korosi

Pada penelitian yang dilakukan oleh Khadom, dkk. Dengan menggunakan katoda baja karbon rendah dengan elektrolit Asam Klorida, dan dengan menambah Kalium iodida sebagai korosi inhibitor. Efisiensi inhibitor meningkat seiring

meningkatnya konsentrasi inhibitor yang merupakan Kalium Iodida, hingga maksimal efisiensi inhibitorynya mencapai 94% pada konsentrasi inhibitor tertinggi 2,5 ml.

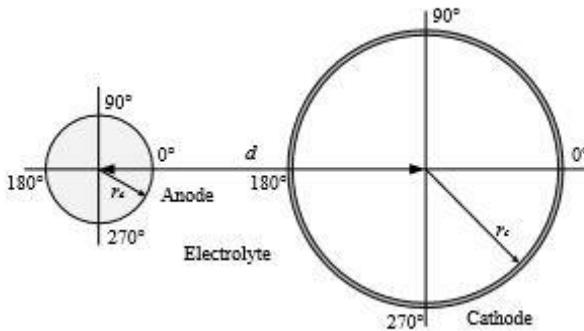
Dari Gambar 2.13 Dapat terlihat adanya korosi pada permukaan baja karbon rendah terlihat berkurang dengan adanya KI. Dari Gambar 2.13 Juga jelas terlihat adanya kerusakan yang parah dan lubang yang terlihat jelas pada permukaan baja karbon rendah tanpa adanya inhibitor (Gambar 2.12 b) dibandingkan dengan adanya inhibitor (Gambar 2.12 c). Berkurangnya lubang dan retak pada permukaan yang dilapisi inhibitor. Ini sesuai bahwasannya permukaan logam tertutup oleh molekul KI dan adanya lapisan pelindung yang terbentuk.



Gambar 2.13 Pengujian SEM Baja Karbon Rendah dengan Perbesaran 1.0kx. A. Sampel Sebelum Dichelupkan, B Sampel Setelah Dichelupkan Larutan 1M HCl Tanpa KI (60°C), C Larutan 1M HCl dengan Larutan KI

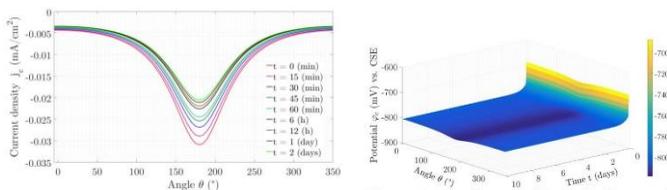
2.10 Pengaruh Geometri Anoda Terhadap Distribusi Rapat Arus dan Potensial Listrik

Matematika model di rancang sedemikian rupa sesuai Gambar 2.14. jari-jari anoda 1 m sedangkan jari-jari katoda adalah 5 m. Keduanya, anoda dan katoda ditempatkan dalam elektrolit dengan tahanan $25\Omega\text{cm}$



Gambar 2.14 Analisis Geometri Anoda Galvanik Sistem Proteksi Katodik

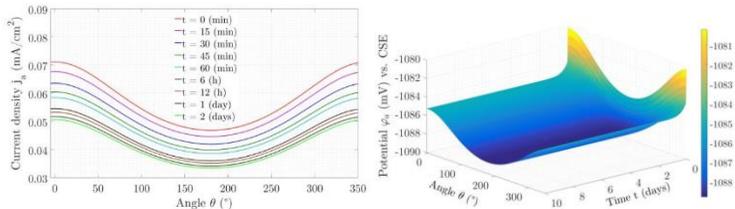
Dari perhitungan potensial dan rapat arus pada permukaan anoda dan katoda. Pada saat disimulasikan distribusi potensial listrik dan rapat arus pada permukaan katoda sesuai Gambar 2.15



Gambar 2.15 Distribusi Rapat Arus (Kiri) dan Potensial Listrik (Kanan) pada Permukaan Katoda

Dari Gambar 2.15 mengindikasikan bahwa area yang dekat dengan anoda (titik katoda yang dekat dengan anoda adalah

titik 180°) mempunyai potensial listrik yang lebih negatif, hal ini menunjukkan area yang dekat dengan anoda lebih terproteksi dari pada sisi lainnya. Selain itu rapat arus tertinggi terletak pada area yang dekat dengan anoda.



Gambar 2.16 Distribusi Rapat Arus (Kanan) dan Potensial Listrik (Kiri) pada Permukaan Anoda

Pada permukaan anoda (Gambar 2.16), potensial listrik lebih positif pada area yang terdekat dengan katoda (pada titik 0°), selain itu rapat arus tertinggi terjadi pada titik yang terdekat dengan katoda (Mujezinovic,2016)

2.11 Penelitian Sebelumnya

2.11.1 Perbandingan Efisiensi Anoda Aluminium pada Lingkungan Air Laut dan Pasir Laut

Pada penelitian yang dilakukan oleh Enriko Fadly yang melakukan pengujian efisiensi anoda dengan menggunakan media air laut dan pasir laut. Pengujian dilakukan dengan standar pengujian DNV RP-B401. Anoda yang digunakan pada penelitian ini adalah logam Aluminium. sebelum melakukan pengujian, resistivitas media air laut dan pasir laut diukur terlebih dahulu. Resistivitas adalah kemampuan suatu material atau media untuk menahan arus listrik yang akan melewatinya, yang dinyatakan dalam satuan Ωcm . dari hasil pengujian, resistivitas pasir laut memiliki resistivitas yang lebih tinggi dibandingkan dari resistivitas air laut. Hal ini membuat arus proteksi dari anoda pada lingkungan pasir memiliki hambatan yang lebih besar. Hasil uji

resistivitas pada media air laut dan pasir laut diketahui pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Hasil Uji Resistivitas Pada Media Air Laut dan Pasir Laut

Media	Resistivitas (Ωcm)
Air Laut	21,1
Pasir Laut	40,8

Dari hasil perhitungan efisiensi anoda Al, maka dapat kita lihat bahwa efisiensi anoda pada lingkungan air laut lebih tinggi dari lingkungan pasir laut. hal ini disebabkan resistivitas pasir laut lebih tinggi dari resistivitas pasir laut. sehingga hambatan arus pada pasir laut lebih besar dari air laut dan mempengaruhi arus proteksi anoda yang melewati media tersebut. Hasil perhitungan efisiensi anoda pada media air laut dan pasir laut dapat dilihat pada Tabel 2.5

Tabel 2.5 Hasil Perhitungan Efisiensi Anoda pada Media Air Laut dan Pasir Laut

Lingkungan	Efisiensi Rata-rata (%)
Air Laut	90,1
Pasir Laut	88,36

2.11.2 Studi Pengaruh Unsur Cadmium Terhadap Kinerja Anoda Korban Seng dengan Metode DnV RP-B401 (1993)

Pada Penelitian yang dilakukan oleh Abdul Ra'uf mengenai pengaruh unsur cadmium terhadap kinerja anoda korban seng dengan metode DnV RP-B401. Terdapat 2 jenis Anoda yang digunakan pada penelitian kali ini. Berikut merupakan kedua komposisi anoda. berikut pada Tabel 2.6 merupakan komposisi anoda pduan seng

Tabel 2.6 Komposisi Anoda Paduan Seng

Al(%Wt)	Cu (%Wt)	Cd (%Wt)	Fe (%Wt)	Pb (%Wt)	Si (%Wt)	Zn (%Wt)
0,2645	0,00255	0,02295	0,0026	0,006	0,00235	99,7
0,289	0,000567	0,08757	0,0030	0,004	0,0026	99,463

Dari Tabel 2.6 dapat kita lihat bahwasannya terdapat dua jenis anoda yang berbeda. Yang pertama adalah anoda dengan komposisi cadmium 0,02295% dengan kode Cd0 dan yang kedua adalah anoda dengan komposisi cadmium 0,0875% dengan kode Cd1. Berikut pada Tabel 2.7 merupakan hasil pengujian DnV RP-B401 pada penelitian kali ini.

Tabel 2.7 Hasil Pengujian pada Anoda Korban Paduan Seng

Kode	Komposisi %	Weight Loss (gr)	OCP(mV) vs Ag/AgCl	Kapasitas arus (A.Hr/Kg)	Efisiensi (%)	Corrosion Rate (mpy)	E_{corr} (V) Vs Ag/AgCl
Cd0	0,02295	4,05	-1,036	681,6	84,27631	3,8628	-1,032
Cd1	0,0875	4,189	-1,028	667,438	81,39488	2,9498	-1,031

Pada saat kadar cadmium 0,02295% mengalami hilang berat sebanyak 4,05 gram, sedangkan pada saat kadar cadmiumnya 0,0875% mengalami hilang berat sebanyak 4,189 gram. Sehingga dapat kita lihat bahwasannya semakin banyaknya kadar cadmium sebuah paduan akan menyebabkan semakin banyaknya berat logam yang hilang. Selain itu anoda paduan seng yang memiliki

nilai efisiensi 84,27631%, kapasitas arus 691,6 dan laju korosi yang lebih tinggi terjadi pada kadar cadmium sebesar 0,0229%.

Efisiensi anoda tergantung dari kapasitas arus anoda. Jika kapasitas arus anoda aktual mendekati nilai teoritisnya. Maka akan semakin besar efisiensi yang didapat. Semakin besar efisiensi anoda, maka anoda tersebut memiliki karakteristik elektrolitima dan *cost* yang semakin baik. Laju korosi digunakan untuk memperkirakan umur pakai suatu anoda. Adanya endapan unsur pematu pada batas butir akan mengakibatkan terjadinya perbedaan potensial secara makro antara endapan tersebut dengan matriks logam seng. Sehingga korosi pada anoda seng berawal dari batas butir.

Potensial awal anoda seng cenderung semakin positif dengan meningkatnya kadar cadmium dari -1,036 V dengan kadar 0,0229% menjadi -1,028 V dengan kadar 0,0875% cadmium. Pola korosi semakin tidak merata dengan penambahan unsur cadmium, hal itu dapat terlihat penampakan *pitting* yang lebih banyak pada paduan anoda seng dengan kadar 0,0875% cadmium. Dengan kadar Cd sebesar 0,0875% endapan Cd akan semakin banyak pada batas butir. Karena banyaknya Cd yang mengendap akan menyebabkan terjadi korosi lokal sehingga arus akan dipakai oleh reaksi lokal tersebut. Karena hal tersebut maka aliran elektron semakin sedikit dan mengakibatkan potensial anoda menjadi lebih positif.

2.12 DnV•GL (*Det Norske Veritas*)•(*Germanischer Lloyd*)

DnV•GL adalah lembaga klasifikasi terbesar yang menyediakan layanan untuk 13.175 kapal dan unit lepas pantai (MOU) sebesar 265,4 mill gt yang mewakili pasar global sebesar 21%. Setiap tahun, DnV GL banyak berinvestasi dalam R&D yang berjumlah 5% dari pendapatannya. Sejak 1864, DnV GL selalu mempertahankan departemen yang didedikasikan untuk penelitian yang meningkatkan dan mengembangkan layanan, aturan, dan standar untuk dunia industri. Banyak inovasi dari DnV

GL yang digunakan sbagai acuan untuk standar Internasional. DnV GL dibagi menjadi 5 area bisnis yaitu *Maritime, Oil and gas, Energy, business Assurance, dan Digital Solution.*

Berikut merupakan beberapa contoh standar yang ada pada DnV GL *Oil and gas*:

Tabel 2.8 Jenis-Jenis DnV GL

NAMA	Keterangan
DnV GL-RPF401	Desain dan operasi pipa karbon dioksida
DnV GL-RPE304	Penilaian tali serat untuk pembatas laut lepas
DnV GL-RPF101	Pipa berkarat
DnV GL-RPF103	Proteksi katoda untuk pipa bawah laut
DnV GL-RPB401	Desain proteksi katodik

Pada Tabel 2.8 menjelaskan tentang jenis-jenis standar dari DnV GL dan juga kegunaan dari standar itu sendiri.

2.12.1 DnVGL-RPB401

DnVGL-RPB401 merupakan Praktek rekomendasi untuk mempersiapkan dalam mengeksekusi konsep dan detail desain proteksi katodik menggunakan aluminium atau seng sebagai anoda galvanisnya, dan spesifikasi manufaktur dan instalasi seperti anoda. Beberapa desain rekomendasi dan metode juga bisa digunakan untuk sumber arus lainnya seperti anoda magnesium dan rectifier (ICCP).

Rekomendasi praktek utamakan untuk proteksi katodik dengan struktur lepas pantai yang terpasang secara permanen yang berhubungan dengan produk minyak dan gas.

Dibandingkan dengan DnV-RPB401 edisi 1993, desain untuk ICCP telah di hapus dari edisi 2004, sedangkan pembuatan dan pemasangan anoda dibuat lebih komprehensif.

2.13 Anoda

Anoda adalah elektrode negatif, bisa berupa logam maupun penghantar listrik lain, pada sel elektrokimia yang terpolarisasi jika arus listrik mengalir ke dalamnya. Arus listrik mengalir berlawanan dengan arah pergerakan elektron. Pada proses elektrokimia, baik sel galvanik (baterai) lithium ion maupun sel elektrolisis, anode mengalami oksidasi. Pada sistem arus paksa disamping anoda sebagai sumber elektron juga dibutuhkan sumber arus seperti rectifier yang dihubungkan dengan anoda.

Pada metode arus paksa, anoda tidak dipilih dari logam dengan potensial elektrode lebih negatif dari logam yang dilindungi, tetapi justru dipilih dari logam mulia. Meskipun potensial elektrode anoda tersebut lebih besar daripada pipa baja, elektron tetap mengalir dari anoda menuju pipa karena dipaksa oleh arus searah (DC) yang diperoleh dari transformator rectifier. Dengan demikian suatu struktur yang memiliki luasan besar dapat dilindungi oleh sebuah anoda tunggal dan karena tegangan dorong yang dimiliki tinggi, anoda dapat ditempatkan jauh dari struktur. Anoda untuk metode arus paksa umumnya diklasifikasikan ke dalam tiga tipe:

1. Anoda tipe aktif (terkonsumsi cepat) : besi atau baja.
2. Anoda semi-pasif (semi-terkonsumsi) : grafit, timbal, besi silikon
3. Anoda pasif sempurna (tidak terkonsumsi) : terbuat dari platina

Berikut Tabel 2.9 merupakan contoh material anoda korban

Tabel 2.9 Anoda Korban

Material Anoda	Media	Typical Loss (Lb/A.Y)
Scrap Steel	Tanah, air tawa/laut	20
Aluminium	Tanah, air tawa/laut	10-12
Grafit	Tanah, air tawa/laut	0.25-5.0
High Silicon Iron dan Si-Cr Iron	Tanah, air tawa/laut	0.25-5.0
Timah	Air Laut	0.1-0.25
Platinum dan Titanium.	Air Laut	Kosong

(Supomo,1995)

2.14 Pengaruh Unsur Paduan Terhadap Anoda Logam Aluminium

Faktor utama yang mempengaruhi karakteristik dan kinerja anoda korban adalah komposisi anoda korban itu sendiri. Pada beberapa penelitian yang telah dilakukan untuk membahas tentang pengaruh unsur pepaduan terhadap karakteristik anoda. Setaip unsur pepaduan yang ditambahkan kedalam anoda korban akan mempengaruhi karakteristik anoda korban tersebut.

Penambahan unsur timah (Sn), indium (In), gallium (Ga) akan menyebabkan penurunan potensial kearah negative sebesar 0,3-0,9 volt. Untuk penambahan material seng (Zn), cadmium (Cd), barium (Ba), dan magnesium (Mg) akan menyebabkan penurunan potensial kearah negatif sebesar 0,1-0,3 volt (Hine,1993)

2.14.1 Pengaruh unsur Seng (Zn)

Penambahan unsur seng (Zn) pada anoda korban aluminium akan menyebabkan penerunan potensial sebesar 0,1-0,3 volt. Penambahan 0,03%-15% yang disertai timah (Sn) sejumlah 0,04%-0,15% akan mencegah terbentuknya lapisan pasif pada anoda korban, sehingga akan meningkatkan efisiensi galvanik anoda. (Bernanto, 1993)

Unsur seng juga berpengaruh terhadap penampakan pola korosi anoda aluminium. Penambahan pepadu seng kedalam paduan Al-Zn-In akan menghasilkan pola korosi yang merata pada seluruh permukaan yang akan memberikan rapat keluaran arus yang tinggi.

2.14.2 Pengaruh Unsur Indium (In)

Unsur pepadu indium (In) yang ditambah ke logam aluminium akan menyebabkan potensial aluminium menjadi lebih negatif 0,3-0,9 volt (Hine, 1993). Indium dalam larutan padat akan berfungsi mengaktifkan aluminium (May, 1987). Penambahan unsur indium juga berfungsi untuk mencegah pembentukan lapisan pasif, serta menyebabkan pola korosi yang lebih merata dibandingkan tanpa indium pada permukaan anoda tanpa mengurangi efisiensinya. Penambahan unsur indium juga menyebabkan potensial anod aluminium tanpa unsur pepadu indium. Akan tetapi penambahan indium menyebabkan peningkatan efisiensi yang kecil.

Paduan aluminium tanpa indium seperti Al-Zn dengan komposisi 0.5% mempunyai pola korosi Pitting. Bentuk Pitting tersebut dipengaruhi prosentasi Zn dalam paduan tersebut. Al-Zn memiliki pola korosi pitting berbentuk *Crystallographic* menyerupai bentuk pitting pada Al murni.

Paduan lain seperti Al-3Zn memiliki prosentasi yang lebih tinggi daripada Al-1Zn memiliki pola korosi pitting irregular dan tunnel. (Sialowska, 1986)

2.14.3 Pengaruh unsur Silikon (Si)

Unsur silikon (Si) didalam anoda korban paduan aluminium merupakan pengotor yang menurunkan karakteristik anoda korban. Unsur-unsur pengotor ini biasanya diperoleh dari bahan baku aluminium atau dari unsur paduannya.

Pengaruh unsur pengotor Si berbeda dengan unsur pengotor lainnya didalam anoda korban aluminium. unsur pengotor biasanya justru ditambahkan ke anoda korban paduan aluminium. Penambahan sebanyak 0,0041%-0,212% Si akan menghasilkan paduan dengan efisiensi tinggi (92%) (Hine, 1993) dan sedikit menurunkan kadar anoda. Tetapi penambahan Si ini akan mengakibatkan pola korosi yang tidak teratur (*irregular*) dan waktu yang diperlukan untuk mencapai potensial stabil bertambah lama.

2.14.4 Pengaruh Unsur Fe dan Cu.

Presentasi unsur pengotor Fe dan Cu yang berlebihan didalam anoda korban paduan aluminium akan sangat mempengaruhi karakteristik anoda korban. Pengaruh unsur pengotor Fe dan Cu sampai prosentase tertentu akan menguntungkan karena akan meningkatkan efisiensi galvanik (Bernanto, 1993)

Sejumlah kecil kadar Cu didalam anoda korban aluminium akan mengakibatkan pola korosi yang kurang menguntungkan, yaitu pitting dan produk korosi mempunyai sifat adhesi yang kuat sehingga sulit terlepas dari permukaan anoda. Selain itu kadar Cu yang tinggi juga akan menyebabkan potensial anoda lebih positif (katodik) dibandingkan kadar unsur pengotor Cu yang lebih kecil.

2.15 Pengujian Anoda Korban

Selain DnVGL RP-B410, untuk mendapatkan efisiensi anoda korban dapat menggunakan pengujian standar lainnya, yaitu NACE-TM0190-98 dan ASTM G3-89

2.15.1 NACE-TM0190-98

Metode pengujian standar ini digunakan untuk menentukan karakteristik anoda korban berupa potensial dan kapasitas arus dalam skala pengujian laboratorium untuk paduan Aluminium yang digunakan untuk proteksi katodik. Pengujian ini digunakan untuk menyeleksi variasi panas atau banyaknya karakteristik anoda yang biasa digunakan.

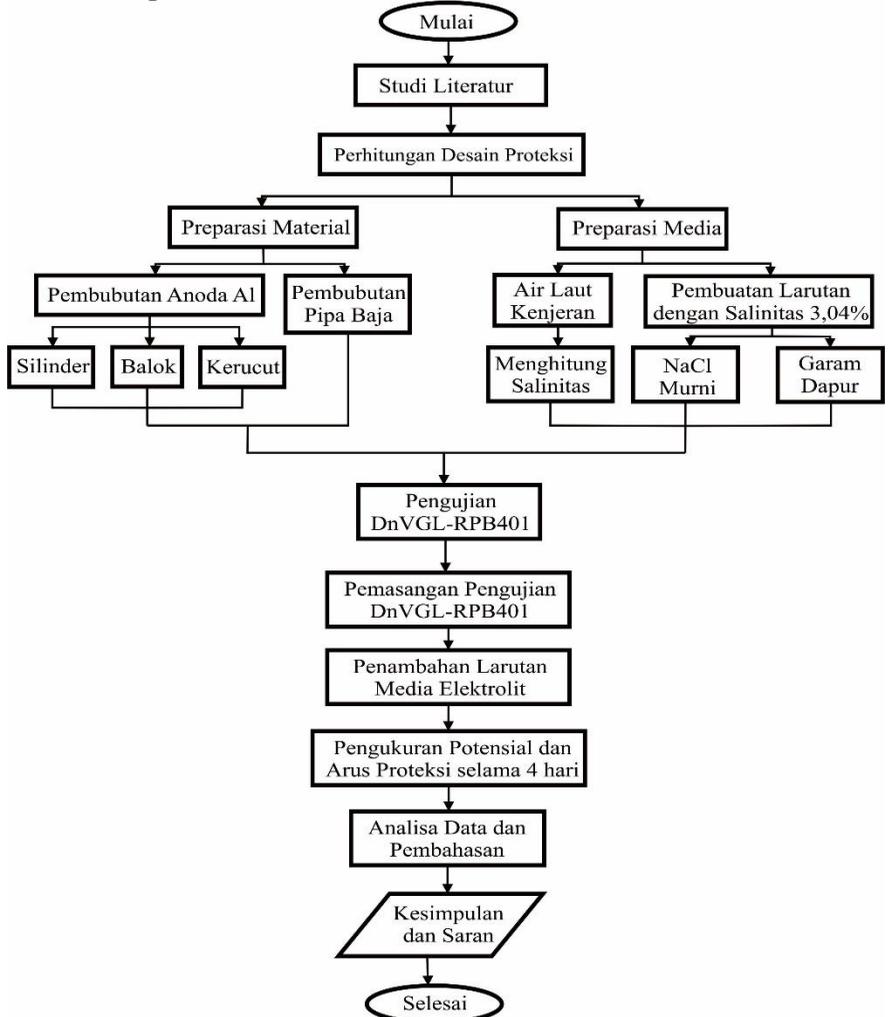
Satu metode pengujian untuk mengevaluasi potensial dan dua metode pengujian untuk menentukan kapasitas arus. Untuk potensial anoda diukur dengan elektrode *reference* selama 3 jam, 24 jam, 48 jam dan 336 jam. Sedangkan untuk kapasitas arus ditentukan melalui metode massa yang hilang dan metode evolusi hidrogen.

2.15.2 ASTM G3-89

Pengujian ini digunakan untuk menentukan karakteristik anoda korban berupa potensial anoda, rapat arus, kapasitas arus. Pengujian elektrokimia ini menggunakan metode potensiodinamis dan polarisasi potensiodinamik.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengujian DnVGL-RPB401

3.2 Standar yang digunakan

Penelitian ini dilakukan dengan mengikuti standar DnVGL-RPB401 *Cathodic Protection Design*

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Bahan

Bahan yang digunakan pada perancangan penelitian ini adalah

1. Pipa Baja karbon rendah
2. Aluminium
3. NaCl murni
4. Garam Dapur
5. Air Laut Kenjeran
6. Polchlorophene Glue/Silicon Rubber
7. Aquades

3.3.2 Alat

Alat yang digunakan pada perancangan kali ini

1. Transformator Rectifier
2. Elektrode Reference CuSO_4
3. Multitester
4. Bor Cordless
5. Potensiometer
6. Lem tembak

3.4 Pengujian DnVGL-RPB401 standar

3.4.1 Preparasi Sampel dan Bahan Pengujian

1. Sample Anoda terdapat 3 bentuk yang memiliki luas permukaan yang sama, yaitu $15,7 \text{ cm}^2$; bentuk silinder dengan diameter 10 mm dengan panjang 50 mm, Balok dengan panjang sisi 7,85 mm dengan tinggi 50 mm, dan bentuk kerucut dengan diameter 20 mm dengan panjang 48,98 mm
2. Sebuah lubang dengan diameter 3 mm dibuat disalah satu ujung sample dan dihubungkan dengan *Support Rod* atau

batang penyangga yang terbuat dari titanium. Batang penyangga harus mempunyai lapisan *Insulator* listrik disemua bagian-bagian terkena larutan uji

3. Sebelum dicelup ke dalam larutan uji, sampel dicuci dengan air dilanjutkan dengan alkohol. Sampel kemudian dikeringkan lalu ditimbang sampai ketelitian 0,1 mg
4. Larutan pengujian berupa larutan garam dapur dan larutan NaCl murni dengan kadar salinitasnya 3,04%. Selain itu larutan pengujian lainnya berupa air laut kenjeran yang sebelumnya telah dilakukan pengujian salinitas
5. Setelah batang penyangga di-mounting, ujung spesimen tersebut dilapisi dengan perekat yang sesuai seperti *neoprene glue* dan *Silicon Rubber*
6. Setiap pengujian sebuah sample anoda menggunakan larutan uji dengan volume minimum 10 liter. Larutan uji harus secara *kontinu* dialirkan udara dan tidak boleh diganti selama periode pengujian. Dan temperatur dipertahankan pada temperatur kamar
7. Setiap spesimen anoda harus disuspensikan ke dalam tabung silinder terbuat dari baja yang tidak dilapisi dengan luas permukaan minimum 20x luas permukaan spesimen anoda korban, yaitu kira-kira 400 cm^2

3.4.2 Prosedur pengujian

1. Spesimen anoda korban dan katoda baja dihubungkan masing-masing ke kutub positif dan kutub negatif dengan sumber arus tetap DC
2. Sebuah *current integrator*, seperti *Cu coulometer*, yang bisa mengukur total dari *discharge current* sampai tingkat akurasi $\pm 2\%$ harus dirangkai dalam sirkuit
3. Arus yang mengalir melalui sirkuit atau cell harus disesuaikan untuk menghasilkan *anodic current density* yang didasarkan pada luas permukaan spesimen mula-mula yang ter-ekspos terhadap larutan uji, yaitu : hari I :

- 1,5mA/cm² ; hari II : 0,5 mA/cm² ; hari III : 4,0 mA/cm² ; hari IV : 1,5 mA/cm².
4. Current density harus dikontrol dengan tingkat akurasi sampai 0,1 ma/cm² dan harus dipertahankan selama periode pengujian. Total waktu pengujian adalah 96 ± 4 jam
 5. Disetiap akhir pengujian, potensial anoda diukur pada 3 posisi pertitik. Spesimen tidak boleh dibersihkan dari produk korosi sebelum pengukuran dilakukan
 6. Pengukuran *electrochemical efficiency* menggunakan Persamaan 3.1 dan Persamaan 3.2

$$e \text{ (ampere-hour / kg)} = C \times 1000 / W \quad (3.1)$$

Dimana : C = total perubahan arus (*ampere.hour*)

W= berat anoda yang hilang (gram)

$$\text{Presentase efisensi : } \eta = [e/2976,256] \times 100 \% \quad (3.2)$$

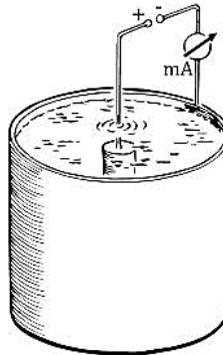
Dimana : 2976,256 = kapasitas Anoda Al murni (A-hr/Kg)

3.4.3 Kriteria Penerimaan

Pada pengujian DnVGL-RPB401 nilai *electrochemical efficiency* harus memenuhi persyaratan yang telah ditentukan untuk Al *base sacriface anode*, yaitu dengan kapasitas arus minimal : 2500 A.hr/Kg

3.4.5 Skema Rancangan Percobaan

Berikut Gambar 3.2 merupakan skema percobaan pengujian DnVGL-RPB401



Gambar 3.2 Skema Perancangan Percobaan DnVGL-RPB401
(DnVGL-RPB401,2017)

3.5 Media Elektrolit

Pada pengujian DnVGL-RPB401 media elektrolit memiliki nilai salinitas minimal 3%, karena pada pengujian kali ini ingin membandingkan variasi media elektrolit dengan nilai salinitas yang sama. Maka salinitas pada pengujian kali ini adalah 3,04%, yang mana 3,04% adalah salinitas dari air laut kenjeran. Untuk menghitung salinitas menggunakan Persamaan 3.3

$$\text{Salinitas (\%)} = \frac{\text{Massa terlarut}}{\text{massa total}} \quad (3.3)$$

3.5.1 Pembuatan Larutan Salinitas 3,04%

3.5.1.1 NaCl murni

Untuk membuat 10 L pengganti air laut dengan salinitas 3,04% adalah menggunakan ASTM D1141, yaitu dengan cara melarutkan NaCl murni 304 gram ke dalam 8 liter aquades. Kemudian mencairkannya hingga 10 liter. Sehingga akan menghasilkan larutan NaCl murni dengan salinitas 3,04%

3.5.1.2 Garam Dapur

Untuk membuat 10 L pengganti air laut dengan salinitas 3,04% adalah menggunakan ASTM D1141, yaitu dengan cara melarutkan garam dapur 323 gram ke dalam 8 liter aquades. Kemudian mencairkannya hingga 10 Liter.

3.5.2 Salinitas Air Laut Kenjeran

Untuk menghitung salinitas air laut kenjeran adalah dengan menguapkan air laut kenjeran sebanyak 1 liter. Kemudian dapat menghitung kadar salinitas dalam 1 liter air. Dalam 1 liter air laut kenjeran, terdapat 30,42 gram yang mengkristal setelah diuapkan. Sehingga menggunakan persamaan 17 dapat kita tentukan bahwa kadar salinitasnya adalah 3,04%.

3.5.3 Komposisi Garam Dapur

Adapun komposisi garam dapur yang digunakan pada pengujian kali ini terdapat pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Komposisi Garam Dapur yang Digunakan sebagai Media Elektrolit

Komposisi	Kandungan
Kadar Air	0,1 %
Natrium Klorida	94%
Yodium	42,60 ppm

3.6 Komposisi Anoda Korban

Berikut Tabel 3.2 merupakan komposisi Aluminium yang akan digunakan sebagai anoda korban yang menggunakan pengujian komposisi kimia X-ray Fluorescence

Tabel 3. 2 Komposisi Aluminium

Komposisi	Kandungan (%)
Al	95,81
Zn	2,78
Fe	0,7
Si	0,44
Cu	0,12
Pb	0,01

Anoda dibubut hingga memiliki luas permukaan yang sama yaitu 15,7 cm² yang sesuai dengan pengujian DnVGL-RPB401

3.7 Komposisi Katoda

Berikut Tabel 3.3 merupakan Komposisi Katoda yang digunakan dalam pengujian DnVGL-RPB401 :

Tabel 3.3 Komposisi Katoda

Komposisi	Kandungan (%)
C	0,0415
Mn	0,149
P	0,0068
S	0,0076
Ti	<0,001
V	<0,0005
Ni	0,0260
Fe	Balanced

Pada Gambar 3.3 merupakan pipa katoda yang digunakan untuk pengujian DnVGL-RPB401 kali ini, dengan luas permukaan dalam adalah sekitar 400 cm²



Gambar 3.3 Pipa Katoda

3.8 Tabel Eksperimen Pengujian

Berikut adalah Tabel 3.4 pengujian dan data yang didapat dari penelitian tersebut

Tabel 3.4 Tabel Eksperimen

Bentuk Anoda	Media Elektrolit	Open Circuit Potential	Closed Circuit Potential				Berat Anoda	
			Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4	Berat Awal	Berat Akhir
kerucut	Larutan NaCl Murni	v	v	v	v	v	v	v
Balok		v	v	v	v	v	v	v
Silinder		v	v	v	v	v	v	v
	Larutan Garam Dapur	v	v	v	v	v	v	v
	Air Laut Kenjeran	v	v	v	v	v	v	v

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Data

4.1.1 Hasil Pengujian Potensial Anoda Korban Pengujian DnVGL-RPB401

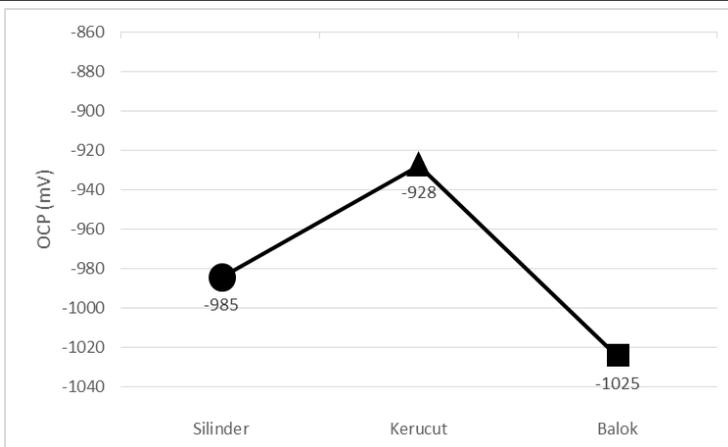
Pada pengujian DnVGL-RPB401 terdapat 2 kali pengujian Potensial Anoda Korban, yaitu *Closed Circuit Potential* dan *Open Circuit Potential*. *Open Circuit Potential* adalah potensial anoda korban pada lingkungannya sebelum dihubungkan dengan material yang akan diproteksi. Sedangkan *Closed Circuit Potential (CCP)* adalah nilai potensial anoda korban setelah dihubungkan material yang akan diproteksi. Berikut merupakan Tabel 4.1 pengujian Potensial Anoda Korban pada pengujian DnVGL-RPB401 :

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Potensial Anoda Korban

Katoda						
Bentuk Anoda	Media Elektrolit	Open Circuit Potensial	Closed Circuit Potensial			
			Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4
Silinder	Larutan Garam Dapur	-854	-1057	-956	-1107	-1290
Silinder	Air Laut Kenjeran	-838	-1039	-925	-1094	-1040
Silinder	Larutan NaCl Murni	-858	-1042	-978	-1107	-1043
Prisma Segi empat	Larutan NaCl Murni	-917	-1048	-969	-1113	-1041
Kerucut	Larutan NaCl Murni	-923	-1053	-971	-1098	-1040
Anoda						
Bentuk Anoda	Media Elektrolit	Open Circuit Potensial	Closed Circuit Potensial			
			Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4
Silinder	Larutan NaCl Murni	-985	-870	-827	-700	-768
Silinder	Larutan Garam Dapur	-865	-860	-912	-680	-978
Silinder	Air Laut Kenjeran	-950	-839	-827	-668	-730
Kerucut	Larutan NaCl Murni	-928	-805	-841	-741	-798
Balok	Larutan NaCl Murni	-1025	-827	-818	-853	-868

4.1.1.1 Hasil Potensial Anoda Korban Variasi Bentuk Anoda

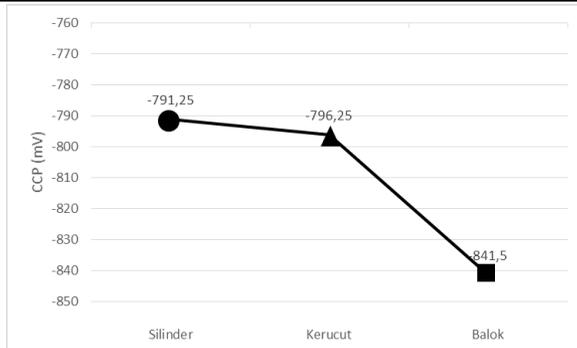
Pada permukaan anoda terdapat 2 kali pengujian potensial, yaitu *Closed Circuit Potential* dan *Open Circuit Potential*. Berikut Gambar 4.1 merupakan nilai OCP pada permukaan anoda korban dengan media elektrolit berupa larutan NaCl murni



Gambar 4.1 *Open Potential Circuit* Anoda Variasi Bentuk Anoda

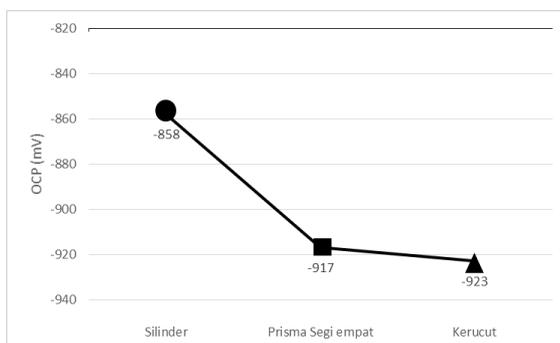
Dari Gambar 4.1 menunjukkan bahwasannya nilai OCP pada permukaan anoda paling negatif terjadi pada bentuk Balok larutan NaCl murni dengan nilai sebesar -1025 mV, sedangkan dengan bentuk silinder larutan NaCl murni dengan nilai sebesar -985 mV, dan bentuk kerucut larutan NaCl murni dengan nilai sebesar -928 mV.

Sedangkan nilai CCP pada permukaan anoda korban dengan media elektrolit larutan NaCl murni seperti Gambar 4.2 dibawah ini



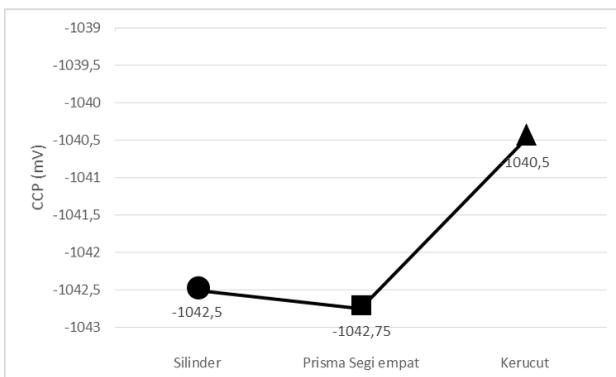
Gambar 4.2 *Closed Circuit Potential* Anoda Variasi Bentuk Anoda

Dari Gambar 4.2 menunjukkan bahwa nilai CCP paling negatif terjadi pada bentuk anoda Balok larutan NaCl murni dengan nilai -841,5 mV, sedangkan pada bentuk anoda kerucut larutan NaCl murni memiliki nilai potensial -796,25 mV dan bentuk anoda silinder larutan NaCl murni memiliki nilai potensial -791,25 mV. Selain pada anoda, pada katoda pun juga terdapat 2 kali pengujian potensial, yaitu *Closed Circuit Potential* dan *Open Circuit Potential*. berikut merupakan Gambar 4.3 merupakan nilai OCP pada permukaan katoda dengan media larutan NaCl murni.



Gambar 4.3 *Open Circuit Potential* Katoda Variasi Bentuk Anoda

Dari Gambar 4.3 menunjukkan bahwasannya nilai OCP pada permukaan katoda yang paling negatif terjadi pada anoda dengan bentuk anoda kerucut yaitu sebesar -923 mV, kemudian bentuk anoda Balok sebesar -917 mV, dan bentuk anoda korban silinder sebesar -858 mV. Sedangkan *Closed Circuit Potential* pada permukaan katoda dengan media larutan NaCl murni ditampilkan seperti Gambar 4.4 dibawah ini

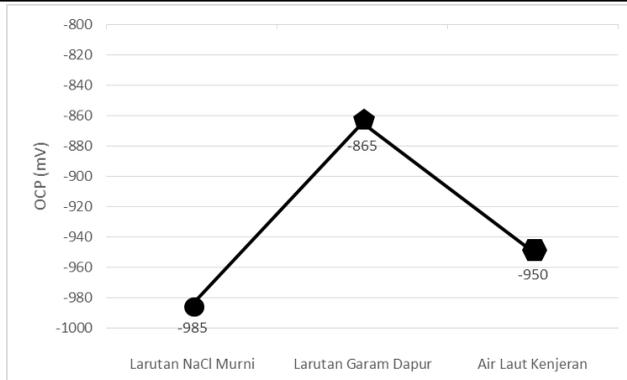


Gambar 4.4 *Closed Circuit Potential* Katoda Variasi Bentuk Anoda

Dari Gambar 4.4 menunjukkan bahwasannya nilai potential pada permukaan katoda paling negatif terjadi pada bentuk anoda Balok yaitu sebesar $-1042,75$ mV, kemudian bentuk anoda silinder sebesar $1042,5$ mV dan bentuk anoda kerucut sebesar $1040,5$ mV.

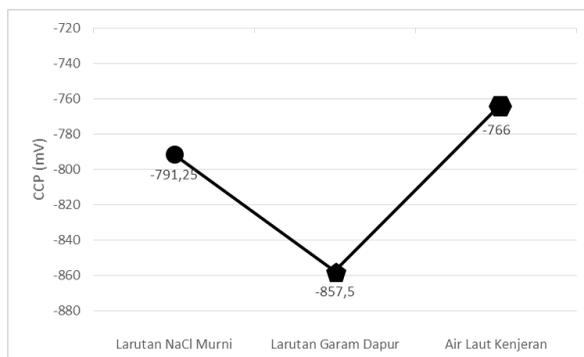
4.1.1.2 Hasil Potensial Anoda Korban Variasi Media Elektrolit

Pada pengujian anoda korban dengan bentuk anoda silinder juga terdapat 2 kali pengujian potensial, yaitu *Closed Circuit Potential* dan *Open Circuit Potential*. berikut Gambar 4.5 merupakan nilai OCP pada permukaan anoda dengan bentuk anoda silinder



Gambar 4.5 *Open Circuit Potential* Anoda Variasi Media Elektrolit

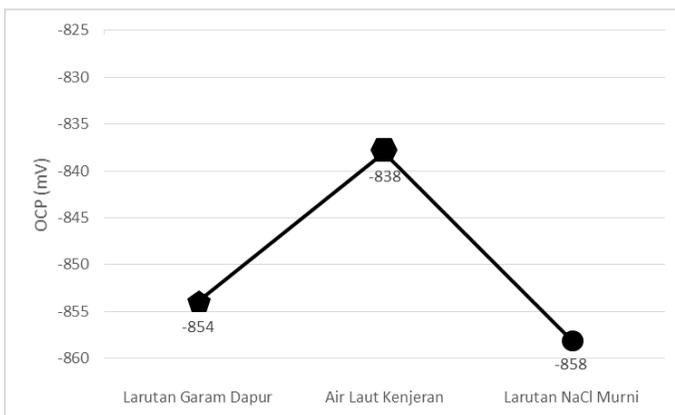
Pada Gambar 4.5 menunjukkan nilai OCP anoda korban pada permukaan anoda yang berbentuk Silinder. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwasannya nilai OCP paling negatif terjadi pada larutan NaCl murni yaitu sebesar -985 mV, kemudian pada air laut kenjeran sebesar -950 mV dan pada larutan garam dapur sebesar -865 mV. Sedangkan nilai CCP pada permukaan anoda dengan bentuk anoda silinder terdapat Gambar 4.6 seperti dibawah ini



Gambar 4.6 *Closed Circuit Potential* Anoda Variasi Media Elektrolit

Dari Gambar 4.6 menunjukkan nilai CCP paling negatif terjadi pada larutan garam dapur yaitu sebesar $-857,5$ mV, kemudian larutan NaCl murni sebesar $791,25$ mV, dan yang memiliki potensial paling positif terjadi pada larutan air laut kenjeran yaitu sebesar -766 mV.

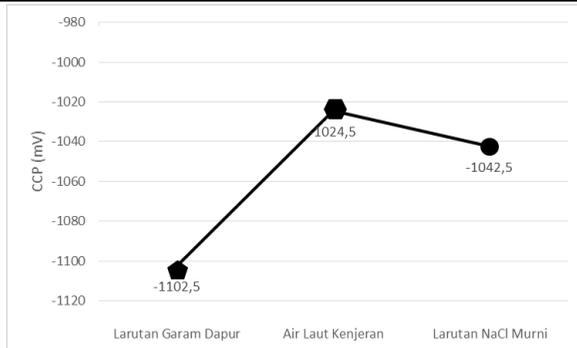
Pada permukaan katoda dengan bentuk anoda silinder terdapat nilai OCP dan nilai CCP. Berikut Gambar 4.7 merupakan nilai OCP pada permukaan katoda dengan bentuk anoda silinder.



Gambar 4.7 *Open Circuit Potential* Katoda Variasi Media Elektrolit

Dari Gambar 4.7 menunjukkan bahwasannya nilai OCP pada permukaan katoda pengujian DnVGL-RPB401 yang paling negatif adalah nilai OCP pada bentuk anoda silinder dengan media elektrolit larutan NaCl murni, yaitu sebesar -858 mV. Kemudian larutan garam dapur sebesar -854 mV dan yang memiliki nilai OCP paling positif adalah bentuk anoda dengan media air laut kenjeran.

Sedangkan nilai CCP pada permukaan katoda akan ditunjukkan pada Gambar 4.8



Gambar 4.8 *Closed Circuit Potential* Katoda Variasi Media Elektrolit

Gambar 4.8 menunjukkan bahwasannya nilai CCP pada permukaan katoda pada pengujian DnVGL-RPB401 dengan bentuk anoda silinder. Nilai CCP yang paling negatif terjadi pada bentuk anoda dengan media larutan garam dapur yaitu -1102,5 mV, kemudian dengan bentuk anoda silinder dengan media larutan NaCl murni, dan nilai CCP paling positif terjadi pada bentuk anoda silinder dengan media air laut kenjeran.

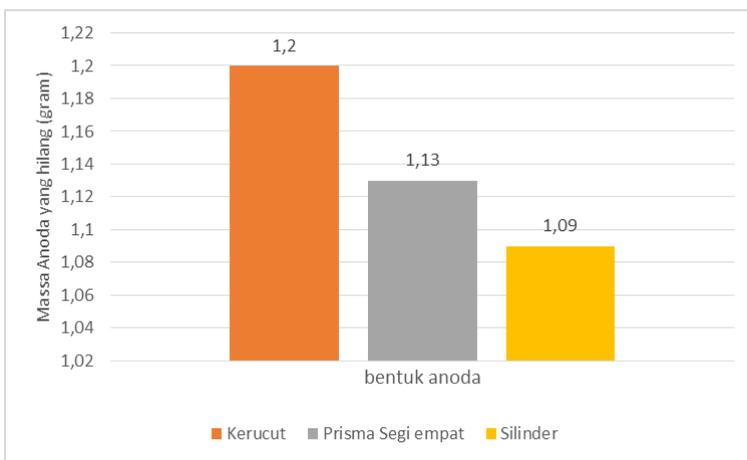
4.1.2 Hasil Efisiensi Anoda Korban

Selain melakukan pengujian potensial anoda korban, pada pengujian DnVGL-RPB401 juga dapat kita ketahui nilai efisiensi dari sebuah anoda korban, yaitu dengan cara menghitung massa anoda yang hilang selama 4 hari perendaman, kemudian dibandingkan dengan elektrokimia aluminium murni. Sehingga akan didapat dari efisiensi sebuah anoda korban. Berikut Tabel 4.2 merupakan hasil pengujian efisiensi anoda korban.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Efisiensi Anoda Korban

No	Bentuk Anoda	Media Elektrolit	Massa Anoda Hilang (Gram)	Efisiensi (%)
1	Kerucut	NaCl Murni	1,20	78
2	Balok	NaCl Murni	1,13	83
3	Silinder	NaCl Murni	1,09	86
4	Silinder	Garam Dapur	0,82	114
5	Silinder	Air Laut Kenjeran	1,13	83

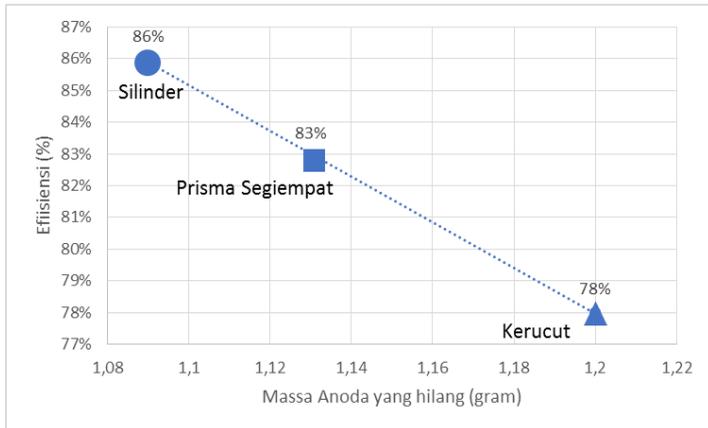
4.1.2.1 Hasil Efisiensi Variasi Bentuk Anoda



Gambar 4.9 Massa Anoda yang Hilang pada Media Larutan NaCl Murni

Dari Gambar 4.9 dapat dilihat anoda yang mengalami pengurangan massa paling banyak, yaitu terjadi pada bentuk kerucut, sebesar 1,2 gram. kemudian anoda berbentuk Balok mengalami pengurangan massa sebesar 1,13 gram. dan yang paling sedikit mengalami pengurangan massa adalah bentuk anoda silinder yaitu sebesar 1,09 gram.

Kemudian dari banyaknya massa yang hilang pada anoda, kita dapat menghitung efisiensi dari anoda korban. Berikut Gambar 4.10 merupakan korelasi antara massa anoda yang hilang dengan efisiensi anoda

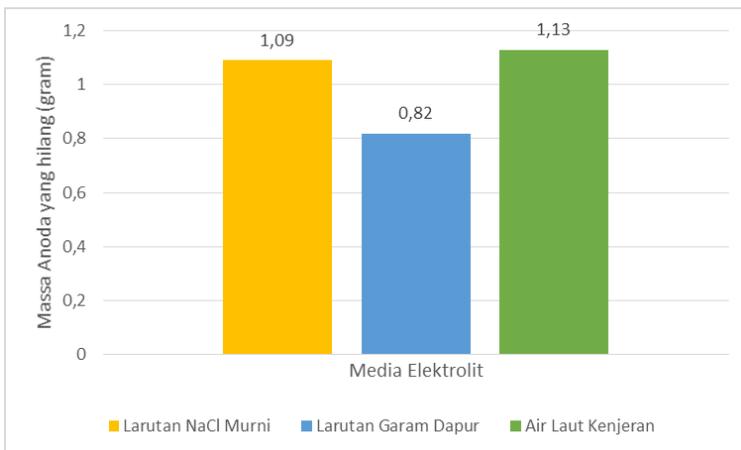


Gambar 4.10 Korelasi Antara Massa Anoda yang Hilang dengan Efisiensi Anoda Korban

Dari Gambar 4.10 menunjukkan bahwasannya pada pengujian DnVGL-RPB401 dengan media larutan NaCl murni korelasi antara massa anoda yang hilang dengan efisiensi anoda korban. semakin banyak massa anoda yang hilang maka semakin dikit efisiensi anoda. pada media larutan NaCl murni, massa anoda yang paling banyak hilang adalah anoda dengan bentuk kerucut, sehingga bentuk anoda kerucut memiliki efisiensi yang paling rendah yaitu sebesar 78%. Kemudian bentuk anoda Balok memiliki efisiensi sebesar 83%. Dan bentuk anoda silinder mengalami pengurangan massa anoda yang paling kecil, memiliki efisiensi paling tinggi yaitu sebesar 86%.

4.1.2.2 Hasil Efisiensi Variasi Media Elektrolit

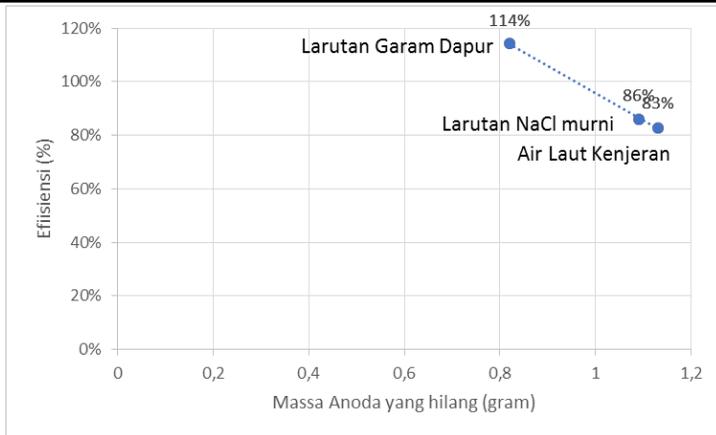
Sedangkan dengan bentuk anoda yang sama yaitu bentuk anoda silinder. Dapat diketahui efisiensi dari anoda korban juga dengan mengetahui massa anoda yang hilang selama perendaman 4 hari dan menghitung efisiensinya. Berikut Gambar 4.11 merupakan massa anoda yang hilang dengan bentuk anoda silinder



Gambar 4.11 Massa Anoda yang Hilang dengan Bentuk Anoda Silinder

Pada Gambar 4.11 menunjukkan bahwasannya massa anoda yang hilangnya paling banyak dengan bentuk anoda silinder terjadi pada media elektrolit air laut kenjeran yaitu sebesar 1,13 gram, sedangkan pada media elektrolit larutan NaCl murni sebesar 1,09 gram, dan yang paling sedikit mengalami hilangnya massa anoda terjadi pada larutan garam dapur yaitu sebesar 0,82 gram.

Kemudian dari banyaknya massa yang hilang pada anoda, kita dapat menghitung efisiensi dari anoda korban. Berikut Gambar 4.12 merupakan korelasi antara massa anoda yang hilang dengan efisiensi anoda



Gambar 4.12 Korelasi Antara Massa Anoda yang Hilang dengan Efisiensi Anoda

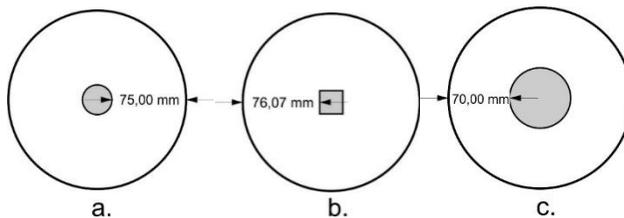
Gambar 4.12 merupakan grafik korelasi antara massa anoda yang hilang dengan elektrokimia yang terjadi pada bentuk anoda silinder dengan perbedaan 3 media elektrolit. Yaitu media Larutan NaCl murni, Larutan Garam Dapur dan Air Laut Kenjeran. Dari grafik terlihat bahwasannya semakin besar anoda yang hilang semakin kecil efisiensi anoda korban. Massa anoda yang hilang paling banyak terjadi pada air laut kenjeran, kemudian pada larutan NaCl murni, dan Larutan Garam Dapur mengalami pengurangan massa anoda yang paling sedikit. Sehingga efisiensi paling tinggi adalah anoda korban bentuk silinder dengan media larutan garam dapur yaitu sebesar 114%, kemudian larutan NaCl murni sebesar 86%, dan yang memiliki efisiensi paling kecil adalah media air laut kenjeran yaitu sebesar 83%.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Potensial Anoda Korban Variasi Bentuk Anoda

4.2.1.1 Analisis Potensial pada Permukaan Anoda

Pada nilai CCP dengan media elektrolit berupa larutan NaCl murni, nilai CCP paling negatif terjadi pada bentuk anoda Balok, yaitu -841,5 mV. sedangkan bentuk kerucut dan bentuk silinder memiliki nilai -796,25 mV dan -791,25 mV. hal ini disebabkan karena adanya perbedaan jarak antara anoda dan katoda pada ketiga bentuk. Pada Permukaan anode yang paling dekat dengan katoda mempunyai potensial listrik yang lebih positif (Mujezinovic,2016).



Gambar 4.13 Ilustrasi Geometri Jarak Antara Anoda dan Katoda dengan Bentuk Anoda A) Bentuk Anoda Silinder, B) Bentuk Anoda Balok, C) Bentuk Anoda Kerucut

Dengan Luas permukaan anoda dan tinggi yang sama, tentunya perbedaan bentuk anoda akan mempengaruhi jarak antara anoda dan katoda. dan dari Gambar 4.13 dapat kita lihat bahwasannya jarak antara anoda dan katoda yang paling jauh terjadi pada anoda bentuk Balok, kemudian bentuk anoda silinder dan bentuk anoda kerucut merupakan bentuk anoda yang memiliki jarak antara anoda dan katodanya lebih dekat dibandingkan bentuk anoda Balok.

Maka dari itu hal ini sesuai dengan teori, bahwasannya bentuk anoda kerucut dan bentuk silinder yang memiliki jarak antara anoda dan katoda paling dekat dan memiliki nilai potensial

(CCP) yang lebih positif dibandingkan Balok, yaitu 796,25 mV dan -791, 25 mV. Sedangkan potensial anoda paling negatif terjadi pada bentuk anoda yang memiliki jarak paling jauh antara anoda dan katoda, yaitu pada bentuk Balok dengan nilai CCP sebesar -841,5 mV.

4.2.2 Analisis Potensial Anoda Korban Variasi Media Elektrolit

Pada umumnya, korosi pada air laut atau lingkungan air laut disebabkan oleh melimpahnya ion klorida (Cl^-), contohnya Natrium Klorida (NaCl). Karena ion klorida sendiri mengurangi tahanan lapisan film Aluminium dan membantu melepaskan lapisan film Aluminium ke air. selain itu, di air laut juga terdapat ion sulfat (SO_4^{2-}) yang mana menambah kedalaman korosi lokal (*Pitting*) dan menghambat pembentukan lapisan oksida (Vargel,2004). Pada Larutan Garam Dapur terdapat Kalium Iodida, Kalium Iodida sendiri berperan sebagai korosi inhibitor pada baja karbon rendah (Khadom,2018). Berikut merupakan Tabel 4.3 hasil data pengujian komposisi media elektrolit dengan salinitas 3,04%.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Komposisi Media Elektrolit

Media Elektrolit	NaCl (mg/l)	Na ₂ SO ₄ (mg/l)	KI (mg/l)
Air Laut Kenjeran	261000	38,60	8,60
Larutan Garam Dapur	256000	29,10	42,60
Larutan NaCl murni	283000	38,60	82,50

4.2.2.1 Analisis Potensial pada Permukaan Anoda

Pada permukaan anoda dengan bentuk anoda silinder, nilai OCP paling negatif terjadi pada media elektrolit larutan NaCl murni (-985 mV), kemudian media elektrolit air laut kenjeran (-950 mV), dan yang paling positif adalah media elektrolit larutan

garam dapur (-865 mV). hal ini disebabkan karena adanya perbedaan komposisi pada setiap media elektrolit.

Pada Arrhenius Theory menjelaskan bahwa konduktifitas pada larutan elektrolit ditentukan oleh ion elektrolit. Konduktivitas sebuah media menggambarkan kemampuan media untuk membawa listrik. Dalam cairan yang terdiri dari banyak ion, ia akan dengan mudah mentransfer listrik. Jika ada lebih banyak Na^+ dan Cl^- maka lebih banyak listrik dibawa atau dipindahkan dan ini berarti konduktivitas cairan yang lebih tinggi. Hasil pengukuran konduktivitas larutan NaCl pada berbagai persentase, menunjukkan bahwa ada hubungan linier antara nilai konduktivitas dan persentase NaCl. Semakin tinggi konsentrasi, semakin besar nilai konduktivitasnya. Sehingga akan membuat Tahanan listrik pada larutan NaCl akan menurun seiring meningkatnya konsentrasi NaCl (Widodo,2018). Dengan berkurangnya tahanan listrik pada larutan NaCl, maka akan semakin mudah elektron pada anoda mengalir dan menyebabkan nilai potensial semakin negatif. Sedangkan pada logam Aluminium, Kalium Iodat menyebabkan meningkatnya lapisan oksida sebelum perendaman (El Maghraby,2009). Sehingga adanya kalium iodat menyebabkan elektron anoda semakin sulit untuk mengalir dan membuat nilai potensial anoda semakin positif.

Kandungan NaCl terbanyak terjadi pada media elektrolit larutan NaCl murni, sehingga pada media elektrolit larutan NaCl murni logam anoda memiliki nilai OCP paling negatif, dan menyebabkan pada larutan NaCl murni semakin mudah mengalami perpindahan listrik. kemudian terbanyak kedua adalah air laut kenjeran. Sedangkan pada media elektrolit larutan garam dapur memiliki OCP paling positif, hal ini disebabkan karena kandungan NaCl yang paling sedikit dan adanya kandungan kalium iodida pada larutan garam dapur, karena adanya kalium iodida pada aluminium mempercepat pertumbuhan lapisan oksida pada logam

aluminium, sehingga pada logam semakin sulit untuk mengalami perpindahan elektron

Sedangkan nilai CCP pada permukaan anoda dengan bentuk anoda silinder, nilai CCP yang paling negatif terjadi pada larutan garam dapur yaitu sebesar -857,5 mV, kemudian larutan NaCl murni sebesar 791,25 mV, dan yang memiliki potensial paling positif terjadi pada larutan air laut kenjeran yaitu sebesar -766 mV.

Closed Circuit Potential merupakan nilai potensial ketika anoda sudah dihubungkan dengan material yang akan diproteksi. dan semakin negatif nilai potensial maka semakin terproteksi anoda, dan semakin tidak mengalami korosi.

Dari nilai CCP pada ketiga media elektrolit ini. Dapat dilihat bahwasannya pada media elektrolit larutan garam dapur, logam anoda memiliki nilai CCP paling negatif dan membuat logam anoda lebih tidak mengalami korosi hal ini disebabkan karena kandungan NaCl dan NaSO₄ yang paling sedikit dan terdapat kalium Iodida. Karena NaCl dan NaSO₄ sendiri merupakan salah satu penyebab terjadinya korosi pada logam (Vargel,2004) dan adanya kalium iodida yang merupakan salah satu penghambat korosi pada logam(Khadom,2018). sedangkan nilai CCP paling positif terjadi pada media elektrolit air laut kenjeran, hal ini disebabkan karena lebih banyaknya kandungan NaCl dan NaSO₄ dari pada media elektrolit larutan garam dapur dan memiliki kalium iodida paling sedikit diantara ketiga media elektrolit.

4.2.2.2 Analisis Potensial pada permukaan Katoda

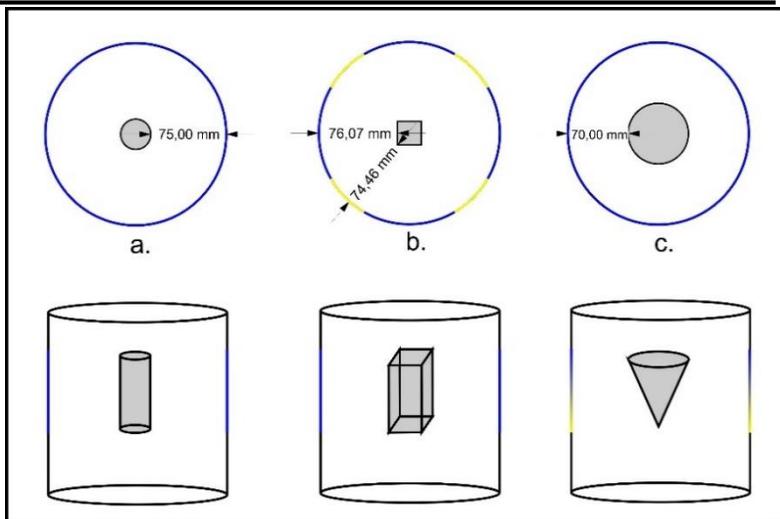
Nilai CCP pada permukaan katoda, yang paling negatif terjadi pada bentuk anoda dengan media larutan garam dapur yaitu -1102,5 mV, kemudian dengan bentuk anoda silinder dengan media larutan NaCl murni, dan nilai CCP paling positif terjadi pada bentuk anoda silinder dengan media air laut kenjeran.

Pada saat CCP, nilai potensial semakin negatif. Menunjukkan semakin terproteksi sebuah katoda. sehingga

diantara ketiga media elektrolit, yang membuat katoda paling terproteksi adalah media elektrolit larutan garam dapur. Hal ini disebabkan karena adanya kalium iodida yang merupakan penghambat korosi pada baja karbon rendah dan memiliki kandungan NaCl paling sedikit diantara ketiga media elektrolit. Dan nilai CCP paling positif atau yang paling kurang terproteksi terjadi pada media elektrolit air laut kenjeran, hal ini disebabkan karena pada air laut kenjeran memiliki kalium iodida yang paling sedikit dan memiliki kandungan NaCl lebih banyak dibandingkan larutan garam dapur.

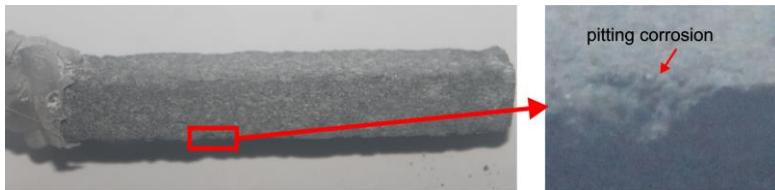
4.2.3 Analisis Efisiensi Variasi Bentuk Anoda

Pada pengujian DnVGL-RPB401 dengan media larutan NaCl murni, efisiensi paling tinggi terjadi pada bentuk anoda silinder. Kemudian bentuk anoda Balok dan efisiensi paling rendah anoda kerucut. Hal ini disebabkan karena jarak anoda dengan katoda pada bentuk anoda kerucut dan bentuk anoda Balok tidak sama, yaitu jarak antara anoda dengan katoda yang paling jauh terjadi pada bentuk anoda Balok, kemudian bentuk anoda silinder, dan pada bentuk kerucut memiliki jarak yang paling dekat antara anoda dengan katodanya, akan tetapi pada bentuk kerucut dengan sumbu vertikal memiliki jarak antara anoda dan katoda yang tidak sama. Berbedanya jarak antara anoda dengan katoda akan menyebabkan perbedaannya distribusi rapat arus yang berbeda, baik pada katoda maupun pada anoda. Sehingga menghasilkan rapat arus yang berbeda.



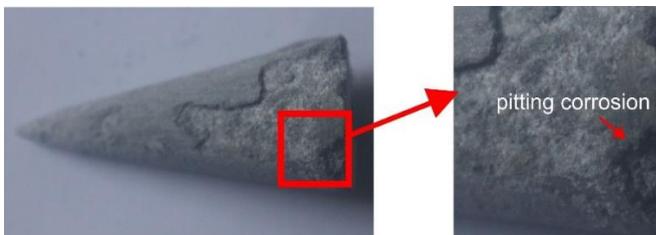
Gambar 4.14 Ilustrasi Distribusi Persebaran Rapat Arus Pada Pengujian DnVGL-RPB401 pada Media Larutan NaCl Murni dengan Bentuk Anoda A) Silinder B) Balok C) Kerucut

Daerah katoda yang dekat dengan anoda memiliki rapat arus yang paling tinggi, dan daerah anoda yang paling dekat dengan katoda juga memiliki rapat arus yang paling tinggi juga (Mujezinovic,2016). Dan pada pengujian kali ini memiliki luas permukaan dan tinggi yang sama, sehingga untuk bentuk daerah Balok dan kerucut memiliki distribusi rapat arus yang tidak rata. Pada bentuk kerucut, memiliki distribusi rapat arus yang tidak rata pada sumbu vertikal. Sedangkan pada bentuk Balok memiliki distribusi rapat arus yang tidak rata pada sumbu horizontal. Sedangkan bentuk silinder memiliki distribusi rapat arus yang merata pada sumbu horizontal dan vertikal.



Gambar 4.15 Spesimen Bentuk Balok Setelah Pengujian
DnVGL-RPB401

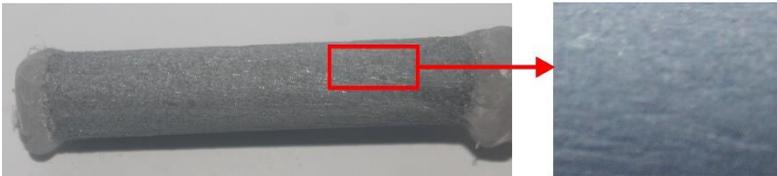
Dari Gambar 4.14 dapat dilihat bahwasannya Bagian b yaitu bentuk Balok memiliki empat titik sudut yang memiliki jarak antara anoda dan katoda yang lebih dekat di bandingkan sisi sudut lainnya. Rapat arus tertinggi pada permukaan anoda terjadi pada permukaan anoda yang paling dekat dengan katoda, distribusi rapat arus berbanding terbalik pada permukaan anoda yaitu permukaan galvanis anoda akan larut seiring berjalannya waktu, sehingga permukaan anoda yang paling dekat dengan katoda akan lebih mudah larut (Mujezinovic,2017). Sehingga pada empat titik sudut tersebut mengalir rapat arus yang lebih tinggi dibandingkan sisi lain Balok. Hal ini menyebabkan empat titik sudut pada permukaan anoda semakin mudah larut. sehingga dapat kita lihat pada Gambar 4.15 pada bentuk anoda Balok mengalami lebih cepat empat titik sudut permukaan anoda.



Gambar 4.16 Spesimen Bentuk Kerucut Setelah Pengujian
DnVGL-RPB401

Dari Gambar 4.14 Bagian c, dapat dilihat pada bentuk anoda kerucut pada sumbu vertikal terdapat daerah yang memiliki

jarak antara anoda dan katoda yang berbeda-beda. Hal ini membuat rapat arus yang mengalir pada permukaan anoda berbeda-beda. Daerah anoda yang paling dekat dengan katoda akan mengalirkan rapat arus yang paling tinggi, sehingga menyebabkan anoda semakin mudah larut. Pada Gambar 4.16 dapat dilihat bahwasannya anoda korban bentuk kerucut pada titik yang lebih dekat dengan katoda semakin mudah larut.



Gambar 4.17 Spesimen Bentuk Silinder Setelah Pengujian DnVGL-RPB401

Sedangkan dari Gambar 4.14 bagian a, bahwasannya rapat arus yang mengalir pada bentuk silinder tersebar secara merata pada permukaan katoda baik secara horizontal maupun vertikal, hal ini disebabkan karena jarak anoda dengan katoda pada bentuk silinder memiliki jarak yang sama. Sehingga dapat dilihat pada Gambar 4.17 bahwasannya pada bentuk silinder tidak terdapat daerah yang mengalami larut lebih cepat.

4.2.4 Analisis Elektrokimia Variasi Media Elektrolit

Diantara semua anion, ion klorida merupakan ion yang memiliki daya penterasi tertinggi ke dalam lapisan oksida, hal ini disebabkan karena ukuran mereka yang kecil dan mudahnya ion klorida untuk berpindah. Selain itu ion klorida menyebabkan penurunan lapisan oksida. Selain itu kedalaman korosi lubang pada logam juga semakin besar seiring bertambahnya konsentrasi ion klorida (Vargel,2004). Dibandingkan dengan Ion Klorida, Ion Sulfat memang memiliki serangan korosi pada logam yang lebih rendah. Akan tetapi adanya ion sulfat dapat meningkatkan kedalaman korosi lubang pada logam (Vargel,2004). Adanya

Kalium Iodida pada larutan, menyebabkan ion Iodida cenderung teroksidasi menjadi Tri-Iodida (I_3^-), muatan negatif ini akan menyerap pada logam yang lapisannya memiliki muatan positif. Sehingga ion iodida(I^-) akan membentuk satu lapisan pada permukaan logam dan akan menghambat korosi pada logam (Khadom,2018).

Pada bentuk anoda silinder dengan perbedaan 3 media elektrolit. Yaitu media Larutan NaCl murni, Larutan Garam Dapur dan Air Laut Kenjeran. Efisiensi paling tinggi adalah anoda korban bentuk silinder dengan media elektrolit larutan garam dapur yaitu sebesar 114%, kemudian larutan NaCl murni sebesar 86%, dan yang memiliki efisiensi paling kecil adalah media air laut kenjeran yaitu sebesar 83%.

Pada pengujian DnVGL-RPB401, anoda korban yang mengalami pengurangan massa paling banyak terjadi pada media air laut kenjeran, hal ini disebabkan karena kadar NaCl pada Tabel 4.3 yang lebih tinggi dari dari larutan Garam Dapur,yaitu 261000 mg/l dan kadar Kalium Iodidanya paling sedikit diantara tiga media elektrolit, yaitu 8,6 mg/L. Sehingga paling banyak mengalami pengurangan massa dan memiliki efisiensi anoda paling kecil. Kemudian pada larutan NaCl murni memiliki kadar NaCl yang banyak, yaitu 283000 mg/l, dan memiliki KI yang banyak, yaitu 82,5 mg/L. Sehingga menghasilkan pengurangan massa anoda yang lebih banyak di bandingkan air laut kenjeran akan tetapi lebih sedikit dibandingkan larutan garam dapur. Dan kadar Natrium Sulfat ($Na_2SO_4^-$) untuk media larutan NaCl murni dan air laut kenjeran adalah sama, yaitu sebesar 38,60 mg/L.

Pada Larutan Garam Dapur, memiliki kadar NaCl yang paling sedikit, yaitu sebesar 2,56 gram, memiliki kadar natrium sulfat yang paling sedikit, yaitu sebesar 29,10 mg/L, ditambah adanya KI sebesar 42,60 mg/L. Sehingga menghasilkan pengurangan massa anoda yang hilang yang paling sedikit dan memiliki efisiensi anoda paling besar dibandingkan tiga media elektrolit.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pada penelitian yang dilakukan telah maka dapat disimpulkan bahwa

1. Pada variasi bentuk anoda, efisiensi anoda tertinggi terjadi pada bentuk anoda silinder yaitu 86%, bentuk Balok 83% dan bentuk kerucut 78%. Bentuk anoda silinder memiliki efisiensi tertinggi karena memiliki jarak antara anoda dan katoda yang paling jauh
2. Pada variasi media elektrolit, efisiensi anoda tertinggi terjadi pada media larutan garam dapur yaitu 114%, larutan NaCl murni 86% dan air laut kenjeran 83%. Larutan garam dapur memiliki efisiensi tertinggi karena sedikitnya kandungan NaCl yang merupakan penyebab korosi dan adanya KI yang merupakan penghambat korosi

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah

1. Menggunakan variasi rapat arus yang mengalir terhadap efisiensi anoda korban
2. Menggunakan variasi bentuk anoda yang memiliki jarak antara anoda dan katoda yang sama
3. Pengaruh media elektrolit dengan kadar NaCl yang sama terhadap efisiensi anoda korban

DAFTAR PUSTAKA

- _____, .2017. **DNVGL-RPB401.Recomendation Practice Cathodic Protection design.** DNV GL AS
- _____. 1999. **Handbook of Corrosion Engineering.** New York : McGraw-Hill.
- _____.1998.**NACE Standard TM0190-98.** Houston, Texas
- _____.1999. **ASTM G3-89 Standard Practice for Conventions Applicable to Electrochemical Measurements in Corrosion Testing.** United States
- Ahmad, Z.2006. **Principle of Corrosion Engineering and Corrosion Control.** Michigan : mcgraw-hill
- Bernanto, Ferdy.1993. “Studi Penambahan Unsur Padamu Cadmium Terhadap Karakteristik Anoda Korban Paduan Al-Zn-Si”. **Skripsi Universitas Indonesia,** Depok.
- El-Maghraby, A. A. 2009. “Corrosion Inhibition of Aluminum in Hydrochloric Acid Solution Using Potassium Iodate inhibitor”. **The Open Corrosion Journal** ; Vol 2 hal 189-196
- Fadly, Enriko.2009. “PERBANDINGAN EFISIENSI ANODA ALUMINIUM PADA LINGKUNGAN AIR LAUT DAN PASIR LAUT”. **Skripsi Universitas Indonesia** : Depok
- Fontana, Mars. G.1986. **Corrosion Engineering.** Singapore : Mc Grawhill Int,
- Hine, R.A dan Wei, M.W. 1993. **How Effective Are Aluminium Alloys,** ASM Speciality Edition, ASM International,
- Jones, Denny A.1992.**Principle and Prevention of Corrosion.** New York : Macmilan, Inc.
- Khadom, Anees A dkk. 2018. “*Potassium Iodide as a Corrosion Inhibitor of Mild Steel in Hydrochloric Acid : Kinetics and Mathematical Studies*”. **Journal of Bio- and Trilbo-Corrosion** 4:17
- Koch GH, dkk. 2001. **Corrosion Costs and Preventive Strategies in the United States. FHWA-RD-01-156.** Springfield , Va.: National Technical Information Service,

-
- L. Laque, Francis. 1975. **Marine Corrosion**. New York : John Wiley & Sons
- Marcus Philippe. 2002. **Corrosion Mechanisms in Theory and Practice second edition**. Francis : Marcel Dekker, Inc.
- Mujezinovic, Adnan dkk. 2016. "Modeling of the Galvanic Anoda Cathodic Protection System with Dynamic Polarization Characteristics". **International Journal of Chemistry and Chemical Engineering Systems** ; Vol 1 Hal 96-100
- Mujezinovic, Adnan dan Irfan Turkovic. 2017. "Review On Cathodic Protection System Modelling". **Review Scientific Paper** ; Vol 11 hal 81-91
- Peabody, A. 2001. **Control of pipeline corrosion, second edition**. Texas : NACE Internasional
- Ra'uf, Abdul. 2005. "STUDI PENGARUH UNSUR CADMIUM TERHADP KINERJA ANODA KORBAN SENG DENGAN METODE DnV RP B401 (1993)". **Skripsi Universitas Indonesia** ; Depok
- Raja, V.S. dan Elayaperumal K. 2015. **Corrosion Failures. United States of America** : Wiley.
- Roberge, Pierre R. 2008. **Corrosion Engineering Principles and Practice**. New York : McGraw-Hill.
- Sialowska, szklarska. 1986. "Pitting Corrosion of Metal". **National Association of Corrosion Engineer 1440. South Creek Drive Houston, Texas**.
- Suratman R. 2001. *Karakteristik Korosi Aluminium dan Baja Tahan Karat*. Bandung ; Institut Teknologi Bandung
- Vargel Cristian, Michael Jacques dan Dr. Martin P. Schmidt. 2004. **Corrosion of Aluminium**. Netherlands : Elsevier Ltd.
- Widodo, Chomsin Sulistya dkk. 2018. "The Effect of NaCl Concentration on the Ionic NaCl Solutions Electrical Impedance Value using Electrochemical Impedance Spectroscopy Methods". **AIP Conference Proceedings**. 17 Oktober
-

LAMPIRAN

1. Hasil Pengujian Komposisi Anoda Aluminium



**BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI
BALAI RISET DAN STANDARDISASI INDUSTRI SURABAYA
LABORATORIUM PENGUJIAN DAN KALIBRASI
BARISTAND INDUSTRI SURABAYA**

Jl. Jagir Wonokromo No. 360 Surabaya (60244), Telp. (031) 8410054, Fax. (031) 8410480
<http://baristandsurabaya.kemenperin.go.id/>

Nomor Analisa : P. 01012
Jenis Sampel : Logam Aluminium
Merk/Symbol : -

No	Parameter Uji	Satuan	Hasil Uji
1	Uji Komposisi Kimia		
	Sesuai Cara uji: Komposisi Kimia X-ray Fluorescence		
	Al	%	95.81
	Zn	%	2.78
	Fe	%	0.70
	Si	%	0.44
	Cu	%	0.12
	Pb	%	0.01



ORIGINAL
ASLI

2. Hasil Pengujian Komposisi Media Elektrolit

DALAM PENELITIAN DAN KONSULTASI INDUSTRI

LABORATORIUM
PENELITIAN DAN KONSULTASI INDUSTRI
SURABAYA – JAWA TIMUR

REPORT
Certificate of Analysis

No : 07754/KI/VI-2019
Code : Penelitian
Sample Sender : Mhs. T Material ITS Surabaya
Sample Name : Air Media Elektrolit
Test : NaCl-Na₂SO₄-KI
Sample Brand :
Sample Identity : Cairan keruh
Sample Accepted : 14 Juni 2019

Chemical laboratory test result is :

Kode	NaCl, %	Na ₂ SO ₄ , mg/l	KI, mg/l
ALK	2,61	28,60	8,60
LGD	2,56	29,10	42,60
LNM	2,83	38,60	82,50

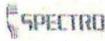
Surabaya, 18 Juni 2019
Head of Chemical Laboratory Researcher

Drs M. Fatoni, M.S.



Laboratory Office Jl. Ketintang Baru XVII no 14
Telp 08155151337, Bank BCA – Bank Jatim
Surabaya

3. Hasil Pengujian Komposisi Katoda



PT. LOGAMINDO SARIMULIA
IRON AND STEEL FOUNDRY
Telp : (62-31) 85-445-40 - 41 Fax : (62-31) 85-445-42
E mail : L.safoundry@gmail.com
www.logamindosarimulia.com

Method: Fe-01-F
Comment: Orientation
Sample Name: **BAJA 2**
Quality:

7/2/2019 8:59:05 AM
Element concentration

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.0509	0.0298	0.148	0.0085	0.0080	0.0312	0.0051	0.0278
2	0.0367	0.0185	0.150	0.0067	0.0070	0.0316	0.0047	0.0249
3	0.0369	0.0161	0.150	0.0053	0.0077	0.0316	0.0042	0.0254
< x > (3)	0.0415	0.0215	0.149	0.0068	0.0076	0.0314	0.0046	0.0260
sd	0.0082	0.0073	0.00100	0.0016	0.00052	0.00024	0.00045	0.0016
rstd	19.7	34.1	0.7	23.6	6.9	0.8	9.6	6.0

	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.0352	0.0054	0.0786	< 0.0040	< 0.0010	< 0.00050	< 0.0100	< 0.0040
2	0.0341	0.0051	0.0786	< 0.0040	< 0.0010	< 0.00050	< 0.0100	< 0.0040
3	0.0338	0.0050	0.0788	< 0.0040	< 0.0010	< 0.00050	< 0.0100	< 0.0040
< x > (3)	0.0344	0.0052	0.0787	< 0.0040	< 0.0010	< 0.00050	< 0.0100	< 0.0040
sd	0.00070	0.00020	0.00013	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
rstd	2.0	3.9	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

	Sn	Mg	As	Zr	Bi	Ca	Ce	Sb
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.0088	0.0025	0.0100	< 0.0015	< 0.0050	0.0030	< 0.0030	< 0.0020
2	0.0085	0.0019	0.0096	< 0.0015	< 0.0050	0.0023	< 0.0030	0.0029
3	0.0089	0.0017	0.0097	< 0.0015	< 0.0050	0.0024	< 0.0030	0.0023
< x > (3)	0.0087	0.0020	0.0097	< 0.0015	< 0.0050	0.0025	< 0.0030	0.0024
sd	0.00019	0.00038	0.00019	0.00000	0.00000	0.00041	0.00000	0.00047
rstd	2.2	18.7	2.0	0.0	0.0	16.0	0.0	19.2

	Te	B	Zn	La	Fe
	%	%	%	%	%
1	0.0030	< 0.00050	> 0.0540	< 0.0010	99.5
2	0.0032	< 0.00050	> 0.0540	< 0.0010	99.5
3	0.0032	< 0.00050	> 0.0540	< 0.0010	99.5
< x > (3)	0.0031	< 0.00050	> 0.0540	< 0.0010	99.5
sd	0.00014	0.00000	0.00000	0.00000	0.0193
rstd	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0

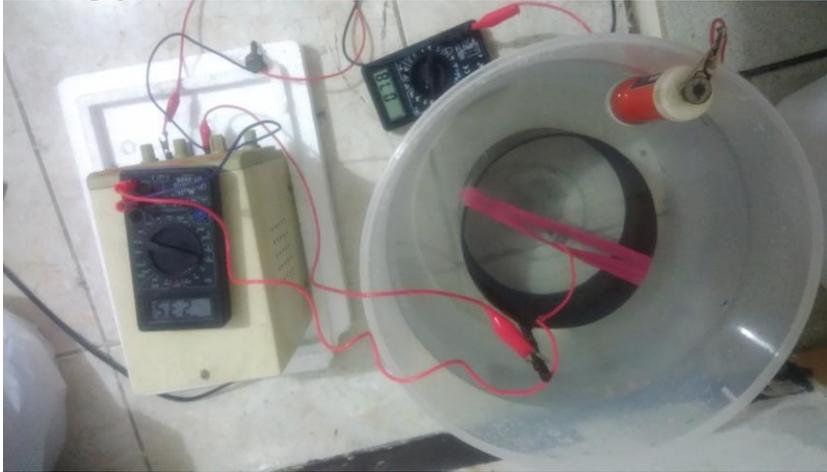
Tanda tangan

- 1 -

Scanned with
CamScanner



4. Pengujian DnVGL-RPB401



UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah ikut berperan serta terhadap penulisan tugas akhir ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua Orang tua penulis, Idris Azhar dan Siti Wasiah yang telah memberikan doa, dukungan, kasih dan sayang, semangat dan nasehat yang sangat berguna dalam keberhasilan penulis.
2. Kakak-kakak penulis, mba Hani, mba Diah, mba Fira dan mas Adam yang selalu mendukung serta menghibur penulis.
3. Rekan Seperjuangan dalam hal pengerjaan Tugas Akhir, seleksi pelatihan manajemen organisasi, tempat curhat dan senasib dalam hati yang sengaja dikosongkan yaitu SCAM.
4. Teman-teman Mahasiswa Angkatan 2015 (MT17) yang memberikan sebuah sentuhan kehangatan layaknya keluarga.
5. Saudara pengembara di jalan juang yang selalu mengingatkan untuk terus mendekat kepada-Nya agar selalu mendapat kemudahan dan membangkitkan semangat untuk terus berjuang menggapai cita – cita
6. Seluruh Dosen dan karyawan, serta Mahasiswa DTM yang tak pernah menyerah untuk DTM FTI-ITS yang terbaik.
7. Seluruh pihak yang telah memberikan kontribusi atas penulisan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan, namun dibalik itu terdapat niat tulus untuk berbagi pengetahuan bagi sesama. Penulis

berharap bahwa laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri dan pembaca.

Surabaya,5 Juli 2019
Penulis

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Zaid Sulaiman, lahir di Jakarta, 10 Oktober 1997. Dari ayah bernama Idris Azhar dan Ibu bernama Siti Wasiah. Penulis adalah anak kelima dari 5 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di MI Mathla'ul Anwar, SMP Nurul Fikri Boarding School dan SMA Nurul Fikri Boarding School. Pada saat kuliah, penulis aktif pada kegiatan intra dan ekstra kampus, antara lain staff Islamic Press JMMI 16/17, staff akapreneur LDJ Ash-Haabul Kahfi 16/17, Asisten Sekretaris Jenderal BEM ITS 16/18, serta kegiatan yang diadakan oleh Sosial Masyarakat HMMT. Selain itu, penulis juga memenangkan lomba pengecoran yang diadakan oleh Politeknik Manufaktur Bandung dan Perhimpunan Mahasiswa Metalurgi dan Material di Indonesia pada acara Metal Casting 2017. penulis dapat dikontak melalui email sulaimanzaid97@gmail.com dan nomor hp 087809608094