



**ANALISA LAJU KOROSI MATERIAL SENG (Zn) PADA
TEMPERATUR TINGGI DENGAN ANODA KORBAN
ALUMUNIUM**

SKRIPSI

Oleh

**Mukhammad Fatkhullah
NIM 131910101051**

**PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2020**



**ANALISA LAJU KOROSI MATERIAL SENG (Zn) PADA
TEMPERATUR TINGGI DENGAN ANODA KORBAN
ALUMUNIUM**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi skripsi dan memenuhi salah
satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik
Mesin (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

Mukhammad Fatkhullah
NIM 131910101051

**PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK
MESIN JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2020**

PERSEMBAHAN

Segala puji syukur kepada Allah SWT serta dengan penuh rasa syukur dan kerendahan hati skripsi ini saya persembahkan kepada :

1. Allah SWT atas segala berkat, rahmat, serta hidayahnya, serta kepada junjungan kita Nabi Muhammad SWT.
2. Ayahanda tercinta Misbachul Munir dan ibunda tercinta Siti A'la yang selalu memberikan do'a, semangat, dan kasih sayang yang tiada henti-hentinya.
3. Adik saya tercinta Fithrotul Mauludiyah yang selalu menjadi motivasi terbaik.
4. Seluruh keluarga besar bani Shofwan dan bani Talkha yang selalu memberikan dukungan secara fisik ataupun materil.
5. Seluruh dosen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang selalu memberikan ilmu dan wawasannya. Ibu Rahma Rei Sakura, S.T, M.T. selaku dosen pembimbing utama dan bapak Dr. Ir. Gaguk Jatisukanto S.T, M.T. selaku pembimbing anggota yang senantiasa meluangkan waktu dan memberikan arahan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Bapak Dr. Mochammad Asrofi, S.T., M.T. selaku dosen penguji utama dan bapak Ir, Dedi Dwilaksana, S.T, M.T. selaku dosen penguji anggota yang telah banyak memberikan saran sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
6. Keluarga besar Teknik Mesin angkatan 2013 yang senantiasa menjadi sahabat, teman dan keluarga.
7. Berliana Hanifah Alisya selaku pendamping skripsi yang selalu menjadi motivator terbaik dan senantiasa memberikan semangat yang luar biasa,
8. Keluarga besar HIMMAH Jember
9. Almamater Universitas Jember yang sangat saya cintai dan banggakan

MOTTO

“Alladzina yandzurunal ummah bi ‘aini ar-rahmah”

(KH. A Mustofa Bisri)

تَعَلَّمَ فَإِنَّ الْعِلْمَ زِينٌ لِأَهْلِهِ ﴿٥﴾ وَفَضْلٌ وَعِنْوَانٌ لِكُلِّ الْمَحَامِدِ

(al Zarnuji)

“Barang siapa yang mempelajari ilmu pengetahuan yang seharusnya ditunjukkan untuk mencari ridho Allah bahkan hanya untuk mendapatkan kedudukan/kekayaan duniawi maka ia tidak akan mendapatkan baunya surga nanti pada hari kiamat”

(Abu Hurairah Radhiallahu Anhu)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mukhammad Fatkhullah

NIM : 131910101051

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Analisa Laju Korosi Material seng (Zn) pada Temperatur Tinggi dengan Anoda Korban Aluminium ” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 15 Oktober, 2020

Yang menyatakan,

(Mukhammad Fatkhullah)
131910101051

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul "ANALISA LAJU KOROSI MATERIAL SENG (Zn) PADA TEMPERATUR TINGGI DENGAN ANODA KORBAN ALUMUNIUM" telah diuji dan disahkan pada :

Hari, tanggal : Kamis, 15 Oktober 2020

Pukul : 14:00 – 15:30 WIB

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota

Rahma Rei Sakura, S.T., M.T.
NIP. 760017115

Dr. Ir. Gaguk Jatisukanto, S.T., M.T.
NIP. 196902091998021001

Dosen Penguji I

Dosen Penguji II

Dr. Mochammad Asrofi, S.T.
NIP. 760019035

Ir. Dedi Dwilaksana S.T., M.T.
NIP. 196912011996021001

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
NIP 197008261997021001

RINGKASAN

Korosi adalah reaksi elektrokimia antara material tersebut dengan lingkungan. Material yang terserang korosi akan mengalami penurunan kualitas sifat fisik dan mekaniknya, selain itu korosi akan menurunkan umur logam. Korosi temperatur tinggi adalah proses degradasi material yang disebabkan oleh adanya pengaruh atmosfer pada temperatur tinggi. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menghambat laju korosi adalah proteksi anoda korban. Proteksi anoda korban yaitu proteksi yang dilakukan dengan menghubungkan material seng dengan material yang memiliki nilai standar elektroda lebih negatif. Material seng yang kurang aktif menerima proteksi katodik pada permukaannya karena adanya aliran arus melalui elektrolit dan menerima elektron.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh anoda korban alumunium terhadap laju korosi material seng pada temperatur tinggi, penelitian ini menggunakan variasi pembagian anoda alumunium ukuran 2 x 4 cm, dua anoda alumunium ukuran 2 x 2 cm, dan tiga anoda alumunium ukuran 2 x 1,33 cm, dengan interval waktu pemanasan selama 5 jam.

Berdasarkan data hasil penelitian laju korosi terendah diperoleh pada variasi material seng dengan proteksi pembagian tiga anoda korban alumunium yang memiliki ukuran 2 x 1,33 cm dengan rata-rata laju korosi 0.3953 mm/tahun.

SUMMARY

Corrosion is the electrochemical reaction between materials and the environment. Materials that are attacked by corrosion will experience a decrease in the quality of their physical and mechanical properties, besides that corrosion will reduce metal life. High temperature corrosion is a process of material degradation caused by the influence of the atmosphere at high temperatures. One method that can be used to inhibit the corrosion rate is sacrificial anode protection. Sacrificial anode protection is protection that is carried out by connecting the zinc material with a material that has a more negative standard electrode value. The less active zinc material receives cathodic protection on its surface due to the flow of current through the electrolyte and receiving electrons.

This research was conducted to determine the effect of aluminum sacrificial anodes on the corrosion rate of zinc material at high temperatures, this study used a variation of the aluminum anode size 2 x 4 cm, two aluminum anodes measuring 2 x 2 cm, and three aluminum anodes measuring 2 x 1.33 cm, with a heating time interval of 5 hours.

Based on the research data, the lowest corrosion rate was obtained on the variation of zinc material with protection of division of three aluminum sacrificial anodes which have a size of 2 x 1.33 cm with an average corrosion rate of 0.3953 mm / year.

PRAKATA

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Rasio Luas Permukaan katoda Terhadap Laju Korosi Baja A36 Dengan metode Proteksi Katodik Pada Media Air Laut”. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Dalam proses penelitian dan penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Hari Arbiantara, S.T, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Bapak Dr. Ir. Salahudin Junus S.T., M.T. selaku ketua prodi S1 Fakultas Teknik Mesin Universitas Jember. Ibu Rahma Rei Sakura, S.T., M.T Selaku Dosen Pembimbing Utama.
3. Bapak Dr. Ir. Gaguk Jatisukamto, S.T., M.T. Selaku Dosen pembimbing Anggota.
4. Bapak Dr. Mochammad Asrofi, S.T., M.T. Selaku Dosen Penguji Utama;
5. Bapak Dedi Dwilaksana S.T., M.T. Selaku Dosen Penguji anggota;
6. Ayah dan ibu saya yang selalu memberikan do'a, semangat, dan kasih sayang yang tiada henti-hentinya.
7. Adik saya yang selalu menjadi motivasi untuk menjadi lebih baik;
8. Seluruh keluarga besar bani Shofwan yang selalu memberikan dukungan baik fisik maupun materi.
9. Keluarga besar TM 13 yang selalu menjadi motivator terbaik.
10. Almamater Universitas Jember yang saya banggakan dan cintai.

Jember, 15 Oktober 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
PERSEMBAHAN	iii
MOTTO	iv
PERNYATAAN	v
PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	viii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Prinsip Dasar Korosi	4
2.2 Mekanisme Korosi	6
2.3 Korosi Temperatur Tinggi	8
2.4 Faktor – Faektor Penyebab Korosi Temperatur Tinggi	9
2.4.1 Konsentrasi Oksigen	9
2.4.2 Kecepatan Aliran udara.....	9
2.4.3 Temperatur	9
2.5 Akibat Korosi Temperatur Tinggi	10

2.5.1	Fasa sigma.....	10
2.5.2	Oksidasi.....	10
2.5.3	Karburisasi	11
2.5.4	Nitridasi.....	11
2.5.5	Sulfidasi	12
2.5.6	Korosi deposit abu dan garam.....	12
2.5.7	Korosi karena logam cair	12
2.6	Jenis-jenis Korosi	12
2.6.1	Korosi Galvanis (<i>Bemetal Corrosion</i>)	12
2.6.2	Korosi Sumuran (<i>Pitting Corrosion</i>)	13
2.6.3	Korosi Erosi (<i>Errosion Corrosion</i>).....	14
2.6.4	Korosi Tegangan (<i>Stress Corrosion</i>).....	14
2.6.5	Korosi Celah (<i>Crevice Corrosion</i>)	14
2.6.6	Korosi Kavitasi (<i>Cavitation Corrosion</i>)	16
2.6.7	Korosi Lelah (<i>Fatigue Corrosion</i>).....	16
2.6.8	Korosi antar Kristal.....	16
2.6.9	Penggetasan Hidrogen.....	17
2.7	Pengendalian Korosi	17
2.7.1	Desain.....	18
2.7.2	Pemilihan Material	18
2.7.3	Perlakuan Lingkungan	19
2.7.4	Proteksi Katodik.....	20
2.8	Bahan Anoda Korban Alumunium.....	23
2.9	Deret Galvanik Sebagai Pengendali Korosi.....	23
2.10	Perhitungan Laju Korosi dengan Perlindungan Anoda Korban.	25
2.11	Metode Kehilangan Berat (<i>Weight Loss</i>).....	26
2.12	Hipotesa	27
BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN	28
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	28
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	28
3.2.1	Alat.....	28

3.2.2	Bahan.....	28
3.3	Variabel Penelitian	29
3.3.1	Varaibel bebas.....	29
3.3.2	Variabel terikat.....	29
3.4	Prosedur Penelitian	29
3.5	Pelaksanaan Penelitian	30
3.5.1	Pembuatan spesimen uji.....	30
3.5.2	Spesimen Anoda Korban.....	31
3.5.3	Pengujian Spesimen	31
3.5.4	Waktu Pemanasan	32
3.5.5	Analisis Data	32
3.5.6	Perhitungan Laju Korosi	33
3.6	Diagram Alir Penelitian	34
BAB 4	DATA DAN PEMBAHASAN	35
4.1	Pengolahan data hasil penelitian.....	35
4.1.1	Pengambalin Data Berat Spesimen Uji.....	35
4.1.2	Perhitungan Laju Korosi Spesimen Uji	37
4.2	Analisa laju korosi.....	38
4.2.1	Analisa laju korosi pada spesimen seng tanpa anoda korban (A).....	38
4.2.2	Analisa laju korosi pada spesimen seng dengan variasi pembagian satu anoda korban (B).	39
4.2.3	Analiss laju korosi pada spesimen seng dengan variasi pembagian dua anoda korban (C).	40
4.2.4	Analisis laju korosi pada spesimen seng dengan variasi pembagian tiga anoda korban (D).	41
4.2.5	Analisa prbandingan laju korosi pada setiap variasi pembagian anoda korban	42
4.3	Observasi Struktur Makro	43
4.3.1	Analisa struktur makro pada seng tanpa anoda korban (spesimen A) ..	43
4.3.2	Analisa struktur makro pada seng dengan pembagian satu anoda korban (spesimen B)	45
4.2.3	Analisa struktur makro pada seng dengan pembagian dua anoda korban (spesimen C)	46

4.2.4	Analisa struktur makro pada seng dengan pembagian tiga anoda korban (spesimen D).....	47
4.4	Analisa Struktur Mikro	48
4.4.1	Analisa struktur mikro pada seng tanpa anoda korban (spesimen A)...	48
4.4.2	Analisa struktur mikro pada seng dengan pembagian satu anoda korban (spesimen B)	50
4.4.3	Analisa struktur mikro pada seng dengan pembagian dua anoda korban (spesimen C)	52
4.4.4	Analisa struktur mikro pada seng dengan pembagian tiga anoda korban (spesimen D).....	54
BAB 5.	PENUTUP.....	57
5.1	Kesimpulan	57
5.2	Saran.....	58
DAFTAR PUSTAKA		59
LAMPIRAN.....		61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sel Korosi (Fadly, 2010)	5
Gambar 2.2 Korosi Galvanis (Utomo, 2009)	13
Gambar 2.3 Korosi Sumuran (Utomo, 2009)	13
Gambar 2.4 Korosi Erosi (Utomo, 2009)	14
Gambar 2.5 Korosi Celah (Utomo, 2009)	15
Gambar 2.6 Mekanisme Korosi Celah	15
Gambar 2.7 Proteksi Katodik Impressed Current (Gunaatmaja, 2011)	21
Gambar 2.8 Proteksi Katodik Anoda Korban (Gunaatmaja, 2011)	21
Gambar 2.9 Proses terjadinya korosi galvanik (Wibowo, 2016)	23
Gambar 2.10 Contoh spesimen untuk analisa kehilangan berat (Chodijah, 2008)	26
Gambar 3.1 Spesimen Pelat Seng	30
Gambar 4.1 Laju korosi rata-rata pada spesimen seng tanpa anoda korban (spesimen A)	38
Gambar 4.2 Laju korosi rata-rata pada spesimen seng dengan variasi pembagian satu anoda korban (spesimen B)	39
Gambar 4.3 Laju korosi rata-rata pada spesimen seng dengan variasi pembagian dua anoda korban (spesimen C)	40
Gambar 4.4 Laju korosi rata-rata pada spesimen seng dengan variasi pembagian tiga anoda korban (spesimen D)	41
Gambar 4.5 Laju korosi spesimen seng pada setiap interval waktu pemanasan	42
Gambar 4.6 Pengambilan gambar spesimen A tanpa anoda korban (A) 5 jam (B) 10 jam (C) 15 jam (D) 20 jam (E) 25 jam	44

Gambar 4.7 Pengambilan gambar spesimen B dengan pembagian satu anoda korban (A) 5 jam (B) 10 jam (C) 15 jam (D) 20 jam (E) 25 jam.....	45
Gambar 4.8 Pengambilan gambar spesimen C dengan pembagian dua anoda korban (A) 5 jam (B) 10 jam (C) 15 jam (D) 20 jam (E) 25 jam.....	46
Gambar 4.9 Pengambilan gambar spesimen D dengan pembagian tiga anoda korban (A) 5 jam (B) 10 jam (C) 15 jam (D) 20 jam (E) 25 jam.....	47
Gambar 4.10 Pengambilan gambar struktur mikro spesimen A tanpa anoda korban (A) 5 jam (B) 10 jam (C) 15 jam (D) 20 jam (E) 25 jam.....	50
Gambar 4.11 Pengambilan gambar struktur mikro spesimen B dengan pembagian satu anoda korban (A) 5 jam (B) 10 jam (C) 15 jam (D) 20 jam (E) 25 jam.....	52
Gambar 4.12 Pengambilan gambar struktur mikro spesimen C dengan pembagian satu anoda korban (A) 5 jam (B) 10 jam (C) 15 jam (D) 20 jam (E) 25 jam.....	54
Gambar 4.13 Pengambilan gambar struktur mikro spesimen D dengan pembagian satu anoda korban (A) 5 jam (B) 10 jam (C) 15 jam (D) 20 jam (E) 25 jam.....	56

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Beda Potensial (Gunaatmaja, 2011).....	22
Tabel 2.2 Beda Potensial (Gunaatmaja, 2011).....	24
Tabel 3.1 Data penurunan berat pada pelat seng.....	32
Tabel 4.1 Berat spesimen sebelum dan sesudah di panaskan : A,B,C dan D.	35
Tabel 4.2 Selisih berat rata-rata spesimen: A,B,C dan D.....	36
Tabel 4.3 Laju korosi rata-rata pada spesimen seng tanpa anoda korban (Spesimen A)	39
Tabel 4.4 Laju korosi pada spesimen seng dengan variasi pembagian satu anoda korban (Spesimen B).....	40
Tabel 4.5 Laju korosi pada spesimen seng dengan variasi pembagian dua anoda korban (Spesimen C).....	41
Tabel 4.6 Laju korosi pada spesimen seng dengan variasi pembagian tiga anoda korban (Spesimen D).....	42
Tabel 4.7 Laju korosi spesimen seng pada setiap interval waktu pemanasan	43

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Korosi adalah suatu hasil kerusakan akibat degradasi material (biasanya logam) akibat reaksi elektrokimia material tersebut terhadap lingkungannya (Einard Bardal, 2003). Banyak ahli juga menyebutkan bahwa korosi merupakan penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya (Trethwey, K. R. dan J. Chamberlain, 1991). Faktor yang berpengaruh terhadap korosi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu yang berasal dari bahan tersebut dan lingkungannya. Lingkungan tersebut dapat berupa air, udara larutan asam, dan lain-lain (Rini Riastuti dan Andi Rustandi, 2008) yang bersifat korosif dan sebagainya.

Korosi temperatur tinggi didefinisikan sebagai proses degradasi mutu sifat-sifat mekanis suatu material yang disebabkan oleh adanya pengaruh atmosfer pada temperatur tinggi (Panjaitan, 2015). Temperatur tinggi memiliki pengertian bahwa air dalam fase gas, atmosfer tidak mengandung air. Temperatur tinggi memberikan pengaruh ganda terhadap degradasi logam yang ditimbulkannya. Pertama, kenaikan temperatur akan mempengaruhi aspek termodinamika dan kinetika reaksi, artinya degradasi akan semakin cepat pada temperatur yang lebih tinggi. Yang kedua, kenaikan temperatur akan mempengaruhi dan merubah struktur dan perilaku logam. Jika struktur berubah, maka secara umum kekuatan dan perilaku logam juga berubah. Jadi selain terjadi degradasi yang berupa kerusakan fisik pada permukaan atau kerusakan eksternal, juga terjadi degradasi, penurunan sifat mekanik, logam menjadi rapuh (Panjaitan, 2015).

Bahan material seng merupakan bahan yang sering digunakan dibidang konstruksi dalam rumah tangga, Material seng mudah sekali bereaksi dengan suhu atmosfer sehingga material tersebut mudah untuk teroksidasi sehingga menyebabkan adanya korosi.

Untuk menghindari korosi pada material seng akibat korosi atmosferik, maka

pelat seng perlu dilakukan perlindungan korosi secara berkala.

Sampai saat ini untuk perlindungan korosi masih menggunakan 3 (tiga) cara yaitu menghindari penyebab korosi, perlindungan secara pasif (dengan pengecatan) dan perlindungan secara aktif (dengan metoda *cathodic protection*).

Metode *cathodic protection* yang digunakan adalah dengan sistim anoda korban (sacrificial anode), sedangkan sistim arus tanding (*impressed current*) jarang dipakai (BKI, 2006). Perlindungan dengan anoda korban mempunyai kelebihan diantaranya lebih sederhana, stabil dan biaya perawatan yang lebih rendah (Tsai, 1996). Jenis anoda korban yang banyak digunakan adalah paduan seng dan paduan alumunium (BKI, 2006).

Penelitian ini bertujuan untuk mencegah atau memperlambat laju terjadinya korosi pada material seng yang dikarenakan oleh temperaturf tinggi dengan metode anoda korban. Harapan penilitan skripsi tentang “Analisa Laju Korosi Material Seng (Zn) pada Temperatur Tinggi dengan Anoda korban Alumunium” (Studi Kasus pada Pengerajin Oven di Kecamatan Panti Kabupaten Jember)” ini bisa mengevaluasi dan menghasilkan usulan kepada para pengerajin untuk menggunakan metode anoda korban pada oven.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang maka perumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana proses terjadinya korosi pada material seng pada saat temperatur tinggi?
2. Bagaimana efektivitas anoda korban Al terhadap laju korosi material seng pada temperatur tinggi?
3. Bagaimana laju korosi pada seng dengan anoda korban dan tanpa anoda korban?

1.3 Batasan Masalah

Pembatasan masalah dilakukan agar penelitian yang dilakukan dapat sesuai dengan tujuan yang telah direncanakan, antara lain :

1. Proses pemanasan material dianggap homogen. Pemanasan dilakukan dengan api kompor gas.
2. Anoda korban yang digunakan adalah anoda korban Al yang sudah tersedia di pasaran secara umum.
3. Pelat seng yang digunakan dalam penelitian adalah pelat seng yang digunakan dalam pembuatan oven alat rumah tangga.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian dari penelitian dan pembahasan ini adalah sebagai berikut.

Tujuan Penelitian :

1. Mengetahui proses terjadinya korosi pada pelat seng.
2. Mengetahui efektivitas penggunaan anoda korban Al pada seng.
3. Mengetahui laju korosi pada seng dengan anoda korban dan tanpa anoda korban.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Dapat mengetahui jenis korosi yang terjadi pada pelat seng.
2. Dapat mengetahui proses terjadinya korosi pada suhu tinggi.
3. Menjadi masukan atau saran terhadap pengerajin oven yang dapat menjadikan kontribusi dalam hal produksi.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Prinsip Dasar Korosi

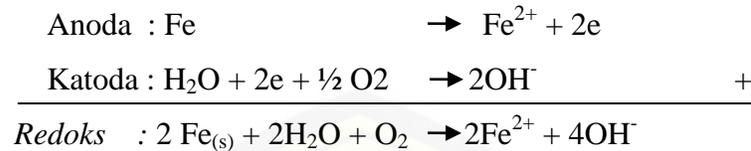
Korosi adalah proses degradasi suatu material atau hilangnya suatu material baik secara kualitas maupun kuantitas akibat adanya proses reaksi elektrokimia dengan lingkungannya (Einard Bardal, 2003). Menurut (Supardi, 1997) korosi adalah kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi redoks anatar suatu logam dengan berbagai zat dilingkungannya yang menghasilkan senyawa-senyawa yang tidak dikehendaki.

Reaksi korosi menghilangkan oksida logam, sulfida logam dan hasil reaksi lainnya. Pada proses korosi reaksi yang berpengaruh adalah reaksi elektrokimia. Korosi elektrokimia biasanya terjadi pada lingkungan yang basah, pada temperatur yang relatif rendah, dengan berbagai bentuk korosi mengikuti mekanisme elektrokimia yang terjadi reaksi oksidasi (anodik) dan reduksi (katodik).

Reaksi oksidasi adalah reaksi yang menghasilkan pelepasan elektron dan berakibat terbentuknya ion-ion positif. Logam yang mengalami reaksi ini disebut sebagai anoda. Proses korosi dapat terjadi hanyajika 4 komponen dasar terjadinya korosi terpenuhi, komponen tersebut ialah yaitu :

1. Anoda, merupakan bagian logam yang berfungsi sebagai elektroda, dimana terjadi reaksi anodik. Reaksi anodik adalah reaksi yang menghasilkan elektron.
2. Katoda, merupakan elektroda yang mengalami reaksi katodik yang mengkonsumsi electron hasil dari reaksi anodik.
3. Penghantar listrik, dimana diantara katoda dan anoda harus terdapat kontak listrik agar arus sel korosi dapat mengalir.
4. Elektrolit, merupakan suatu media yang bersifat menghantarkan arus listrik seperti air dan tanah.

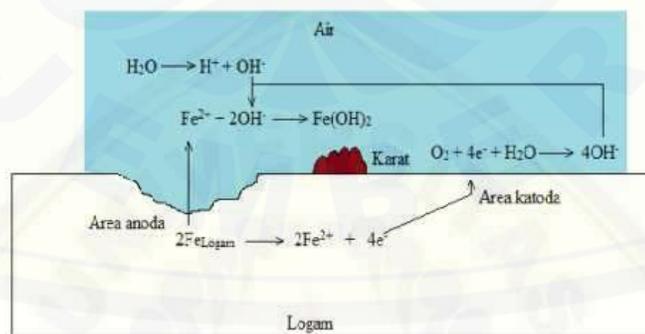
Contoh yang umum terjadi proses korosi adalah sebagai berikut :



Reaksi diatas dapat dijelaskan bahwa reaksi terjadi pada anoda ialah logam Fe mengalami oksidasi sehingga menghasilkan ion-ion logam Fe dan elektron. Pada katoda terjadi reaksi reduksi dimana terjadi pelepasan ion-ion OH⁻ yang menyebabkan lingkungan menjadi basa atau netral. Ion OH⁻ ini berasal reduksi oksigen.

Logam yang berlaku sebagai sel korosi akan memberikan elektron (anoda) dan lingkungannya sebagai penerima elektron (katoda). Pada logam yang teroksidasi akan larut kelingkungannya menghasilkan ion-ion logam dan melepaskan elektron secara bersamaan, sedangkan pada katoda terjadi reaksi dimana ion-ion dari lingkungan mendekati logam dan menangkap electron-elektron yang tertinggal pada logam.

Laju korosi secara elektrokima merupakan kecepatan rata-rata perubahan ketebalan atau berat dari logam yang mengalami korosi terhadap waktu melalui proses elektrokima seperti ditunjukkan pada gambar 2.1 (Trethewey dan Chamberlain, 1991).



Gambar 2.1 Sel Korosi (Fadly, 2010)

Skema diatas dapat dijabarkan sebagai berikut :

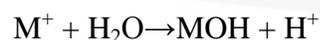
1. Anoda : terjadi reaksi anodik dimana logam Fe larut menjadi ion Fe^{2+}
2. Katoda : terjadi reaksi katodik
3. Elektrolit sebagai media perantara elektron, elektrolit terdiri atas 4 jenis yaitu : elektrolit asam, elektrolit basa, elektrolit netral, dan elektrolit yang mengandung ion – ion logam.

Faktor yang berpengaruh terhadap korosi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu yang berasal dari bahan itu sendiri dan dari lingkungan (Supardi, 1997). Faktor dari bahan meliputi kemurnian bahan, struktur bahan, bentuk kristal, unsur – unsur kelumit yang ada dalam bahan, dan sebagainya. Faktor dari lingkungan meliputi suhu, kelembaban, keadaan zat – zat kimia yang bersifat korosif, pH, temperatur dan perpindahan panas, pergerakan fluida, potensial elektrokimia, dan sebagainya.

2.2 Mekanisme Korosi

Reaksi pada korosi bersifat secara elektrokimia, sedangkan reaksi elektrokimia biasa disebut dengan reaksi redoks yaitu reaksi reduksi dan reaksi oksidasi. Korosi selalu berhubungan oksigen, dalam reaksi elektrokimia suatu logam mengalami reaksi oksidasi sedangkan oksigen yang berikatan dengan logam mengalami reduksi. Sehingga karat pada logam berupa oksida dan karbonat.

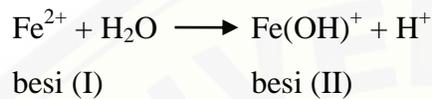
Reaksi elektrokimia dapat diilustrasikan dengan reaksi antar ion logam dengan molekul air. Mula-mula akan terjadi hidrolisis yang akan mengakibatkan keasaman meningkat (Trethewey, 1991). Hal ini dapat diterangkan dengan persamaan berikut :



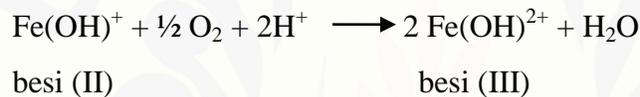
Persamaan ini menggambarkan reaksi hidrolisis yang umum, dimana pada elektrolit yang sebenarnya akan terdapat peran klorida yang penting tetapi akan menjadi rumit untuk diuraikan. Kecenderungan yang rendah dari klorida untuk

diuraikan dengan ion-ion hidrogen dalam air mendorong menurunnya pH larutan elektrolit (Trethewey, 1991).

Persamaan reaksi jika reaksi di atas adalah ion besi dan molekul air (Trethewey, 1991), adalah sebagai berikut :



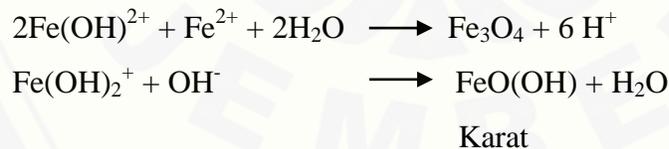
Kemudian reaksi ini dapat berlanjut dengan terjadinya reaksi oksidasi oleh kehadiran oksigen terhadap besi (II), sehingga akan terbentuk ion-ion besi (III) (Trethewey, 1991). Persamaan reaksi tersebut dapat diuraikan sebagai berikut



Reaksi-reaksi hidrolisis selanjutnya dimungkinkan, yang menyebabkan larutan semakin asam :



Untuk selanjutnya dapat diuraikan reaksi dari ion-ion kompleks sehingga terbentuk hasil korosi utama yaitu magnetit dan karat, berturut-turut dinyatakan dengan rumus Fe_3O_4 dan FeO(OH) [Trethewey, 1991]. Persamaan reaksi-reaksi tersebut adalah :



Laju korosi secara elektrokimia merupakan kecepatan rata-rata perubahan ketebalan atau berat dari logam yang mengalami korosi terhadap waktu melalui proses elektrokimia [Trethewey, 1991].

2.3 Korosi Temperatur Tinggi

Menurut (Panjaitan, 2015) korosi temperatur tinggi didefinisikan sebagai proses degradasi atau penurunan mutu material, termasuk degradasi sifat – sifat mekanisnya yang disebabkan oleh adanya pengaruh atmosfer pada temperatur tinggi. Temperatur tinggi memiliki pengertian bahwa air dalam fasa gas, atmosfer tidak mengandung air. Temperatur dimana terjadi difusi atom yang memberikan pengaruh yang besar dan temperaturnya diestimasi dengan $0,5 T_m$ (T_m = Temperatur melting, Kelvin). Temperatur terjadinya oksidasi baja dengan cepat, yaitu di atas $500\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Temperatur tinggi memberikan pengaruh ganda terhadap degradasi logam yang ditimbulkannya. Pertama, kenaikan temperatur akan mempengaruhi aspek termodinamika dan kinetika reaksi, artinya degradasi akan semakin cepat pada temperatur yang lebih tinggi. Kedua, kenaikan temperatur akan mempengaruhi dan mengubah struktur dan perilaku logam. Jika struktur berubah, maka secara umum kekuatan dan perilaku logam juga berubah. Jadi selain terjadi degradasi yang berupa kerusakan fisik pada permukaan atau kerusakan eksternal, juga terjadi degradasi, penurunan sifat mekanik, logam menjadi rapuh.

Pada temperatur tinggi, atmosfer bersifat oksidatif, atmosfer yang berpotensi untuk mengoksidasi logam. Atmosfer ini merupakan lingkungan penyebab utama terjadinya korosi pada temperatur tinggi. Korosi pada temperatur tinggi mencakup reaksi langsung antara logam dan gas. Untuk lingkungan tertentu kerusakan dapat terjadi akibat reaksi dengan lelehan garam atau *fused salt* yang terbentuk pada temperatur tinggi, korosi ini biasa disebut *Hot corrosion* atau korosi panas.

2.4 Faktor – Faektor Penyebab Korosi Temperatur Tinggi

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi terjadinya korosi temperatur tinggi yaitu sebagai berikut :

2.4.1 Konsentrasi Oksigen

Pengaruh oksigen pada laju korosi. Untuk daerah karakteristik pada logam normal dan juga pada logam aktif - pasif di mana logam tersebut berada pada daerah aktif. Untuk logam yang ditunjukkan pada daerah transisi aktif pasif, sifat pasif dicapai bila kuantitas oksigen tercukupi. Bertambah cepatnya laju korosi seiring dengan bertambahnya konsentrasi oksigen yang ditambahkan hal ini digambarkan pada daerah 1 dimana karakteristik daerah ini dimiliki oleh logam monel dan tembaga pada lingkungan acid solution yang mengandung oksigen (Panjaitan, 2015).

2.4.2 Kecepatan Aliran udara

Pengaruh kecepatan aliran udara terhadap laju korosi adalah seperti pengaruh penambahan oksigen terhadap laju korosi. Ciri khas pengaruh kecepatan terhadap laju reaksi. Untuk proses korosi yang dikendalikan oleh aktifasi polarisasi maka kecepatan tidak memiliki pengaruh terhadap laju reaksi, Pengaruh ini umumnya terjadi ketika adanya zat pengoksidasi dalam jumlah yang sedikit, seperti halnya oksigen yang terlarut dalam larutan asam atau air (Panjaitan, 2015).

2.4.3 Temperatur

Temperatur dapat meningkatkan laju reaksi kimia. bahwa laju reaksi tidak terlalu dipengaruhi oleh kenaikan temperatur, yaitu pengaruh temperatur diabaikan terhadap laju reaksi meskipun terjadi dalam temperatur yang sangat tinggi. Sebagai contoh kasus yang terjadi pada baja karbon, monel dan nikel dalam lingkungan yang asam (Panjaitan, 2015).

2.5 Akibat Korosi Temperatur Tinggi

Pada material logam tahan panas terdapat beberapa reaksi yang mungkin terjadi ketika suhu operasi mulai meningkat. Hal ini adalah karena sifat dasar dari material logam yang bersifat sangat reaktif ketika suhunya mendekati suhu lelehnya. Adapun akibat reaksi yang mungkin terjadi adalah sebagai berikut:

2.5.1 Fasa sigma

Fasa sigma terbentuk pada kisaran suhu 593-927 °C. Fasa sigma dapat terbentuk karena suatu material memiliki fasa ferrit di dalamnya. Kerugian yang diakibatkan dari terbentuknya fasa sigma ini adalah menurunnya *ductility* dan ketangguhan sehingga apabila suatu material mendapat pembebanan impak akan mudah mengalami retak. Cara untuk mencegah terbentuknya fasa sigma adalah dengan memilih kombinasi unsur pembentuk fasa α dan γ dengan tepat. Tujuannya adalah agar tidak terbentuk ferit bebas.

2.5.2 Oksidasi

Oksidasi merupakan reaksi yang paling penting pada korosi temperatur tinggi, membentuk lapisan oksida yang dapat menahan serangan dari peristiwa korosi yang lain bila jumlah oksigen di lingkungannya cukup (jumlah oksigen dalam lingkungan disebut oksigen potensial). Tetapi harus terkontrol dan oksidasinya terbentuk dari senyawa dari unsur - unsur yang menguntungkan (Panjaitan, 2015).

Pada suhu tinggi terbentuk oksidasi sangat mungkin terjadi. Beberapa cara untuk meningkatkan ketahanan oksidasi pada suhu tinggi adalah dengan meningkatkan kadar Cr (>25%), penambahan 25-30% Cr, <2% Si, <4% Al, Yttrium dan Cerium serta dapat juga dengan cara penambahan Ni. Adanya penambahan Ni, walaupun Cr konstan dapat meningkatkan ketahanan oksidasi yang tinggi. Selain itu

nikel yang tinggi juga dapat memberikan sifat kepada material tahan terhadap *spalling* dan juga meningkatkan kestabilan.

2.5.3 Karburisasi

Reaksi ini terjadi dalam lingkungan yang mengandung CO, CH₄ dan gas hidrokarbon lainnya. Penguraian C ke permukaan logam mengakibatkan penggetasan dan degradasi sifat mekanik lainnya (Panjaitan, 2015). Pada suhu tinggi atau sekitar 482-538 °C atmosfer CO, metana, etana dan hidrokarbon pada lingkungan pengaplikasian material dapat membentuk karbon. Karbon tersebut dapat bereaksi dengan unsur yang terkandung pada material seperti Cr, Nb, W, Mo atau Ti membentuk karbida pada butir atau pun batas butir. Karbida ini bersifat kuat, keras, tetapi *brittle* sehingga dapat mengakibatkan suatu material mengalami pengurangan *ductility*. Selain itu, apabila karburisasi terjadi, maka Cr pada material akan menjadi rendah sehingga secara tidak langsung juga mengakibatkan ketahanan oksidasi dan *creep* berkurang. Adapun pencegahan dari karburisasi adalah dengan mengkombinasikan Ni dan melapisi permukaan material dengan Si, Al, Cr atau kombinasi dari ketiganya. Kromium, nikel dan silikon adalah tiga unsur utama yang dapat meningkatkan ketahanan paduan dari absorpsi karbon. Nikel dan silikon memberikan kelarutan yang lebih rendah terhadap karbon dan nitrogen.

2.5.4 Nitridasi

Reaksi ini terjadi pada lingkungan yang mengandung ammonia, terutama pada potensial oksigen yang rendah. Penyerapan nitrogen yang berlebihan akan membentuk *presipitat nitride* di batas butir dan menyebabkan penggetasan (Supardi, 2015). Pencegahan dari nitridasi adalah dengan menaikkan kandungan Ni. Hal ini adalah karena Ni sangat tahan terhadap nitridasi. Pada nikel, N memiliki kelarutan yang rendah. Selain dengan penambahan kadar Ni, sama halnya dengan karburisasi,

nitridasi juga dapat dicegah dengan cara melapisi permukaan material dengan Si, Al, Cr atau kombinasi dari ketiganya.

2.5.5 Sulfidasi

Terjadi dalam lingkungan yang mengandung bahan bakar atau hasil pembakaran yang mengandung sulfur. Dengan oksigen membentuk SO₂ dan SO₃ yang bersifat pengoksidasi yang kurang agresif dibandingkan H₂S yang bersifat pereduksi, tetapi dapat terjadi efek penguatan dengan adanya Na dan K yang akan membentuk uap yang kemudian akan mengendap ke permukaan logam pada temperatur yang lebih rendah dan merusak permukaan (Panjaitan, 2015).

2.5.6 Korosi deposit abu dan garam

Deposit dapat mengakibatkan turunnya aktifitas oksigen dan menaikkan aktifitas sulfur, sehingga merusak lapisan pasif dan mempersulit pembentukannya kembali. Deposit biasanya mengandung S, Cl, Zn, Pb dan K.

2.5.7 Korosi karena logam cair

Terjadi pada proses yang mempergunakan logam cair, misalnya heat treatment dan refining process. Korosi terjadi dalam bentuk pelarutan logam dan oksidanya.

2.6 Jenis-jenis Korosi

Ada beberapa jenis korosi yang terjadi pada logam. Berikut adalah macam-macam dari korosi yang sering dijumpai :

2.6.1 Korosi Galvanis (*Bemetal Corrosion*)

Disebut juga korosi dwilogam yang merupakan perkaratan elektrokimiawi apabila dua macam metal yang berbeda potensial dihubungkan langsung di dalam elektrolit yang sama. Elektron akan mengalir dari metal yang kurang mulia (anodik)

menuju ke metal yang lebih mulia (katodik). Akibatnya metal yang kurang mulia berubah menjadi ion-ion positif karena kehilangan elektron. Ion-ion positif metal bereaksi dengan ion-ion negatif yang berada di dalam elektrolit menjadi garam metal. Karena peristiwa ini dimana permukaan anoda kehilangan metal, sehingga terbentuk sumuran-sumuran karat atau jika merata akan terbentuk karat permukaan (Eliades, 2002).



Gambar 2.2 korosi galvanis (Utomo, 2009).

2.6.2 Korosi Sumuran (Pitting Corrosion)

Adalah korosi yang terjadi karena komposisi logam yang tidak homogen dan ini menyebabkan korosi yang dalam pada berbagai tempat (Eliades, 2002). Dapat juga adanya kontak antara logam, maka pada daerah batas akan timbul korosi berbentuk sumur.



Gambar 2.3 Korosi sumuran (Utomo, 2009).

2.6.3 Korosi Erosi (Erosion Corrosion)

Logam yang terkena korosi akibat terjadinya keausan dapat menimbulkan bagian-bagian yang tajam dan kasar, bagian ini akan menghasilkan beda potensial antara suatu bagian dengan bagian lainnya, bagian-bagian inilah yang mudah terserang korosi dan apabila terdapat gesekan maka akan timbul abrasi yang lebih berat (Eliades, 2002).



Gambar 2.4 Korosi Erosi (Utomo, 2009)

2.6.4 Korosi Tegangan (Stress Corrosion)

Gaya-gaya seperti tarikan (*tensile*) atau kompresi (*Compressive*) berpengaruh sangat kecil pada proses pengkaratan. Adanya kombinasi antara regangan tarik (*tensile stress*) dan lingkungan yang korosif, maka akan terjadi kegagalan material berupa retakan yang disebut retak karat regangan (Utomo, 2009)

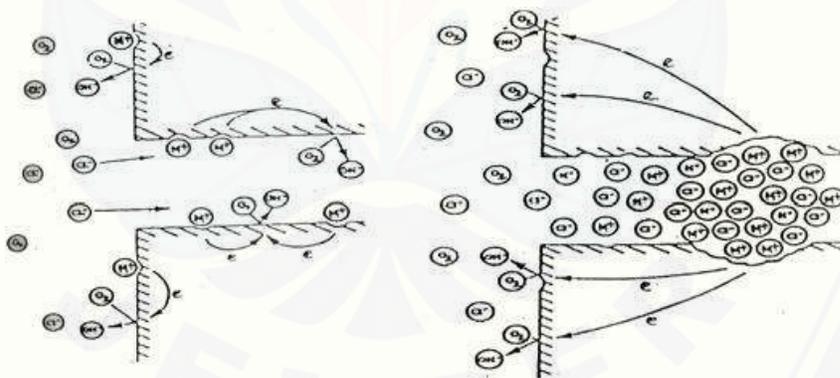
2.6.5 Korosi Celah (Crevice Corrosion)

Korosi yang terjadi pada logam yang berdempetan dengan logam lain atau non logam dan diantaranya terdapat celah yang dapat menahan kotoran dan air sebagai sumber terjadinya korosi. Konsentrasi Oksigen pada mulut lebih kaya dibandingkan pada bagian dalam, sehingga bagian dalam lebih anodik dan bagian mulut menjadi katodik. Maka terjadi aliran arus dari dalam menuju mulut logam yang menimbulkan korosi (Eliades, 2002).

Atau juga perbedaan konsentrasi zat asam. Dimana celah sempit yang terisi elektrolit (pH rendah) maka akan terjadi sel korosi yang katoda permukaannya sebelah luar celah yang basah dengan air yang lebih banyak mengandung zat asam dari pada daerah dalam yang bersifat anodik. Maka pada daerah ini terjadinya korosi yang disebabkan adanya katoda dan anoda.



Gambar 2.5 Korosi celah (Utomo, 2009)



Gambar 2.6 Mekanisme korosi celah

Pada Gambar 2.5 dapat menjelaskan fenomena korosi celah dimana (a) kondisi awal: Korosi terjadi diseluruh permukaan logam (b). Kondisi akhir pelarutan logam hanya terjadi disebelah dalam celah karena keasaman meningkat, konsentrasi ion klorida meningkat, dan reaksi selanjutnya mampu berjalan sendiri.

2.6.6 Korosi Kavitasi (Cavitation Corrosion)

Korosi Kavitasi terjadi karena tingginya kecepatan cairan yang menciptakan daerah-daerah bertekanan tinggi dan rendah secara berulang-ulang pada permukaan peralatan dimana cairan tersebut mengalir. Maka terjadilah gelembung-gelembung uap air pada permukaan tersebut, yang apabila pecah kembali menjadi cairan akan menimbulkan pukulan pada permukaan yang cukup besar untuk memecahkan film oksida pelindung permukaan. Akibatnya bagian permukaan yang tidak terlindungi terserang korosi. Karena bagian tersebut menjadi anodik terhadap bagian yang terlindungi.

Karena terjadinya korosi pada bagian tersebut, maka akan kehilangan massa dan menjadi takik. Takik-takik tersebut akan bertambah dalam karena permukaan di dalam takik tidak sempat membentuk film pelindung karena kecepatan cairan yang tinggi dan proses kavitasi akan berlangsung secara berulang-ulang.

2.6.7 Korosi Lelah (Fatigue Corrosion)

Bila logam mendapat beban siklus yang berulang-ulang, tetapi masih dibawah batas kekuatan luluhnya. Maka setelah sekian lama akan patah karena terjadinya kelelahan logam. Kelelahan dapat dipercepat dengan adanya serangan korosi. Kombinasi antara kelelahan dan korosi yang mengakibatkan kegagalan disebut korosi lelah. Korosi lelah terjadi di daerah yang menderita beban, lasan dan lainnya (Eliades, 2002).

2.6.8 Korosi antar Kristal

Terjadinya korosi hanya pada batas kristal, akibat dari serangan elektrolit. Karena tegangan pada kristal adalah paling tinggi. Dan terjadinya karbida pada batas butir yang dapat mengakibatkan korosi ini (Eliades, 2002).

2.6.9 Penggetasan Hidrogen

1. *Hydrogen Embrittlement*

Penggetasan hidrogen adalah suatu proses hilangnya daktilasi baja dengan terserapnya hidrogen ke dalam struktur material baja. Kekuatan tarik tidak terpengaruh secara nyata. Daktilasi ini dapat dikembalikan melalui perlakuan panas. Kerusakan hidrogen menggambarkan pelemahan baja secara permanen karena berkembangnya retak-retak mikro (*microfissures*). Retak yang disebabkan oleh kerusakan hidrogen biasanya terjadi di sepanjang batas butir, karenanya berbeda dengan retak dingin akibat kemasukan hidrogen yang biasanya bersifat transgranular. Di dalam material baja, atom-atom hidrogen ini bergabung menjadi molekul (H_2) dan menyebabkan terjadinya regangan lokal yang hebat. Jika baja cukup ductil maka kemungkinan dapat bertahan terhadap regangan lokal ini. Namun jika baja getas dan keras, maka akan terjadi retak-retak halus, yang kemudian menjadi besar dan mengakibatkan kegagalan materil.

2. *Hydrogen Damage*

Kerusakan hidrogen di dalam material baja terjadi akibat atom-atom hidrogen ini bergabung menjadi molekul (H_2) dan menyebabkan terjadinya regangan lokal. Jika kemudian gas H_2 terperangkap di dalam cacat material seperti inklusi, laminasi maka gas hidrogen lama kelamaan berkumpul dan menaikkan tekanan di lokasi tersebut. Karena besarnya tekanan menyebabkan gelembung atau *blister*. Hal ini tidak terjadi pada suhu yang tidak terlalu tinggi dan pada daerah yang dekat dengan permukaan (Supardi, 1997).

2.7 Pengendalian Korosi

Teknologi perlindungan logam yang telah dikenal saat ini menawarkan solusi yang lebih baik dalam usaha melawan korosi. Karena biaya yang harus dikeluarkan dan penggunaan metode yang tersedia bisa disesuaikan dengan kondisi dan kebutuhan. Dalam metode pengendalian korosi dibedakan ke dalam 5 (lima)

kategori, yaitu sebagai berikut :

2.7.1 Desain

Usaha penanggulangan korosi sebaiknya sudah dilakukan sejak tahapan desain proses. Ahli-ahli korosi sebaiknya ikut dilibatkan dalam desain proses dari sejak pemilihan proses, penentuan kondisi-kondisi prosesnya, penentuan bahan-bahan konstruksi, pemilihan *lay-out*, saat konstruksi sampai tahap *start-upnya*. Di antara cara-cara penanggulangan korosi dari segi desain yang sering digunakan adalah:

1. Isolasi alat dari lingkungan korosif
2. Mencegah hadir/terbentuknya elektrolit
3. Jaminan lancarnya aliran fluida
4. mencegah korosi erosi/abrasi akibat kecepatan aliran
5. Mencegah terbentuknya sel galvanik

2.7.2 Pemilihan Material

Bahan konstruksi harus dipilih yang tahan korosi. Apalagi jika lingkungannya korosif. Ketahanan korosi masing-masing bahan tidak sama pada berbagai macam lingkungan. Mungkin sesuatu bahan sangat tahan korosi dibanding bahan-bahan lain pada lingkungan tertentu. Di antara bahan-bahan konstruksi yang paling sering digunakan adalah :

1. Besi
2. Aluminium
3. Timah hitam
4. Tembaga
5. Nikel
6. Timah putih
7. Titanium
8. Seng

2.7.3 Perlakuan Lingkungan

Upaya perlakuan lingkungan ini sangat penting dalam penanggulangan korosi di industri. Lingkungan yang korosif diupayakan menjadi tidak atau kurang korosif. Ada dua macam cara perlakuan lingkungan yaitu :

1. Perubahan media/elektrolit.

Misalnya penurunan suhu, penurunan kecepatan alir, penghilangan oksigen atau oksidator, perubahan konsentrasi

2. Penggunaan inhibitor.

Inhibitor adalah suatu bahan kimia yang jika ditambahkan dalam jumlah yang kecil saja kepada lingkungan media yang korosif, akan menurunkan kecepatan korosi. Inhibitor bekerja menghambat laju korosi.

3. Pelapisan

Metode pelapisan atau *coating* adalah suatu upaya mengendalikan korosi dengan menerapkan suatu lapisan pada permukaan logam besi. Misalnya, dengan pengecatan atau penyepuhan logam. Penyepuhan besi biasanya menggunakan logam krom atau timah. Kedua logam ini dapat membentuk lapisan oksida yang tahan terhadap lapisan film permukaan dari oksida logam hasil oksidasi yang tahan terhadap korosi lebih lanjut. Logam seng juga digunakan untuk melapisi besi (galvanisir), tetapi seng tidak membentuk lapisan oksida seperti pada krom dan timah, melainkan berkarbon demi besi. Ada dua macam cara pelapisan, yaitu :

- a. Pelapisan dengan bahan logam. Pada pelapisan dengan bahan logam, dapat digunakan bahan-bahan logam yang lebih inert maupun yang kurang inert sebagai bahan pelapis. Pemakaian kedua macam bahan tersebut mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing.
- b. pelapisan dengan bahan non logam. Yaitu dengan pelapisan berbahan dasar organik seperti cat polimer dan pelapis berbahan dasar anorganik.

2.7.4 Proteksi Katodik

Proteksi katodik adalah suatu teknik untuk melindungi korosi pada suatu logam. Terjadinya aliran elektron dari anoda ke katoda pada struktur baja didalam elektrolit harus ditahan menggunakan aliran arus listrik dari anoda lain. Proteksi katodik dibagi menjadi berbagai cara, yaitu :

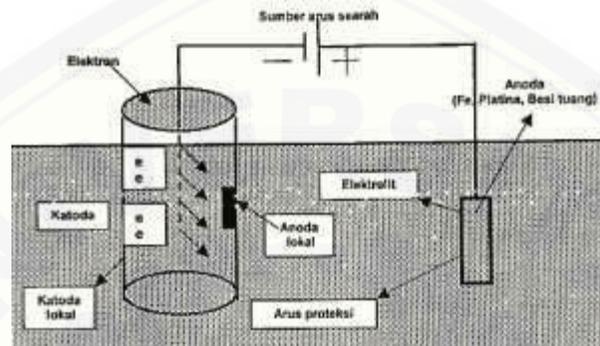
1. Arus Paksa

Berbeda dengan sistem anoda korban, sumber arus pada sistem arus tanding berasal dari luar, biasanya berasal dari DC dan AC yang dilengkapi dengan penyearah arus (*rectifier*), dimana kutup negatif dihubungkan ke struktur yang dilindungi dan kutup positif dihubungkan ke anoda. Arus mengalir dari anoda ke elektroloit ke permukaan struktur, kemudian mengalir sepanjang struktur dan kembali ke *rectifier* melalui konduktor elektris. Karena struktur menerima arus elektrlit, maka struktur menjadi terproteksi. Keluaran (*output*) arus rectifier diatur untuk mengalirkan arus yang cukup sehingga dapat mencegah arus korosi yang akan meninggalkan daerah anoda yang dilindungi. (Pribadi Ridzky, 2017)

Sistem arus tanding digunakan untuk melindungi struktur yang besar atau yang membutuhkan arus proteksi yang lebih besar sehingga dipandang kurang ekonomis jika dibandingkan dengan menggunakan anoda korban. Sistem ini dapat dipakai untuk melindungi struktur yang tidak di *coating*. Kelebihan system arus ini adalah dapat didesain untuk aplikasi dengan tingkat fleksibilitas yang tinggi karena mempunyai rentang kapasitas output arus yang luas. Artinya kebutuhan arus dapat diatur baik secara manual maupun secara otomatis dengan merubah tegangan output seesuai dengan kebutuhan. Sedangkan kekurangannya adalah memerlukan perawatan yang lebih banyank dibanding system anoda korban sehingga biaya operasional akan bertambah.

2 Metode Arus Terpasang (*Impressed Current*)

Metode ini menggunakan metode arus searah dari luar, misalnya transformer rectifier, DC generator, dan lain sebagainya. Rangkaian ini dapat dilihat sebagai berikut:

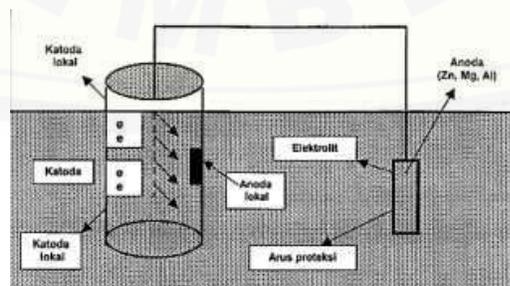


Gambar 2.7 Proteksi Katodik Impressed Current (Gunaatmaja, 2011)

Arus listrik pada sistem ini dialirkan dipermukaan logam yang berproteksi melalui anoda pembantu seperti graphite, baja, platina, dan besi tuang. Keuntungan dari metode arus terpasang ini adalah bahwa sistem tersebut dapat menggunakan anoda yang tidak termakan.

3. Metode Anoda Korban (*Sacrificial Anode*)

Metode ini adalah perlindungan korosi logam dengan cara mengorbankan logam lain sebagai anoda. Logam yang dikorbankan harus mempunyai potensial listrik lebih negatif dari logam yang diproteksi supaya terjadi aliran elektron dari anoda ke katoda. Aliran elektron ini akan berlangsung terus sampai logam anoda dan katoda terjadi reaksi:



Gambar 2.8 Proteksi katodik anoda korban (Gunaatmaja, 2011)

Pada sistem dengan pengorbanan anoda sebagai sumber arus searah digunakan anoda reaktif dengan potensial jauh lebih negatif dari pada logam yang diproteksi yang biasanya menggunakan logam paduan magnesium, seng, dan aluminium.

Tabel 2. 1 Beda Potensial (Gunaatmaja, 2011)

Logam	Harga	Normal Pontensial dalam Volt	
Emas	Au ³⁺	+1,42	Katodik
Platina	Pt ²⁺	+1,20	
Perak	Ag ⁺	+0,80	Dijadikan Standar
Tembaga	Cu ⁺	+0,34	
Hidrogen	H ⁺	+0,00	
Timbal	Pb ²⁺	-0,13	
Timah Putih	Sn ²⁺	-0,14	
Nikel	Ni ²⁺	-0,25	
Kadmium	Cd ²⁺	-0,40	
Besi	Fe ²⁺	-0,43	
Khrom	Cr ²⁺	-0,51	
Seng	Zn ²⁺	-0,76	
Aluminium	Al ³⁺	-1,67	Anodik
Magnesium	Mg ²⁺	-2,34	
Natrium	Na ⁺	-2,74	
Kalium	K ⁺	-2,92	
Lithium	Li ⁺	-3,02	

Anoda reaktif dihubungkan dengan logam yang diproteksi, arus listrik dialirkan ke permukaan logam yang diproteksi melalui elektrolit. Faktor yang mempengaruhi proses proteksi katodik yaitu :

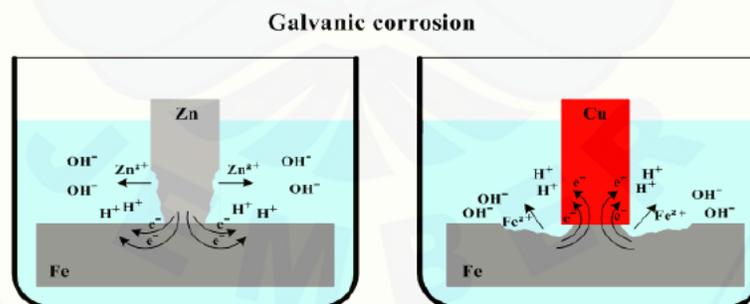
1. Luas permukaan yang akan diproteksi, semakin luas permukaan semakin banyak anoda yang digunakan.
2. Beda potensial listrik antara anoda dan katoda, semakin besar perbedaan maka semakin besar arus proteksi dari anoda ke katoda.
3. Logam dan ukuran anoda, semakin kecil tahanan anoda berarti semakin sedikit penggunaan logam anoda. Semakin kecil ukuran logam anoda semakin besar tahanan anoda berarti semakin banyak penggunaan anoda.

2.8 Bahan Anoda Korban Aluminium

Aluminium merupakan logam non ferrous. Logam ini sering digunakan sebagai anoda korban karena memiliki nilai energi potensial yang lebih negatif dibandingkan seng. Anoda korban bekerja berdasarkan prinsip proteksi katodik. Permukaan struktur logam diubah menjadi bersifat katodik melalui pemberian arus yang berasal dari anoda korban tersebut (Anggono, 2000).

2.9. Deret Galvanik Sebagai Pengendali Korosi

Deret galvanik ini berkaitan dengan terjadinya korosi galvanik, korosi ini terjadi apabila dua logam yang tidak sama dihubungkan dan berada di lingkungan elektrolit, saat terjadi kontak kedua logam yang memiliki beda potensial tersebut akan menghasilkan aliran elektron atau listrik sehingga salah satu dari logam tersebut akan mengalami korosi, sedangkan logam lainnya akan terlindungi dari serangan korosi. Dalam korosi ini, logam yang memiliki potensial lebih positif akan bersifat katodik, sedangkan yang berpotensi negatif akan bersifat anodik (Wibowo, 2016).



Gambar 2.9 Proses terjadinya korosi galvanik (Wibowo, 2016)

Prinsip korosi galvanik ini sama dengan elektrokimia yaitu terdapat elektron (anoda dan katoda), elektrolit dan arus listrik. Logam yang berfungsi sebagai anoda adalah logam yang belum terhubung bersifat lebih aktif atau

mempunyai potensial korosi lebih negatif. Pada anoda akan terjadi reaksi oksidasi atau reaksi perlarutan sedangkan pada katoda terjadi reaksi reduksi logam dan pada logam katoda akan menempel ion-ion dari anoda (Wibowo, 2016).

Berdasarkan tabel potensial sel elektroda , jika diurutkan dari atas ke bawah maka semakin ke bawah nilai E° reduksi semakin besar (oksidator kuat) maka akan terbentuk sebuah deret yang dikenal dengan nama deret volta. Berikut tabelnya

Tabel 2.2 Beda Potensial (Gunaatnaja, 2011)

Logam	Harga	Normal Pontensial dalam Volt	
Emas	Au^{3+}	+1,42	Katodik
Platina	Pt^{2+}	+1.20	
Perak	Ag^{+}	+0,80	
Tembaga	Cu^{+}	+0,34	Dijadikan Standar
Hidrogen	H^{+}	+0,00	
Timbal	Pb^{2+}	-0,13	
Timah Putih	Sn^{2+}	-0,14	
Nikel	Ni^{2+}	-0,25	
Kadmium	Cd^{2+}	-0,40	
Besi	Fe^{2+}	-0,43	
Khrom	Cr^{2+}	-0,51	
Seng	Zn^{2+}	-0,76	
Aluminium	Al^{3+}	-1,67	
Magnesium	Mg^{2+}	-2,34	Anodik
Natrium	Na^{+}	-2,74	
Kalium	K^{+}	-2,92	
Lithium	Li^{+}	-3,02	

Logam yang berada di bagian bawah dapat mendesak logam yang berada di bagian atas. Pada contoh reaksi redoks sebelumnya terlihat bahwa Al dapat mendesak logam Fe^{2+} sehingga reaksi bisa berlangsung. Jadi ketika ada reaksi dimana logam di bagian bawah dapat mendesak logam di bagian atasnya maka reaksi tersebut dapat terjadi.

Semakin ke bawah kedudukan suatu logam menandakan:

1. Logam semakin reaktif (semakin mudah melepas electron).
2. Logam merupakan reduktor yang kuat.

Sebaliknya, semakin ke atas kedudukan menandakan:

1. Logam semakin kurang reaktif (semakin sukar melepas elektron).
2. Logam merupakan oksidator yang semakin kuat.

Sehingga, logam yang memiliki nilai potensial yang lebih rendah cenderung lebih reaktif daripada logam-logam yang memiliki nilai potensial yang lebih tinggi. Oleh karena itu, logam yang terletak memiliki nilai potensial yang lebih rendah dapat mendesak logam yang memiliki nilai potensial yang lebih tinggi.

2.10 Perhitungan Laju Korosi dengan Perlindungan Anoda Korban.

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

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

dimana :

CR = Laju korosi (mm/th)

W = Massa yang terkorosi (gram)

A = Luas tercelup (cm²)

K = 8.76 x 10⁴

T = Waktu (jam)

D = Densitas (gram/cm³)

2.11 Metode Kehilangan Berat (*Weight Loss*)

Metode ini berdasarkan ASTM G1, G4, A90 dan NACE RP0775. Metode ini digunakan untuk menentukan laju korosi dalam berbagai lingkungan. Spesimen digunakan guna mengetahui pengurangan berat total pada periode pengujian, hal ini digunakan untuk menunjukkan tingkat laju korosi yang terjadi saat pengujian, spesimen tunggal tidak dapat digunakan untuk menentukan kecepatan korosi namun dapat ditentukan dengan beberapa pengujian spesimen pada satu waktu dan evaluasi spesimen pada interval waktu yang pendek (Chodijah, 2008).

Dalam mempersiapkan spesimen harus bersih dari semua kontaminasi produk pengotor seperti debu, minyak dan produk yang berkarat. Karena jumlah spesimen yang diuji lebih dari satu maka pemberian nomor seri menjadi sangatlah penting untuk penganalisan. Setelah proses preparasi sampel, data berat, dimensi dan nomor serinya dicatat untuk data perbandingan setelah pengujian (Chodijah, 2008).



Gambar 2.10 Contoh spesimen untuk analisa kehilangan berat (Chodijah, 2008)

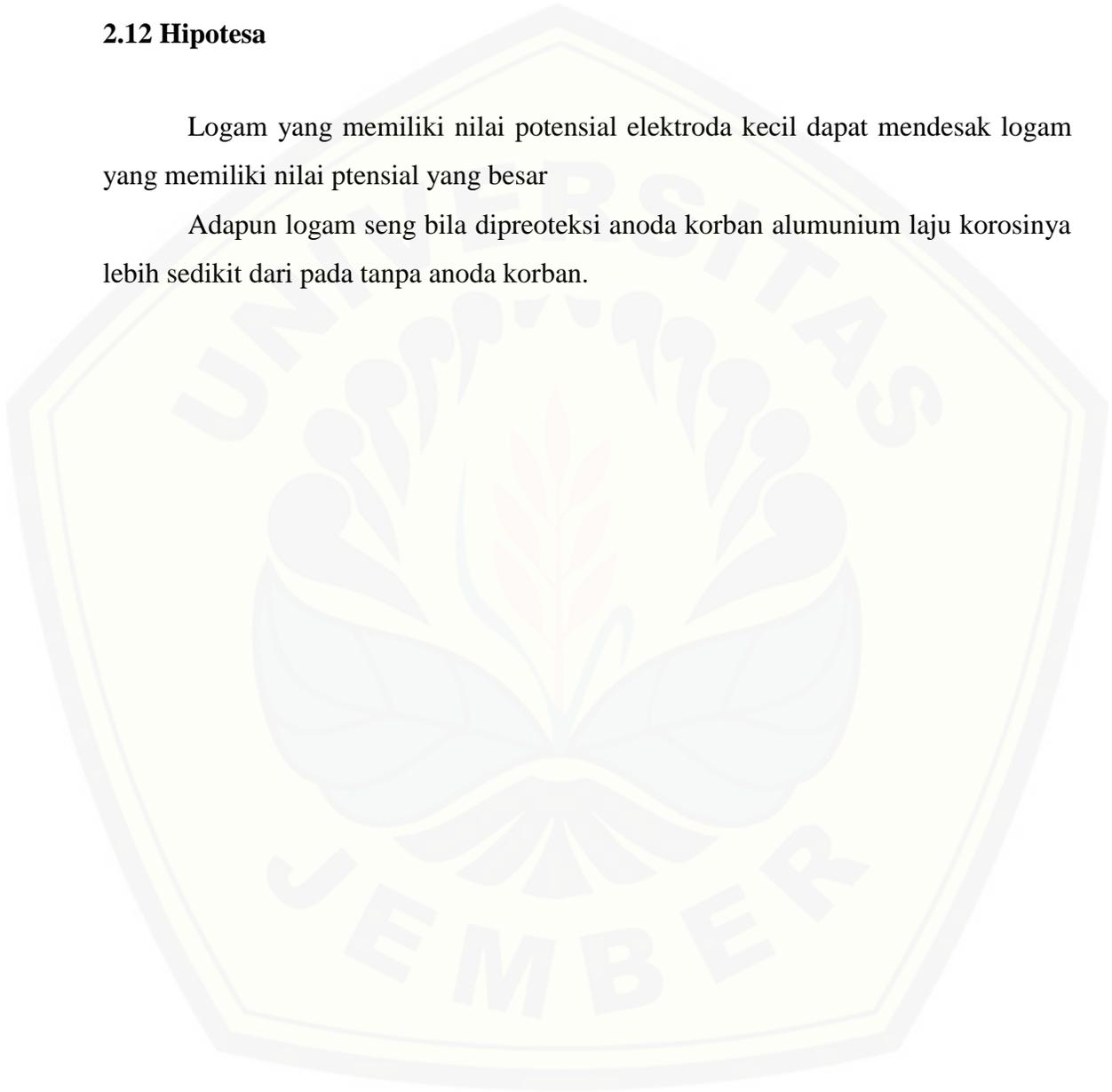
Gambar diatas menunjukkan contoh spesimen setelah pengujian. Untuk mengetahui laju korosi yang terjadi maka dilakukan pengujian *weight loss* yang terjadi pada benda kerja, dengan dilakukannya penimbangan spesimen sebelum dan sesudah proses pengujian, sehingga dapat mengetahui selisih berat benda kerja

sebelum dan sesudah pengujian. Proses penimbangan tersebut menggunakan timbangan digital.

2.12 Hipotesa

Logam yang memiliki nilai potensial elektroda kecil dapat mendesak logam yang memiliki nilai potensial yang besar

Adapun logam seng bila diproteksi anoda korban aluminium laju korosinya lebih sedikit dari pada tanpa anoda korban.



BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu suatu metode yang digunakan untuk menguji pengaruh dari suatu perlakuan atau desain baru dengan cara membandingkan desain tersebut dengan desain tanpa perlakuan.

Penelitian akan dilakukan di Laboratorium Uji Material jurusan Teknik Mesin Universitas Jember yang akan dimulai pada bulan Mei 2020 sampai dengan bulan September 2020.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat

1. Timbangan digital
2. Mikroskop Metalurgi Olympus
3. Gergaji
4. Kompor
5. Mesin Bor
6. Kamera
7. Gerinda
8. Mur dan baut

3.2.2 Bahan

1. Spesimen uji Pelat Seng (40 mm x 170 mm x 11 mm).
2. Spesimen uji Anoda Korban Al (20 mm x 40 mm x 2,5 mm),.
3. Larutan NaCl.
4. Larutan Aquades
5. Resin

6. Katalis

3.3 Variabel Pengukuran

3.3.1 Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi faktor-faktor yang diukur, dipilih oleh peneliti untuk menentukan hubungan antara fenomena yang diamati, adapun variabel bebas yang digunakan yaitu :

- a. Pembagian jumlah anoda korban
- b. Lama waktu pemanasan

3.3.2 Variabel terikat

Variabel terikat adalah faktor-faktor yang diteliti dan diukur untuk menentukan adanya pengaruh variabel bebas, yaitu faktor yang muncul atau tidak muncul. Adapun variabel terikat yang digunakan yaitu :

- a. Laju korosi
- b. Struktur Mikro

3.4 Prosedur Penelitian

Adapun langkah – langkah penelitian sebagai berikut :

1. Menyiapkan alat dan bahan.
2. Menghaluskan permukaan pelat seng sesuai dengan dimensi spesimen.
3. Pembersihan pelat seng dengan NaCl dan Aquades.
4. Menimbang pelat seng sebelum dipasangkan dengan anoda korban.
5. Pemasangan Anoda Korban dengan dijepit.
6. Pemanasan pelat seng yang telah dipasang anoda korban di atas kompor.
7. Melakukan Pemanasan spesimen dengan interval waktu yang sudah ditentukan.
8. Pengujian spesimen dengan menggunakan metode weightlost.
9. Melakukan pengamatan struktur mikro

10. Analisis data dan kesimpulan.

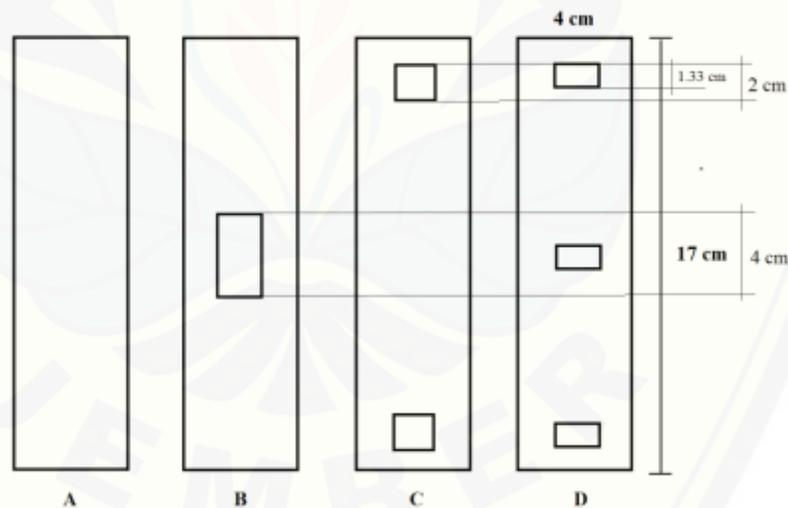
3.5 Pelaksanaan Penelitian

Material yang digunakan dalam penelitian ini pelat seng. Material atau spesimen uji dibersihkan dari kotoran atau minyak yang ada ataupun yang melekat pada spesimen uji. Kemudian material diberi ukuran sesuai dengan panjang benda uji yang akan dibuat.

3.5.1 Pembuatan spesimen uji

Setelah semua persiapan terhadap material selesai kemudian dilakukan pembuatan spesimen uji.

Dengan spesimen sebagai berikut:



Gambar 3.1 spesimen pelat seng

Spesimen uji adalah pelat seng. Kemudian pelat seng (spesimen) dibersihkan untuk menghilangkan kotoran pada pelat seng agar terhindar dari terjadinya korosi awal, sesuai dengan standar ASTM G1-81, "Standart Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens".

3.5.2 Spesimen Anoda Korban

Anoda korban yang digunakan dalam eksperimen berukuran 40,0 x 20,0 x 2,5mm.

3.5.3 Pengujian Spesimen

Pengujian spesimen yang akan dilakukan pada peneliiian kali ini terdapat dua macam yaitu :

1. Pengujian struktur mikro
 - a. Pengujian struktur mikro dilakukan pada 20 spesimen yaitu :
 - Spesiman tanpa anoda korban
 - Spesimen dengan satu pembagian anoda korban
 - Spesimen dengan dua pembagian anoda korban
 - Spesimen dengan tiga pembagian anoda korban
 - b. Pengujian struktur mikro dilakukan untuk pengamblan gambar setiap spesimen pada variasi jam ke 5, 10, 15,20, dan 25
2. Pengujian weightloss

Pengujian dilakukan dengan prosedur pengujian immersion, prosedur ini dilakukan dilakukan dengan beberapa tahap yang mengacu pada ASTM G31 Standart Practice For Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metal sebagai berikut.

 - a. Spesimen ditimbang terlebih dahulu
 - b. Pemasangan anoda korban alumunium pada setiap variasi
 - c. Memberikan tanda atau symbol pada spesimen
 - d. Spesimen di bersihkan dari kotoran dengan menggunakan NaCl dan Aquades
 - e. Spesimen dipanaskan selama 5 jam, 10 jam, 15 jam, 20 jam, dan 25 jam.

3.5.4 Waktu Pemanasan

Waktu pemanasan yang digunakan dalam pengujian pengukuran laju korosi, dilakukan selama 25 jam dengan interval sebagai berikut :

1. 5 jam
2. 10 jam
3. 15 jam
4. 20 jam
5. 25 jam

3.5.5 Analisis Data

Pengambilan data penurunan berat dengan jalan penimbangan spesimen (pelat seng) dengan periode tiap 5 jam tiap tiga nomor spesimen. Sebelum penimbangan spesimen terlebih dahulu dibersihkan. Perlakuan selama pembersihan adalah dengan jalan mencelupkan spesimen dalam larutan NaOH 10% selama 5 menit, kemudian diangkat dan dicelupkan dalam aquades selama 5 menit kemudian dikeringkan, baru dilakukan penimbangan dan data dicatat dalam tabel.3.1, berikut:

Tabel 3.1 Data penurunan berat pada pelat seng

NO	BERAT AWAL	BERAT AKHIR	SELISIH BERAT	LAJU KOROSI
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
TOTAL				

RATA2				
-------	--	--	--	--

3.5.6 Perhitungan Laju Korosi

Setelah data penurunan berat spesimen pelat seng dan anoda korban diperoleh maka selanjutnya dilakukan perhitungan laju korosi yang dapat dinyatakan dalam rumus sebagai berikut (Trethewey, 1991):

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

Dimana :

CR = Laju korosi (mm/th)

W = Massa yang terkorosi (gram)

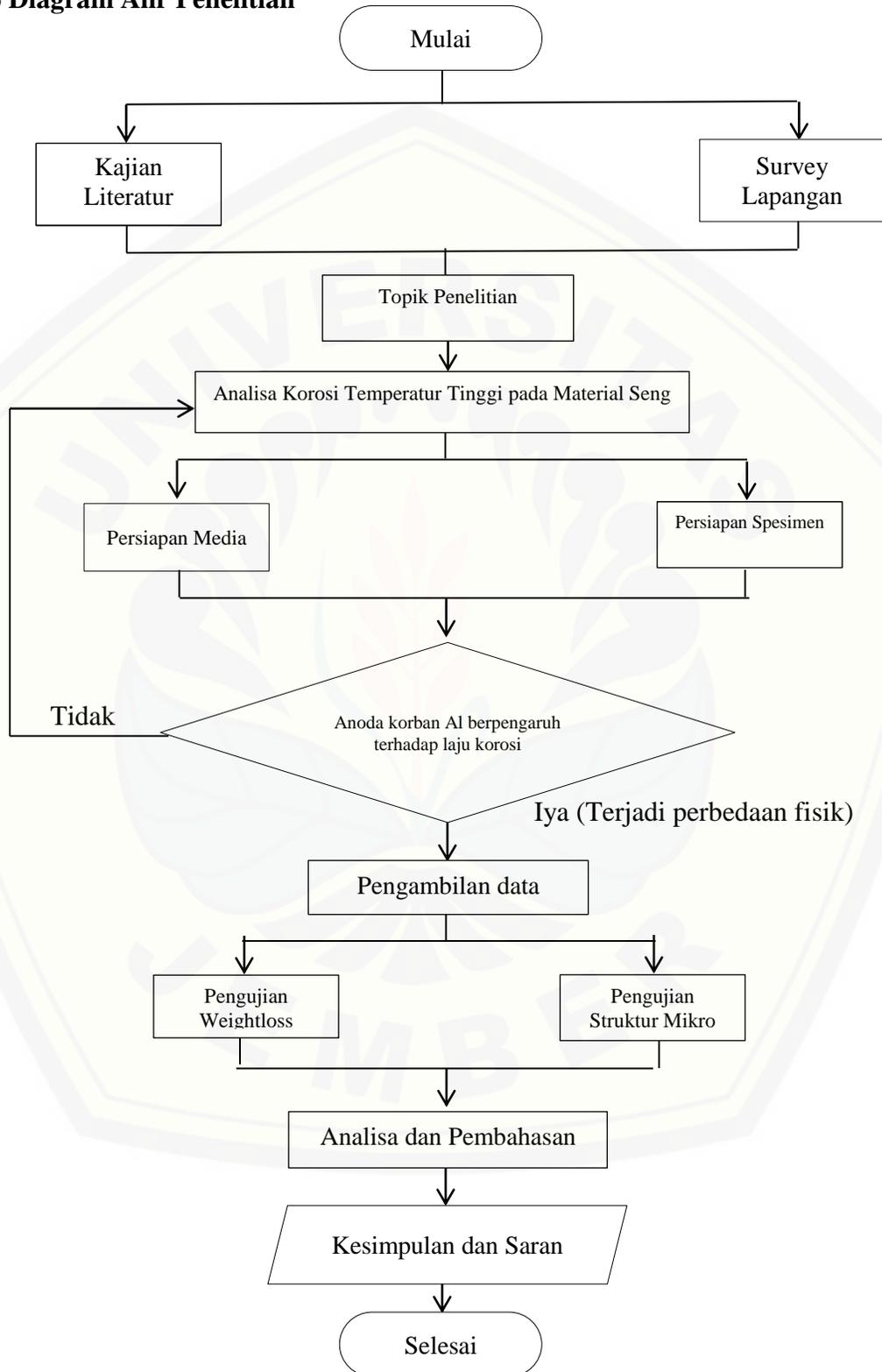
A = Luas tercelup (cm²)

K = Konstanta 8.76 x 10⁴

T = Waktu (jam)

D = Densitas (gram/cm³) untuk seng = 7,14 gram/cm³

3.6 Diagram Alir Penelitian



BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai laju korosi pelat seng memiliki nilai yang berbeda-beda pada setiap variasinya. Pelat seng tanpa perlindungan anoda korban memiliki rata-rata nilai laju korosi sebesar 2,7527 mm/tahun. Pada pelat seng dengan perlindungan pembagian satu anoda korban memiliki rata-rata nilai laju korosi sebesar 0,8930 mm/tahun. Pada pelat seng dengan perlindungan pembagian dua anoda korban memiliki rata-rata nilai laju korosi sebesar 0,5973 mm/tahun, dan pelat seng dengan perlindungan pembagian tiga anoda korban memiliki rata-rata nilai laju korosi sebesar 0,3953 mm/tahun.
2. Laju korosi pelat seng tanpa adanya proteksi anoda korban memiliki nilai laju korosi yang paling besar, sedangkan nilai laju korosi terendah dihasilkan oleh pelat seng dengan proteksi pembagian tiga anoda korban. Untuk nilai laju korosi rata-rata tertinggi pada rentang waktu 5 jam yaitu 2,5390 mm/tahun, dan untuk terkecil pada rentang waktu 20 jam yaitu 0,4894 mm/tahun. Semakin meratanya pendistribusian anoda korban maka jangkauan proteksi akan semakin luas, sehingga anoda korban dapat bekerja secara maksimal.
3. Hasil dari observasi mikro menunjukkan bahwa pelat seng dengan tanpa adanya anoda korban memiliki rongga yang sangat banyak yang disebabkan oleh serangan korosi, sedangkan pada pelat seng dengan perlindungan anoda korban jumlah rongga menurun drastis , dengan

kinerja terbaik yang dihasilkan oleh variasi dengan pembagian tiga anoda korban.

5.2 Saran

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan jumlah waktu pemanasan, agar data dan informasi laju korosi lebih akurat.
2. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan tungku oven agar suhu yang diberikan dapat terkontrol secara stabil.
3. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan adanya uji komposisi terlebih dahulu pada katoda maupun anoda korban agar dapat diketahui pengaruh unsur pada katoda maupun anoda korban.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggono, J., dan S. Tjitro. 2000. Studi Perbandingan Kinerja Anoda Korban Paduan Aluminium dengan Paduan Seng dalam Lingkungan Air Laut. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra.
- Anonim, 2003, *Annual Book of ASTM Standards, Metal Corrosion, Erosion and Wear, Vol 03.02*, ASTM International, New York.
- ASTM, Designation: E407-07. 2011. *Standard practice for microetching metals and alloys*.
- ASTM, Designation: G1-90. 1999. *Standard practice fo preparing, cleaning, and evaluating corrosion test specimens*
- ASTM, Designation: G71-81. 2009. *Standard guie for conducting and evaluating galvanic corrosion tests in electrolytes*.
- Bardal, Einar. 2003. "Crrsion and Protection". The Norwegian University of Science and Technology: Trondheim, Norway.
- Eliades, T., dan Athanasial. 2002. *In vivo aging of orthodontic alloy implication for corrosion potential, nickel release, and biocompatibility*. Angle Orthod.
- Espelid., Baard, dan Schi, B. 1996. Characterization of Sacrificial Anodes Materials Through Laboratory Testing, In NACE International. *Corrosion*. Paper No.551, Texas, USA.
- Fadly, E. 2010. Perbandingan Efisiensi Anoda Aluminium Pada Lingkungan Air Laut dan Pasir Laut. Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Gunaatmaja, A. (2011). Korosi pada Baja Karbon Rendah dengan Penambahan Ekstrak Ubi Ungu sebagai Inhibitor Organik di Lingkungan NaCl 3, 5%.
- NASUTION, Muslih. KAJIAN TENTANG HUBUNGAN DERET VOLTA DAN KOROSI SERTA PENGGUNAANNYA DALAM KEHIDUPAN SEHARI-

- HARI. In: *Seminar Nasional Teknik (SEMNASTEK) UISU*. 2019. p. 252-255
- Panjaitan, M. F., & edi Septe, E. (2015). Studi Korosi Temperatur Tinggi Baja ASSAB 760 Dilingkungan Udara Yang Mengandung Sulfur. *ABSTRACT OF UNDERGRADUATE RESEARCH, FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY, BUNG HATTA UNIVERSITY*, 6(2)
- Pribadi Ridzky, M. 2001. Poteksi Patodik Arus Paksa yang Berasal dari DC dan AC. Tugas Akhir. Teknik Material. Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
- PT. Biro Klasifikasi Indonesia, 2006, *Rules for The Classification and Construction of Seagoing Stel Ships, Volume II, Rules For Hull, Edition 2006*, BKI, Jakarta.
- Riastuti, Rini & Andi Rustandi., 2008. “Diktat Mata Kuliah Korosi dan Proteksi Logam”. Depok
- Sulistioso, G. S. 2004. Analisis Korosi dari SS 440C pada Media Air Tawar dan Air Laut.
- Supardi, H, R. 1997. *Korosi*, Edisi Pertama. Bandung : Penerbit Tarsito..
- Trethewey, Kenneth, R, B.Sc, Ph.D, C.Chem, MRSC, M CORR.ST, John Chamberlain, 1991, *Korosi Untuk Mahasiswa Sains dan Rekeyasa*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Tsai, Tai Ming, 1995, *Protection of Steel Using Aluminum Sacrificial Anodes in Artificial Seawater, Journal of Marine Science and Technology*, Volume 4, No.1, Tahun 1995, halaman 17 – 21.
- Utomo, B. 2009. Jenis Korosi dan Penanggulangannya. *Jurnal Teknik Perkapalan*, Universitas Diponegoro.
- Wibowo, A. 2016. Analisis sifat korosi galvanik berbagai plat logam di laboratorium metalurgi politeknik negeri batam. *Jurnal Integrasi*. Vol. 8. (No. 2).

LAMPIRAN

Lampiran A. Data Hasil Pengujian

A.1 Tabel Selisih Berat dan Laju Korosi pada Spesimen A

NO	BERAT AWAL	BERAT AKHIR	SELISIH BERAT	BERAT TOTAL	BERAT RATA RATA	LAJU KOROSI	LAJU KOROSI TOTAL	LAJU KOROSI RATA2
A1	11.0417	10.6375	0.4042	1.1253		7.0321	19.5776	
A2	12.4434	12.1233	0.3201		0.3751	5.569		6.525866667
A3	11.7413	11.3403	0.401			6.9765		
A4	11.6405	11.3345	0.306	1.0237		2.6618		8.90496
A5	11.1389	10.7297	0.4092		0.341233333	3.55956		2.96832
A6	10.837	10.5285	0.3085			2.6836		
A7	11.6419	11.3304	0.3115	0.9124		1.8064		5.29108
A8	11.6441	11.2739	0.3702		0.304133333	2.14688		1.763693333
A9	11.6481	11.4174	0.2307			1.3378		
A10	11.9416	11.7183	0.2233	0.7565		0.9712		3.29032
A11	10.4373	10.2154	0.2219		0.252166667	0.96514		1.096773333
A12	12.3435	12.0322	0.3113			1.35398		
A13	11.5414	11.0395	0.5019	1.215		1.74611		4.22697
A14	10.8381	10.336	0.5021		0.405	1.7468		1.40899
A15	11.8422	11.6312	0.211			0.73406		
TOTAL			5.0329			41.29093		
RATA2			0.335526667			2.752728667		

A.2 Tabel Selisih Berat dan Laju Korosi pada Spesimen B

NO	BERAT AWAL	BERAT AKHIR	SELISIH BERAT	BERAT TOTAL	BERAT RATA RATA	LAJU KOROSI	LAJU KOROSI TOTAL	LAJU KOROSI RATA2
B1	12.6446	12.4912	0.1534	0.3782		2.66881	6.58424	
B2	11.6415	11.6179	0.0236		0.126066667	0.415		2.194746667
B3	10.6387	10.4375	0.2012			3.50043		
B4	12.4446	12.3433	0.1013	0.1308		0.88119	1.13779	
B5	11.4405	11.4302	0.0103		0.0436	0.08959		0.379263333
B6	11.2498	11.2306	0.0192			0.16701		
B7	11.4409	11.3744	0.0665	0.473		0.38565	2.743047	
B8	11.8425	11.6411	0.2014		0.157666667	1.16797		0.914349
B9	12.2473	12.0422	0.2051			1.189427		
B10	11.9422	11.8822	0.06	0.3274		0.2609	1.423939	
B11	12.143	11.984	0.159		0.109133333	0.69156		0.474646333
B12	12.8427	12.7343	0.1084			0.471479		
B13	10.9388	10.8295	0.1093	0.4331		0.38025	1.50675	
B14	12.6449	12.4442	0.2007		0.144366667	0.698235		0.50225
B15	11.4401	11.317	0.1231			0.428265		
TOTAL			1.7425			13.395766		
RATA2			0.116166667			0.893051067		

A.3 Tabel Selisih Berat dan Laju Korosi pada Spesimen C

NO	BERAT AWAL	BERAT AKHIR	SELISIH BERAT	BERAT TOTAL	BERAT RATA RATA	LAJU KOROSI	LAJU KOROSI TOTAL	LAJU KOROSI RATA2
C1	11.3409	11.3175	0.0234	0.1443		0.407107	2.510487	
C2	12.2435	12.1324	0.1111		0.0481	1.93289		0.836829
C3	11.7414	11.7316	0.0098			0.17049		
C4	11.8426	11.7817	0.0609	0.2062		0.52976	1.7937	
C5	11.4407	11.3171	0.1236		0.068733333	1.07518		0.5979
C6	11.0392	11.0175	0.0217			0.18876		
C7	12.7451	12.6446	0.1005	0.3607		0.58282	2.09178	
C8	14.3515	14.2215	0.13		0.120233333	0.7539		0.69726
C9	14.4526	14.3224	0.1302			0.75506		
C10	12.3434	12.2125	0.1309	0.1553		0.5693	0.67541	
C11	11.3403	11.3304	0.0099		0.051766667	0.04305		0.225136667
C12	11.8427	11.8282	0.0145			0.06306		
C13	11.9428	11.813	0.1298	0.543		0.45157	1.88909	
C14	11.8429	11.631	0.2119		0.181	0.7372		0.629696667
C15	12.2439	12.0426	0.2013			0.70032		
TOTAL			1.4095			8.960467		
RATA2			0.093966667			0.597364467		

A.4 Tabel Selisih Berat dan Laju Korosi pada Spesimen D

NO	BERAT AWAL	BERAT AKHIR	SELISIH BERAT	BERAT TOTAL	BERAT RATA RATA	LAJU KOROSI	LAJU KOROSI TOTAL	LAJU KOROSI RATA2
D1	12.4442	12.3541	0.0901	0.1033		1.567539097	1.797189664	
D2	12.3435	12.3414	0.0021		0.034433333	0.036535317		0.599063221
D3	12.5446	12.5335	0.0111			0.19311525		
D4	12.3438	12.2435	0.1003	0.2412		0.872498177	2.098171089	
D5	12.5449	12.4456	0.0993		0.0804	0.863799292		0.699390363
D6	12.6859	12.6443	0.0416			0.361873621		
D7	12.5448	12.4445	0.1003	0.1898		0.581665451	1.10069893	
D8	12.5447	12.5366	0.0081		0.063266667	0.04697398		0.366899643
D9	13.0465	12.9651	0.0814			0.472059499		
D10	12.8464	12.8457	0.0007	0.1112		0.00304461	0.483658012	
D11	11.8422	11.8316	0.0106		0.037066667	0.046104091		0.161219337
D12	12.5442	12.4443	0.0999			0.434509311		
D13	12.1436	12.1245	0.0191	0.1295		0.066448925	0.450530667	
D14	11.7418	11.7325	0.0093		0.043166667	0.032354712		0.150176889
D15	12.4446	12.3435	0.1011			0.35172703		
TOTAL			0.775			5.930248362		
RATA2			0.051666667			0.395349891		

Lampiran B. Perhitungan Laju Korosi**B.1 Perhitungan Laju Korosi Spesimen A**

$$A1 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,4042}{141,04 \times 7,14 \times 5} \quad C = 7,0321 \text{ mm/tahun}$$
$$A2 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,3201}{141,04 \times 7,14 \times 5} \quad C = 5,5690 \text{ mm/tahun}$$
$$A3 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,4010}{141,04 \times 7,14 \times 5} \quad C = 6,9765 \text{ mm/tahun}$$
$$A4 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,3060}{141,04 \times 7,14 \times 10} \quad C = 2,6618 \text{ mm/tahun}$$
$$A5 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,4092}{141,04 \times 7,14 \times 10} \quad C = 3,5595 \text{ mm/tahun}$$
$$A6 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,3085}{141,04 \times 7,14 \times 10} \quad C = 2,6836 \text{ mm/tahun}$$
$$A7 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,3115}{141,04 \times 7,14 \times 15} \quad C = 1,8064 \text{ mm/tahun}$$
$$A8 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,3702}{141,04 \times 7,14 \times 15} \quad C = 2,14688 \text{ mm/tahun}$$

$$A9 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,2307}{141,04 \times 7,14 \times 15} \quad C = 1,3378 \text{ mm/tahun}$$

$$A10 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,2233}{141,04 \times 7,14 \times 20} \quad C = 0,9712 \text{ mm/tahun}$$

$$A11 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,2219}{141,04 \times 7,14 \times 20} \quad C = 0,9651 \text{ mm/tahun}$$

$$A12 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,3113}{141,04 \times 7,14 \times 20} \quad C = 1,3539 \text{ mm/tahun}$$

$$A13 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,5019}{141,04 \times 7,14 \times 25} \quad C = 1,7461 \text{ mm/tahun}$$

$$A14 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,5021}{141,04 \times 7,14 \times 25} \quad C = 1,7468 \text{ mm/tahun}$$

$$A15 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,2110}{141,04 \times 7,14 \times 25} \quad C = 0,7340 \text{ mm/tahun}$$

B.2 Perhitungan Laju Korosi Spesimen B

$$B1 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,1534}{141,04 \times 7,14 \times 5} \quad C = 2,6688 \text{ mm/tahun}$$

$$B2 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,0236}{141,04 \times 7,14 \times 5} \quad C = 0,4105 \text{ mm/tahun}$$

$$B3 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,2012}{141,04 \times 7,14 \times 5} \quad C = 3,5004 \text{ mm/tahun}$$

$$B4 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,1013}{141,04 \times 7,14 \times 10} \quad C = 0,8811 \text{ mm/tahun}$$

$$B5 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,0103}{141,04 \times 7,14 \times 10} \quad C = 0,0895 \text{ mm/tahun}$$

$$B6 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,0192}{141,04 \times 7,14 \times 10} \quad C = 0,1670 \text{ mm/tahun}$$

$$B7 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,0665}{141,04 \times 7,14 \times 15} \quad C = 0,3856 \text{ mm/tahun}$$

$$B8 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,2014}{141,04 \times 7,14 \times 15} \quad C = 1,1679 \text{ mm/tahun}$$

$$B9 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,2051}{141,04 \times 7,14 \times 15} \quad C = 1,1894 \text{ mm/tahun}$$

$$B10 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,0600}{141,04 \times 7,14 \times 20} \quad C = 0,2609 \text{ mm/tahun}$$

$$B11 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,1590}{141,04 \times 7,14 \times 20} \quad C = 0,6915 \text{ mm/tahun}$$

$$B12 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,1084}{141,04 \times 7,14 \times 20} \quad C = 0,4714 \text{ mm/tahun}$$

$$B13 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,1093}{141,04 \times 7,14 \times 25} \quad C = 0,3802 \text{ mm/tahun}$$

$$B14 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,2007}{141,04 \times 7,14 \times 25} \quad C = 0,6982 \text{ mm/tahun}$$

$$B15 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,1231}{141,04 \times 7,14 \times 25} \quad C = 0,4282 \text{ mm/tahun}$$

B.3 Perhitungan Laju Korosi Spesimen C

$$C1 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,0234}{141,04 \times 7,14 \times 5} \quad C = 0,4071 \text{ mm/tahun}$$

$$C2 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,1111}{141,04 \times 7,14 \times 5} \quad C = 1,9328 \text{ mm/tahun}$$

$$C3 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,0098}{141,04 \times 7,14 \times 5} \quad C = 0,1704 \text{ mm/tahun}$$

$$C4 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,0609}{141,04 \times 7,14 \times 10} \quad C = 0,5297 \text{ mm/tahun}$$

$$C5 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,1236}{141,04 \times 7,14 \times 10} \quad C = 1,0751 \text{ mm/tahun}$$

$$C6 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,0217}{141,04 \times 7,14 \times 10} \quad C = 0,1887 \text{ mm/tahun}$$

$$C7 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,1005}{141,04 \times 7,14 \times 15} \quad C = 0,8528 \text{ mm/tahun}$$

$$C8 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,1300}{141,04 \times 7,14 \times 15} \quad C = 0,7539 \text{ mm/tahun}$$

$$C9 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$

$$C = \frac{87600 \times 0,1302}{141,04 \times 7,14 \times 15} \quad C = 0,7550 \text{ mm/tahun}$$

$$C_{10} = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$

$$C = \frac{87600 \times 0,1309}{141,04 \times 7,14 \times 20} \quad C = 0,5693 \text{ mm/tahun}$$

$$C_{11} = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$

$$C = \frac{87600 \times 0,0099}{141,04 \times 7,14 \times 20} \quad C = 0,0430 \text{ mm/tahun}$$

$$C_{12} = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$

$$C = \frac{87600 \times 0,0145}{141,04 \times 7,14 \times 20} \quad C = 0,0630 \text{ mm/tahun}$$

$$C_{13} = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$

$$C = \frac{87600 \times 0,1298}{141,04 \times 7,14 \times 25} \quad C = 0,4515 \text{ mm/tahun}$$

$$C_{14} = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$

$$C = \frac{87600 \times 0,2119}{141,04 \times 7,14 \times 25} \quad C = 0,7372 \text{ mm/tahun}$$

$$C_{15} = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$

$$C = \frac{87600 \times 0,2013}{141,04 \times 7,14 \times 25} \quad C = 0,7003 \text{ mm/tahun}$$

B.4 Perhitungan Laju Korosi Spesimen D

$$D1 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,0901}{141,04 \times 7,14 \times 5} \quad C = 1,5675 \text{ mm/tahun}$$
$$D2 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,0021}{141,04 \times 7,14 \times 5} \quad C = 0,0365 \text{ mm/tahun}$$
$$D3 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,0111}{141,04 \times 7,14 \times 5} \quad C = 0,1931 \text{ mm/tahun}$$
$$D4 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,1003}{141,04 \times 7,14 \times 10} \quad C = 0,8724 \text{ mm/tahun}$$
$$D5 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,0993}{141,04 \times 7,14 \times 10} \quad C = 0,8637 \text{ mm/tahun}$$
$$D6 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,0416}{141,04 \times 7,14 \times 10} \quad C = 0,3618 \text{ mm/tahun}$$
$$D7 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,1003}{141,04 \times 7,14 \times 15} \quad C = 0,5816 \text{ mm/tahun}$$
$$D8 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,0081}{141,04 \times 7,14 \times 15} \quad C = 0,0469 \text{ mm/tahun}$$

$$D9 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,0814}{141,04 \times 7,14 \times 15} \quad C = 0,4720 \text{ mm/tahun}$$

$$D10 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,0007}{141,04 \times 7,14 \times 20} \quad C = 0,0030 \text{ mm/tahun}$$

$$D11 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,0106}{141,04 \times 7,14 \times 20} \quad C = 0,0461 \text{ mm/tahun}$$

$$D12 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,0999}{141,04 \times 7,14 \times 20} \quad C = 0,4345 \text{ mm/tahun}$$

$$D13 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,0191}{141,04 \times 7,14 \times 25} \quad C = 0,0664 \text{ mm/tahun}$$

$$D14 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,0093}{141,04 \times 7,14 \times 25} \quad C = 0,0323 \text{ mm/tahun}$$

$$D15 = C = \frac{K \times W}{A \times D \times T}$$
$$C = \frac{87600 \times 0,1011}{141,04 \times 7,14 \times 25} \quad C = 0,3517 \text{ mm/tahun}$$

Lampiran C. Gambar Persiapan Spesimen



Gambar C.1 Pengeboran spesimen



Gambar C.2 Pembersihan spesimen NaCl



Gambar C.3 Proses pemanasan spesimen



Gambar C.3 Proses pemanasan spesimen

Lampiran D. Gambar Pengamatan Struktur Makro

Gambar D.1 Pengamatan struktur makro spesimen tanpa anoda korban (A)



Gambar D.2 Pengamatan struktur makro spesimen dengan pembagian satu anoda korban (B)



Gambar D.3 Pengamatan struktur makro spesimen dengan pembagian dua anoda korban (C)



Gambar D.4 Pengamatan struktur makro spesimen dengan pembagian tiga anoda korban (D)



Gambar D.5 Pemanasan spesimen dengan waktu 5 jam



Gambar D.6 Pemanasan spesimen dengan waktu 10 jam



Gambar D.7 Pemanasan spesimen dengan waktu 15 jam



Gambar D.8 Pemanasan spesimen dengan waktu 20 jam



Gambar D.9 Pemanasan spesimen dengan waktu 25 jam

Lampiran E. Pengambilan data pengujian spesimen



Gambar E.1 Proses persiapan uji mikro dengan resin



Gambar E.2 Mesin Amplas



Gambar E.3 Mikroskop



Gambar E.4 Mal foto mikro pembesaran 100x



Gambar E.5 Mal foto mikro pembesaran 200x



Gambar E.5 Foto mikro spesimen A pembesaran 100x



Gambar E.6 Foto mikro spesimen B pembesaran 100x



Gambar E.7 Foto mikro spesimen C pembesaran 100x



Gambar E.8 Foto mikro spesimen D pembesaran 100x

