



TUGAS AKHIR – TL184834

**PENGARUH KONSENTRASI INHIBITOR OBAT JENIS
AMLODIPINE BESYLATE DAN pH TERHADAP
PERLINDUNGAN KOROSI BAJA KARBON RENDAH DI MEDIA
HCl**

**FAJAR NAUFAL AGUSRIYANTO
NRP. 02511640000149**

**Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA
Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020**



TUGAS AKHIR – TL 184834

**PENGARUH KONSENTRASI INHIBITOR OBAT JENIS
AMLODIPINE BESYLATE DAN pH TERHADAP
PERLINDUNGAN KOROSI BAJA KARBON RENDAH DI
MEDIA HCl**

FAJAR NAUFAL AGUSRIYANTO
NRP. 02511640000149

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA
Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TL 184834

**THE EFFECT OF AMLODIPINE BESYLATE TYPE DRUG
INHIBITOR CONCENTRATION AND pH FOR
CORROSION PROTECTION OF LOW CARBON STEEL
IN HCl MEDIA**

FAJAR NAUFAL AGUSRIYANTO
NRP. 02511640000149

Supervisors
Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA
Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.

MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2020

(This page is intentionally left blank)

**PENGARUH KONSENTRASI INHIBITOR OBAT JENIS
AMLODIPINE BESYLATE DAN pH TERHADAP
PERLINDUNGAN KOROSI BAJA KARBON RENDAH DI
MEDIA HCl**

TUGAS AKHIR

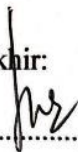

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

FAJAR NAUFAL AGUSRIYANTO
NRP 02511640000149

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA......(Pembimbing I)
2. Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc......(Pembimbing II)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGARUH KONSENTRASI INHIBITOR OBAT JENIS
AMLODIPINE BESYLATE DAN pH TERHADAP
PERLINDUNGAN KOROSI BAJA KARBON RENDAH DI
MEDIA HCl**

Nama : Fajar Naufal Agusriyanto
NRP : 02511640000149
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi
Pembimbing I : Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA
Pembimbing II : Budi Agung Kurniawan, S.T, M.Sc.

Abstrak

Korosi merupakan peristiwa terdegradasinya logam. Korosi sangatlah merugikan, maka dari itu dilakukan pengendalian dengan salah satu caranya ialah menggunakan inhibitor korosi. Inhibitor korosi merupakan zat yang apabila ditambahkan kedalam lingkungan korosif dapat menurunkan laju korosi yang terjadi pada logam. Amlodipine besylate memiliki kandungan yang dapat menghambat proses korosi. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan amlodipine besylate sebagai inhibitor korosi pada baja karbon rendah yang direndam dalam media HCl. Penggunaan baja karbon rendah dikarenakan memiliki keuletan dan machinability yang baik. HCl biasa digunakan dalam proses pickling baja karbon rendah. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah polarisasi dan EIS. Hasil uji pada pH 1 didapatkan laju korosi terendah sebesar 0.129 mmpy dengan efisiensi 91% pada hari ke-5 dan pada pH 5 didapatkan laju korosi terendah sebesar 0.032 mmpy dengan efisiensi 87% pada hari ke-4. Mekanisme kerja inhibitor obat amlodipine besylate secara mixed-type inhibitor yang lebih dominan sebagai inhibitor katodik dan adsorpsi yang terjadi secara adsorpsi fisik.

Kata Kunci: *Inhibitor korosi, Amlodipine besylate, Baja karbon rendah, HCl, Polarisasi, EIS.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**THE EFFECT OF AMLODIPINE BESYLATE TYPE DRUG
INHIBITOR CONCENTRATION AND pH FOR
CORROSION PROTECTION OF LOW CARBON STEEL
IN HCl MEDIA**

Student Name : Fajar Naufal Agusriyanto
NRP : 0251164000149
Department : Materials and Metallurgical Engineering
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA
Co-Supervisor : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.

Abstract

Corrosion is a metal degraded phenomenon. Corrosion is harmful, therefore prevention must be done by one of so many way using corrosion inhibitors. Corrosion inhibitors are substance that if added into the corrosive environment could decrease the corrosion rate happened on metal. Amlodipine besylate has compounds can inhibit the corrosion process. Hence, this experiment used amlodipine besylate as corrosion inhibitor of low carbon steel in HCl media. Low carbon steel has good ductility and machinability. HCl is commonly used in low carbon steel pickling process. The methods used in this experiment are polarization and EIS. The result at pH 1 obtained the lowest corrosion rate of 0.129 mmpy with an efficiency of 91% on the 5th day and the result at pH 5 obtained the lowest corrosion rate of 0.032 mmpy with an efficiency of 87% on the 4th day. The mechanism of amlodipine besylate drug is mixed-type inhibitor but predominantly as a cathodic inhibitor and adsorption that occurs as physisorption.

Keywords: *Corrosion inhibitor, Amlodipine besylate, Low-carbon steel, HCl, Polarization, EIS.*

(This page is intentionally left blank)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya penulis diberikan kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Obat Jenis Amlodipine Besylate dan pH Terhadap Perlindungan Baja Karbon Rendah di Media HCl”**. Tugas Akhir ini disusun sebagai pelengkap salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik penulis di Departemen Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem ITS.

Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan Tugas Akhir ini penulis banyak mendapatkan bantuan, bimbingan, dan dukungan dari banyak pihak. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir ini, diantaranya:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA selaku dosen pembimbing utama Tugas Akhir yang mau menerima penulis sebagai bimbingan dan juga telah memberikan banyak ilmu, bimbingan, wawasan, arahan, kritik, serta saran yang sangat membangun kepada penulis.
2. Bapak Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing kedua Tugas Akhir penulis yang telah banyak memberikan arahan, kritik, saran yang sangat membangun, serta menerima segala kekurangan penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem ITS.
4. Bapak Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc. selaku dosen wali yang telah banyak memberi arahan kepada penulis selama berkuliah di Departemen Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem ITS.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran dari pembaca sangat penulis harapkan. Semoga buku Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membaca.

Surabaya, 08 Januari 2020
Penulis

Fajar Naufal Agusriyanto

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Korosi dan Faktor yang Mempengaruhi.....	5
2.2 Jenis – Jenis Korosi.....	9
2.3 Mekanisme Terjadinya Korosi pada Baja.....	16
2.4 Pengaruh Larutan Asam Terhadap Baja.....	21
2.5 Perlindungan Korosi.....	22
2.6 Inhibitor Korosi.....	23
2.6.1 Klasifikasi Menurut Mekanisme Kerja.....	24
2.6.2 Klasifikasi Menurut Zat Penyusun.....	25
2.6.3 Klasifikasi Menurut Mekanisme Proteksi.....	25
2.7 Mekanisme Adsorpsi.....	33
2.7.1 Jenis – Jenis Adsorpsi.....	34
2.7.2 Isotherm Adsorpsi Langmuir.....	37
2.8 <i>Amlodipine Besylate</i>	39
2.9 Optical Emission Spectrometry (OES).....	53
2.10 Polarisasi.....	41
2.11 Pengukuran Laju Korosi dan Efisiensi Inhibitor.....	43
2.12 <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS).....	55
2.13 <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	61

2.14	<i>Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)</i>	64
2.15	Penelitian Terdahulu	66
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		
3.1	Diagram Alir	69
3.2	Metode Penelitian	70
3.2.1	Studi Literatur.....	70
3.2.2	Eksperimental	70
3.3	Peralatan Penelitian.....	71
3.4	Bahan Penelitian	72
3.5	Preparasi Spesimen	74
3.6	Preparasi Inhibitor.....	75
3.7	Preparasi Larutan Elektrolit	75
3.8	Pengujian - Pengujian	76
3.8.1	Pengujian Komposisi Kimia.....	76
3.8.2	Pengujian Polarisasi dan EIS.....	76
3.8.3	Pengujian FTIR	79
3.8.4	Pengujian AAS	81
3.8.5	Pengujian Microscope Metalurgi	81
3.9	Rancangan Pengambilan Data Penelitian	82
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Hasil.....	85
4.1.1	Hasil Pengujian OES	85
4.1.2	Hasil Pengujian Polarisasi	85
4.1.3	Hasil Pengujian EIS.....	93
4.1.4	Perhitungan Adsorpsi Isotherm Langmuir	97
4.1.5	Hasil Pengujian FTIR	101
4.1.6	Hasil Pengujian AAS.....	104
4.1.7	Hasil Pengujian Mikroskop Metalurgi	104
4.2	Pembahasan.....	106
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	113
5.2	Saran	113
DAFTAR PUSTAKA		115
LAMPIRAN A		123
UCAPAN TERIMA KASIH.....		139

BIODATA PENULIS.....141

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Korosi merata pada tanki.....	9
Gambar 2.2	Korosi sumuran pada pipa.....	10
Gambar 2.3	Korosi celah pada baut baja karbon.....	11
Gambar 2.4	Mekanisme korosi celah.....	11
Gambar 2.5	Korosi galvanik pada flange.....	13
Gambar 2.6	Korosi Erosi pada komponen baja.....	14
Gambar 2.7	Korosi batas butir pada las baja.....	14
Gambar 2.8	Tipe lubang inisiasi SCC.....	15
Gambar 2.9	SCC secara mikroskopik.....	16
Gambar 2.10	Skema korosi pada baja.....	20
Gambar 2.11	Skema kerja inhibitor anodik.....	26
Gambar 2.12	Hubungan laju korosi terhadap konsentrasi inhibitor anodik.....	27
Gambar 2.13	Pengaruh penambahan inhibitor anodik terhadap kurva polarisasi.....	28
Gambar 2.14	Skema kerja inhibitor katodik.....	30
Gambar 2.15	Hubungan laju korosi terhadap konsentrasi inhibitor anodik.....	31
Gambar 2.16	Pengaruh penambahan inhibitor katodik terhadap kurva polarisasi.....	32
Gambar 2.17	<i>Physical adsorption</i>	35
Gambar 2.18	<i>Chemisorption</i>	36
Gambar 2.19	Ilustrasi kurva linear isoterm adsropsi Langmuir.....	38
Gambar 2.20	Struktur kimia <i>amlodipine besylate</i>	41
Gambar 2.21	Skema kerja OES.....	42
Gambar 2.22	Polarisasi katodik (aktivasi).....	45
Gambar 2.23	Polarisasi katodik (konsentrasi).....	45
Gambar 2.24	Polarisasi anodik (aktivasi).....	46
Gambar 2.25	Polarisasi anodik (konsentrasi).....	46
Gambar 2.26	Kurva Polarisasi.....	50
Gambar 2.27	Geometris bilangan kompleks.....	57
Gambar 2.28	Kurva sinusoidal.....	58

Gambar 2.29	Skema diagram impedansi.....	60
Gambar 2.30	Skema alat FTIR.....	63
Gambar 2.31	Skema alat AAS.....	66
Gambar 3.1	Diagram alir.....	69
Gambar 3.2	Obat amlodipine besylate	73
Gambar 3.3	Spesimen uji	75
Gambar 3.4	Instumen uji polarisasi dan EIS	77
Gambar 3.5	Alat uji FTIR	80
Gambar 4.1	Grafik laju korosi pada a) pH 1 dan b) pH 5 terhadap waktu perendaman baja karbon rendah dengan ada dan tidak adanya inhibitor korosi	89
Gambar 4.2	Grafik efisiensi pada a) pH 1 dan b) pH 5 terhadap waktu perendaman baja karbon rendah dengan ada dan tidak adanya inhibitor korosi	90
Gambar 4.3	Kurva polarisasi dengan variasi konsentrasi inhibitor pada a) pH 1 hari kelima dan b) pH 5 hari keempat	92
Gambar 4.4	Grafik plot <i>nyquist</i> dengan variasi konsentrasi inhbitor pada pH 1 hari kelima	94
Gambar 4.5	Sirkuit ekivalen <i>data fitting</i>	95
Gambar 4.6	Grafik plot <i>nyquist</i> dengan variasi konsentrasi inhbitor pada pH 5 hari keempat	96
Gambar 4.7	Adsorpsi isotherm Langmuir untuk baja karbon rendah pada pH 1 dan pH 5 dengan variasi konsentrasi inhibitor.....	99
Gambar 4.8	Perbandingan grafik FTIR antar sampel uji.....	101
Gambar 4.9	Hasil pengamatan baja karbon rendah a) tanpa perlakuan, b) direndam tanpa inhibitor, c) dengan penambahan 1000 ppm	105
Gambar 4.10	Ilustrasi kompetisi inhibitor dengan ion klorida.....	110
Gambar 4.11	Adsorpsi fisik <i>amlodipine besylate</i>	111

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Nilai potensial logam.....	18
Tabel 2.2	Perbandingan tipe adsorpsi.....	36
Tabel 2.3	Nilai standar laju korosi.....	54
Tabel 2.4	Konversi laju korosi	54
Tabel 2.5	Penelitian terdahulu	66
Tabel 3.1	Setting program uji polarisasi.....	78
Tabel 3.2	Setting program uji EIS	79
Tabel 3.3	Rancangan penelitian.....	82
Tabel 4.1	Komposisi kimia baja karbon rendah	85
Tabel 4.2	Hasil uji polarisasi pada pH 1 dengan berbagai variasi konsentrasi <i>amlodipine besylate</i> pada baja karbon rendah.....	86
Tabel 4.3	Hasil uji polarisasi pada pH 5 dengan berbagai variasi konsentrasi <i>amlodipine besylate</i> pada baja karbon rendah.....	87
Tabel 4.4	Olah data hasil uji polarisasi pada pH 1 hari kelima dan pH 5 hari keempat.....	93
Tabel 4.5	Analisa data hasil uji EIS dengan variasi konsentrasi pada pH 1 hari kelima	95
Tabel 4.6	Analisa data hasil uji EIS dengan variasi konsentrasi pada pH 5 hari keempat.....	97
Tabel 4.7	Efisiensi inhibisi dan laju korosi pada pH 1 dengan 5 hari waktu perendaman	98
Tabel 4.8	Efisiensi inhibisi dan laju korosi pada pH 5 dengan 4 hari waktu perendaman	98
Tabel 4.9	Parameter adsorpsi permukaan baja karbon rendah pada pH 1 dan pH 5 dengan variasi konsentrasi inhibitor	100
Tabel 4.10	Gugus fungsi obat <i>amlodipine besylate</i>	102
Tabel 4.11	Gugus fungsi baja karbon rendah yang direndam dengan penambahan inhibitor.....	103
Tabel 4.12	Data pengujian AAS.....	104

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Korosi merupakan suatu proses terdegradasinya logam akibat reaksi kimia dengan lingkungannya. Korosi menyebabkan sebuah material mengalami penurunan kualitas sehingga sangat merugikan. Proses korosi merupakan fenomena alami dan sejatinya tidak dapat dihindari (Chillingar, 2008). Korosi sering menyerang banyak logam, salah satunya adalah baja.

Baja atau paduannya banyak digunakan pada banyak aspek, salah satunya ialah penggunaan baja karbon rendah. Baja karbon rendah merupakan salah satu jenis baja dengan kadar karbon yang kurang atau sekitar 0,3% dan banyak digunakan dalam berbagai aplikasi (Woolman, 2007). Alasan mengapa baja karbon rendah banyak dipakai dalam berbagai aplikasi ialah karena baja karbon rendah memiliki sifat mekanik yang mudah untuk dilakukan proses *machining* dan juga kekuatannya yang tinggi (Gandy, 2017). Namun, baja karbon rendah juga memiliki kelemahan yaitu kurang mampu menahan serangan korosi. Korosi pada baja karbon rendah merupakan bentuk paling umum dari proses korosi. Terutama pada pengaplikasiannya yang sering digunakan pada lingkungan asam. Secara umum, larutan asam biasa digunakan dalam proses *pickling* untuk menghilangkan kerak yang tidak diinginkan pada baja karbon rendah. Karena keagresifan dari larutan asam ini perlu dilakukannya pengendalian korosi pada baja karbon rendah. Pengendalian korosi banyak macamnya salah satunya adalah penggunaan inhibitor korosi. Inhibitor korosi merupakan suatu zat yang apabila ditambahkan kedalam lingkungan korosif dapat menurunkan laju korosi yang terjadi pada logam (Gapsari, 2017). Penggunaan inhibitor korosi ini merupakan salah satu upaya yang paling efektif, terutama dalam melakukan proteksi korosi internal pada baja karbon rendah. Beberapa inhibitor korosi memiliki mekanisme kerjanya sendiri. Ada yang melalui pembentukan lapisan molekul – molekul tunggal dari inhibitor yang teradsorpsi

pada permukaan logam, ada yang melindungi korosi dengan cara membentuk lapisan pasif sebagai akibat pengaruh lingkungan, dan juga ada yang menghasilkan konstituen bersifat agresif (Dalimunthe, 2004).

Kebanyakan inhibitor yang telah ada untuk menanggulangi korosi pada baja di media asam, memiliki senyawa organik yang terkandung didalamnya. Namun, tidak semua bahan dapat digunakan sebagai inhibitor karena kebanyakan inhibitor komersil bersifat racun bagi lingkungan, sehingga penggunaan inhibitor ramah lingkungan sangat diperlukan. Senyawa – senyawa tidak beracun mulai menjadi fokus dalam menanggulangi penggunaan inhibitor komersil yang beracun oleh beberapa peneliti. Penggunaan bahan obat – obatan dapat dijadikan inhibitor korosi yang baik karena adanya senyawa organik heteroatom. Senyawa organik ini meliputi atom – atom nitorgen (N), sulfur (S), oksigen (O), fosfor (P) atau keberadaan senyawa tersebut dalam heterosiklik dengan grup polar (Fouda, 2016). Penggunaan bahan obat juga karena faktor keamanannya yang baik dan besarnya berat molekul yang dimiliki. Kemampuan bahan obat setelah kedaluarsa pun masih terbilang baik. Sehingga penggunaan bahan obat – obatan selain memecahkan masalah lingkungan juga memecahkan masalah ekonomi. Salah satu obat yang berpotensi menjadi inhibitor korosi adalah *amlodipine besylate*.

Amlodipine besylate secara farmasi merupakan agen anti-hipertensi dengan mekanisme kerja sebagai *Calcium Channel Blocker* (CCB). Sebagai obat anti-hipertensi berarti obat ini memiliki fungsi dalam menurunkan tekanan darah, sehingga stroke dan serangan jantung pun dapat dihindari. Umumnya obat ini tersedia dalam bentuk tablet. Penggunaan *Amlodipine besylate* diharapkan dapat menggantikan inhibitor korosi yang dapat membahayakan lingkungan. Yang menjadi faktor penting bahwa *amlodipine besylate* dapat digunakan sebagai inhibitor korosi dengan performa yang baik adalah adanya atom – atom nitrogen, atom – atom oksigen, gugus fungsi $-CH_3$, gugus fungsi $-NH_2$,

ikatan π pada strukturnya, dan berat molekul yang besar (Fouda, 2016).

Berdasarkan hal tersebut, dalam penelitian ini, peneliti memanfaatkan bahan yang terkandung dalam obat *amlodipine besylate* sebagai zat inhibitor korosi yang diaplikasikan pada baja karbon rendah yang direndam dalam media HCl. Penggunaan metode elektrokimia dilakukan dalam mendukung analisa penelitian.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang menjadi pokok bahasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimanakah pengaruh penambahan obat jenis *Amlodipine besylate* sebagai inhibitor korosi terhadap karakteristik korosi baja karbon rendah?
2. Bagaimanakah mekanisme perlindungan dari obat jenis *Amlodipine besylate* sebagai inhibitor korosi pada baja karbon rendah di media berbagai pH larutan HCl?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan lingkup penelitian, maka ditetapkan batasan – batasan dari penelitian yang dilakukan, yaitu sebagai berikut :

1. Baja karbon rendah dianggap homogen dan bebas cacat.
2. Kehalusan setiap spesimen uji dianggap homogen.
3. Tidak ada perubahan volume dan pH larutan selama pengujian berlangsung.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Menganalisis pengaruh penambahan obat jenis *Amlodipine besylate* sebagai inhibitor korosi terhadap karakteristik korosi baja karbon rendah.
2. Menganalisis mekanisme perlindungan dari inhibitor korosi obat jenis *Amlodipine besylate* sebagai inhibitor korosi pada baja karbon rendah di media berbagai pH larutan HCl.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dihasilkan dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Dapat membantu dalam perkembangan dunia industri dan dunia pendidikan dalam ilmu korosi dan pengendaliannya.
2. Kandungan yang terdapat didalam obat amlodipine dapat menjadi alternatif inhibitor untuk perlindungan korosi baja karbon di sektor industri.
3. Memberikan harapan terhadap peneliti lain dalam mengembangkan potensi senyawa – senyawa yang terkandung dalam obat – obatan, khususnya obat – obatan yang mudah untuk didapatkan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Korosi dan Faktor yang Mempengaruhi

Korosi adalah suatu proses kerusakan logam karena adanya reaksi kimia dengan lingkungan. Adapula yang mengartikan korosi sebagai karat. Korosi merupakan proses reaksi reduksi – oksidasi yang melibatkan serah terima elektron dengan adanya anoda sebagai kutub negatif dan katoda sebagai kutub positif (elektron mengalir dari anoda ke katoda). Hal ini juga menjadi alasan mengapa korosi dikaitkan dengan proses elektrokimia (Cramer, 2005). Proses elektrokimia itu sendiri merupakan proses reaksi kimia yang melibatkan adanya aliran listrik. Salah satu contoh proses elektrokimia ialah proses terkorosinya suatu logam dalam lingkungan elektrolit. Di bagian tertentu dari sebuah besi atau logam memiliki peran sebagai kutub negatif (atau elektroda negatif, anoda), sementara bagian yang lain sebagai kutub positif (atau elektroda positif, katoda). Karena elektron mengalir dari anoda ke katoda, maka terjadilah peristiwa korosi. Proses ini terjadi bila ada reaksi setengah sel yang melepaskan elektron dan reaksi setengah yang menerima elektron tersebut. Kedua reaksi ini terus berlangsung sampai terjadi kesetimbangan dinamis dimana jumlah elektron yang dilepas sama dengan jumlah elektron yang diterima. Prinsip elektrokimia memiliki komponen penting terhadap jalannya proses korosi, syarat terjadinya korosi yaitu (Widharto, 2004) :

1. Anoda

Merupakan bahan logam atau bagian dari suatu logam yang mengalami korosi, dimana pada bagian anoda ini memiliki fungsi melepas elektron dari atom logam yang netral agar terbentuk ion. Ion yang terbentuk bereaksi membentuk karat.

2. Katoda

Merupakan bahan logam atau bagian dari suatu logam yang tidak mengalami korosi karena menerima elektron yang diberikan anoda. Reaksi pada katoda bervariasi karena bergantung pada pH larutan atau lingkungan. Pada suasana asam terbentuk gas H_2

sedangkan pada suasana basa terbentuk gas O_2 .

3. Elektrolit

Merupakan larutan yang memiliki daya hantar listrik yang berfungsi sebagai media berpindahnya elektron dari anoda menuju katoda. Jenis dari elektrolit sangat beragam.

4. Kontak Metalik

Saat dua logam saling bersentuhan atau terhubung satu sama lain ada aliran elektron yang berjalan dari anoda menuju katoda sehingga proses oksidasi terjadi.

Ada juga yang mengatakan bahwa proses korosi bertolak belakang daripada proses ekstraksi sebuah logam dari bijih mineralnya. Contoh yang tepat untuk pernyataan tersebut yaitu ketika bijih mineral dari logam besi yang terdapat di alam memiliki bentuk senyawa besi oksida atau besi sulfida, namun saat diekstraksi dan dioalah dihasilkan besi yang digunakan untuk pembuatan baja atau paduan baja. Selama proses pemakaian berlangsung, baja yang dihasilkan tersebut bereaksi dengan lingkungannya yang mana menyebabkan proses korosi atau dapat dikatakan kembali ke wujud semula berupa besi oksida (McCafferty, 2009). Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan terkait proses terjadinya korosi, faktor – faktor yang mempengaruhi korosi antara lain (Davis, 2011) :

1. Logam

Yang menyebabkan logam menjadi faktor terjadinya korosi ialah dari segi struktur atom logam maupun paduan logam, komposisi kimia yang terkandung didalamnya, ketidakseragaman atau tidak homogen pada struktur baik secara mikroskopik atau makroskopik, adanya tegangan, dan sebagainya.

2. Lingkungan

Peran lingkungan terhadap terjadinya korosi dikarenakan adanya pengaruh baik dari sifat kimia, konsentrasi, adanya pengotor, tekanan yang terjadi, temperatur, kecepatan angin, hingga kondisi lainnya sehingga korosi dapat terjadi secara cepat ataupun lambat.

3. Permukaan

Bagian permukaan terutama pada logam dapat mempengaruhi proses korosi karena ada atau tidaknya lapisan oksida yang terjadi.

Laju pada korosi dapat bervariasi nilainya, secara umum korosi disebabkan oleh adanya air namun disamping itu ada faktor lain yang dapat mempengaruhi laju korosi (ASM Handbook, 2003), faktor – faktornya ialah sebagai berikut :

1. Faktor Kandungan Gas dan Padatan yang Terlarut

a. Gas Oksigen (O_2)

Dengan hadirnya gas oksigen yang ikut terlarut, terutama pada baja karbon, laju korosi pada sistem tersebut meningkat seiring dengan bertambahnya kandungan gas oksigen yang terlarut (Halimatuddahlia, 2003).

b. Gas Karbondioksida (CO_2)

Pada saat gas karbondioksida dilarutkan ke dalam air, maka terbentuk suatu senyawa karbonat yaitu asam karbonat (H_2CO_3) yang mana diketahui dapat menurunkan nilai pH dari air dan meningkatkan kerosifitas.

c. Klorida (Cl^-)

Klorida merupakan salah satu agen konsentrasi yang agresif sehingga berpengaruh terhadap peristiwa korosi bagi baja karbon. Semakin tinggi konsentrasi dari ion klorida maka semakin tinggi pula kecenderungan terjadinya peristiwa korosi (Bardal, 2003). Klorida biasanya menyerang baja karbon rendah. Akibat dari padatan klorida yang terlarut ini mengakibatkan korosi tipe sumuran dan celah .

d. Karbonat (CO_3^{2-})

Padatan tipe karbonat banyak dipakai sebagai pengendali proses korosi. Hal ini dikarenakan film karbonat diendapkan sebagai lapisan pelindung pada permukaan logam, namun pada industri perminyakan justru padatan terlarut ini malah menimbulkan masalah scale (Papavinasam dkk, 2007).

e. Sulfat (SO_4^{2-})

Padatan terlarut berupa ion sulfat merupakan ion yang memiliki konsentrasi tinggi dan biasanya bersifat kontaminan (Sun, 2019).

2. Faktor Temperatur

Temperatur menjadi faktor dalam proses korosi temperatur tinggi. Secara teoritis, kelarutan oksigen berkurang seiring dengan peningkatan pada temperatur, namun ternyata penambahan temperatur justru menambah laju korosi. Hal ini terjadi ketika logam tidak memiliki struktur yang uniform ketika di lingkungan bertemperatur tinggi, maka korosi terbentuk (Obot, 2019).

3. Faktor pH

Proses terjadinya korosi tidak luput dari besarnya pH yang berada di lingkungan. Kapanjangan dari pH itu sendiri adalah *power of Hydrogen*. Secara umum, nilai pH memiliki *range* berkisar antara 0 – 14, namun adanya pembagian wilayah pada nilai tersebut. Yang pertama, antara nilai pH 0 – 7, merupakan wilayah yang dianggap sebagai lingkungan yang bersifat asam. Lalu, pada nilai pH = 7, maka wilayah tersebut dianggap lingkungan netral. Kemudian, antara nilai Ph 7 – 14, maka wilayah tersebut termasuk kedalam lingkungan yang bersifat netral (Pradityana, 2014).

4. Faktor Bakteri Pereduksi

Salah satu contoh dari bakteri pereduksi adalah Bakteri Pereduksi Sulfat atau *Sulfate Reducing Bacteria* (SRB). Bakteri ini menghasilkan zat asam dari hasil metabolismenya yang mana zat asam tersebut menjadi pemicu dalam pembentuka asam sulfida yang menyebabkan reaksi oksidasi pada anoda (Xu, 2012).

5. Seleksi Material

Memilah material sebelum digunakan dalam suatu aplikasinya dapat meminimalisir terjadinya proses korosi (Ashby, 1999).

2.2 Jenis – Jenis Korosi

Adanya faktor – faktor yang mempengaruhi korosi menyebabkan terklasifikasinya korosi pada suatu material. Adanya klasifikasi tersebut berfungsi dalam mengetahui korosi secara visual tanpa danya identifikasi terlebih dahulu melalui uji laboratorium. Selain itu adanya klasifikasi dari korosi juga agar memudahkan dalam mengontrol terjadinya proses korosi. Diantaranya sebagai berikut :

1. Korosi Merata (*Uniform Corrosion*)

Korosi merata atau *uniform corrosion* merupakan bentuk korosi yang terjadi secara merata atau seragam di permukaan logam. Contoh dari korosi jenis ini adalah ketika besi (Fe) direndam dalam larutan asam. Biasanya dapat dikontrol dengan membuat ketebalan tertentu pada pipa atau tanki agar didapatkannya batas suatu korosi (*Corrosion allowance*), menggunakan sistem proteksi katodik, atau pemilihan paduan logam yang dapat menahan proses korosi. Modifikasi suatu lingkungan juga dapat mengurangi korosi tipe ini seperti contohnya dalam menghilangkan gas yang dapat menyebabkan korosi seperti karbondioksida (CO_2) dan asam sulfida (H_2S) (Fontana, 1986). Biasanya tanki atau pipa yang berada di industri dapat terkena dampak ini, dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Korosi merata pada tanki (Fontana, 1986)

2. Korosi Sumuran (*Pitting Corrosion*)

Korosi sumuran merupakan bentuk korosi yang menghasilkan lubang dari hasil korosi tersebut. Korosi jenis ini termasuk kedalam tipe *local corrosion* pada permukaan logam, dimana secara menyeluruh permukaan logam relatif tidak terkena dampak korosi dan biasanya terlindungi oleh lapisan pasif. Korosi sumuran menyerang secara cepat dan biasanya tidak terprediksi. Dibutuhkan inspeksi yang teratur dalam waktu tertentu, karena tidak terjadinya korosi dalam periode yang cukup lama dan adanya pertumbuhan lubang yang disebabkan oleh ion agresif (Marcus, 2008). Gambar 2.2 menunjukkan bentuk korosi sumuran pada bagian dalam pipa.

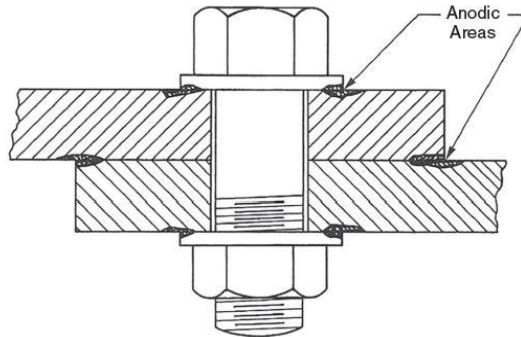


Gambar 2.2 Korosi sumuran pada pipa (Fontana, 1986)

3. Korosi Celah (*Crevice Corrosion*)

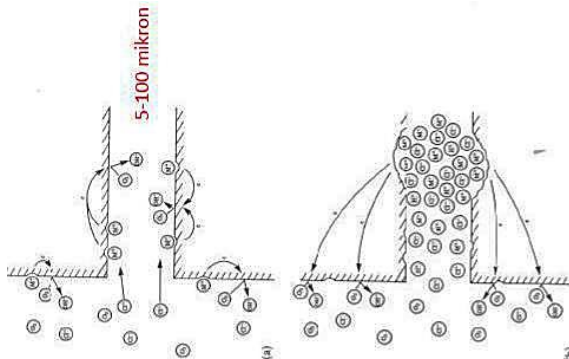
Kebanyakan korosi celah dikatakan sebagai akibat dari konsentrasi kimia. Dikatakan demikian karena adanya perbedaan potensial elektrokimia antara dalam dan luar celah yang disebut dengan konsentrasi oksigen (Rosenfeld, 2013). Mekanisme yang terjadi pada korosi celah hampir sejenis dengan korosi tipe

sumuran. Korosi celah dapat dilihat secara visual bila terjadi pada suatu logam, dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut ini.



Gambar 2.3 Korosi celah pada baut baja karbon (Singh, 2019)

Biasanya dalam menghindari terjadinya korosi celah, kebanyakan koneksi baut tidak digunakan. Baut baja karbon mulai terjadi korosi celah ini diumur 10 tahun, dimana baut tersebut dipasang diatas *valve* pada sistem pengairan (Singh, 2019). Mekanisme yang terjadi pada celah ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Mekanisme korosi celah (Fontana, 1986)

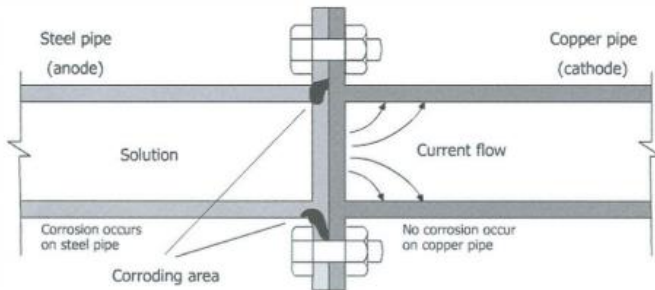
Diawali dengan konsentrasi elektrolit yang seragam agar terjadi korosi tipe *uniform*, sehingga oksigen yang dihasilkan pun seragam. Kemudian oksigen tersebut menjadi bahan penting pada reaksi katodik, sedangkan reaksi anodik menjadi penyumbang elektron. Pemanfaatan oksigen yang terlarut untuk reaksi katodik menyebabkan oksigen yang terdapat dalam celah mulai menipis dan lambat laun menjadi habis, sehingga proses pembentukan ion OH^- menjadi terhalang (Reaksi katodik). Didalam celah menjadi kelebihan ion positif logam (M^+), sehingga ion negatif pada larutan berdifusi masuk dan kondisi kesetimbangan terjadi. Jenis korosi celah bersifat autokatalik, maksudnya adalah saat reaksi awal berlangsung maka proses tidak lagi bergantung pada keadaan luar (Fontana, 1986).

4. Korosi Galvanik (*Galvanic Corrosion*)

Perbedaan potensial terjadi karena adanya dua logam yang berbeda dan ketika keduanya dicelupkan ke dalam larutan korosif. Ketika logam tersebut berkontak, dengan adanya perbedaan potensial menghasilkan aliran elektron (Mansfeld, 2013). Korosi galvanik terjadi saat adanya kontak antara dua logam yang memiliki potensial berbeda. Hal ini terjadi saat anoda dan katoda dihubungkan dengan kontak elektrik dan terekspos lingkungan. Secara umum lingkungan yang menyebabkan korosi galvanik adalah air dan tanah basah (Fontana, 1986). Faktor – faktor yang mempengaruhi besarnya korosi galvanik ialah :

- a) Posisi logam pada deret galvanik
- b) Sifat lingkungan
- c) Luas permukaan logam, jarak, dan efek geometri

Skema terjadinya korosi galavanik ditunjukkan pada Gambar 2.5 berikut ini.



Gambar 2.5 Korosi galvanik pada flange (Zaki, 2006)

5. Korosi Erosi (*Erosion Corrosion*)

Korosi erosi biasanya dianggap karena adanya aliran yang turbulen dalam suatu sistem karena apabila aliran tersebut *lamellar* maka fluida tidak mengalir dengan cepat (Levi, 2011). Selain itu, korosi erosi juga dikarenakan adanya aliran fluida yang multifasa. Saat pola aliran fluida yang berubah – ubah, menghasilkan gelembung gas yang dihasilkan dari fluida yang menumbuk permukaan dinding partikel padat, sehingga percepatan korosi terjadi seiring berkurangnya lapisan proteksi (lapisan pasif) maupun lapisan yang terbentuk oleh inhibitor korosi (Heidersbach, 2011).

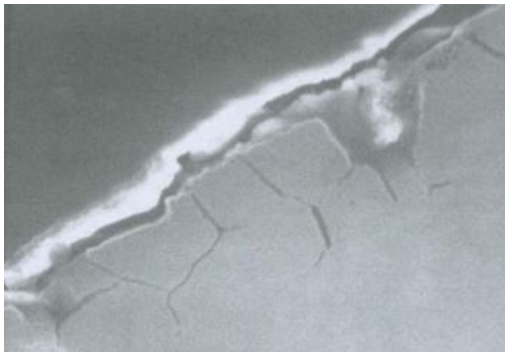
Terjadinya korosi erosi karena adanya laju logam yang hilang. Faktor – faktor yang mempengaruhi laju tersebut seperti ketebalan *scale* (cukup tipis namun dapat memproteksi) dan komposisi partikel (contohnya adalah keberadaan kalsium yang dapat menyebabkan proses pembekuan atau *cementing* sehingga menjadi lebih protektif) (Heidersbach, 2011). Korosi erosi pada baja juga dideskripsikan sebagai proses terdegradasinya metal dimana partikel padat, cairan, atau kombinasi interaksi keduanya dengan proses korosi elektrokimia sehingga mengalami aus (Aguirre, 2019). Dapat dilihat dampaknya pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Korosi Erosi pada komponen baja

6. Korosi Batas Butir (*Intergranular Corrosion*)

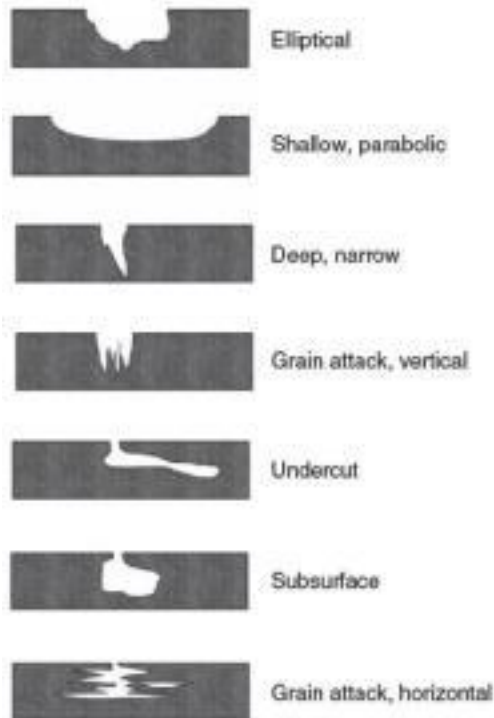
Korosi batas butir merupakan serangan korosi yang terjadi pada batas butir logam atau daerah sekitarnya tanpa serangan yang cukup besar terhadap butirnya sendiri (Armijo, 2013). Korosi batas butir mengacu pada korosi khusus sepanjang batas butir. Biasanya butir yang merupakan kristal dari logam ini ada pada skala mikroskop. Jika dianalogikan, butiran ini seperti pasir pada *sandstone*. Gambar 2.7 menunjukkan korosi batas butir.



Gambar 2.7 Korosi batas butir pada las baja (Zaki, 2006)

7. SCC (*Stress Corrosion Cracking*)

Tipe korosi ini merupakan suatu fenomena retakan yang terjadi pada paduan dan disebabkan oleh gaya tegangan permukaan. Biasanya tegangan yang dapat menyebabkan SCC ini kecil dan bernilai kurana dari tegangan *yield* secara makroskopik. Akibat adanya sisa tegangan dari tegangan yang diaplikasikan, menyebabkan SCC terinisiasi (Parkins, 2010). Korosi yang terjadi pada korosi lokal juga dapat menjadi inisiasi korosi SCC. Beberapa tipe lubang pada korosi lokal yang dapat menginisiasi korosi jenis ini ditunjukkan pada Gambar 2.8 berikut ini.

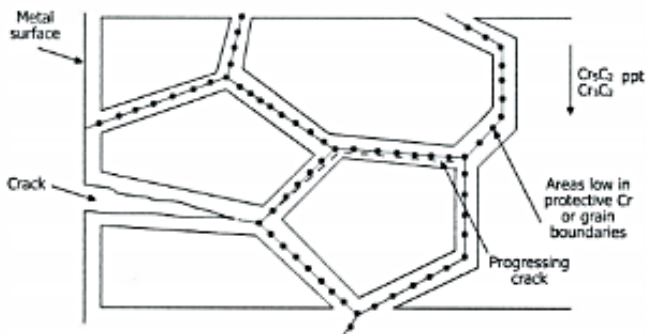


Gambar 2.8 Tipe lubang inisiasi SCC (Crolet, 2000)

Lingkungan terjadinya retakan ini sangatlah spesifik karena tidak semua lingkungan dapat menghasilkan SCC. Secara umum, lingkungan yang dapat menginisiasi terjadinya SCC adalah sebagai berikut :

- a) Konsentrasi klorida (Evaporasi)
- b) Kenaikan temperatur
- c) $\text{pH} > 2$
- d) Kadar oksigen
- e) Lama waktu

Secara mikroskopik, skema terjadinya *Stress Corrosion Cracking* ditunjukkan pada Gambar 2.9 berikut ini.



Gambar 2.9 SCC secara mikroskopik (Zaki, 2006)

2.3 Mekanisme Terjadinya Korosi pada Baja

Baja adalah sebuah logam paduan yang tersusun dari besi dan karbon. Besi berperan sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Berdasarkan kadar karbonnya baja jenis *plain carbon steel* dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis yaitu baja karbon rendah, baja karbon menengah, dan baja karbon tinggi (Gupta, 2009).

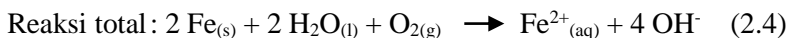
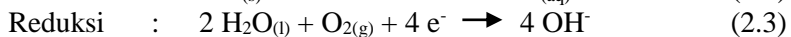
Pada prinsipnya korosi dapat terjadi di lingkungan apapun tergantung dari besarnya potensial suatu logam di dalam

lingkungannya. Terjadinya proses dari korosi biasanya terbagi menjadi dua, yaitu proses korosi terjadi secara kimiawi dan ada juga proses secara perlakuan yang diberikan (Fontana, 1986). Biasanya ketika logam terjadi proses korosi, logam tersebut akan berubah menjadi ion logamnya melalui reaksi yang terjadi pada lingkungan atau larutan elektrolit yang digambar dengan Persamaan reaksi 2.1 dibawah ini :



dimana reaksi tersebut memperlihatkan bahwa atom – atom dari logam X melepaskan sejumlah n elektron yang mana merupakan bilangan valensi dari logam M tersebut (Sastri, 2011).

Secara umum, korosi merupakan reaksi elektrokimia yang bersifat alami. Reaksi elektrokimia itu sendiri berarti reaksi yang melibatkan proses reaksi oksidasi dan reduksi. Pada reaksi katodik (reduksi) yaitu reaksi yang menyerap elektron bekerja bersamaan dengan reaksi yang menghasilkan elektron atau reaksi anodik (oksidasi). Salah satu contoh reaksi elektrokimia ialah reaksi setengah sel yang dapat dilihat pada Persamaan reaksi 2.2, 2.3, dan 2.4 dibawah ini :



Pada besi atau baja, ion besi akan teroksidasi lebih lanjut yang mana nilai potensialnya dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Nilai potensial logam (Silbeberg, 2014)

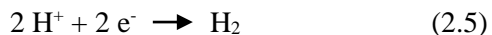
Reaksi Reduksi	Logam	E° (volt)
$\text{Li}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Li}$	Li	-3,04
$\text{K}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{K}$	K	-2,92
$\text{Ca}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ca}$	Ca	-2,87
$\text{Na}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Na}$	Na	-2,71
$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mg}$	Mg	-2,37
$\text{Be}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Be}$	Be	-1,85
$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Al}$	Al	-1,66
$\text{Mn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}$	Mn	-1,18
$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}$	Zn	-0,76
$\text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Cr}$	Cr	-0,74
$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}$	Fe	-0,44
$\text{Cd}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cd}$	Cd	-0,40
$\text{Co}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Co}$	Co	-0,28
$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ni}$	Ni	-0,25
$\text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}$	Sn	-0,14
$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb}$	Pb	-0,13
$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$	H_2	0,00
$\text{Sb}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Sb}$	Sb	+0,10
$\text{Sn}^{4+} + 4\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}$	Sn	+0,13
$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$	Cu	+0,34
$\text{Hg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Hg}$	Hg	+0,62
$\text{Fe}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}$	Fe	+0,77
$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}$	Ag	+0,80
$\text{Pt}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pt}$	Pt	+1,50
$\text{Au}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Au}$	Au	+1,52
$\text{Co}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Co}$	Co	+1,82

Pada Tabel 2.1 tersebut dapat terlihat bahwa Fe^{2+} memiliki nilai potensial sebesar -0.44 V. Di dalam larutan, oksidasi lebih lanjut terjadi sehingga elektron yang dihasilkan dapat digunakan. Pelepasan elektron yang terjadi berfungsi sebagai penyeimbang pada logam itu sendiri. Kemudian logam melepaskan ion yang memiliki muatan positif dimana ion positif ini yang nantinya akan berikatan dengan muatan negatif dari larutan elektrolit sehingga endapan akan terbentuk dan melekat pada permukaan logam yang disebut dengan karat. Pada proses ini, larutan bertindak sebagai katoda. Reaksi yang biasanya terjadi pada katoda merupakan pelepasan hidrogen (H_2) dan adanya proses reduksi oksigen (O_2) yang disebabkan oleh ion H^+ dan adanya H_2O yang tereduksi.

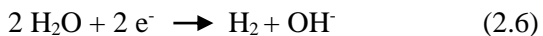
Pada anoda yang merupakan letak terjadinya reaksi oksidasi, logam larut ke dalam larutan yang nantinya melepaskan elektron sehingga ion positif terbentuk. Reaksi dinyatakan seperti pada Persamaan reaksi 2.1 logam X.

Sedangkan pada katoda yang merupakan letak terjadinya reaksi reduksi memanfaatkan elektron yang dilepaskan oleh anoda. Umumnya reaksi yang terjadi dinyatakan seperti Persamaan reaksi 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, dan 2.9 sebagai berikut :

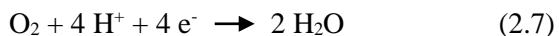
1. Reaksi pelepasan hidrogen (H_2) :
 - a) Evolusi hidrogen (suasan asam)



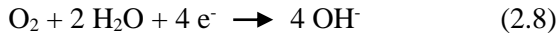
- b) Reduksi air (suasan basa atau netral)



2. Reduksi oksigen (O_2) terlarut :
 - a) Reduksi oksigen (suasana asam)



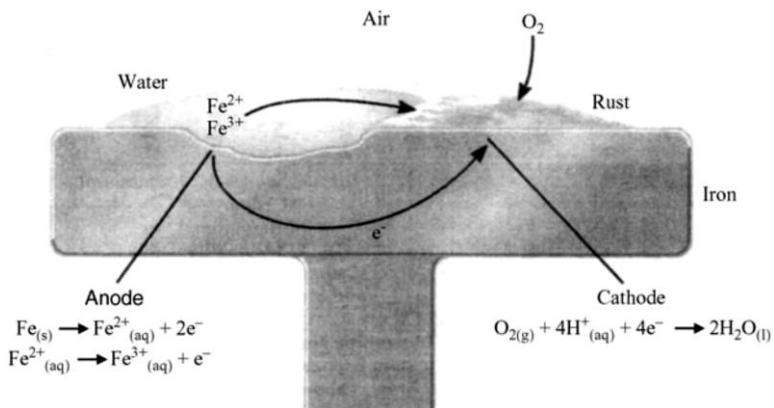
- b) Reduksi oksigen (suasan basa atau netral)



3. Reduksi ion logam yang lebih elektronegatif



Ion hidroksil (OH^-) yang dihasilkan berefek pada baja. Efek yang ditimbulkan yaitu massa dari baja lambat laun akan berkurang akibat adanya reaksi yang terjadi pada permukaan logam. Reaksi ini menyebabkan permukaan logam terkelupas sebagai dampak pelarutan logam kedalam larutan yang terjadi secara berulang. Secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.10 berikut ini.

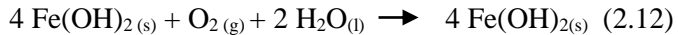


Gambar 2.10 Skema korosi pada baja (Bayuseno,2009)

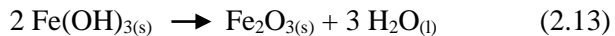
Secara menyeluruh, mekanisme korosi yang terjadi pada baja meliputi Persamaan reaksi 2.11 sebagai berikut (Haryono, 2010) :



Fero hidroksida yang dihasilkan merupakan produk sementara. Produk tersebut teroksidasi lebih lanjut secara alami, baik oleh air maupun udara menjadi feri hidroksida. Mekanisme lebih lanjut ditunjukkan pada Persamaan reaksi 2.12 sebagai berikut :



Kemudian setelah feri hidroksida terbentuk, produk hasil oksidasi lebih lanjut tersebut berubah menjadi Fe_2O_3 dengan indikasi adanya warna merah-coklat yang mana hal ini disebut karat. Reaksi yang terjadi ditunjukkan pada Persamaan reaksi 2.13 sebagai berikut :

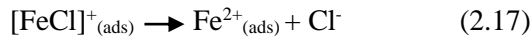
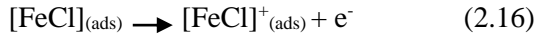
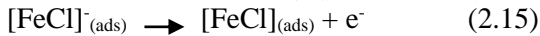
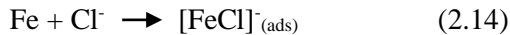


2.4 Pengaruh Larutan Asam Terhadap Baja

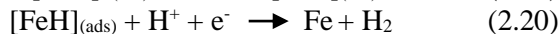
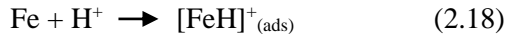
Korosi pada lingkungan asam prosesnya lebih cepat daripada di lingkungan lain karena ion hidrogen (H^+) yang mana mempercepat proses korosi selanjutnya. Contoh lingkungan asam adalah pada larutan HCl yang merupakan asam kuat. Larutan HCl memiliki ion – ion klorida (Cl^-) yang sifatnya agresif. Bila baja ditempatkan kedalam lingkungan ini, ion – ion klorida (Cl^-) menarik unsur Fe yang terdapat pada baja sehingga baja terkorosi (Noor, 2008). Ion klorida yang ada merusak lapisan pasif penghalang terjadinya korosi. Ion klorida terserap kedalam permukaan baja yang bekerja sebagai anodik ke lapisan oksida pasif katodik sehingga kehadiran ion klorida ini menyebabkan korosi berjenis *pitting*. Saat korosi terjadi, reaksi hidrolisis ion logam pada baja dari reaksi anodik berefek kepada penurunan nilai pH, dimana lapisan pasif menjadi pecah sehingga memberikan jalan bagi ion H^+ menuju logam yang tidak ada lapisan pasif. Mekanisme saat baja atau logam besi dimasukkan ke dalam larutan HCl memiliki laju korosi yang tinggi ketika konsentrasi berada dibawah pH 3. Penurunan pH disebabkan karena Ion klorida

berubah menjadi asam hipoklorit (HClO) dan asam klorida saat terlarut didalam air, sehingga pembentukan lapisan film terhambat dan justru mempercepat serangan korosi (Bakar, 2014). Secara garis besar mekanisme yang terjadi pada baja saat direndam dalam HCl ialah reaksi disolusi logam pada anodik dan reaksi evolusi hidrogen pada katodik. Dengan Persamaan reaksi 2.14, 2.15, 2.16, 2.17, 2.18, 2.19, dan 2.20 sebagai berikut ini (Singh, 2010) :

1. Reaksi pada anodik



2. Reaksi pada katodik



2.5 Perlindungan Korosi

Kerugian yang disebabkan karena peristiwa korosi sejatinya dapat dicegah atau diminimalisir sebaik mungkin. Untuk meminimalisir hal tersebut maka dilakukan beberapa pengendalian korosi, sebagai berikut :

1. Desain dan Seleksi Material (*Material Selection and Design*)

Pemilihan material atau paduannya dalam mendesain suatu struktur sangat penting agar peristiwa korosi tidak terjadi terutama pada lingkungan yang korosif pemilihan material haruslah tepat (Baldar, 2003).

2. Pelapisan (*Coating*)

Dengan melakukan pelapisan pada suatu logam mencegah korosi terjadi. Ada tiga mekanisme pada proses pelapisan, seperti

adanya efek penghalang dimana kontak antara media korosif dan bahan logam dicegah, perlindungan katodik dimana bahan pelapisan bertindak sebagai anoda korban, dan penghambat (Huang, 2016)

3. Anoda Korban (*Sacrificial Anode*)

Prinsip galvanik diaplikasikan dalam pengendalian ini. Logam yang dilindungi kemudian dihubungkan secara elektrik dengan logam yang bersifat anodik (lebih negatif sifatnya dibandingkan dengan logam yang dilindungi) sesuai dengan deret galvanik atau deret volta (Revie, 2008).

4. Proteksi Katodik (*Impressed Current*)

Dibutuhkan sumber arus searah dari luar pada proteksi katodik ini untuk melakukan perlindungan terhadap suatu struktur logam yang saling berdekatan. Metode ini dilakukan dengan memberikan suplai elektron kepada struktur yang diproteksi secara katodik agar tidak terjadi kebocoran elektron (Revie, 2008).

5. Inhibitor Korosi

Inhibitor korosi merupakan suatu zat yang ditambahkan ke dalam lingkungan korosif dapat mengurangi nilai laju korosi. Penggunaan inhibitor korosi biasanya dalam jumlah yang sedikit (*part per million*). Agar dapat bekerja secara efektif, maka suatu inhibitor korosi penggunaannya harus sesuai dengan lingkungan tertentu (Hackerman, 1984).

2.6 Inhibitor Korosi

Inhibitor ialah suatu zat kimia yang ditambahkan guna memperlambat satu atau lebih dari reaksi kimia. Inhibitor korosi itu sendiri merupakan zat yang apabila ditambahkan ke dalam lingkungan korosif menurunkan laju korosi. Penggunaan inhibitor korosi memiliki tujuan dalam mengurangi nilai laju korosi yang mana dalam prosesnya memiliki berbagai variasi (Bonougha, 2016). Dalam kondisi nyatanya, penggunaan inhibitor korosi sangat dibutuhkan dalam mengurangi dampak korosi terutama pada penggunaannya di bidang ekstraksi minyak maupun proses dalam industri. Inhibitor korosi juga tak luput dari segala upaya

pengembangannya. Teori maupun hal - hal pendukung dalam pengembangan inhibitor korosi terbatas upaya – upaya dalam pengembangannya pun terus dilakukan.

Penggunaan inhibitor korosi secara umum digunakan dalam perlindungan bagian dalam suatu struktur dari serangan proses korosi atau *internal corrosion*. Biasanya hal ini diakibatkan oleh adanya aliran fluida didalam struktur tersebut. Pada berbagai macam kondisi lingkungan tertentu, biasanya inhibitor korosi dalam pengaplikasiannya ditambahkan sedikit ke lingkungan seiring dengan pemberian berkala pada suatu waktu yang telah ditentukan (Dalimunthe, 2004). Keuntungan yang diperoleh dalam penggunaan inhibitor korosi pun sangat banyak seperti umur pakai logam yang diberikan inhibitor korosi bertambah, mengurangi dampak kegagalan pada logam, kontaminasi pada produk dapat dihindarkan, mengurangi biaya penggantian alat pada industri, dan lain sebagainya (Revie, 2000). Akibat dari penggunaannya maka adanya penggolongan dari inhibitor korosi menjadi beberapa bagian.

2.6.1 Klasifikasi Menurut Mekanisme Kerja

Inhibitor korosi apabila ditinjau dari mekanisme kerjanya maka dibedakan menjadi beberapa hal sebagai berikut ini (Heiderbach, 2011) :

1. Pembentukan lapisan tipis atau kasat mata yang menghambat serangan dari lingkungan ke logam akibat inhibitor yang teradsorpsi pada bagian permukaan logam.
2. Adanya pengaruh dari lingkungan seperti pH yang terkandung didalamnya menyebabkan suatu inhibitor korosi mengendap dan teradsorpsi pada bagian permukaan logam sehingga dapat melindunginya dari proses korosi. Endapan yang dihasilkan cukup banyak yang kasat mata, sehingga dapat dilihat secara visual.
3. Inhibitor korosi justru mengkorosi logamnya terlebih dahulu sehingga menghasilkan suatu zat kimia yang kemudian

membentuk lapisan pasif pada bagian permukaan logam melalui peristiwa adsorpsi.

4. Inhibitor korosi menghilangkan kontinuen yang bersifat agresif di sekitar lingkungan.

2.6.2 Klasifikasi Menurut Zat Penyusun

Inhibitor korosi juga dapat diklasifikasikan menurut zat – zat penyusunnya, yaitu :

1. Inhibitor Anorganik

Merupakan inhibitor korosi yang didapat dari bahan yang biasanya tidak mengandung unsur karbon pada senyawanya (Halimatuddahlia, 2003).

2. Inhibitor Organik

Merupakan inhibitor korosi yang terdiri dari molekul – molekul organik dengan adanya rantai samping yang teradsorpsi di permukaan logam dan gugus polar pada struktur kimianya. Pada inhibitor jenis ini biasanya terdapat beberapa senyawa organik. Secara umum, senyawa organik yang dapat berfungsi sebagai inhibitor korosi memiliki beberapa gugus fungsi yang bersifat hidrofob salah satu ujung – ujung rantai strukturnya. Contohnya adalah gugus $-NH$, gugus $-NH_2$, gugus $-OH$, gugus $-SH$, dan sebagainya (Sastri, 2011).

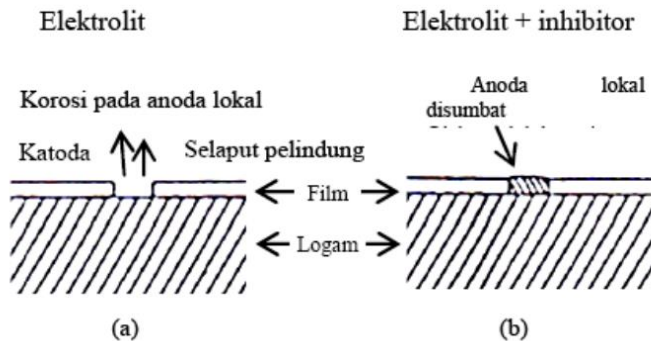
Dengan menggunakan inhibitor korosi diharapkan dapat memangkas biaya dalam sebuah industri. Dengan penggunaan inhibitor korosi, pemberhentian atau *shutdown* suatu perusahaan dalam upaya penggantian suatu sistem yang terkena dampak korosi dapat dikurangi sehingga selain memangkas biaya, juga menghindari kerugian akibat *shutdown* tersebut (Roberge, 2000).

2.6.3 Klasifikasi Menurut Mekanisme Proteksi

Secara garis besar, jenis – jenis inhibitor dibagi berdasarkan mekanisme proteksinya, yaitu inhibitor anodik, inhibitor katodik, inhibitor tipe campuran, dan inhibitor teradsorpsi (Roberge, 2008).

1. Inhibitor Anodik

Inhibitor anodik atau biasa disebut inhibitor pasivasi memiliki lingkup kerja pada bagian anoda dengan cara menghambat terjadinya reaksi anodik. Inhibitor jenis ini mengubah sifat permukaan logam menjadi pasif. Biasanya anion yang bersifat anorganik membentuk senyawa ionik yang menempel pada permukaan logam, dimana lapisan yang terbentuk menghambat proses terjadinya korosi (Camila, 2014). Prinsip utamanya inhibitor jenis ini ialah membentuk lapisan pasif pada permukaan logam dengan mereaksikan logam dengan inhibitor korosi. Dapat dilihat pada Gambar 2.11.

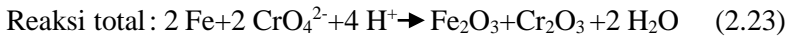
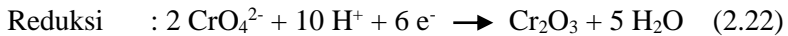


Gambar 2.11 Skema kerja inhibitor anodik (Trethewey, 2006)

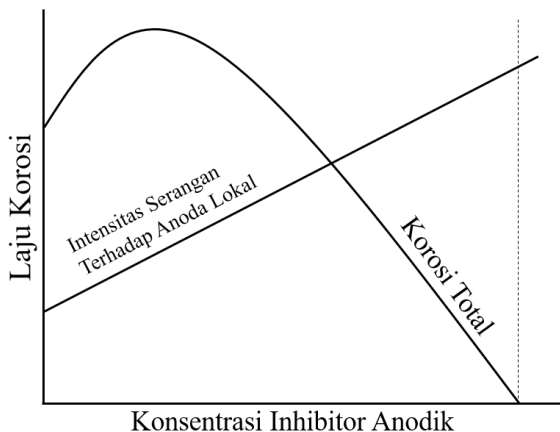
Gambar 2.11 tersebut, (a) merupakan proses terkelupasnya selaput pelindung yang bekerja sebagai katoda sedangkan logam bekerja sebagai anoda, sedangkan (b) merupakan proses tersumbatnya bagian anodik yang terkelupas akibat reaksi ion negatif pada inhibitor anodik dengan ion logam.

Salah satu contoh inhibitor yang dapat memasifkan anoda adalah senyawa kromat. Contohnya adalah penggunaan sodium kromat ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_4$) sebagai inhibitor korosi jenis anodik.

Ditunjukkan pada Persamaan reaksi 2.21, 2.22, dan 2.23 secara umum seperti berikut ini :



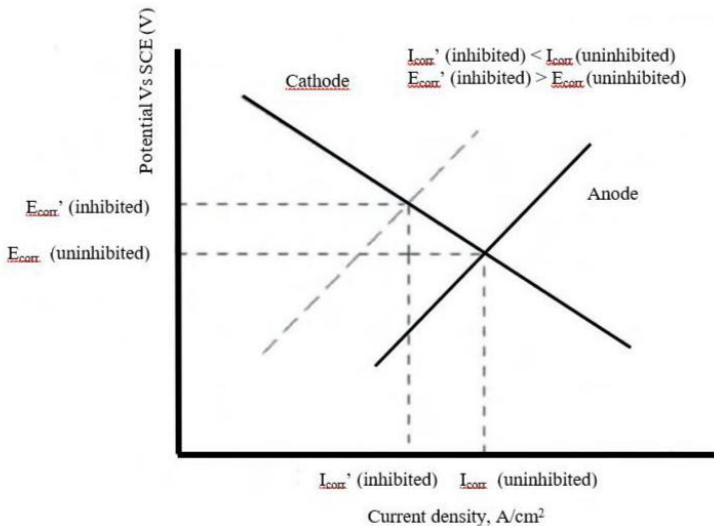
Terlepas dari baik atau tidaknya inhibitor jenis ini tetap memiliki kelemahan yaitu harus terjaganya kadar inhibitor yang terkandung dalam lingkungan dan diharuskan dalam kondisi yang stabil. Apabila tidak sesuai dalam artikata kurang, inhibitor ini balik menyerang yaitu dengan mempercepat laju korosi dan terbentuk *pitting*. Hal ini terjadi karena konsentrasi dibawah efek inhibisi total mempunyai luasan anoda yang relatif kecil dibanding luasan katoda (Sulistijono, 2000). Dapat dilihat pada Gambar 2.12 dibawah ini.



Gambar 2.12 Hubungan laju korosi terhadap konsentrasi inhibitor anodik (Sulistijono, 2000)

Karena adanya inhibitor anodik maka menggeser kurva ke arah potensial yang lebih positif yang dapat dilihat pada Gambar 2.13. Inhibitor anodik dibedakan menjadi dua jenis (Roberge, 2008), yaitu :

- a) *Oxidizing ion* yang mana membentuk perlindungan terhadap logam tanpa adanya oksigen.
- b) *Non-oxidizing ion* merupakan jenis inhibitor anodik yang membentuk lapisan pasif pada permukaan anoda dengan adanya oksigen.



Gambar 2.13 Pengaruh penambahan inhibitor anodik terhadap kurva polarisasi (Roberge, 2008)

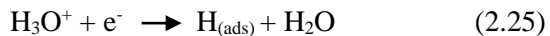
2. Inhibitor Katodik

Inhibitor katodik merupakan tipe inhibitor yang bekerja dengan cara memperlambat laju korosi melalui penghambatan proses yang terjadi di katodik. Penghambatan reaksi yang terjadi pada katoda (reaksi reduksi) adalah dengan cara membentuk

presipitasi di permukaan material agar menghasilkan suatu tahanan dan impedansi dipermukaan katoda, atau dengan cara memperkecil kemampuan difusi zat yang tereduksi. Secara umum, reaksi pada katoda ialah pembebasan ion – ion hidrogen dan penangkapan oksigen. Adanya dua reaksi penting yang terjadi pada katoda dalam medium air sebagaimana yang ditunjukkan pada reaksi Persamaan 2.7 dan reaksi Persamaan 2.9 yang telah dibahas, menurunkan laju korosi. Pada proses pembentukan gas hidrogen, adanya ion hidrogen yang teradsorpsi pada permukaan katoda menjadi tahap awal dalam proses ini. Reaksi hidrogen teradsorpsi dapat dilihat dengan Persamaan reaksi 2.24, 2.25, dan 2.26 berikut :



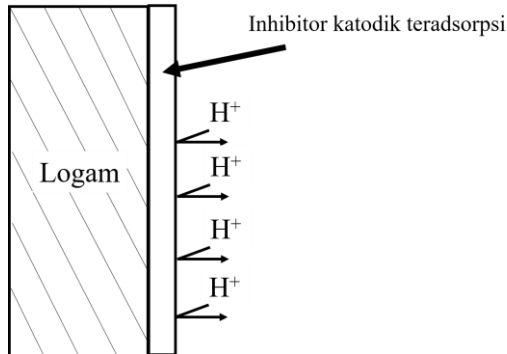
atau



selanjutnya reaksi tersebut diubah menjadi gas hidrogen

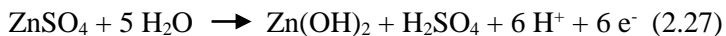


molekul organik netral teradsorpsi dipermukaan logam, sehingga mengurangi akses ion hidrogen menuju permukaan elektroda. Ditunjukkan pada Gambar 2.14.

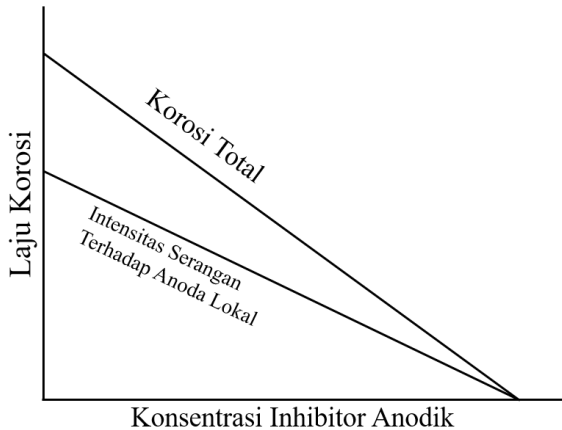


Gambar 2.14 Skema kerja inhibitor katodik (Dariva, 2014)

Dengan berkurangnya jalan ion hidrogen menuju permukaan logam, kelebihan voltase pada hidrogen meningkat, menyebabkan reaksi evolusi hidrogen terhambat dan laju korosi menjadi turun (Fontana, 1986). Apabila reaksi katodik ini dapat dihambat, maka hal yang serupa juga terjadi pada reaksi anodik sebab reaksi yang terjadi pada katoda dan anoda berjalan setimbang. Salah satu contoh inhibitor korosi jenis katodik ialah penggunaan seng sulfat (ZnSO_4). Seng sulfat terhidrolisis sehingga membentuk endapan pada pH asam dengan Persamaan reaksi 2.27 yang dapat dilihat berikut ini.



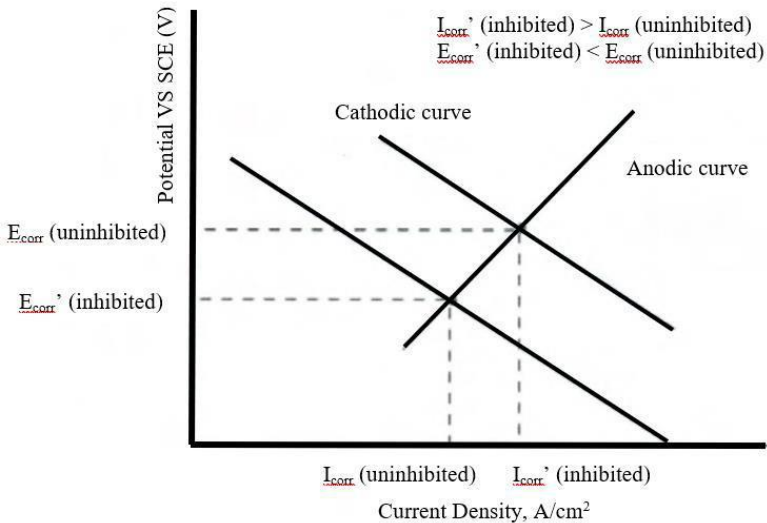
Inhibitor katodik sejatinya aman walaupun jumlah konsentrasi inhibitor yang ditambahkan sedikit. Hal ini dikarenakan sebanyak apapun bagian dari katoda yang terselimuti oleh lapisan garam tetap menurunkan laju korosi (Sulistijono, 2000). Dapat dilihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Hubungan laju korosi terhadap konsentrasi inhibitor anodik (Sulistijono, 2000)

Penambahan konsentrasi inhibitor katodik menyebabkan kurva polarisasi kiri yaitu ke arah potensial yang lebih negatif. Dapat dilihat pada Gambar 2.16. Inhibitor katodik terbagi menjadi beberapa jenis, yaitu :

- Katodik racun (*Cathodic Posions*) dapat menghambat reaksi evolusi hidrogen.
- Katodik presipitasi (*Cathodic Precipitate*) membentuk lapisan presipitat oksida di bagian permukaan material.
- Oxygen Scavenger* menghambat laju korosi dengan cara mengurangi kadar dari oksigen di dalam larutan yang dapat membuat efek depolarisasi.



Gambar 2.16 Pengaruh penambahan inhibitor katodik terhadap kurva polarisasi (Trethewey, 2006)

3. Inhibitor Campuran (*Mixed-Type Inhibitor*)

Inhibitor jenis ini merupakan campuran dari inhibitor korosi anodik maupun katodik. Dalam kandungan maupun strukturnya, inhibitor korosi campuran ini terdiri lebih dari dua jenis inhibitor korosi dengan sifat yang beragam. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor (Roberge, 2000), diantaranya yaitu :

- a) Inhibitor korosi yang tunggal hanya dapat menghambat korosi pada logam tertentu saja.
- b) Inhibitor korosi anoda maupun katoda dapat dikombinasikan dan dilakukan optimalisasi sehingga didapatkan performa yang lebih baik dalam menahan korosi.

c) Penambahan ion – ion halida mampu meningkatkan kinerja dari inhibitor organik dalam lingkungan asam.

Contoh penggunaan dari bahan inhibitor campuran ini adalah pencampuran senyawa kromat (CrO_4^{2-}) dengan polifosfat (PO_4^{3-}).

4. Inhibitor Teradsorpsi

Inhibitor teradsorpsi melibatkan komponen – komponen yang terlibat dalam prosesnya, seperti zat yang terserap (adsorbat) dan juga zat yang menyerap (adsorben). Cara kerja inhibitor teradsorpsi ini terjadi pada permukaan logam yang meliputi proses sebagai berikut :

- a) Pembentukan suatu penghalang atau *barrier* secara fisik ataupun secara kimia.
- b) Bagian – bagian anodik maupun katodik terisolasi secara langsung.
- c) Interaksi antarmediasi pada reaksi korosi.

Berdasarkan cara kerja tersebut maka inhibitor teradsorpsi terbagi menjadi dua mekanisme (Asmara, 2008) yaitu :

- a) Secara adsorpsi fisik (*Physisorption*)
- b) Secara adsorpsi kimia (*Chemisorption*)

2.7 Mekanisme Adsorpsi

Sorpsi merupakan proses penyerapan suatu zat oleh zat lain. Sejatinya peristiwa sorpsi dibedakan menjadi dua jenis, yaitu absorpsi dan adsorpsi. Hal ini hanya dibedakan dari proses zatnya. Adsorpsi ialah zat yang diserap hanya terdapa pada bagian permukaan zat penyerap sedangkan untuk absorpsi zat yang diserap masuk kedalam zat penyerap. Pada peristiwa adsorpsi, komponen yang terlibat adalah zat penyerap atau adsorben dan zat yang terserap atau adsorbat. Inhibitor korosi teradsorpsi pada permukaan logam melalui tiga cara, yaitu isolasi langsung tiap situ – situ anodik dan katodik, pembentukan penghalang secara fisika maupun kimia, dan berinteraksi dengan antarmedia dari reaksi korosi. Dalam peristiwa adsorpsi dibedakan menjadi dua

mekanisme, yaitu *physical adsorption* dan *chemisorption* (Roberge, 2008).

2.7.1 Jenis – Jenis Adsorpsi

Secara umum jenis – jenis proses adsorpsi dibedakan menjadi dua jenis yang didasarkan pada mekanismenya.

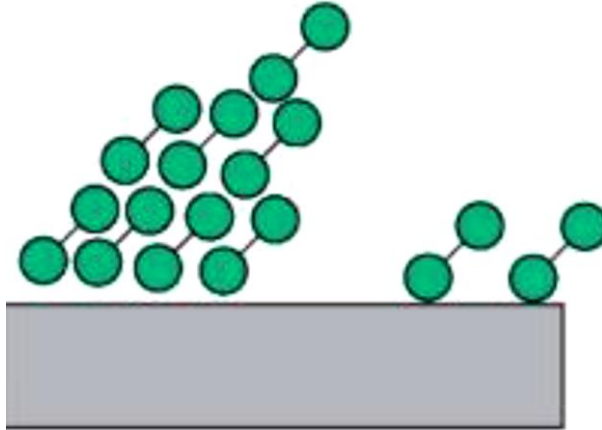
1. *Physical Adsorption*

Proses adsorpsi fisik ini terjadi akibat adanya gaya elektrostatis antara logam dan inhibitor. Logam yang diberi muatan positif berikatan dengan inhibitor korosi dengan muatan negatif dan berlaku sebaliknya. Ikatan yang terjadi berlangsung secepat dan sifatnya bolak – balik namun mudah rusak dari permukaan logam. Adsorpsi jenis ini disebabkan karena adanya gaya Van der Waal. Adsorpsi jenis ini mudah terlepas karena adanya gangguan mekanis maupun kenaikan temperatur. Peningkatan temperatur mengakibatkan peningkatan adsorpsi dan inhibisi. Karakteristik dari adsorpsi ini antara lain :

- a) Pada inhibitor korosi anodik, inhibitor bermuatan negatif, karena memiliki tujuan agar bereaksi dengan logam. Logam bermuatan positif sedangkan inhibitor bermuatan negatif.
- b) Pada inhibitor korosi katodik, ion negatif dari elektrolit diikat oleh inhibitor. Inhibitor bermuatan positif menyebabkan elektron pada permukaan logam berkumpul di sekitar inhibitor, sehingga logam bermuatan negatif dan terjadilah adsorpsi.
- c) Adsorpsi fisik bersifat sementara dan dapat dihilangkan dengan perlakuan fisik. Sebagai contoh pemanasan ke temperatur yang lebih tinggi atau percepatan laju aliran.
- d) Sifat adsorpsi jenis ini reversibel di alam dan sangat bergantung pada tekanan dan temperatur.
- e) Temperatur yang meningkat juga meningkatkan *physical adsorption*.
- f) Untuk substansi yang strukturnya berpori, memiliki sifat sebagai adsorbent yang lebih baik dibandingkan yang tidak berpori.

g) Energi tidak diperlukan.

Skema adsorpsi fisik dapat dilihat pada Gambar 2.17 berikut ini.



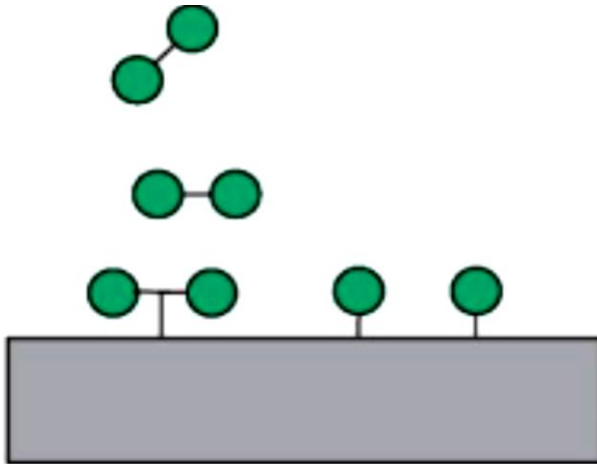
Gambar 2.17 *Physical adsorption* (Papavinasam, 2000)

2. *Chemisorption*

Adsorpsi jenis ini melibatkan adanya transfer muatan antara permukaan logam dengan inhibitor. Adsorpsi jenis ini sangatlah efektif karena sifatnya tidak bolak – balik tetapi pada pembentukannya bekerja lebih lambat. Karakteristik dari adsorpsi adalah sebagai berikut :

- Prosesnya tidak berjalan secara bolak – balik atau *irreversible*.
- Eksotermik dan kenaikan temperatur menjadi pengaruh proses ini.
- Berjalan lambat pada temperatur yang lebih rendah dan berjalan cepat seiring naiknya tekanan.
- Entalpi tinggi karena prosesnya melibatkan pembentukan ikatan kimia.
- Energi dibutuhkan untuk aktivasi.

Skema adsorpsi kimia dapat dilihat pada Gambar 2.18 berikut ini.



Gambar 2.18 *Chemisorption* (Papavinasam, 2000)

Antara *physical adsorption* dan *chemisorption* memiliki beberapa hal yang membedakan keduanya, perbedaannya didasari dari tipe interaksi, kemampuan untuk kembali atau *reversibility*, energi, kinetika, dan spesifitas. Dapat dilihat dari Tabel 2.2 berikut ini.

Tabel 2.2 Perbandingan tipe adsorpsi (Firmansyah, 2011)

	<i>Physical Adsorption</i>	<i>Chemisorption</i>
Teknik Interaksi	Antar molekul terikat secara ikatan Van der Waal atau gaya elektrostatis	Antar molekul terikat secara ikatan kimia dengan adanya transfer muatan
<i>Reversibility</i>	Adsorbat mudah untuk dihilangkan dengan pelarut pembersih	Adsorpsi tidak dapat kembali, lebih kuat

Energi	Panas adsorpsi lebih tinggi > -20 KJ/mol	Panas adsorpsi rendah < -40 KJ/mol
Kinetika	Proses berlangsung cepat	Proses cenderung lambat
Spesifitas	Tidak spesifik, tidak dipengaruhi identifikasi permukaan	Spesifik, sangat bergantung pada identifikasi permukaan

2.7.2 Isotherm Adsorpsi Langmuir

Sejatinya, ada beberapa tipe isotherm adsorpsi dalam menganalisa mekanisme inhibitor korosi. Salah satu dari jenis isotherm adsorpsi tersebut adalah isotherm adsorpsi Langmuir. Isotherm adsorpsi jenis ini merupakan model adsorpsi yang termasuk sederhana namun dengan asumsi tidak adanya interaksi antar molekul adsorbat, lapisan yang terbentuk berupa *monolayer*, maksimum fraksi penutupan = 1 (ini terjadi ketika permukaan adsorbat jenuh dengan adsorben), keadaan permukaan adsorbat yang homogen sehingga setiap area permukaan memiliki energi ikatan yang sama dan tidak adanya pergerakan molekul teradsorpsi pada permukaan logam. Langmuir mengasumsikan (McCash, 2001) bahwa :

1. Adsorpsi terjadi pada situs yang spesifik dan semua situs adalah identik.
2. Energi adsorpsi tergantung pada banyaknya situs yang tertutupi.
3. Hanya ada satu lapisan adsorbat yang menutup setiap situs dan setelah semua situs tertutup maka adsorpsi berakhir (adsorpsi *monolayer/lapis tunggal*).

Persamaan isotherm adsorpsi Langmuir dapat diturunkan secara teoritis dengan menganggap terjadinya kesetimbangan antara molekul - molekul zat yang diadsorpsi pada permukaan adsorben dengan molekul -molekul zat yang tidak teradsorpsi. Persamaan isotherm adsorpsi Langmuir dapat dituliskan sebagai berikut (Li,2019). Dapat dilihat pada Persamaan 2.28 berikut ini.

$$\frac{C}{\theta} = \frac{1}{K_{\text{ads}}} + C \quad (2.28)$$

dimana,

C = Konsentrasi inhibitor korosi (ppm, mg/L)

θ = Derajat *surface coverage*

K_{ads} = Konstanta kesetimbangan adsorpsi

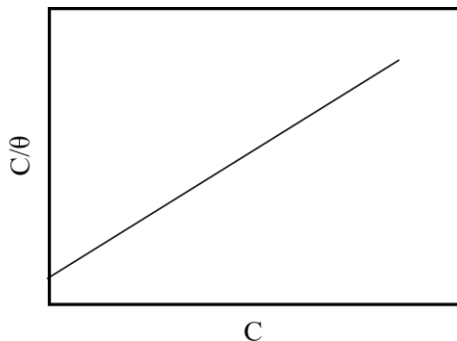
Untuk mengetahui derajat *surface coverage* sebagai hubungan fraksi molekulnya, maka digunakan Persamaan 2.29 berikut,

$$\theta = \frac{IE\%}{100} \quad (2.29)$$

dimana,

IE% = efisiensi inhibitor (%)

Dari Persamaan 2.28 tersebut dapat ditarik garis linear dengan C sebagai sumbu x dan C/θ sebagai sumbu y. Dapat dilihat pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19 Ilustrasi kurva linear isoterm adsorpsi Langmuir (Li, 2019)

Dari data isotherm tersebut dapat dilakukan analisa mengenai energi bebas dari proses adsorpsi atau $\Delta G^{\circ}_{\text{ads}}$. Nilai tersebut membutuhkan data konstanta kesetimbangan adsorpsi yang didapat dari Persamaan 2.28. Nilai energi bebas dapat dicari dengan menggunakan Persamaan 2.30 berikut ini.

$$\Delta G^{\circ}_{\text{ads}} = -RT \cdot \ln \left(\frac{1}{55,5 K_{\text{ads}}} \right) \quad (2.30)$$

Nilai energi bebas proses adsorpsi ($\Delta G^{\circ}_{\text{ads}}$) yang didapat bernilai negatif memiliki arti bahwa reaksi berjalan secara spontan. Jika energi bebas yang didapat > -20 kJ/mol maka mekanisme inhibitor korosi berupa adsorpsi fisik (*physisorption*) dan jika energi bebas yang didapat < -40 kJ/mol maka mekanismenya merupakan adsorpsi kimia (*chemisorption*) (Firmansyah, 2011).

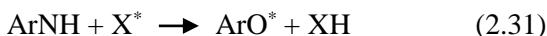
2.8 Amlodipine Besylate

Biasanya jenis bahan yang dapat digunakan sebagai inhibitor korosi ialah bahan organik yang biasanya terdapat pada *green inhibitor*. Namun, senyawa – senyawa tersebut juga dapat ditemukan pada pada obat – obatan sehingga pemanfaat limbah obat pun mulai dilirik. Penggunaan bahan obat – obatan terutama yang sudah melewati batas pakai atau kedaluwarsa (*Expired drug*) dapat mengurangi dampak pencemaran lingkungan. Salah satu jenis obat yang dapat dipakai adalah *amlodipine besylate*.

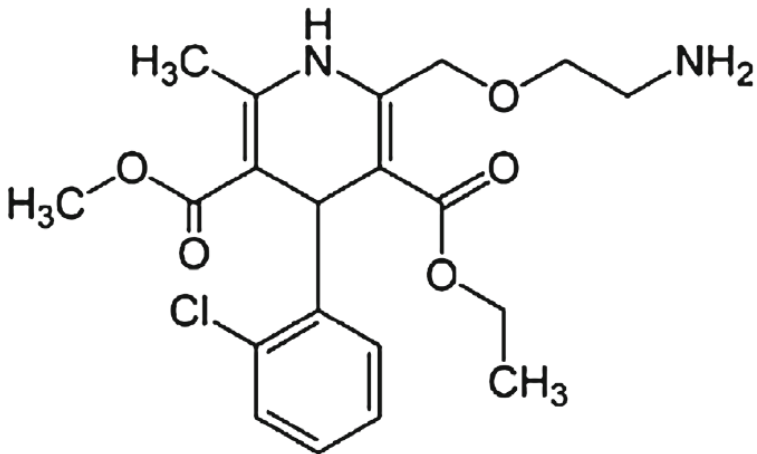
Amlodipine besylate memiliki nama kimia *3 – ethyl – 5 – methyl – 2 – [(2 – aminoethoxy)methyl] – 4 – (2 – chlorophenyl) – 6 – methyl – 1,4 – dihydropyridine – 3,5 – dicarboxylate*. Memiliki rumus molekul $C_{20}H_{25}ClN_2O_5$ dan berat molekul 408.876 gr/mol. Amlodipin secara farmasi memberikan efek farmakologis dimana sebagai agen anti-hipertensi dengan mekanisme kerja *Calcium Channel Blocker* (CCB). Cara kerja obat jenis ini adalah dengan cara menghambat ion-ion kalsium yang masuk kedalam vaskularisasi otot polos dan otot jantung sehingga berdampak

menurunkan tekanan darah. Amlodipin juga dapat menjadi obat bagi penderita angina pectoris, yaitu suatu penyakit dengan indikasi rasa nyeri pada dada yang terjadi saat aliran darah dan oksigen menuju otot jantung tersendat atau terganggu, dengan cara meningkatkan aliran darah ke otot jantung. Umumnya amlodipin tersedia sebagai bentuk tablet dan sering dikombinasikan dengan senyawa anti-hipertensi yang lain seperti pada golongan *Angiotensin Converting Enzyme Inhibitory* (ACEI) dan atau dikombinasikan dengan senyawa anti-hiperlipidemia seperti golongan *statin*. Apabila ditinjau dari farmakokinetik, amlodipin yang diberikan secara oral atau diminum memberikan kadar didalam plasma darah rendah sehingga efeknya pada saat diukur memberikan absorbansi yang rendah (Alawiyah, 2017).

Sebagai inhibitor korosi, *amlodipine besylate* memiliki gugus fungsi maupun atom yang menjadi syarat suatu bahan dapat menjadi inhibitor yang baik. Pada media asam hidroklorida, senyawa yang sangat efektif dijadikan sebagai inhibitor korosi ialah senyawa yang memiliki unsur nitrogen, oksigen, sulfur, dan fosfor. Beberapa unsur tersebut terdapat pada struktur *amlodipine besylate*. Salah satunya adalah adanya atom oksigen yang memiliki pasangan elektron bebas serta gugus fungsi $-NH$ (amina) pada ujung rantai struktur *amlodipine besylate*. Selain memiliki pasangan elektron bebas pada nitrogen, gugus ini juga berfungsi sebagai antioksidan. Sifat antioksidan, khususnya aktifitas *radical - scavenging*, sangat esensial dalam menangkal radikal bebas dalam suatu sistem dan biasanya ditandai dengan adanya kehadiran gugus $-OH/-NH$ (Alasalvar, 2014). Mekanisme antioksidan pada *amlodipine besylate* bekerja sebagai transfer atom hidrogen (HAT) yang ditunjukkan pada Persamaan reaksi 2.31 berikut ini.



Untuk struktur *amlodipine besylate* dapat dilihat pada Gambar 2.20 berikut ini.



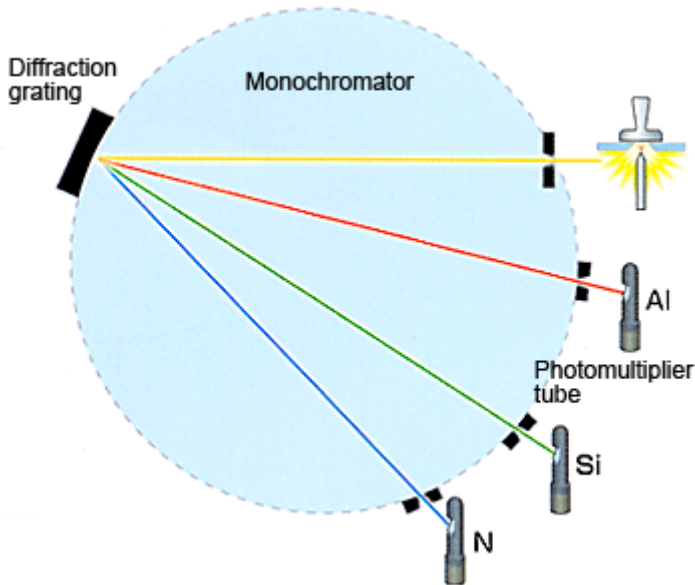
Gambar 2.20 Struktur kimia *amlodipine besylate* (Akpan, 2016)

Kemudian, yang menjadi alasan *amlodipine besylate* dapat digunakan sebagai inhibitor korosi selain berat molekul yang dimiliki juga karena kecenderungan adanya ikatan π -elektron yang terdapat pada struktur aromatik, sehingga ikatan pada saat teradsorpsi nanti menjadi semakin kuat (Fouda, 2016).

2.9 *Optical Emission Spectrometry* (OES)

Optical Emission Spectrometry (OES) adalah suatu instrumen dalam mendapatkan konsentrasi suatu unsur pada spesimen. Instrumen OES ini sejatinya melibatkan pancaran radiasi elektromagnetik yang nantinya diabsorpsi maupun diemisikan dari atom – atom pada spesimen uji. Karena prinsipnya menggunakan radiasi, maka temperatur yang cukup tinggi dibutuhkan agar terjadinya proses eksitasi atom pada spesimen. Kemudian, saat atom pada keadaan tereksitasinya, atom – atom tersebut kembali ke keadaan awal dengan cara melakukan emisi energi. Dari emisi tersebut menghasilkan intensitas cahaya yang

memiliki panjang gelombang tertentu yang mana panjang gelombang tersebut digunakan dalam menentukan besarnya konsentrasi tiap unsur yang diharapkan (Boss, 2004).



Gambar 2.21 Skema kerja OES (Boss, 2004)

Pada dasarnya OES terbagi menjadi dua yaitu *Spark* OES dan ICP-OES. Hal yang membedakan antara *Spark* OES dan ICP-OES ialah ada pada sumber panas atau energi yang digunakan. *Spark* OES menggunakan *electrical discharge* sementara ICP-OES menggunakan plasma. Namun, biasanya dalam penentuan komposisi kimia, *Spark* OES yang paling banyak digunakan dalam skala industri logam kemudahannya dalam preparasi spesimen ujinya (Fadini, 1989).

2.10 Polarisasi

Polarisasi merupakan mekanisme perubahan potensial dari keadaan stabil, misal dari potensial elektroda rangkaian terbuka sebagai hasil dari aliran arus. Proses pengujian dan perhitungan polarisasi mengacu pada ASTM G5. Hal ini mengacu pada perubahan potensial elektroda selama elektrolisis, sehingga potensial dari katoda lebih aktif dan anoda menjadi lebih mulia. Polarisasi merupakan salah satu bentuk reaksi korosi yang merupakan penyebab timbulnya karat. Secara definitif polarisasi itu adalah proses pengutuban ion hidrogen secara elektrokimia sehingga terbentuk gas hidrogen dengan bantuan pengikatan elektron yang dihasilkan dari proses degradasi logam (Trethewey, 2006). Polarisasi juga dapat dikatakan sebagai perubahan potensial elektroda akibat adanya suatu aliran arus. Ada tiga tipe polarisasi (McCafferty, 2009), yaitu :

1. Polarisasi aktivasi yang merupakan polarisasi akibat reaksi elektron yang lambat
2. Polarisasi konsentrasi yang merupakan polarisasi akibat perubahan konsentrasi dalam reaktan atau produk di dekat permukaan elektroda.
3. Polarisasi ohm yang merupakan polarisasi akibat turunnya IR dalam larutan atau permukaan *film* seperti oksida atau garam.

Derajat polarisasi biasa diartikan sebagai *overvoltage*, η , dengan Persamaan 2.35 berikut ini

$$\eta = E - E_0 \quad (2.35)$$

dimana E merupakan potensial elektroda untuk kondisi tertentu dari aliran arus dan E_0 merupakan potensial elektroda untuk aliran arus nol (*zero electrode current*) atau dapat dikatakan sebagai *open-circuit potential*, potensial korosi, atau potensial rehat (McCafferty, 2009).

Anoda maupun katoda dapat di polarisasi. Polarisasi anoda merupakan perpindahan dari potensial elektroda dalam arah positif

sehingga elektroda bekerja lebih anodik. Polarisation katodik merupakan perpindahan dari potensial elektroda dalam arah negatif sehingga elektroda bekerja lebih katodik (McCafferty, 2009).

Untuk polarisation katodik dengan mempertimbangkan reaksi evolusi hidrogen yang terdapat pada permukaan baja, secara visual memiliki beberapa mekanisme. Pertama – tama atom hidrogen diproduksi oleh reaksi reduksi dengan Persamaan reaksi 2.36 berikut



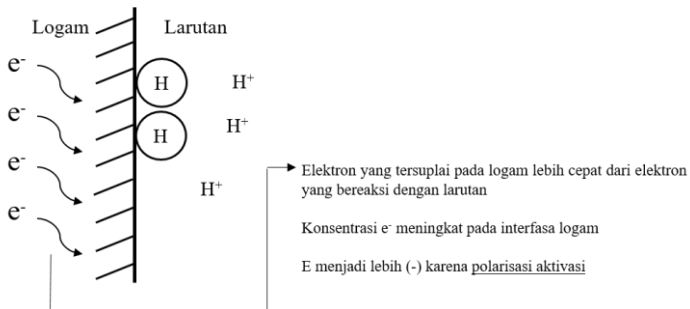
kemudian reaksi dilanjutkan dengan terkombinasinya atom – atom hidrogen tersebut dengan Persamaan reaksi 2.37 berikut



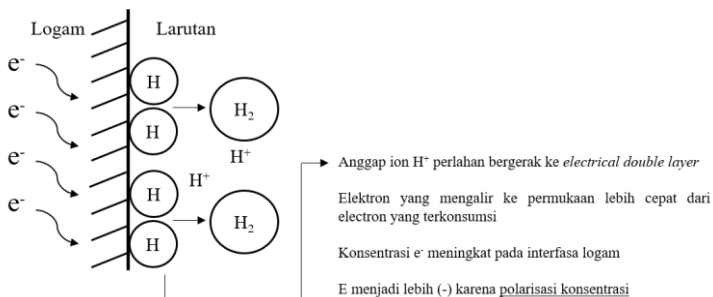
Proses aktivasi polarisation melibatkan langkah yang lambat dalam reaksi elektroda. Misalkan saja ketika elektron – elektron yang tersuplai pada elektroda logam lebih cepat dari pada ketika elektron – elektron tersebut dapat bereaksi dalam pembentukan atom H. Kemudian konsentrasi elektron meningkat pada sisi antarmuka logam. Hasilnya potensial elektroda, E, menjadi lebih negatif yang diakibatkan dari aktivasi polarisation tersebut.

Anggaplah sebaliknya bahwa adanya efek konsentrasi di dekat permukaan elektroda untuk terjadinya reaksi reduksi hidrogen. Jika reaktan ion H^+ lambat untuk berdifusi ke permukaan elektroda, maka lagi – lagi elektron terakumulasi pada bagian sisi antarmuka logam. Hasilnya pun tetap sama bahwa potensial elektroda, E, menjadi lebih negatif namun kali ini disebabkan karena adanya polarisation konsentrasi (McCafferty, 2009)

Untuk mekanisme antara polarisation aktivasi dan polarisation konsentrasi pada katodik dapat dilihat pada Gambar 2.22 dan Gambar 2.23.



Gambar 2.22 Polarisisasi katodik (aktivasi) (McCafferty, 2009)



Gambar 2.23 Polarisisasi katodik (konsentrasi) (McCafferty, 2009)

Untuk polarisisasi anodik, mempertimbangkan reaksi pada baja yang ditunjukkan pada Persamaan reaksi 2.38.

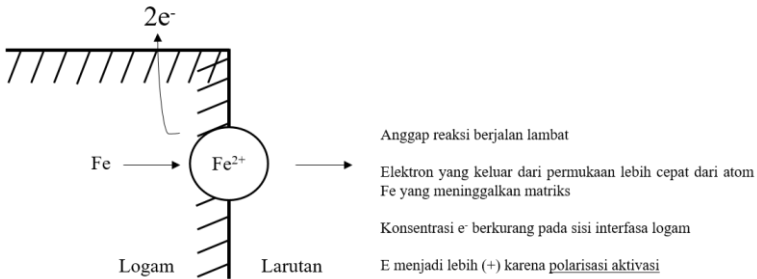


Anggaplah bahwa oksidasi dari atom Fe menjadi Fe^{2+} lambat. Maka elektron yang keluar dari elektroda lebih cepat dari atom Fe yang meninggalkan matriks logam. Artinya konsentrasi

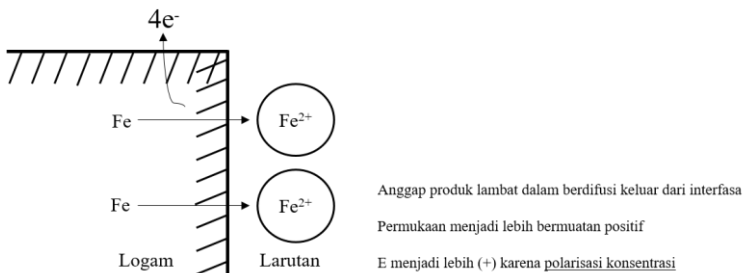
elektron berkurang pada sisi interfasa logam. Potensial elektroda E menjadi lebih positif yang diakibatkan oleh polarisasi aktivasi.

Selanjutnya anggap produk reaksi anodik, ion Fe^{2+} , berjalan lambat untuk berdiffusi keluar dari permukaan logam. Maka permukaan menjadi lebih bermuatan positif akibat terakumulasinya ion Fe^{2+} . Sekali lagi potensial E menjadi lebih positif namun kali ini disebabkan oleh polarisasi konsentrasi (McCafferty, 2009).

Untuk mekanisme antara polarisasi aktivasi dan polarisasi konsentrasi pada anodik dapat dilihat pada Gambar 2.24 dan Gambar 2.25



Gambar 2.24 Polarisasi anodik (aktivasi) (McCafferty, 2009)



Gambar 2.25 Polarisasi anodik (konsentrasi) (McCafferty, 2009)

Metode untuk menentukan perilaku korosi logam berdasarkan hubungan potensial dan arus katodik disebut sebagai polarisasi potensi dimanik. Korosi pada logam terjadi karena terdapat arus katodik yang sama besarnya dengan potensi anodik, walaupun tidak ada arus yang di berikan dari luar sistem. Hal ini karena lingkungan dijadikan sebagai larutan dan terdapat perbedaan dari potensial antar logam (Roberge, 2000). Data yang didapat dari metode ini adalah kurva polarisasi anodik atau katodik yang menyatakan hubungan antara arus ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$) sebagai fungsi potensial (mV).

Laju korosi sebenarnya belum dapat dilihat dari perbedaan potensial antara katoda dan anoda. Namun juga tergantung dari densitas arus yang muncul. Korosi dapat digambarkan dengan kurva tegangan fungsi arus yang selanjutnya disebut dengan polarisasi. Potensial polarisasi, η , adalah selisih antara potensial terapan terhadap potensial korosi logam pada keadaan kesetimbangan dengan ionnya dalam larutan (elektrolit) atau bisa disebut dengan *overvoltage*. Parameter dapat digunakan untuk menyatakan laju pelarutan atau laju proses korosi logam yang bersangkutan, yang dikenal dengan persamaan tafel. Densitas arus korosi (I_{corr}) diperoleh dari hasil ekstrapolasi kurva potensial lawan logaritma intensitas arus yaitu dengan cara menentukan titik perpotongan garis tafel reaksi reduksi dan garis tafel reaksi oksidasi pada garis potensial korosi (E_{corr}). Plot Tafel atau bagian linier dari polarisasi log current anodik atau katodik dan plot potensial di ekstrapolasi memotong garis potensial korosi. Laju korosi yang rendah secara umum dapat diukur dengan cepat. Laju korosi biasanya ditentukan dengan kesetimbangan dari reaksi elektrokimia yang berlawanan. Reaksi anodik merupakan peristiwa logam teroksidasi dan melepaskan elektron dan reaksi katodik merupakan peristiwa dimana larutan mengalami reduksi, memindahkan elektron dari logam. Ketika kedua reaksi ini berada dalam kesetimbangan, aliran elektron dari setiap reaksi seimbang dan ada aliran elektron (arus listrik) terukur. Perbedaan potensial antara katoda dan anoda sangat penting untuk menggambarkan

terjadinya korosi. Tetapi hal ini belum dapat menggambarkan laju korosi sebenarnya. Laju korosi yang terjadi juga dinyatakan tergantung pada kerapatan arus yang timbul (current density). Semakin tinggi kerapatan arus yang timbul maka korosi semakin hebat begitupun juga sebaliknya. Karena fenomena tersebut korosi dapat disimpulkan dengan pemakaian kurva tegangan fungsi arus yang selanjutnya disebut kurva polarisasi. Laju korosi dalam kurva polarisasi dinyatakan dengan adanya E_{corr} dan I_{corr} . E_{corr} dan I_{corr} tidak bisa langsung didapatkan dalam kurva polarisasi, tetapi dimodelkan dengan adanya persamaan Butler – Volmer. Ditunjukkan pada Persamaan 2.39 berikut ini (Badea, 2010).

$$i_{app} = i_{corr} \left\{ \frac{\exp \left[\frac{\alpha_{a,M} z F}{RT} (E - E_o) \right] - \exp \left[-\frac{\alpha_{c,Ox} z F}{RT} (E - E_o) \right]}{\exp \left[-\frac{\alpha_{c,Ox} z F}{RT} (E - E_o) \right]} \right\} \quad (2.39)$$

dimana,

- i_{app} : densitas arus yang terukur
- i_{corr} : densitas arus korosi
- $\alpha_{a,M}$: koefisiensi transfer muatan pada reaksi anodik
- $\alpha_{c,Ox}$: koefisiensi transfer muatan pada reaksi katodik
- $E-E_o$: perbedaan polarisasi antara potensial terukur dan potensial elektroda
- z : valensi logam
- F : konstanta faraday
- R : konstanta gas
- T : temperatur

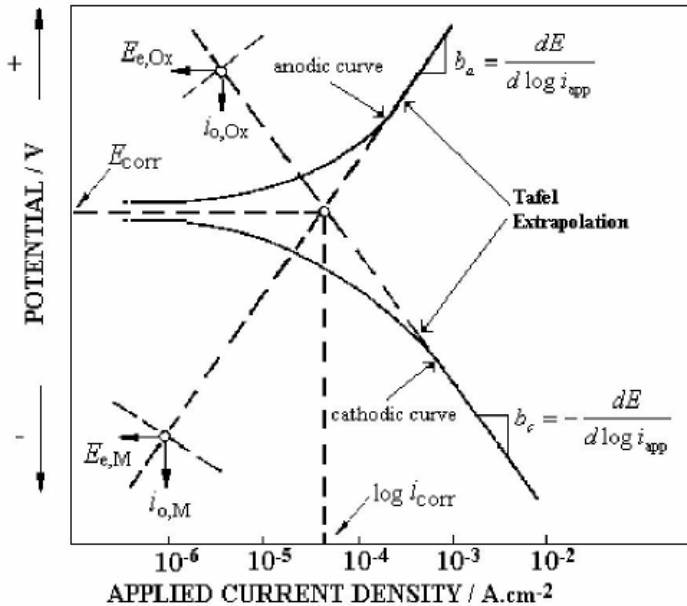
Dari persamaan Butler-Volmer tersebut, ketika *overvoltage* sangatlah tinggi, laju reaksi kesetimbangan dapat diabaikan, sehingga Persamaan 2.39 dapat diubah menjadi Persamaan 2.40.

$$i = i_o e^{\alpha n F (E - E_o) / RT} \quad (2.40)$$

Dimana i_o merupakan rapat arus pertukaran *open-circuit*. Kemudian secara logaritma persamaan tersebut dapat diubah menjadi Persamaan 2.41.

$$\log i = \log i_o + \frac{\alpha n F}{2,303 RT} (E - E_o) \quad (2.41)$$

Pada potensial korosi (E_{corr}), laju anodik dan laju katodik besarnya sama, oleh karena itu densitas arus terukur bernilai nol. Seluruh elektron dihasilkan oleh oksidasi logam dalam reaksi disolusi yang dikonsumsi oleh reaksi redoks pada permukaan logam yang sama. Laju korosi yang rendah secara umum dapat diukur dengan cepat. Laju korosi biasanya ditentukan dengan kesetimbangan antara reaksi elektrokimia yang berlawanan. Reaksi anodik merupakan peristiwa logam teroksidasi dan melepaskan elektron dan reaksi katodik merupakan peristiwa dimana larutan mengalami reduksi, memindahkan elektron dari logam. Ketika kedua reaksi ini berada dalam kesetimbangan, aliran elektron dari setiap reaksi seimbang dan ada aliran elektron (arus listrik) terukur. Karena fenomena laju korosi ini dapat disimpulkan dengan pemakaian kurva tegangan fungsi arus yang selanjutnya disebut kurva polarisasi (Fontana, 1986). Kurva polarisasi dapat dilihat pada Gambar 2.26 berikut.



Gambar 2.26 Kurva Polarisasi (Widharto, 2004)

Dari kurva tersebut kemudian diekstrapolasikan dengan memanfaatkan garis lurus yang saling memotong. Sehingga persamaan ekstrapolasi dipecah menjadi bagian anodik dan katodik (McCafferty, 2009).

Untuk anodik, didapatkan persamaan *overvoltage* anodik, η_a , dengan Persamaan 2.42 berikut.

$$\eta_a = b_a \log \frac{i}{i_o} \quad (2.42)$$

Ketika $E > E_{\text{corr}}$ dan $i_{a,M} > |i_{c,Ox}|$ didapatkan kemiringan kurva tafel pada reaksi anodik, dengan Persamaan 2.43.

$$b_a = \left(\frac{dE}{d \log i} \right)_{E > E_{\text{corr}}} = \frac{2,303 RT}{\alpha n F} \quad (2.43)$$

Sehingga Persamaan 2.42 dapat ditulis kembali menjadi Persamaan 2.44.

$$\eta_a = a + b_a \log i \quad (2.44)$$

Persamaan 2.44 tersebut merupakan bentuk lain dari persamaan tafel, dimana nilai a adalah konstanta yang diberikan pada Persamaan 2.45 berikut ini.

$$a = - \frac{2,303 RT}{\alpha n F} \log i_o \quad (2.45)$$

Untuk katodik, didapatkan persamaan *overvoltage* katodik, η_b , dengan Persamaan 2.46 sebagai berikut.

$$\eta_c = b_c \log \frac{i}{i_o} \quad (2.46)$$

Ketika $E < E_{\text{corr}}$ dan $i_{a,M} < |i_{c,Ox}|$, kemiringan kurva tafel pada reaksi katodik diberikan dengan Persamaan 2.47.

$$b_c = \left(\frac{dE}{d \log |i|} \right)_{E < E_{\text{corr}}} = - \frac{2,303 RT}{(1-\alpha) n F} \quad (2.47)$$

Sehingga Persamaan 2.46 dapat ditulis kembali menjadi Persamaan 2.48

$$\eta_c = a' + b_c \log i \quad (2.48)$$

Persamaan 2.48 tersebut merupakan bentuk lain dari persamaan tafel, dimana nilai a' adalah konstanta yang diberikan pada Persamaan 2.49.

$$a' = \frac{2,303 RT}{(1-\alpha) n F} \log i_o \quad (2.49)$$

Dari kedua persamaan anodik dan katodik tersebut, didapatkan garis perpotongan pada koordinat (E_{corr} , $\log i_{\text{corr}}$) yang mana densitas arus korosi dapat di estimasi dengan ekstrapolasi kemiringan tafel dengan potensial koosi (Badea, 2010). Laju korosi kemudian dapat dihitung baik dengan perangkat lunak ataupun dengan mekanisme perhitungan manual dengan membuat garis linear pada kurva anodik dan katodik, kemudian dilihat perpotongannya dan didapatkan nilai E_{corr} dan I_{corr} . Dalam perhitungan manual, Persamaan 2.39 diekspansikan dengan deret MaLaurin untuk menganalisa nilai I_{corr} , sehingga didapatkan Persamaan 2.50 yang ditunjukkan sebagai berikut ini.

$$I_{\text{corr}} = \frac{1}{2,303 R_p \left(\frac{1}{b_a} + \frac{1}{|b_c|} \right)} \quad (2.50)$$

Dimana nilai R_p merupakan resistansi polarisasi atau biasa disebut dengan nilai ketahanan logam

Dalam konteks korosi, polarisasi mengacu pada pergeseran potensial dari potensial rangkaian terbuka (potensial korosi bebas) dari sistem korosi. Jika pergeseran potensial dalam arah "positif" (atas E_{corr}), hal itu disebut "polarisasi anodik". Jika pergeseran potensial dalam arah "negatif" (bawah E_{corr}), hal itu disebut "polarisasi katodik". Untuk semua logam dan paduan dalam lingkungan basah, polarisasi katodik selalu mengurangi laju korosi. Proteksi katodik pada dasarnya penerapan polarisasi katodik ke sistem korosi.

Untuk sistem non-pasif (misalnya baja dalam air laut), polarisasi anodik selalu meningkatkan laju korosi. Untuk sistem yang menunjukkan transisi aktif ke pasif, polarisasi anodik akan meningkatkan laju korosi pada awalnya dan kemudian menyebabkan penurunan drastis laju korosi. Perlindungan anodik dasarnya penerapan polarisasi anodik ke sistem korosi. Kecepatan

atau laju korosi yang terjadi pada logam dalam lingkungan elektrolit baik tanpa atau dengan adanya inhibitor korosi dapat dilakukan dengan menggunakan metode Tafel. Pengukuran dengan metode Tafel untuk kinerja inhibisi dilakukan dalam sel elektrokimia dengan sistem tiga elektroda, yaitu sampel baja karbon sebagai elektroda kerja, elektroda Pt sebagai elektroda bantu, dan elektroda kalomel sebagai elektroda pembanding.

Kinetika elektrokimia untuk korosi pada logam dapat dikarakterisasi dengan menentukan tiga parameter yaitu densitas hantaran (I_{corr}), potensial korosi (E_{corr}), dan slop Tafel katodik (β_a dan β_c). Hasil pengolahan data ketiga parameter di atas dapat menentukan harga hambatan polarisasi (R_p) serta densitas hantaran (I_{corr}) dan dari hasil kedua olahan ini dapat dinyatakan laju korosi Faraday (V_{corr} atau CF) satuan milimeter pertahun (McCafferty, 2009). Hambatan polarisasi, R_p (ohm.cm^2) adalah suatu besaran yang menentukan laju korosi suatu logam dalam lingkungan larutan korosif berdasarkan kemiringan kurva potensial sebagai fungsi rapat arus disekitar potensial korosinya. Berdasarkan ekstrapolasi Tafel ini dapat diketahui dominasi reaksi yang terjadi antara anodik dan katodik. Jika potensial anodik dapat bergeser kearah negatif maka polarisasi atau reaksi anodik yang berperan ditandai dengan terjadinya oksidasi pada baja karbon. Namun jika potensial korosi bergeser kearah positif maka reaksi katodik berperan ditandai dengan terjadinya reduksi ion-ion H^+ yang banyak (Sastri, 2011).

2.11 Pengukuran Laju Korosi dan Efisiensi Inhibitor

Pengukuran laju korosi dapat dihitung dari densitas arus korosi (I_{corr}) yang didapatkan dari uji polarisasi dengan menggunakan Persamaan 2.32 sebagai berikut :

$$CR = K \times \frac{I_{corr}}{\rho} \times EW \quad (2.32)$$

dimana,

CR = laju korosi

- K = Faktor konstanta, mpy=0.129; $\mu\text{m}/\text{yr}$ =3.27;
mm/yr=0.00327
- I_{corr} = rapat arus saat E_{corr} yang didapat dari uji polarisasi
- ρ = densitas (g/cm^3)
- EW = *equivalent weight*

Nilai laju korosi pada baja dan paduannya memiliki standar. Adapun nilai standar dari laju korosi tersebut seperti yang dapat dilihat dari Tabel 2.3 berikut ini.

Tabel 2.3 Nilai standar laju korosi (Isro'is, 2013)

Resistansi Korosi Relatif	Satuan				
	mpy	mmpy	$\mu\text{m}/\text{yr}$	nm/hr	pm/sc
Luar Biasa	<1	<0,02	<25	<2	<1
Sangat Baik	1-5	0.02- 0.01	25-100	2-10	1-5
Baik	5-20	0.1-0.5	100- 500	10-50	5-20
Cukup	20-50	0.5-1	500- 1000	50-150	20-50
Buruk	50-200	1-5	1000- 5000	150- 500	50-200
Tidak Dapat Diterima	200+	5+	5000+	500+	200+

Laju korosi juga memiliki nilai konversi untuk beberapa satuan, secara umum konversinya ditunjukkan pada Tabel 2.4 berikut ini (Khatak, 2002).

Tabel 2.4 Konversi laju korosi (Khatak, 2002)

	mA/cm^2	mmpy	mpy	$\text{g}/\text{cm}^2/\text{day}$
mA/cm^2	1	3.28 M/nd	129 M/nd	8.95 M/n
mmpy	0.306 nd/M	1	39.4	2.71 d

mpy	0.00777 nd/M	0.0254	1	0.0694 d
g/cm²/day	0.112 n/M	0.365/d	14.4/d	1

dimana,

n : jumlah elektron yang terjadi pada reaksi korosi

d : densitas logam

M : massa atom

Dengan nilai efisiensi yang didapat dihitung menggunakan dua cara, dengan menggunakan data polarisasi atau impedansi ditunjukkan pada Persamaan 2.33 dan 2.34 (Motawea, 2016)

$$\%IE = \theta \times 100 = [1 - (I/I^{\circ})] \times 100 \quad (2.33)$$

atau,

$$\%IE = [(R_p - R_p^{\circ})/R_p] \times 100 \quad (2.34)$$

dimana,

I° : densitas arus tanpa adanya inhibitor

I : densitas arus dengan adanya inhibitor

R_p : nilai tahanan logam dengan adanya inhibitor

R_p° : nilai tahanan logam tanpa adanya inhibitor

2.12 *Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)*

Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) adalah suatu metode untuk menganalisa suatu elektroda terhadap sinyal potensial AC pada amplitudo rendah (10-20 mV) dari rentang frekuensi yang sangat lebar. AC impedance spectroscopy merupakan teknik yang sangat bagus untuk menentukan parameter kinetik dari proses elektroda termasuk di dalam elektrolit, passive layer, charge transfer, dan Li^+ diffusion. Charge-transfer resistance (R_{ct}) parameter yang paling penting untuk dapat mengkarakterisasikan kuantitatif kecepatan sebuah reaksi elektroda. Biasanya, resistance charge-transfer yang besar

menunjukkan reaksi elektrokimia yang lambat. R_{ct} dapat dihitung dari electrochemical impedance spectroscopy dengan nilai sama dengan diameter setengah lingkaran didalam region medium-frekuensi. Pada prinsipnya EIS digunakan untuk menentukan parameter kinetika elektrokimia berkaitan dengan unsur-unsur seperti tahanan (R), kapitanasi (C), dan induksi (L). Suatu tegangan sinusoidal (E) yang relatif kecil apabila diberikan pada suatu rangkaian sel elektrokimia maka respon arus (I) juga berupa sinusoidal tetapi pada besaran magnitude (rasio E/I) dan fasa yang berbeda (phase shift) dengan frekuensi 0.01 sampai 100,000 Hz. (Huang, 2011)

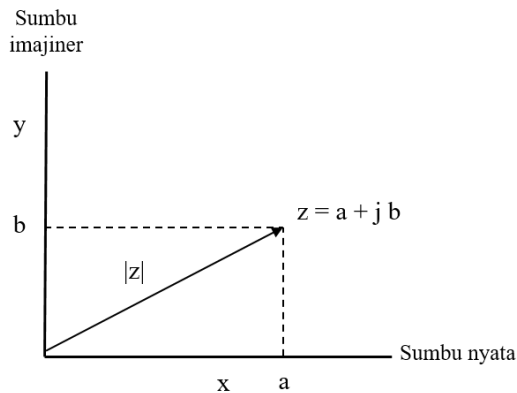
Electrochemical Impedance Spectroscopy sering digunakan dalam berbagai bidang korosi, seperti coating, pembentukan lapisan pasif dan keperluan evaluasi inhibitor, mempelajari kinetika reaksi elektrokimia, sifat listrik antar muka, mekanisme korosi, serta mekanisme inhibisi. Metode ini juga dapat digunakan untuk memprediksi perilaku korosi secara akurat yang direpresentasikan sebagai model rangkaian listrik. Pengujian EIS dikenal sebagai metode yang kuat untuk memberikan informasi mengenai laju korosi, baik mengenai kinetika proteksi dan mekanismenya. Electrochemical Impedance Spectroscopy digambarkan pada kurva Nyquist yang dinyatakan dalam fungsi Z' yang dinyatakan impedansi real dan fungsi Z'' yang menyatakan impedansi imajiner. Untuk mempresentasikan suatu titik keadaan pada bidang dapat dinyatakan oleh koordinat polar (Bode Plot) maupun Cartesian (Nyquist Plot). Pada bode plot menunjukkan hubungan antara log magnitude vs log frequency. Sedangkan pada Nyquist plot digambarkan diantara impedansi nyata vs impedansi imajiner. Impedansi dari sistem sel elektrokimia (Z) dapat ditentukan berdasarkan analogi dari hukum Ohm. Dalam EIS, parameter-parameter elektrokimia dapat diungkapkan dalam bentuk rangkaian listrik (current circuit). Dalam rangkaian listrik terdapat komponen-komponen listrik seperti tahanan, kapasitor, induktor, dan impedansi Warburg. Tahanan larutan (R_s) bergantung pada konsentrasi ion, jenis ion, temperatur, dan

geometri daerah penghantar arus. Tahanan transfer muatan (R_{ct}) menggambarkan pada saat logam berinteraksi dengan larutan elektrolit dan terjadi pelarutan atom-atom logam menurut reaksi kearah kanan. (Gusmano, 2006)

Dalam menganalisa sirkuit elektrik AC menggunakan angka – angka kompleks. Dengan mengikuti persamaan imajiner yang terdiri dari barisan pasang bilangan, a dan b. Ditunjukkan pada Persamaan 2.51 berikut.

$$z = a + j b \quad (2.51)$$

Dimana, $j = \sqrt{-1}$ (menggunakan j agar tidak tertukar dengan densitas arus i). Bilangan a disebut bagian *real* dari bilangan kompleks z dan b disebut bagian imajiner. Bilangan z direpresentasikan pada bidang kompleks ditunjukkan pada Gambar 2.27

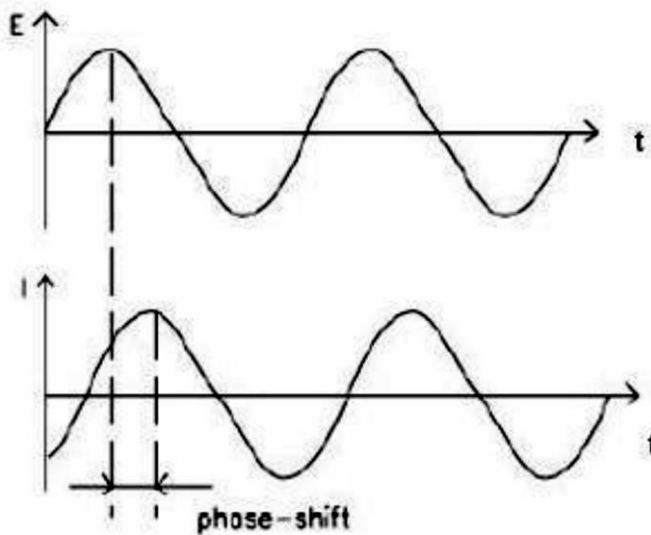


Gambar 2.27 Geometris bilangan kompleks (McCafferty, 2009)

Nilai $|z|$ terkadang disebut dengan modulus z , dengan nilai yang ditunjukkan pada Persamaan 2.52 berikut.

$$|z| = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (2.52)$$

Dari nilai modulus z tersebutlah kemudian didapatkan kurva yang dapat berbentuk setengah lingkaran. Kemudian hal tersebut diaplikasikan saat adanya gelombang potensial dan arus yang memiliki amplitudo tertentu. Pada umumnya, impedansi hanya dapat diukur dengan menggunakan sinyal kecil. Ini dilakukan agar respon berupa pseudo-linear. Dalam sistem linear atau pseudo-linear, respon arus menjadi potensial sinusoidal menjadi sinusoid dengan frekuensi yang sama, namun di ubah dalam beberapa tahapan yang dapat dilihat pada Gambar 2.28.



Gambar 2.28 Kurva sinusoidal (Gamry, 2012)

Dari bentuk gelombang tersebut dengan memanfaatkan gelombang sinus dan cosinus, maka Persamaan 2.52 dan Persamaan 2.53 didapatkan.

$$E = E_0 (\cos \omega t) \quad (2.52)$$

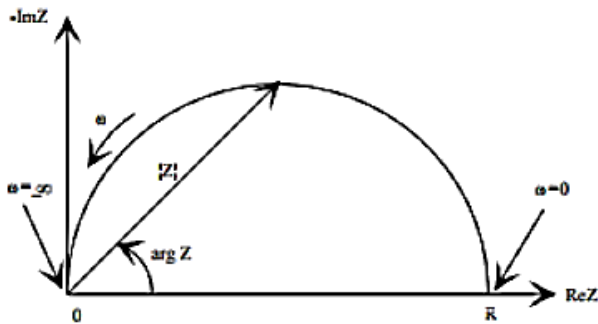
$$I = I_0 (\cos \omega(t-s)) \quad (2.53)$$

Karena keduanya dapat ditulis sebagai bilangan kompleks, maka impedansi Z ditunjukkan pada Persamaan 2.54.

$$Z(\omega) = \frac{E(\omega, t)}{I(\omega, t)} \quad (2.54)$$

Jika impedansi bagian real dialurkan pada sumbu-x dan bagian imajiner pada sumbu-y diperoleh aluran Nyquist. Berdasarkan aluran Nyquist, impedansi dapat dinyatakan sebagai suatu vektor yang panjang. Sudut antar vektor dan sumbu-x adalah ϕ (sudut Z). Perilaku impedansi suatu elektroda dapat diungkapkan dalam aluran Nyquist yang menyatakan aluran impedansi imajiner sebagai fungsi impedansi real dari ω menjadi 0 sampai ω menjadi ∞ . Pada ω menjadi ∞ , nilai $Z_r = R_s$ (tahanan larutan). Pada ω_0 , nilai $Z_r = R_s + R_{ct}$, dengan R_{ct} adalah tahanan transfer muatan. Aluran Nyquist membentuk setengah lingkaran dengan kenaikan frekuensi berlawanan arah jarum jam. Titik maksimum pada puncak setengah lingkaran sama dengan ω_0 yang ada nilainya (McCafferty, 2009).

Berdasarkan pengertiannya, pengujian laju korosi dengan menggunakan spektroskopi impedansi ini adalah arus listrik yang mengalir melintasi antarmuka logam dan larutan digambarkan sebagai bagian dari reaksi elektrokimia yaitu proses transfer muatan dan berbagai proses yang membentuk antarmuka bermuatan. Oleh karena itu suatu sistem elektroda dengan larutan dapat digambarkan sebagai susunan komponen listrik yang terdiri dari resistor dan kapasitor listrik. Dapat dilihat pada Gambar 2.29.



Gambar 2.29 Skema diagram impedansi (Gamry, 2012)

Impedansi ini ditentukan oleh hukum ohm dan menjadi pemecahan dari Persamaan 2.54, yang mana ditunjukkan dengan Persamaan 2.55 dan 2.56 sebagai berikut,

$$Z(\omega) = \frac{E(t)}{I(t)} = Z'(\omega) + jZ''(\omega) \quad (2.55)$$

atau

$$Z = Z' + j Z'' \quad (2.56)$$

Dimana,

$E(t)$: Potensial yang bergantung dengan waktu (V)

$I(t)$: Arus yang bergantung dengan waktu (A)

Z' : Impedansi nyata

Z'' : Impedansi imajiner

t : Waktu

Dengan nilai Z' dan Z'' itu sendiri dapat dicari dengan mengikuti bentuk kurva setengah lingkaran atau *nyquist plot*

tersebut. Nilai tersebut memenuhi Persamaan 2.57 dan Persamaan 2.58.

$$Z' = R_s + \frac{R_p}{1 + \omega^2 R_p^2 C_{dl}^2} \quad (2.57)$$

$$Z'' = - \frac{\omega^2 R_p^2 C_{dl}^2}{1 + \omega^2 R_p^2 C_{dl}^2} \quad (2.58)$$

Dimana,

R_s : Nilai ketahanan pada larutan

R_p : Nilai ketahanan pada logam

C_{dl} : Konstanta *double-layer*

2.13 *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

Fourier Transform Infrared atau FTIR ialah sebuah metode yang menggunakan spektroskopi inframerah. FTIR menggunakan radiasi elektromagnetik yang bergerak dengan kecepatan cahaya dan memiliki variasi dalam bentuk panjang gelombang (Jenkins, 1996). Pada penggunaannya, radiasi inframerah dilewatkan pada sampel. Sebagian radiasi tersebut diserap oleh sampel dan sebagian lagi dilewatkan dan ditransmisikan. Adanya analisis gugus fungsi dengan menggunakan FTIR ini memiliki tujuan untuk mengetahui proses yang terjadi pada pencampuran baik fisik maupun kimia. FTIR digunakan untuk mengamati interaksi molekul dengan menggunakan radiasi elektromagnetik yang berada pada panjang gelombang 0,75 – 1000 μm atau pada bilangan gelombang sekitar 13.000 – 10 cm^{-1} . Penggunaan FTIR meliputi analisa senyawa organik dan anorganik, analisa kualitatif berupa analisa gugus fungsi (dimana ditunjukkan dengan puncak atau *peak* dari tiap gugus fungsi yang spesifik), analisa kuantitatif dengan melihat kekuatan absorpsi dari senyawa pada panjang gelombang tertentu.

Besarnya energi yang digunakan dalam dalam meregangkan suatu ikatan pada atom unsur bergantung pada tegangan yang terjadi pada ikatan dan massa dari atom yang terikat. Bilangan gelombang serapan itu sendiri dapat dicari dengan memanfaatkan penurunan persamaan dari Hukum Hooke. Sejatinya, saat suatu

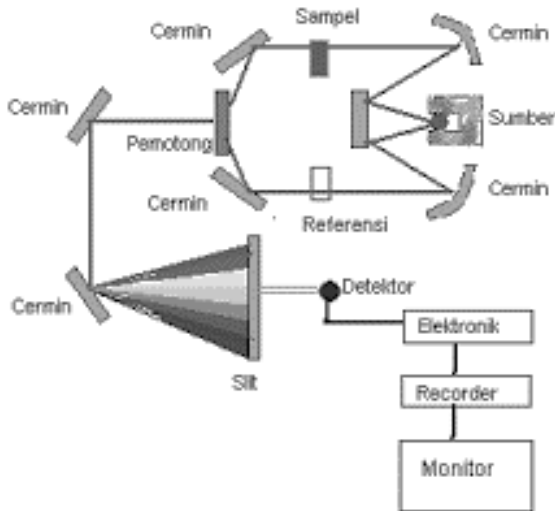
ikatan antar atom kuat dan atom tersebut ringan, maka frekuensi yang dihasilkan dari ikatan tersebut sangat tinggi. Semakin kuatnya suatu ikatan, maka semakin besar energi yang dibutuhkan dalam meregangkan ikatan tersebut. Menurut teorinya, frekuensi saat vibrasi berbanding terbalik dengan massa atom, sehingga vibrasi atom yang berat terjadi pada saat frekuensi rendah (Bruice, 2001).

Terdapat dua jenis vibrasi, yaitu vibrasi ulur dan tekuk. Vibrasi ulur ialah suatu gerakan berirama di sepanjang sumbu ikatan sehingga jarak antar atom bertambah atau berkurang. Sedangkan vibrasi tekuk terjadi akibat perubahan sudut – sudut ikatan antara ikatan – ikatan pada sebuah atom (Silverstein, 1998).

Berdasarkan panjang gelombang, terdapat pembagian zona pada sinar inframerah, yaitu:

1. Inframerah berjarak dekat (Panjang gelombang yang dihasilkan berkisar 0.75 – 1.5 μm).
2. Inframerah berjarak menengah (Panjang gelombang yang dihasilkan berkisar 1.5 – 10 μm).
3. Inframerah berjarak jauh (Panjang gelombang yang dihasilkan berkisar 10 – 100 μm).

Secara umum, cara kerja FTIR ialah dengan menempatkan sampel yang diuji ke dalam *set holder*, kemudian dicari spektrum yang sesuai. Hasil didapatkan difaktogram hubungan antara bilangan gelombang dan intensitas (Baboian, 2005). Setiap gugus fungsi yang dihasilkan memiliki tiga jenis ikatan yaitu *stretching*, *bending*, dan *deformation*. Ketiga jenis ikatan tersebut menunjukkan bentuk dan posisi tiap ikatan. *Stretching*, penanda dari ikatan pada gugus fungsi memanjang. *Bending* dan *deformation*, penanda bahwa setiap ikatan dari gugus fungsi semakin mendekat ke arah atas atau ke arah bawah (Siregar, 2018). Skema kerja FTIR dapat dilihat pada Gambar 2.30 berikut ini.



Gambar 2.30 Skema alat FTIR (Anam, 2007)

Sistim optik Spektrofotometer FTIR seperti pada gambar diatas dilengkapi dengan cermin yang bergerak tegak lurus dan cermin yang diam. Dengan demikian radiasi infra merah akan menimbulkan perbedaan jarak yang ditempuh menuju cermin yang bergerak (M) dan jarak cermin yang diam (F). Perbedaan jarak tempuh radiasi tersebut adalah 2 yang selanjutnya disebut sebagai retardasi. Hubungan antara intensitas radiasi IR yang diterima detektor terhadap retardasi disebut sebagai interferogram. Sedangkan sistim optik dari Spektrofotometer IR yang didasarkan atas bekerjanya interferometer disebut sebagai sistim optik Fourier Transform Infra Red. Pada sistim optik FTIR digunakan radiasi LASER (Light Amplification by Stimulated Emmission of Radiation) yang berfungsi sebagai radiasi yang diinterferensikan dengan radiasi infra merah agar sinyal radiasi infra merah yang

diterima oleh detektor secara utuh dan lebih baik. Detektor yang digunakan dalam Spektrofotometer FTIR adalah TGS (Tetra Glycerine Sulphate) atau MCT (Mercury Cadmium Telluride). Detektor MCT lebih banyak digunakan karena memiliki beberapa kelebihan dibandingkan detektor TGS, yaitu memberikan respon yang lebih baik pada frekwensi modulasi tinggi, lebih sensitif, lebih cepat, tidak dipengaruhi oleh temperatur, sangat selektif terhadap energi vibrasi yang diterima dari radiasi infra merah (Griffiths, 1975).

Secara umum vibrasi akibat radiasi elektromagnetik terbagi menjadi empat jenis yang mana jenis – jenis vibrasi ini menjadi hal yang paling penting dalam menganalisa hasil uji FTIR. Jenis – jenisnya yaitu :

1. *Stretching vibration* (ν)
2. *In-plane bending vibration* (δ)
3. *Out-of plane bending vibration* (γ)
4. *Torsion vibration* (τ)

2.14 Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)

Atomic Absorption Spectrophotometry atau AAS merupakan instrumen atau alat uji yang digunakan untuk menentukan kadar suatu unsur dalam suatu senyawa yang didasarkan serapan atomnya. Analisa pada AAS memiliki prinsip dimana sampel yang berbentuk cairan atau likuid diubah menjadi bentuk aerosol, lalu bersama campuran gas bahan bakar masuk ke dalam nyala api, unsur yang dianalisa diubah menjadi atom. Metode ini berprinsip pada absorpsi cahaya yang dilakukan oleh atom. Cahaya yang diserap disebut absorbansi dan sinar yang diteruskan dinamakan emisi. Hubungan antara absorbansi dengan konsentrasi diturunkan dari hukum Lambert-Beer yang menjadi dasaran dalam analisa kuantitatif pada AAS (Lewen, 2011). Dua teori hukum tersebut didefinisikan sebagai berikut :

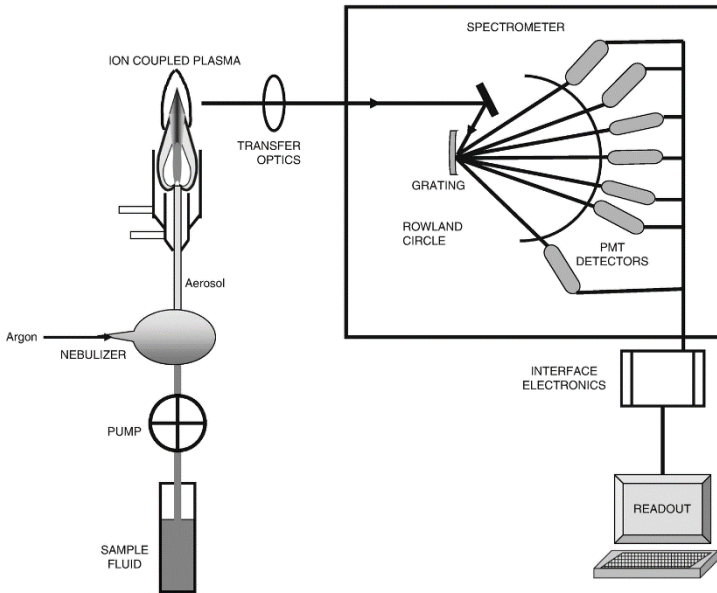
1. Hukum Lambert

Bila suatu sumber cahaya monokromatik melewati media tembus pandang, maka intensitas cahaya yang diteruskan menjadi berkurang seiring dengan bertambahnya ketebalan media yang mengabsorpsi.

2. Hukum Beer

Intensitas cahaya yang diteruskan berkurang secara eksponensial seiring dengan bertambahnya konsentrasi pada spesimen yang menyerap sinar tersebut.

Atom – atom tersebut menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu yang didasari oleh sifat dari unsurnya. Dengan absorpsi energi, berarti memperoleh lebih banyak energi, suatu atom pada keadaan dasar dinaikkan tingkat energinya ketingkat eksitasi. Keberhasilan analisis ini tergantung pada proses eksitasi dan memperoleh garis resonansi yang tepat. Setiap alat AAS terdiri tiga komponen, yaitu: unit atomisasi, sumber radiasi dan sistem pengukur fotometrik. Atomisasi dapat dilakukan dengan baik dengan nyala maupun dengan tungku. Untuk mengubah unsur metalik menjadi uap atau hasil disosiasi diperlukan energi panas. Temperatur harus benar-benar terkendali dengan sangat hati-hati agar proses atomisasinya sempurna. Biasanya temperatur dinaikkan secara bertahap, untuk menguapkan dan sekaligus mendisosiasikan senyawa yang dianalisis. Bila ditinjau dari sumber radiasi, haruslah bersifat sumber yang kontinyu. Disamping itu sistem dengan penguraian optis yang sempurna diperlukan untuk memperoleh sumber sinar dengan garis absorpsi yang semonokromator mungkin. Seperangkat garis emisi yang tajam dari suatu unsur yang spesifik tertentu dikenal sebagai lampu pijar hallow cathode. Dengan pemberian tegangan pada arus tertentu, logam mulai memijar, dan atom logam katodanya teruapkan dengan pemercikkan. Atom yang tereksitasi setelah kemudian mengemisikan radiasi pada panjang gelombang tertentu (Lewen, 2011). Skema prinsip kerja instrumen AAS dapat dilihat pada Gambar 2.31.



Gambar 2.31 Skema alat AAS (Lewen, 2011)

2.15 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.5 Penelitian terdahulu

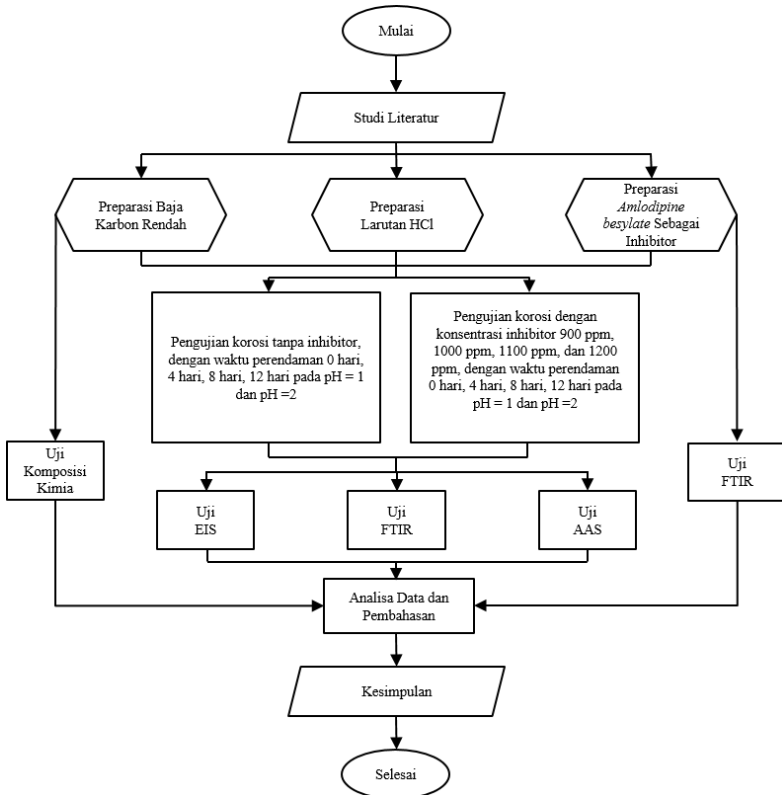
Peneliti	Bahan obat	Metal	Media	Pembahasan
Inemesit 2014	A., Amlodipine besylate	Mild steel	HCl	Efisiensi tertinggi didapatkan pada konsentrasi 0,01 M sebesar 86% dengan mekanisme adsorpsi fisik. Tipor korosi uniform.
A. S. Fouda, 2016	Amlodipine besylate	Low carbon steel	HCl	Efisiensi tertinggi didapatkan pada konsentrasi 250 ppm sebesar 84% dengan

					mekanisme adsorpsi fisik. Tipe korosi uniform.
Sudhish kumar sukla, 2009	Streptomycin	Mild Steel	HCl		Efisiensi tertinggi didapatkan pada konsentrasi 500 ppm sebesar 88,5 % dengan mekanisme adsorpsi fisik. Tipe korosi uniform.
S. Hari Kumar, 2012	Cloxacillin	Mild Steel	HCl		Efisiensi tertinggi didapatkan pada konsentrasi 15×10^{-4} M sebesar 80,5 %. Inhibitor tipe campuran. Tipe korosi pitting.
Gh. Golestani, 2014	Penicillin G, Ampicillin and Amoxicillin	Carbon Steel	HCl		Pada konsentrasi 10 mM Penicillin G efisiensi sebesar 98,4% , Ampicillin efisiensi sebesar 97,5% and Amoxicillin efisiensi sebesar 93%, dengan tipe adsorpsi kimia. Tipe korosi uniform.
R.S. Abdel Hameed, 2011	Ranitidine	Mild Steel	HCl		Efisiensi tertinggi didapatkan pada konsentrasi 400 ppm sebesar 92 % dengan mekanisme adsorption
Ishtiaque Ahamad, 2010	Mebendazole	Mild Steel	HCl		Efisiensi tertinggi didapatkan pada konsentrasi $2,54 \times 10^{-4}$ M sebesar 96,2 %. Inhibitor tipe campuran. Tipe korosi uniform.
Priyanka Singh, 2017	Atorvastatin	Mild Steel	HCl		Efisiensi tertinggi didapatkan pada konsentrasi 150 ppm sebesar 96,38 % dengan mekanisme

				adsorpsi fisik. Tipe korosi uniform.
P.Geethamani, 2014	Lupicof	Mild Steel	HCl	Efisiensi tertinggi didapatkan pada konsentrasi 0,9 M sebesar 70,86% dengan mekanisme inhibitor campuran. Tipe korosi pitting.
R. S. Abdel Hameed, 2014	Voltaren	Al	HCl	Efisiensi tertinggi didapatkan pada konsentrasi 125 ppm sebesar 89,7 % dengan mekanisme inhibitor campuran. Tipe korosi pitting.
P.Geethamani, 2016	Asthalin	Mild Steel	HCl	Efisiensi tertinggi didapatkan pada konsentrasi 0,9 mM sebesar 94,76 % dengan mekanisme adsorpsi fisik. Tipe korosi uniform.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram alir

3.2 Metode Penelitian

Pada penelitian, agar didapatkan segala data yang spesifik dalam penyelesaian masalah dalam suatu penelitian maka diperlukan langkah - langkah yang sistematis, urut dan terstruktur. Adapun langkah - langkah sistematis tersebut adalah sebagai berikut ini.

3.2.1 Studi Literatur

Dalam pembuatan suatu karya ilmiah atau sebuah penelitian, diharapkan memiliki rancangan penyusunan yang sistematis agar dapat memudahkan langkah - langkah yang diambil sehingga hasil dari penelitian itu sendiri menjadi sempurna dan sedikit kesalahan yang dihasilkan. Begitu pula yang dilakukan sang penulis dalam melakukan penelitian ini, langkah awal yaitu dengan melakukan studi literatur. Studi literatur itu sendiri merupakan suatu cara yang dilakukan oleh setiap peneliti yang mana digunakan sebagai dasaran teori terhadap acuan yang sudah ada, seperti mempelajari secara singkat dari penelitian terdahulu atau sudah ada dan menjadi sumber yang nantinya dapat digunakan sebagai pedoman dalam penelitian atau acuan sendiri. Tujuan dilakukannya studi literatur yaitu agar meyakinkan setiap pembaca bahwa penelitian yang dilakukan masih sejalan dan sesuai dengan teori yang sudah dilakukan sehingga kebenarannya bisa di buktikan. Manfaat lain dalam melakukan studi literatur itu sendiri adalah mengevaluasi penelitian yang terkait sebelumnya dengan penelitian yang sedang dilakukan dan juga sebagai pengembangan penelitian.

3.2.2 Eksperimental

Pada penelitian ini, material yang digunakan merupakan baja karbon rendah, dikarenakan baja karbon rendah memiliki *corrosion resistance* yang rendah dibandingkan baja lainnya. Selain itu material ini juga diaplikasikan sebagai perpipaan, baik digunakan menjadi pipa perminyakan maupun pipa industri obat - obatan, sebagai kerangka bangunan, dan masih banyak lagi aplikasi dari baja karbon rendah yang lainnya karena baja karbon

rendah memiliki sifat *machineability* yang baik sehingga mudah dibentuk.

Dalam pemilihan bahan inhibitor, tepatnya obat amlodipine yang mana sebagai obat hipertensi, dilakukan dengan memperhatikan kandungan yang terdapat di dalam obat amlodipin tersebut yaitu adanya senyawa *Amlodipine besylate* yang mana senyawa tersebut diindikasikan dapat menghambat proses jalannya korosi terhadap *mild steel* pada lingkungan yang korosif. Oleh karena itu, bahan inhibitor yang digunakan pada penelitian ini adalah obat amlodipin.

Penggunaan media yang dipakai pada penelitian ini adalah HCl (Asam Klorida). Media dirancang sedemikian dikarenakan pada kondisi nyata, larutan HCl biasa digunakan sebagai cairan dalam proses *chemical cleaning* pada sebuah tanki maupun pada kondenser. Disamping itu juga HCl itu sendiri merupakan asam yang paling sulit untuk dikendalikan pada proses korosi.

Sebagai pendukung dari penelitian ini dilakukan beberapa pengujian seperti uji komposisi kimia, uji polarisasi, uji *Electrochemical Impedance Spectroscopy*, uji *Microscope Stereo*, uji FTIR, dan juga uji AAS.

3.3 Peralatan Penelitian

Dalam penelitian ini, peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut ini :

1. Penggaris
2. Jangka sorong
3. Gerinda tangan
4. Gergaji besi
5. Pipa PVC
6. Gunting
7. Kabel
8. Solder
9. Amplas grade 120, 200, 400, 600, 800
10. Pipet
11. Labu ukur

12. Timbangan digital
13. Kamera digital
14. Peralatan pengujian komposisi kimia
15. Peralatan pengujian Polarisasi
16. Peralatan pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy*
17. Peralatan pengujian FTIR
18. Peralatan pengujian *Microscope Stereo*
19. Peralatan pengujian AAS

3.4 Bahan Penelitian

Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Material

Material sebagai spesimen dalam penelitian menggunakan baja karbon rendah. Spesimen yang digunakan dirancang agar memiliki dimensi \varnothing 19 mm x 10 mm. Dengan komposisi kimia yang didapat setelah melakukan pengujian *Optical Emission Spectrometer*..

2. Elektrolit

Elektrolit atau larutan yang digunakan sebagai media penelitian ini adalah asam klorida (HCl).

3. Inhibitor

Inhibitor dalam pengujian ini menggunakan obat amlodipine besylate.



Gambar 3.2 Obat amlodipine besylate

Variasi konsentrasi inhibitor korosi yang digunakan sebesar 900 ppm, 1000 ppm, 1100 ppm, 1200 ppm. Inhibitor dari obat ini pun dibandingkan dengan larutan yang tidak menggunakan inhibitor atau 0 ppm. Kemudian divariasikan dengan pH sebesar 1 dan 5.

4. Aquades

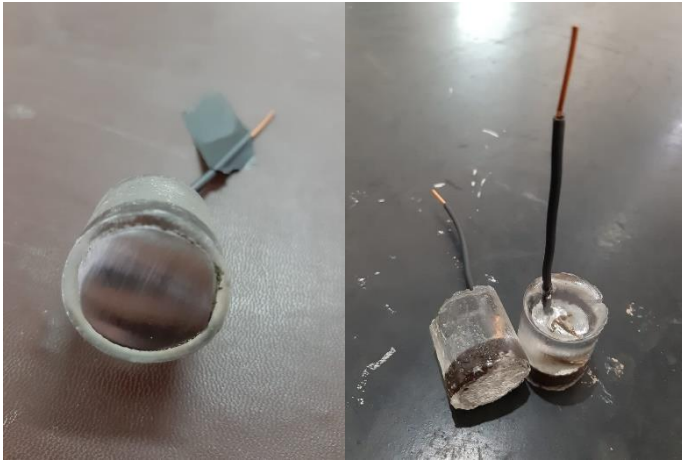
Aquades digunakan dalam pembuatan larutan elektrolit.

5. Resin *Epoxy*

Penggunaan resin ini ada pada desain spesimen agar dapat dilakukan pengujian tafel dan EIS.

3.5 Preparasi Spesimen

Pada penelitian ini digunakan baja karbon rendah. Baja tersebut di desain dengan ukuran dan bentuk tertentu dengan maksud digunakan dalam pengujian tertentu. Dalam pengujian potensiostat, material di potong dengan ukuran diameter 19 mm dengan tebal 10 mm menggunakan gerinda tangan. Penggunaan ukuran tersebut dilakukan agar material tidak memiliki ukuran terlalu besar namun memiliki bagian alas yang cukup untuk diuji. Material yang telah dipotong, dibentuk menjadi elektroda dengan cara menyambungkan potongan material tersebut dengan kabel tembaga yang telah dikupas bagian ujungnya, disalah satu sisinya menggunakan solder dan timah, setelah tersambung material diberi resin *epoxy*. Pemberian resin epoxy harus menggunakan cetakan yang terbuat dari pipa PVC yang telah dipotong menggunakan gergaji besi dan diukur sekitar 20 mm dengan meninggalkan sisi yang satunya lagi (tanpa kabel) terbuka ke lingkungan, baru setelah itu resin *epoxy* dapat dituangkan ke dalam pipa PVC yang didalamnya terdapat spesimen yang telah dibentuk seperti tadi. Setelah resin kering, spesimen tersebut dapat dikeluarkan dari cetakan pipa PVC dan kemudian dilakukan pengamplasan. Bagian permukaan spesimen yang terbuka ke lingkungan tadi diampelas hingga *grade* 800 saja, sehingga didapatkan permukaan spesimen uji yang rata dan halus. Dapat dilihat pada Gambar 3.3 dibawah ini.



Gambar 3.3 Spesimen uji

3.6 Preparasi Inhibitor

Pembuatan inhibitor dari obat amlodipine diawali dari penumbukan tablet – tablet obat menggunakan mortar hingga halus. Lalu ditimbang sesuai dengan ukuran yang dibutuhkan dalam penelitian pada pembuatan larutan dengan variasi inhibitor 900 ppm, 1000 ppm, 1100 ppm, dan 1200 ppm. Massa yang ditimbang disesuaikan, untuk konsentrasi 900 ppm dibutuhkan obat amlodipin besilat sebanyak 45 mg. Untuk konsentrasi 1000 ppm dibutuhkan obat amlodipin besilat sebanyak 50 mg. Untuk konsentrasi 1100 ppm dibutuhkan obat amlodipin besilat sebanyak 55 mg. Dan untuk konsentrasi sebesar 1200 ppm dibutuhkan obat amlodipin besilat sebanyak 60 mg.

3.7 Preparasi Larutan Elektrolit

Larutan elektrolit yang digunakan pada penelitian ini adalah asam klorida (HCl). Proses dalam pembuatan larutan tersebut adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan HCl 37% sebanyak 8.28ml HCl dalam pembuatan pH = 1 dan sebanyak 0.000828ml untuk membuat pH = 5.
2. Menyiapkan aquades pH = 1 dan pH = 5.
3. Melakukan pengenceran HCl dengan cara menuangkan HCl untuk berbagai konsentrasi ke dalam aquades yang telah diukur untuk masing – masing larutan.
4. Menyiapkan inhibitor sesuai dengan ketentuan konsentrasi yang dibutuhkan, sebagai contoh 1000 ppm adalah 1 gr/L larutan elektrolit.
5. Mencampurkan inhibitor tersebut ke dalam larutan HCl.

3.8 Pengujian - Pengujian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa pengujian yang dilakukan sebagai data pendukung diantaranya sebagai berikut :

3.8.1 Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia diperuntukkan bagi material yang dipakai pada penelitian ini yang memiliki tujuan agar unsur – unsur penyusun pada spesimen benda uji dapat diketahui. Peralatan yang digunakan yaitu spektrum Avio 200 ICP-OES yang mana pengujian ini dilakukan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS).

3.8.2 Pengujian Polarisasi dan EIS

Baik pengujian polarisasi maupun pengujian EIS dilakukan di Laboratorium Korosi dan Kegagalan Material Departemen Teknik Material FTI – ITS. Instrumen yang digunakan pada pengujian ini menggunakan *Wuhan Corrtest Instrument* dengan *software* yang digunakan dalam mengolah data adalah *Corrtest v5.5*, ditunjukkan pada Gambar 3.4 berikut ini.



Gambar 3.4 Instrumen uji polarisasi dan EIS

Uji polarisasi dilakukan untuk menganalisa laju korosi pada spesimen benda uji pada larutan HCl dengan variasi konsentrasi inhibitor yang digunakan pada penelitian ini. Prosedur yang dilakukan dalam pengujian polarisasi meliputi preparasi spesimen yang mana spesimen sebelum dilakukan pengujian sudah dilakukan proses penghalusan pada bagian permukaan uji, lalu preparasi larutan elektrolit, baik larutan HCl tanpa inhibitor maupun dengan berbagai variasi konsentrasi inhibitor yang digunakan, dan mempersiapkan peralatan pengujian polarisasi.

Ada beberapa komponen penting yang harus diperhatikan pada potensiostat, yaitu :

1. *Work Electrode* (Elektroda Kerja)
2. *Reference Electrode* (Elektroda Acuan)
3. *Counter Electrode* (Elektroda Bantu)

yang mana setting alat yang digunakan pada uji polarisasi ini sebagaimana ditampilkan pada Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Setting program uji polarisasi

Elektroda Kerja	Baja karbon rendah
Elektroda Bantu	Grafit
Elektroda Acuan	SCE
Densitas (gr/cm^3)	7.85
Luasan Terekspos (cm^2)	2.84
Scan Rate (mV/s)	5
Scan range	$\pm 50\text{mV}$

Hasil dari pengujian polarisasi didapatkan kurva polarisasi yang menyatakan hubungan antara potensial dan arus yang terjadi pada spesimen uji. Setelah didapatkan kurva polarisasi, dilakukan metode ekstrapolasi tafel guna mendapatkan titik dimana potensial dan arus korosi terjadi. Keluaran dari pengujian ini berupa E_{Corr} (Potensial korosi), I_{Corr} (Rapat Arus), dan *Corrosion rate* (Laju korosi).

Kemudian, uji EIS dilakukan untuk menganalisa mekanisme korosi dan mekanisme inhibisi yang terjadi dan diimplementasikan dalam ketahanan logam sampel terhadap aliran arus yang melaluinya. Metode ini berdasarkan respon sirkuit terhadap voltase AC. Sebagai fungsi frekuensi. Pengukuran impedansi elektrokimia dilakukan pada kondisi potensiostatik dengan menggunakan *software Zview v5.5* pada *Wuhan Corrtest Instrument* dengan amplitudo 10 mV dengan *real part* (Z') maupun *imaginary part* (Z'') diukur pada berbagai frekuensi dalam *range* 100000 Hz sampai 0.01 Hz. Nilai ketahanan transfer muatan (R_{ct}) diperoleh dari diameter *semicircles* dari *Nyquist plot*. *Setting* alat yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.2 dibawah ini.

Tabel 3.2 *Setting* program uji EIS

Elektroda Kerja (WE)	Baja Karbon Rendah
Elektroda Bantu (AE)	Grafit
Elektroda Acuan (RE)	SCE
Densitas (gr/cm³)	7.85
Luasan Terekspos (cm²)	2.84
Frekuensi Mulai (Hz)	100000
Frekuensi Selesai (Hz)	0.01

Prosedur pengujian polarisasi adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan alat dan bahan yaitu spesimen, campuran larutan (HCl) dan ekstrak sampel tanpa inhibitor dan dengan konsentrasi inhibitor tertinggi (mg/l) gelas ukur 1000 ml, dan alat pengujian EIS beserta komponennya.
2. Memasang elektroda pada rangkaian EIS.
3. Menyalakan alat uji EIS *CorrTest*.
4. Mengaktifkan program *ZView* dan memasukkan parameter pengujian lalu menjalankan program.

3.8.3 Pengujian FTIR

Pengujian FTIR ini dilakukan di Laboratorium Material karakteristik Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS, dengan menggunakan alat Uji Nicolet iS10 yang dapat dilihat pada Gambar 3.5. Pengujian FTIR dilakukan untuk menganalisa gugus - gugus fungsi dan kurva spektrum FTIR yang terbentuk pada inhibitor ekstrak daun pandan serta baja mild steel yang telah dilakukan perendaman dalam uji *Weightloss*. Metode spektroskopi yang digunakan dalam pengujian FTIR adalah metode absorpsi yaitu suatu metode yang didasarkan atas perbedaan penyerapan radiasi inframerah. Spektrum inframerah tersebut dihasilkan dari pentransmisiian cahaya yang melewati sampel, pengukuran intensitas cahaya dengan detektor dan dibandingkan dengan intensitas tanpa sampel sebagai fungsi dari panjang gelombang. Dari panjang gelombang tersebut, dapat

ditentukan gugus fungsi yang bersesuaian dengan panjang gelombang yang terekam pada masing-masing sampel.



Gambar 3.5 Alat uji FTIR

Dari panjang gelombang tersebut, dapat ditentukan gugus fungsi yang bersesuaian dengan Panjang gelombang yang terekam pada masing-masing sampel.

Adapun langkah-langkah pengujian sebagai berikut:

1. Menggunakan sel kristal K_rS 5 yang berupa silindir merah.
2. Masukkan sel ke dalam *holder* yang memiliki lubang berbentuk persegi panjang pada bagian tengah, lalu dikunci dengan 4 baut yang tersedia.
3. Ukur BKG terlebih dahulu.
4. Masukkan sampel pada permukaan sel. Kemudian diukur dengan cara pengoperasian yang sama dengan sampel film.
5. Jika diperoleh *peak* yang sangat lebar, berarti larutan yang dibuat terlalu pekat sehingga perlu dilakukan pengenceran terlebih dahulu menggunakan pelarut organik sampai *peak* yang dihasilkan menjadi normal.

3.8.4 Pengujian AAS

Pengujian yang dilakukan di Laboratorium Balai Penelitian dan Konsultasi Industri Surabaya menggunakan *instrumen* seri 230ATS AAS ini bertujuan untuk menganalisa kadar Fe terlarut pada larutan sampel yang telah dilakukan perendaman. Pengujian ini dilakukan dengan maksud apakah ada perbedaan antara larutan tanpa inhibitor dan larutan dengan penambahan inhibitor.

Pada pengujian ini, yang diteliti lebih lanjut adalah kadar Fe terlarutnya. Metode AAS berprinsip pada absorpsi cahaya oleh atom, atom-atom menyerap cahaya tersebut pada panjang gelombang tertentu, tergantung dari sifat unsurnya. Apabila cahaya dengan panjang gelombang tertentu dilewatkan pada suatu sel yang mengandung atom-atom bebas yang bersangkutan maka sebagian cahaya tersebut diserap dan intensitas penyerapan berbanding lurus dengan banyaknya atom bebas logam yang berada pada sel. Nilai absorpsi didapatkan dari pengujian ini, lalu dari nilai absorpsi didapatkan fungsi tertentu untuk mendapatkan konsentrasi unsur yang diinginkan, pada penelitian ini ialah Fe.

Adapun langkah dari pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan larutan standar.
2. Preparasi sampel.
3. Memilih garis resonansi.
4. Optimasi kondisi alat.
5. Membaca absorbansi larutan standar.
6. Membaca absorbansi larutan sampel.
7. Meninterpolasi absorbansi larutan sampel pada kurva linier.

3.8.5 Pengujian Microscope Metalurgi

Hasil yang didapat pada pengujian Mikroskop Metalurgi adalah berupa gambar perbesaran dibagian permukaan baja untuk melihat bagaimana perbedaan kondisi saat korosi di permukaan baja dengan ada atau tanpa pemberian inhibitor. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pengujian ini dilakukan dengan maksud apakah terdapat perbedaan jenis korosi pada spesimen yang tanpa inhibitor dan spesimen yang sudah dilakukan proses perendaman.

Mekanisme dalam pengambilan data *Microscope Stereo* adalah dengan cara menaruh objek yang diamati diatas kaca objek lalu mengatur lensa okuler sehingga hasil yang diinginkan dapat terlihat. Berikut ini adalah langkah-langkah dalam pengujian *Microscope Stereo*, sebagai berikut :

1. Menyiapkan sampel yang digunakan.
2. Menaruh sampel ke meja kaca dan berikan penyorotan.
3. Atur jarak kedua lensa okuler sehingga sesuai dengan jarak mata.
4. Fokuskan objek dengan memutar sekrup pengarah.
5. Memfoto hasil objek yang digunakan sehingga hasilnya diterima melalui komputer

3.9 Rancangan Pengambilan Data Penelitian

Adapun rancangan jadwal kegiatan sebagai berikut :

Tabel 3.3 Rancangan penelitian

pH	Konsentrasi Inhibitor (ppm)	Waktu Perendaman (hari)	Uji Polarisasi	uji EIS	uji AAS	Uji FTIR	Uji Microscope Stereo
1	0	0	√	√	-	-	-
		4	√	√	-	-	-
		8	√	√	-	-	-
		12	√	√	√	√	√
	900	0	√	√	-	-	-
		4	√	√	-	-	-
		8	√	√	-	-	-
		12	√	√	-	-	-
	1000	0	√	√	-	-	-
		4	√	√	-	-	-
		8	√	√	-	-	-
		12	√	√	-	-	-
1100	0	√	√	-	-	-	

		4	√	√	-	-	-
		8	√	√	-	-	-
		12	√	√	-	-	-
		0	√	√	-	-	-
	1200	4	√	√	-	-	-
		8	√	√	-	-	-
		12	√	√	-	-	-
		0	√	√	-	-	-
	0	4	√	√	-	-	-
		8	√	√	-	-	-
		12	√	√	-	-	-
		0	√	√	-	-	-
	900	4	√	√	-	-	-
		8	√	√	-	-	-
		12	√	√	-	-	-
		0	√	√	-	-	-
5	1000	4	√	√	-	-	-
		8	√	√	-	-	-
		12	√	√	-	-	-
		0	√	√	-	-	-
	1100	4	√	√	-	-	-
		8	√	√	-	-	-
		12	√	√	-	-	-
		0	√	√	-	-	-
	1200	4	√	√	-	-	-
		8	√	√	-	-	-
		12	√	√	√	√	√

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

Setelah berbagai pengujian pada penelitian ini dilakukan, maka dilakukan analisa data dari hasil yang diperoleh. Sebagaimana ditunjukkan sebagai berikut.

4.1.1 Hasil Pengujian OES

Dari hasil pengujian *Optical Emission Spectrometer* (OES) didapatkan hasil komposisi kimia dari baja karbon rendah sebagai spesimen uji sebagai berikut :

Tabel 4.1 Komposisi kimia baja karbon rendah

%Carbon	%Manganese	%Phosphorus	%Sulfur	%Silicon
0.303	1.02	0.0134	0.0016	0.255

Berdasarkan hasil pengujian OES pada Tabel 4.1 tersebut, spesimen yang digunakan dalam penelitian tergolong ke dalam baja karbon rendah karena memiliki kadar persen karbon 0.3 %C.

4.1.2 Hasil Pengujian Polarisasi

Uji polarisasi potensiodinamik ini bertujuan agar didapatkannya nilai laju korosi pada baja karbon rendah yang digunakan sebagai sampel uji. Pada penelitian ini, pengujian polarisasi yang dilakukan menggunakan beberapa sampel uji yang diantaranya adalah sampel yang direndam tanpa menggunakan inhibitor dan dengan menggunakan inhibitor obat *amlodipine besylate* dengan variasi konsentrasi sebesar 900 ppm, 1000 ppm, 1100 ppm, dan 1200 ppm. Disamping itu, variasi pH dan variasi waktu juga digunakan diantaranya yaitu pengujian dilakukan pada pH 1 dan pH 5 dengan waktu perendaman hingga 12 hari dengan catatan tidak diperbolehkan untuk mengeluarkan spesimen selama perendaman berlangsung. Berikut ini merupakan analisa data polarisasi selama perendaman berlangsung, dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.2 Hasil uji polarisasi pada pH 1 dengan berbagai variasi konsentrasi *amlodipine besylate* pada baja karbon rendah

No.	Konsentrasi Inhibitor (ppm)	Waktu (Hari)	Laju Korosi (mmpy)	Efisiensi (%)
1	0		1.563	-
2	900		0.543	65.21
3	1000	0	0.444	71.60
4	1100		0.782	49.97
5	1200		1.199	23.29
6	0		1.349	-
7	900		0.430	72.466
8	1000	1	0.356	77.223
9	1100		0.643	58.850
10	1200		0.959	38.609
11	0		0.741	-
12	900		0.273	82.524
13	1000	4	0.346	77.858
14	1100		0.518	66.873
15	1200		0.665	57.457
16	0		1.567	-
17	900		0.146	90.615
18	1000	5	0.129	91.694
19	1100		0.349	77.630
20	1200		0.528	66.196
21	0		1.322	-
22	900		0.143	90.849
23	1000	6	0.174	88.858
24	1100		0.606	61.231
25	1200		0.488	68.738
26	0		1.340	-
27	900		0.179	88.502
28	1000	8	0.206	86.790
29	1100		0.980	37.269
30	1200		0.485	68.932

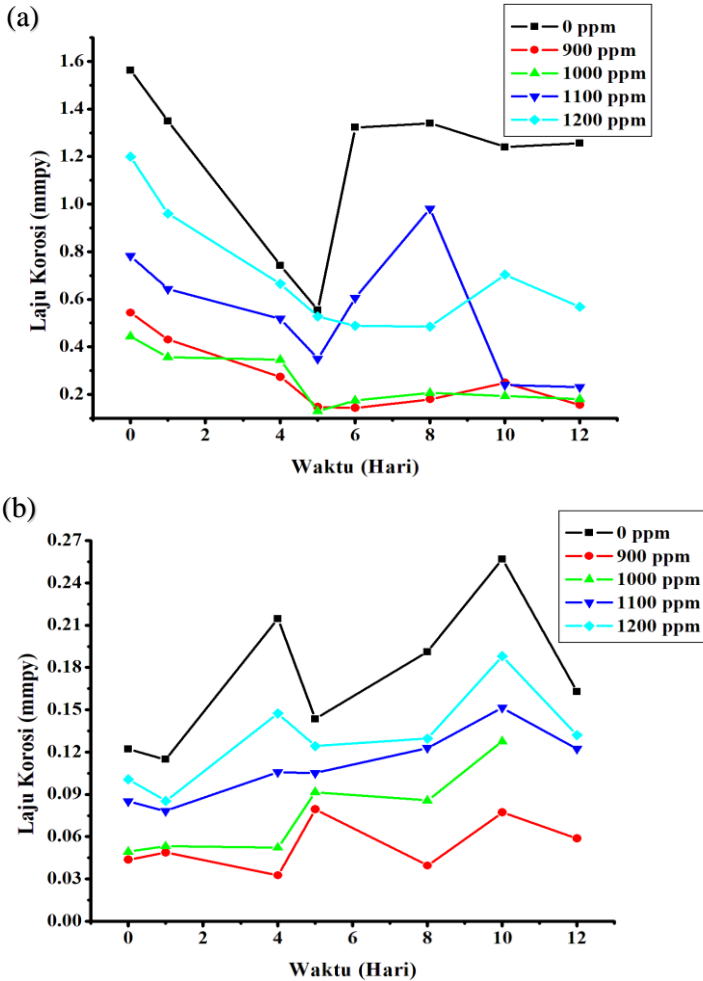
31	0		1.239	-
32	900		0.249	84.067
33	1000	10	0.193	87.598
34	1100		0.240	84.643
35	1200		0.703	55.026
36	0		1.255	-
37	900		0.156	90.003
38	1000	12	0.180	88.438
39	1100		0.231	85.217
40	1200		0.568	63.658

Tabel 4.3 Hasil uji polarisasi pada pH 5 dengan berbagai variasi konsentrasi *amlodipine besylate* pada baja karbon rendah

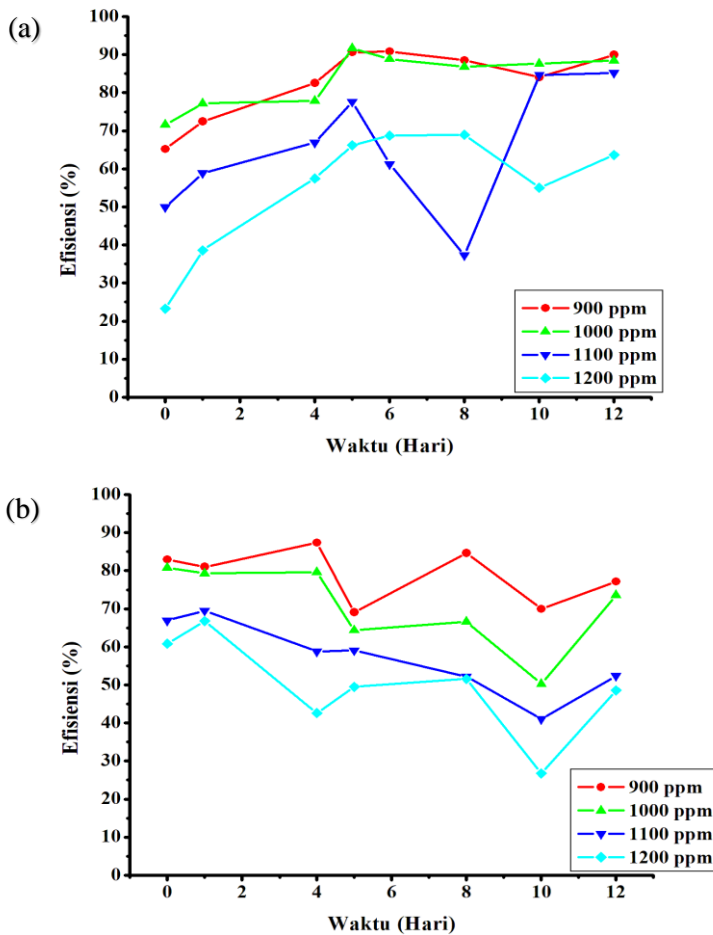
No.	Konsentrasi Inhibitor (ppm)	Waktu (Hari)	Laju Korosi (mmpy)	Efisiensi (%)
1	0		0.122	-
2	900		0.043	82.973
3	1000	0	0.049	80.797
4	1100		0.084	66.919
5	1200		0.100	60.795
6	0		0.114	-
7	900		0.048	81.036
8	1000	1	0.053	79.291
9	1100		0.078	69.518
10	1200		0.085	66.785
11	0		0.256	-
12	900		0.032	87.344
13	1000	4	0.052	79.663
14	1100		0.105	58.782
15	1200		0.147	42.591
16	0		0.143	-
17	900	5	0.079	69.111
18	1000		0.091	64.380
19	1100		0.105	59.055

20	1200		0.124	51.582
21	0		0.191	-
22	900		0.039	84.636
23	1000	8	0.085	66.633
24	1100		0.122	52.155
25	1200		0.129	49.534
26	0		0.214	-
27	900		0.077	69.968
28	1000	10	0.127	50.301
29	1100		0.151	41.030
30	1200		0.188	26.778
31	0		0.162	-
32	900		0.058	77.128
33	1000	12	0.067	73.578
34	1100		0.122	52.392
35	1200		0.132	48.565

Dari Tabel 4.2 dan Tabel 4.3, dibentuk grafik laju korosi dan efisiensi terhadap waktu untuk berbagai variasi pH HCl sebagai mana yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 sebagai hasil ekstrapolasi kurva polarisasi potensial (E) vs densitas arus (I).



Gambar 4.1 Grafik laju korosi pada a) pH 1 dan b) pH 5 terhadap waktu perendaman baja karbon rendah dengan ada dan tidak adanya inhibitor korosi

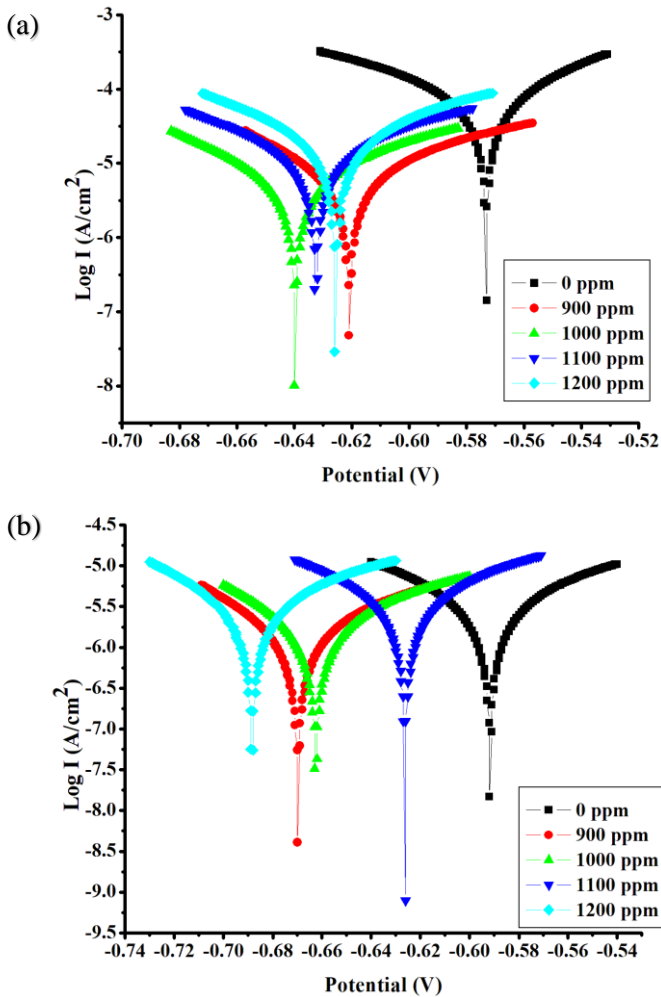


Gambar 4.2 Grafik efisiensi pada a) pH 1 dan b) pH 5 terhadap waktu perendaman baja karbon rendah dengan ada dan tidak adanya inhibitor korosi

Dari Gambar 4.1 tersebut, didapatkan bahwa laju korosi yang terjadi fluktuatif. Untuk pH 1, laju korosi pada setiap penambahan konsentrasi *amlodipine besylate* cenderung turun hingga waktu perendaman hari ke-5 laju korosi terendah dicapai oleh konsentrasi inhibitor 1000 ppm sebesar 0.129 mmpy, namun pada penambahan ppm 1100 ppm mengalami kenaikan yang ekstrem hingga hari ke-10 kemudian turun kembali setelah itu cenderung konstan untuk semua ppm. Untuk pH 5, laju korosi yang terjadi tidak signifikan. Pada awalnya laju korosi mengalami penurunan untuk 1100 ppm dan 1200 ppm sedangkan untuk 900 ppm dan 1000 ppm mengalami kenaikan pada satu hari perendaman. Kemudian, laju korosi naik untuk penambahan 1100 ppm dan 1200 ppm namun untuk penambahan 900 ppm dan 1000 ppm mengalami penurunan selama empat hari waktu perendaman. Lalu, laju korosi cenderung meningkat untuk setiap penambahan konsentrasi setelah lima hari waktu perendaman dan seterusnya hingga dua belas hari tercapai dengan laju korosi terendah terjadi pada hari keempat pada konsentrasi 900 ppm sebesar 0.032 mmpy.

Gambar 4.2, bahwa terjadi fluktuatif dan berhubungan dengan grafik laju korosi terhadap waktu. Efisiensi terbaik pada pH 1 terjadi pada hari ke-5 sebesar 91.694% dan pada pH 5 terjadi pada hari ke-4 sebesar 87.344%.

Maka dari itu, selanjutnya digunakan data yang merupakan data yang memiliki nilai laju korosi dan efisiensi yang terbaik pada hari kelima untuk pH 1 dan hari keempat untuk pH 5 diuji polarisasi dan EIS.



Gambar 4.3 Kurva polarisasi dengan variasi konsentrasi inhibitor pada a) pH 1 hari kelima dan b) pH 5 hari keempat

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi inhibitor obat *amlodipine besylate* menggeser kurva ke arah kiri yang bermakna inhibitor bersifat katodik. Kurva juga bergeser ke arah bawah menunjukkan penurunan laju korosi. Berikut ditampilkan Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Olah data hasil uji polarisasi pada pH 1 hari kelima dan pH 5 hari keempat

Media	pH	Konsentrasi Inhibitor (ppm)	E_{corr} (V)
HCl	1	0	-0.573
		900	-0.620
		1000	-0.639
		1100	-0.632
		1200	-0.625
	5	0	-0.588
		900	-0.669
		1000	-0.662
		1100	-0.688
		1200	-0.651

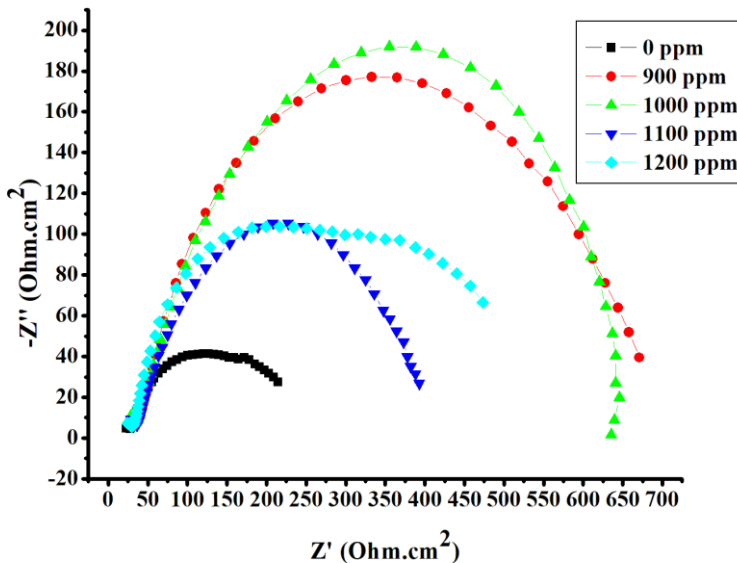
Tabel 4.4 menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi inhibitor baik pada pH 1 hari kelima dan pH 5 hari keempat menyebabkan nilai potensial korosinya semakin kecil (negatif). Untuk pH 1 hari kelima, nilai potensial terkecil ada pada 1000 ppm, sehingga pada konsentrasi inhibitor tersebut semakin katodik sifatnya dari pada konsentrasi inhibitor yang lain. Untuk pH 5 hari keempat, nilai potensial terkecil ada pada 1100 ppm, sehingga pada konsentrasi inhibitor tersebut semakin katodik.

4.1.3 Hasil Pengujian EIS

Pada pengujian ini sampel yang digunakan merupakan sampel dari tiap pH dengan lama waktu perendaman yang memiliki efisiensi terbaik. Hasil yang didapat dari pengujian EIS merupakan kurva dengan bentuk setengah lingkaran atau dengan nama lain

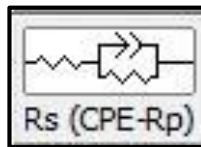
kurva *nyquist* dimana sumbu x pada kurva menyatakan nilai impedansi nyata atau real (Z') sedangkan sumbu y pada kurva menyatakan nilai impedansi imajiner (Z'').

Setelah *setting* pada program uji disesuaikan program uji dapat dijalankan dan dilakukan proses *fitting*. Metode *fitting* pada *software* ini digunakan agar dapat dianalisa sifat listrik material yang terekspos pada elektrolit sehingga kurva setengah lingkaran (*Nyquist*) terbentuk. Terbentuknya kurva setegah lingkaran disebabkan oleh permukaan material atau logam yang tidak homogen, adanya pengotor atau impuritas, juga karena adanya tegangan sisa.



Gambar 4.4 Grafik plot *nyquist* dengan variasi konsentrasi inhibitor pada pH 1 hari kelima

Gambar 4.4 merupakan kurva setengah lingkaran (*Nyquist*) tanpa inhibitor dan variasi konsentrasi inhibitor yang direndam didalam HCl dengan pH 1 dengan waktu perendaman selama lima hari. Bertambahnya konsentrasi inhibitor yang ditambahkan maka diameter kurva setengah lingkaran tersebut terlihat besar. Setelah kurva didapat, selanjutnya dilakukan *data fitting* menggunakan sirkuit ekuivalen yang sesuai yang mana dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut ini.



Gambar 4.5 Sirkuit ekuivalen *data fitting*

Penggunaan sirkuit tersebut disesuaikan dengan hasil yang didapat. Parameter yang terdapat pada sirkuit tersebut adalah nilai tahanan larutan (R_s), Konstanta fasa elemen (CPE), dan nilai tahanan logam (R_p), dengan hasil dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut ini.

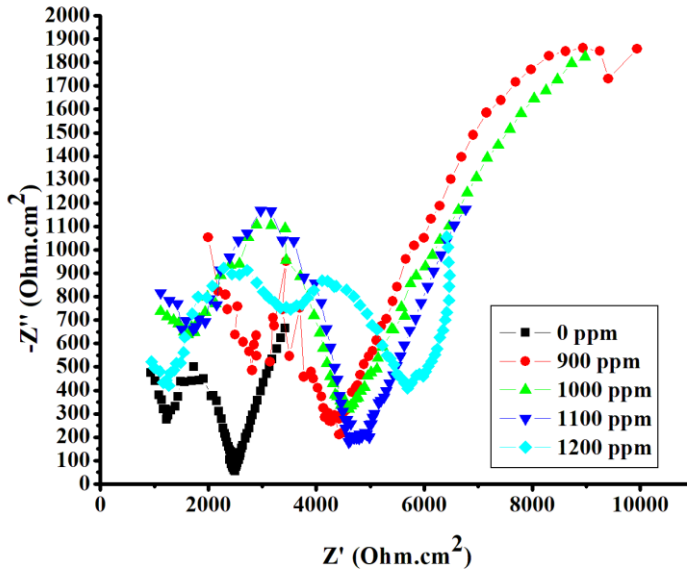
Tabel 4.5 Analisa data hasil uji EIS dengan variasi konsentrasi pada pH 1 hari kelima

Sampel	R_s (Ω/cm^2)	R_p (Ω/cm^2)	Effisiensi (%)
0 ppm	21.81	215.25	-
900 ppm	31.12	658.22	67.29
1000 ppm	28.29	671.49	67.94
1100 ppm	26.12	440.25	51.10
1200 ppm	31.67	383.13	43.81

Pada Tabel 4.5 diatas, dapat dilihat bahwa adanya kenaikan nilai tahanan logam (R_p) seiring dengan bertambahnya konsentrasi inhibitor.

Kemudian analisa data pengujian EIS juga dilakukan terhadap sampel uji yang direndam pada keadaan HCl dengan

konsentrasi pH bernilai 5 dengan waktu perendaman selama empat hari. *Fitting* menggunakan sirkuit ekivalen yang sesuai dengan Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik plot *nyquist* dengan variasi konsentrasi inhibitor pada pH 5 hari keempat

Gambar 4.6 adalah kurva setengah lingkaran (*Nyquist*) tanpa inhibitor dan beberapa variasi konsentrasi inhibitor yang direndam didalam HCl dengan pH 5 pada hari keempat. Dapat dilihat bahwa kurva yang terbentuk sangat tidak beraturan antara satu dengan yang lain namun masih terlihat jelas bahwa kurva tanpa inhibitor lebih kecil bentuknya jika dibandingkan dengan grafik yang lain. Penambahan konsentrasi inhibitor mengakibatkan diameter kurva juga bertambah. Hasil yang didapat seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.6 berikut ini.

Tabel 4.6 Analisa data hasil uji EIS dengan variasi konsentrasi pada pH 5 hari keempat

Sampel	R_s (Ω/cm^2)	R_p (Ω/cm^2)	Effisiensi (%)
0 ppm	1205	1385	-
900 ppm	3919.9	4047.3	65.77
1000 ppm	1689.8	3868.4	64.19
1100 ppm	1693.3	3264.6	57.57
1200 ppm	1399	3783.9	63.39

Pada tabel diatas, dapat dilihat bahwa adanya kenaikan nilai tahanan logam dari tanpa inhibitor terhadap penambahan inhibitor dengan variasi 900 ppm.

Dari kedua data yang didapat dari pengujian EIS ini menandakan bahwa penambahan konsentrasi menyebabkan kurva setengah lingkaran semkain besar. Pada larutan pH 1 di hari kelima didapatkan nilai tahanan logam terbesar dengan variasi konsentrasi 1000 ppm sebesar $671.49 \Omega/\text{cm}^2$. Lalu, pada larutan pH 5 di hari keempat didapatkan nilai tahanan logam terbesar dengan variasi konsentrasi 900 ppm sebesar $4047.3 \Omega/\text{cm}^2$.

4.1.4 Perhitungan Adsorpsi Isotherm Langmuir

Analisa perhitungan adsropsi isotherm bertujuan agar dapat dilihat model interaksi yang terjadi antara larutan (dalam hal ini merupakan inhibitor) dengan permukaan logam. Kemampuan adropsi suatu logam pada permukaannya mempengaruhi efisiensi inhibisi maka dilakukan analisa adsorpsi agar didapatkannya data mengenai interaksi antara inhibitor dengan permukaan logam. Dipaparkan Tabel 4.7 dan Tabel 4.8.

Tabel 4.7 Efisiensi inhibisi dan laju korosi pada pH 1 dengan 5 hari waktu perendaman

C (ppm)	CR (mmpy)	θ	C/ θ
0	1.563	-	-
900	0.146	0.906	993.203
1000	0.129	0.916	1090.583
1100	0.349	0.776	1416.966
1200	0.528	0.661	1812.792

Tabel 4.8 Efisiensi inhibisi dan laju korosi pada pH 5 dengan 4 hari waktu perendaman

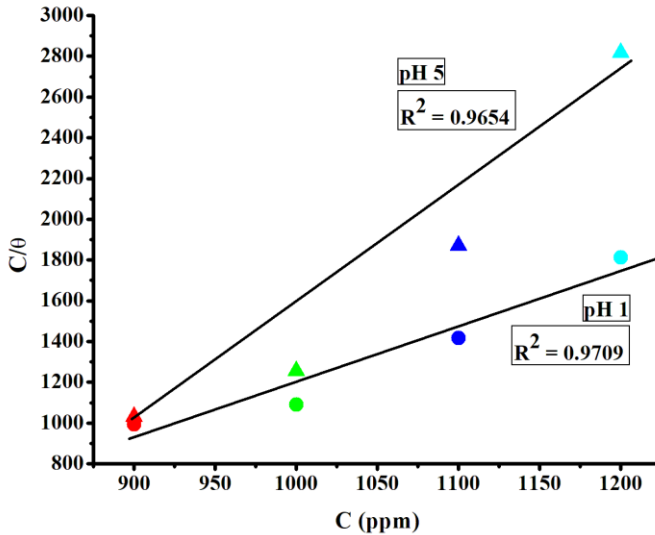
C (ppm)	CR (mmpy)	θ	C/ θ
0	0.256	-	-
900	0.032	0.873	1030.399
1000	0.052	0.796	1255.285
1100	0.105	0.587	1871.296
1200	0.147	0.425	2817.443

Dari Tabel 4.7 dan Tabel 4.8 tersebut didapatkan beberapa parameter yang digunakan dalam membuat grafik langmuir isoterm. Dengan acuan persamaan untuk langmuir adsorpsi isoterm sebagai berikut ini,

$$\frac{C}{\theta} = \frac{1}{K_{ads}} + C \quad (2.28)$$

dimana nilai C merupakan konsentrasi inhibitor (ppm), θ merupakan derajat cakupan permukaan (*degree of surface coverage*) dan K_{ads} yang merupakan nilai konstanta kesetimbangan adsorpsi (Akpan, 2014). Kemudian dari Persamaan 4.1 tersebut dapat dibuat *plotting* C terhadap C/ θ yang mana menghasilkan

garis lurus yang mana grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.7 dibawah ini.



Gambar 4.7 Adsorpsi isotherm Langmuir untuk baja karbon rendah pada pH 1 dan pH 5 dengan variasi konsentrasi inhibitor

Dari Gambar 4.7 tersebut didapatkan dari perhitungan sehingga didapatkan nilai koefisien korelasi (R^2) sebesar 0.97 untuk pH 1 dan 0,96 untuk pH 5 yang mana menunjukkan data pengujian tersebut memiliki *fitting* yang baik. Selanjutnya, dengan kesesuaian penggunaan adsorpsi isotherm langmuir, dapat dianalisa data energi bebas dari adsorpsi (ΔG°_{ads}) dengan ditunjukkan Persamaan 2.30 :

$$\Delta G^{\circ}_{\text{ads}} = -RT \cdot \ln \left(\frac{1}{55,5 K_{\text{ads}}} \right) \quad (2.30)$$

dimana nilai R merupakan konstanta gas universal (8.314 J/mol.K) dan T merupakan temperatur kelvin pada temperatur kamar (298 K). Dari Persamaan 4.2 tersebut didapatkan data yang ditunjukkan pada Tabel 4.9 berikut ini.

Tabel 4.9 Parameter adsorpsi permukaan baja karbon rendah pada pH 1 dan pH 5 dengan variasi konsentrasi inhibitor

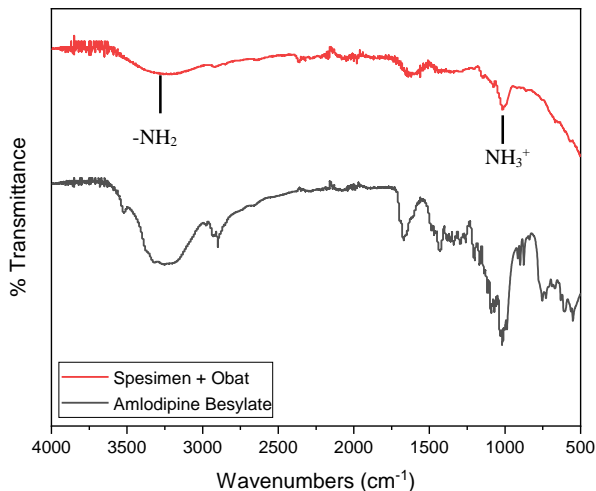
pH	Konsentrasi Inhibitor (ppm)	1/K _{ads}	ΔG ^o _{ads} (kJ/mol)
1	900	93.203	-1.284
	1000	90.583	-1.213
	1100	316.966	-4.316
	1200	612.792	-5.950
5	900	130.399	-2.116
	1000	255.285	-3.780
	1100	771.296	-6.520
	1200	1617.443	-8.354

Dengan didapatkannya nilai energi bebas dari tiap konsentrasi pada temperatur kamar, maka hasil tersebut cukup untuk menganalisa tipe adsorpsi inhibitor obat *amlodipine besylate*. Energi bebas yang bernilai negatif mengindikasikan bahwa reaksi berjalan spontan. Jika energi bebas (ΔG^o_{ads}) yang dihasilkan memiliki nilai > -20 kJ/mol maka perilaku adsorpsi yang dihasilkan merupakan adsorpsi fisik karena adanya interaksi elektrostastik antara molekul dan jika energi bebas tersebut memiliki nilai < -40 kJ/mol maka perilaku yang dihasilkan merupakan adsorpsi kimia karena adanya transfer muatan dari molekul organik ke permukaan logam untuk membentuk ikatan koordinasi (Fouda, 2016). Namun, apabila energi bebas yang dihasilkan memiliki rentang nilai diantara -40 kJ/mol hingga -20

kJ/mol maka tipe adsorpsinya merupakan komprehensif (baik adsorpsi fisik maupun adsorpsi kimia terjadi) (Singh,2015).

4.1.5 Hasil Pengujian FTIR

Tujuan dilakukannya uji FTIR agar dapat diketahui karakteristik dari obat *amlodipine besylate* dan juga baja karbon rendah setelah direndam didalam inhibitor obat. Hasil yang didapat dari pengujian ini berupa kurva *peak* dengan *wavenumber* yang berbeda yang menunjukkan tiap gugus fungsi yang dimiliki oleh spesimen uji. Sampel yang diuji terdiri dari dua jenis yaitu spesimen yang direndam dengan adanya inhibitor dan tablet obat *amlodipine besylate* yang digunakan sebagai inhibitor. Acuan yang digunakan adalah “A Handbook of Spectroscopic Data Chemistry” oleh B.D. Mistry.



Gambar 4.8 Perbandingan grafik FTIR antar sampel uji

Dari Gambar 4.8 tersebut kemudian dianalisa setiap *peak* yang didapat yang disesuaikan dengan *wavenumber* pada buku acuan agar gugus fungsi yang terkandung dari dua sampel tersebut dapat diketahui.

1. Obat *amlodipine besylate*

Tabel 4.10 menunjukkan tiap gugus fungsi obat *amlodipine besylate* yang terbaca pada alat uji.

Tabel 4.10 Gugus fungsi obat *amlodipine besylate*

Wavenumber (cm⁻¹)	Gugus Fungsi
3521.90	O-H str. dan N-H str.
3252.36	C=O str., N=O str., O-H str., NH ₂ str., N-H str. dan NH ₃ ⁺ str.
2899.73	O-H str. dan C-H str.
1671.62	C=O str., C=C str., C=N str., dan N=O str.
1432.32	C-H str.
1382.22	S=O str., O-H str., C-H def., dan CH ₃ def.
1359.23	S=O str., O-H str., dan NO ₂ str.
1340.02	O-H str., NO ₂ str., S=O str., dan O-H def.,
1295.73	-NH ₃ str., dan C-H def.
1261.07	ROR str.
1202.20	ROR str. dan S=O str.
1166.94	S=O str., C=S str., dan C-H def.
1114.80	C-OH str.
1070.73	C-OH str.
1057.09	C-OH str. dan S=O str.
1017.12	NH ₃ ⁺
987.48	C-H def.
899.29	C-H def.
875.52	C-H def.
753.46	C-H def. dan C-Cl str.

2. Spesimen yang direndam dengan adanya inhibitor
Tabel 4.11 menunjukkan tiap gugus fungsi baja karbon rendah yang direndam dengan penambahan inhibitor sebesar 1000 ppm.

Tabel 4.11 Gugus fungsi baja karbon rendah yang direndam dengan penambahan inhibitor

Wavenumber (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi
3221.12	C=O str., N=O str., NH ₂ str., NH ₃ ⁺ , N-H str., dan O-H str.
1978.65	O-H str.
1718.57	O-H str., dan C=O str.
1654.49	C=N str., C=O str., N=O str., C=C str., NH ₃ ⁺ def., dan NO ₂ .
1637.01	C=O str., C=C str., C=N str., NH ₃ ⁺ def., NO ₂ , dan NH def.
1569.62	C=N str., NH def., C=O str., NH ₃ ⁺ def., NO ₂ str., C=C+C=N str., dan -NH def.
1364.01	S=O str., O-H def., CH ₃ def., dan NO ₂ str.
1075.61	NH ₃ ⁺ .
1016.92	C-OH str.

Dari tabel tersebut memiliki irisan dibagian yang sangat jelas pada *wavenumber* sekitar 1000-1500 dengan adanya ikatan -NH₂, dan -NH₃⁺ pada permukaan baja karbon rendah yang merupakan salah satu gugus fungsi *amlodipine besylate*. Gugus fungsi tersebut sebagai indikasi bahwa obat *amlodipine besylate* terdapat pada permukaan baja karbon rendah.

4.1.6 Hasil Pengujian AAS

Pada pengujian ini digunakan larutan HCl dengan konsentrasi pH 1 dan menggunakan inhibitor dengan konsentrasi sebesar 1000 ppm yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.12.

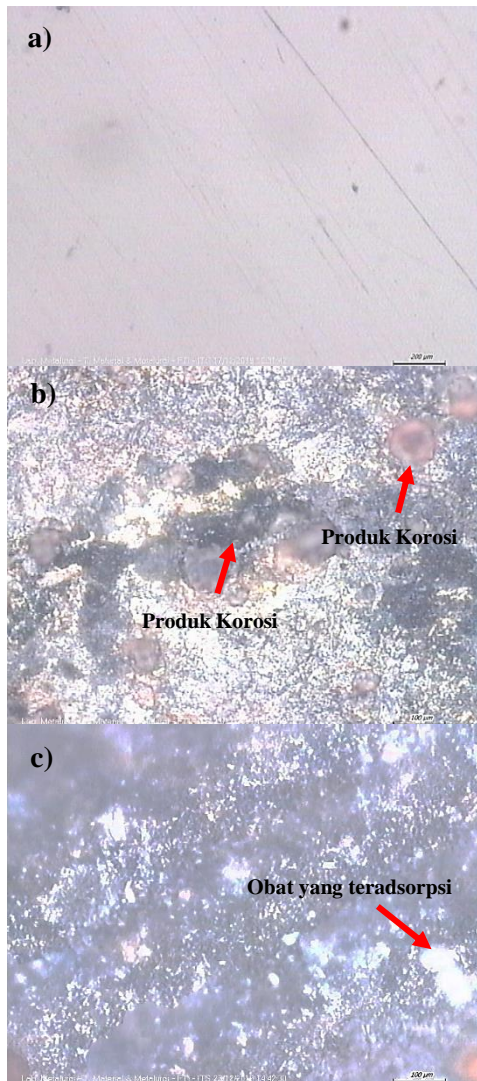
Tabel 4.12 Data pengujian AAS

Sampel Uji	Fe Terlarut (%)
0 ppm	2.11
1000 ppm	1.62

Dilihat dari data hasil pengujian menunjukkan bahwa Fe yang terlarut pada kehadiran inhibitor menurun dibandingkan dengan tanpa adanya inhibitor. Persen Fe yang terlarut menurun dari 2.11% menjadi 1.62%.

4.1.7 Hasil Pengujian Mikroskop Metalurgi

Pada pengujian ini digunakan tiga sampel uji, yaitu sampel baja karbon rendah tanpa perlakuan, sampel baja karbon rendah yang direndam tanpa adanya inhibitor, dan sampel baja karbon rendah dengan adanya inhibitor 1000 ppm. Semua diuji pada media HCl dengan pH 1. Dapat dilihat pada Gambar 4.9, a) menunjukkan gambar permukaan baja karbon rendah tanpa diberikan perlakuan, b) menunjukkan gambar permukaan baja karbon rendah yang direndam dalam HCl tanpa adanya penambahan inhibitor, dan c) menunjukkan gambar permukaan baja karbon rendah yang direndam dalam HCl dengan adanya penambahan inhibitor. Uji yang dilakukan menggunakan perbesaran 50 kali. Terlihat bahwa produk korosi mulai berkurang pada gambar c), menandakan bahwa inhibitor mengurangi proses korosi pada permukaan baja karbon rendah.



Gambar 4.9 Hasil pengamatan baja karbon rendah a) tanpa perlakuan, b) direndam tanpa inhibitor, c) dengan penambahan 1000 ppm

4.2 Pembahasan

Dari analisa data yang telah didapat, dilakukan pembahasan mengenai pengaruh konsentrasi inhibitor obat jenis *amlodipine besylate* dan pH terhadap perlindungan korosi baja karbon rendah di media HCl.

Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 merupakan hasil polarisasi yang kemudian dibuat kurva laju korosi dan efisiensi terhadap waktu perendaman. Gambar 4.1.(a). menunjukkan bahwa laju korosi pada pH 1 mengalami penurunan untuk semua konsentrasi hingga hari ke-5, kemudian laju korosi mulai naik hingga hari ke-8, setelah itu laju korosi cenderung turun kembali hingga hari ke-12 namun laju korosinya tidak sebaik yang terjadi di hari ke-5. Gambar 4.1.(b). terlihat bahwa pada pH 5 mengalami penurunan laju korosi hingga hari ke-4 untuk 900 ppm dan 1000 ppm sedangkan ppm yang lain cenderung naik, setelah hari ke-4 semua konsentrasi inhibitor cenderung naik dan konstan. Gambar 4.2 yang menunjukkan efisiensi terhadap waktu didapatkan bahwa sebaran hari efektif untuk inhibitor korosi terjadi pada hari-5 untuk pH 1 dan hari ke-4 untuk pH 5. Hal tersebut didasari dari nilai efisiensi terbaik pada 1000 ppm dan 900 ppm yang didapatkan pada setiap pH. Secara umum, peningkatan konsentrasi inhibitor menyebabkan menurunnya laju korosi, hal ini disebabkan oleh jumlah inhibitor yang teradsorpsi pada permukaan logam dan meningkatnya *surface coverage* yang dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8. Namun, mengacu pada penambahan konsentrasi inhibitor, nilai laju korosi yang fluktuatif disebabkan oleh beberapa hal. Yang pertama, disebabkan oleh disolusi baja karbon rendah yang lebih tinggi saat penambahan 1100 ppm dan 1200 ppm. Kedua, adanya proses desorpsi dari inhibitor teradsorpsi karena peningkatan agitasi (pengadukan) larutan dihasilkan dari evolusi gas hidrogen yang tinggi, menurunkan kemampuan inhibitor untuk teradsorpsi pada permukaan logam (Oguzie, 2017). Tingginya konsentrasi inhibitor juga menginisiasi desorpsi dari molekul inhibitor pada permukaan logam. Permukaan logam terpapar lingkungan asam untuk waktu yang lama sehingga meningkatkan laju korosi. Adsorpsi dan

desorpsi dari molekul inhibitor secara berkelanjutan terjadi pada permukaan logam dan kesetimbangan terjadi antara kedua proses tersebut pada konsentrasi tertentu. Dengan meningkatnya konsentrasi, kesetimbangan antara proses adsorpsi dan desorpsi lambat laun mengalami perubahan yang mengarah ke laju desorpsi yang tinggi dari proses adsorpsi, sehingga kesetimbangan terjadi kembali pada konstanta kesetimbangan yang bernilai beda, ketika hal ini terjadi maka disebut masa peralihan dan laju korosi menjadi turun kembali. Pada sistem, inhibitor melepas ion hidrogen ke lingkungan, sehingga semakin banyak inhibitor yang ditambahkan maka semakin banyak ion hidrogen pada lingkungan dan menyebabkan laju korosi semakin meningkat. Terjadi demikian karena suatu inhibitor memiliki batasan konsentrasi pada pemakaiannya yang disebut dengan titik optimum inhibitor (Priya, 2018). Titik optimum terjadi pada penambahan konsentrasi inhibitor sebesar 1000 ppm.

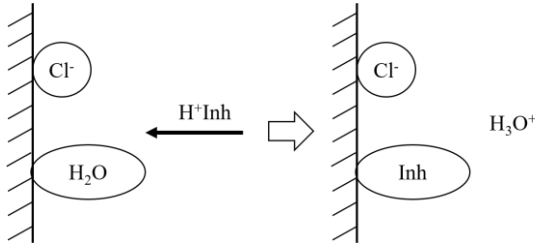
Kurva polarisasi memperlihatkan bahwa penambahan konsentrasi inhibitor menggeser kurva ke arah kiri-bawah. Pergeseran kurva ke arah kiri atau kanan menandakan tipe inhibitor yang dilihat dari selisih potensial. Jika selisih potensial antara 0 ppm dengan penambahan konsentrasi inhibitor (900 ppm, 1000 ppm, 1100 ppm, dan 1200 ppm) bernilai lebih dari 85mV maka inhibitor bertipe anodik atau katodik dan jika kurang dari 85mV maka inhibitor bertipe campuran (Sulistijono, 2000). Tabel 4.4 memperlihatkan bahwa *amlodipine besylate* merupakan inhibitor bertipe campuran (*mixed-type inhibitor*) karena memiliki selisih potensial kurang dari 85mV yaitu untuk pH 1 sebesar 66mV ($-0.573V - (-0.639V) = 0.066V$) dan untuk pH 5 sebesar 81mV ($-0.588V - (-0.669V) = 0.081V$). *Mixed-type inhibitor* menurunkan laju korosi dengan cara menghambat proses katodik dan anodik. Pada penelitian ini, penambahan *amlodipine besylate* lebih mengarah ke inhibitor bertipe katodik dimana terlihat pada Gambar 4.3 baik pada pH 1 dan pH 5 kurva polarisasi bergeser ke arah kiri. Sedangkan pergeseran kurva ke arah bawah (densitas arus semakin kecil) menandakan laju korosi menurun.

Hasil uji EIS menunjukkan kurva setengah lingkaran (*Nyquist*). Kurva ini terbentuk karena adanya penyebaran frekuensi yang terdapat pada permukaan logam. Bentuk setengah lingkaran yang tidak sempurna disebabkan oleh kekerasan permukaan, impuritas, hingga lapisan porositas sehingga penyebaran frekuensi dipermukaan logam tidak sempurna (Khaled, 2006). Gambar 4.4 dan Gambar 4.6 memperlihatkan bahwa penambahan konsentrasi inhibitor memperbesar ukuran diameter kurva setengah lingkaran. Diameter kurva setengah lingkaran yang dihasilkan berbanding lurus dengan efisiensi inhibitor, sehingga penambahan *amlodipine besylate* pada media HCl mampu menurunkan laju korosi pada baja karbon rendah. Kemudian kurva setengah lingkaran tersebut di-*fitting* menggunakan sirkuit ekivalen yang sesuai yang dapat dilihat pada Gambar 4.5 sehingga dihasilkan data yang dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6. Hasil *fitting* tersebut menyatakan bahwa penambahan konsentrasi inhibitor meningkatkan nilai tahanan logam (R_p) baik pada pH 1 hari ke-5 dan pH 5 hari ke-4. Nilai tahanan logam yang besar memiliki arti bahwa adanya lapisan pada bagian permukaan baja karbon rendah. Turunnya reaksi oksidasi dari besi pada baja dan reduksi ion pada larutan sebagai akibat dari terhambatnya elektron yang mengalir dari permukaan logam ke larutan atau terhambatnya transfer muatan, sehingga nilai tahanan logam meningkat (Sastri, 2011).

Suatu senyawa apabila mengandung unsur nitrogen, fosfor, sulfur dan oksigen maka dapat digolongkan menjadi inhibitor yang efektif dalam media asam klorida (Fouda, 2017). Gambar 4.8 merupakan hasil uji FTIR yang dilakukan pada baja yang direndam dengan inhibitor. Terlihat bahwa baja yang direndam dengan inhibitor memiliki kecocokan *peak* kurva dengan obat *amlodipine besylate*. Sesuai dengan Tabel 4.10 dan Tabel 4.11, pada permukaan baja terdapat gugus fungsi $-NH$ yang mana berperan sebagai antioksidan (Hussan, 2019). Disamping itu, unsur nitrogen pada struktur *amlodipine besylate* memiliki pasangan elektron bebas yang mana berfungsi dalam pembentukan senyawa kompleks. Hasil pengujian AAS yang ditunjukkan pada Tabel 4.12

bahwa Fe yang terlarut mengalami penurunan persentase jika dibandingkan dengan sampel 0 ppm. Hal ini sebagai bukti bahwa penambahan *amlodipine besylate* menghambat proses korosi yang terjadi pada permukaan baja karbon rendah dengan catatan Fe yang terdeteksi pada larutan merupakan produk korosi yang dapat terlarut. Pengamatan visual menggunakan microscope metalurgi memperlihatkan hasil bahwa adanya lapisan yang terbentuk pada permukaan baja karbon rendah saat *amlodipine besylate* ditambahkan yang dapat dilihat pada Gambar 4.9.(c). Lapisan ini menghalangi proses korosi, terlihat bahwa adanya perbedaan pada Gambar 4.9.(c) dengan Gambar 4.9.(b). Perhitungan langmuir dilakukan agar didapatkannya nilai energi bebas yang dapat dilihat pada Tabel 4.9. Nilai energi bebas ($\Delta G^{\circ}_{\text{ads}}$) yang didapat bernilai negatif untuk semua penambahan konsentrasi inhibitor baik pada pH 1 maupun pH 5. Nilai negatif tersebut bermakna bahwa reaksi berjalan secara spontan. Apabila energi bebas yang didapat lebih tinggi dari -20 kJ/mol maka mekanismenya merupakan adsorpsi fisik (*physisorption*) dan apabila energi bebas yang didapat lebih kecil dari -40 kJ/mol maka mekanismenya merupakan adsorpsi kimia (*chemisorption*) (Firmansyah, 2011). Dari hasil perhitungan nilai yang didapat dari tiap konsentrasi inhibitor pada pH 1 dan pH 5 lebih besar dari -20 kJ/mol, sehingga mekanisme *amlodipine besylate* ini merupakan adsorpsi fisik.

Dari pengujian yang telah dilakukan tersebut, *amlodipine besylate* memiliki tahapan mekanisme dalam menghambat proses korosi. Ketika suatu larutan asam memiliki kandungan anion yang dapat teradsorpsi (dalam penelitian ini Cl^-), terjadi kompetisi antara inhibitor korosi dengan anion klorida dipermukaan baja karbon rendah. Hal tersebut diilustrasikan dengan Gambar 4.10, dimana adanya proses penghambatan hidrogen oleh kehadiran inhibitor obat *amlodipine besylate*.



Gambar 4.10 Ilustrasi kompetisi inhibitor dengan ion klorida
(Dokumen pribadi)

Agar molekul *amlodipine besylate* dapat teradsorpsi pada permukaan baja karbon rendah, maka diperlukannya molekul *amlodipine besylate* dalam keadaan terprotonasinya. Adanya gugus $-NH_2$ pada ujung rantai obat ini sebagai tempat terjadinya protonasi (McCafferty, 2010) dengan Persamaan reaksi 4.3 sebagai berikut :

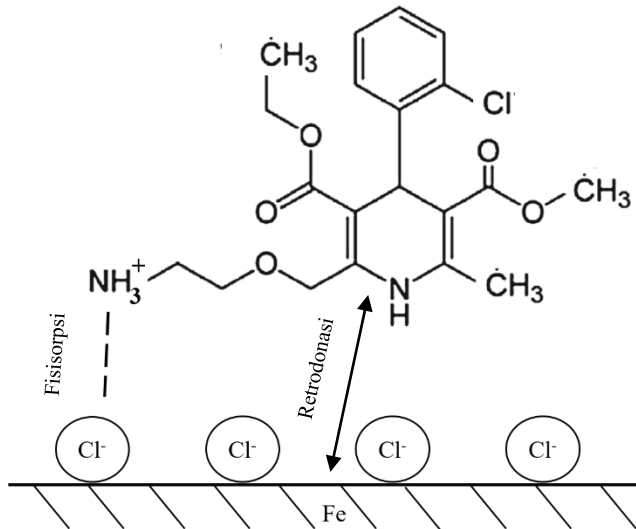


Dalam larutan asam, molekul inhibitor berada dalam bentuk terprotonasi atau netral, sehingga secara garis besar reaksi yang terjadi pada molekul *amlodipine besylate* ditunjukkan pada Persamaan reaksi 4.4 sebagai berikut :



Molekul yang terprotonasi tersebut berikatan secara elektrostatis (fisisorpsi) dengan ion klorida pada baja. Molekul terprotonasi tersebut saling memperebutkan elektron yang berada pada permukaan baja. Setelah mendapatkan elektron, molekul inhibitor dalam bentuk kationnya akan kembali ke bentuk netral. Elektron yang terakumulasi pada permukaan baja menyebabkan permukaannya negatif. Sehingga elektron yang berada di orbital d

pada Fe ditransfer ke orbital π kosong (*antibonding*) pada molekul inhibitor yang mana proses ini bernama retrodonasi. Proses retrodonasi ini memperkuat adsorpsi inhibitor pada permukaan baja karbon rendah (Singh, 2016). Dapat dilihat ilustrasi *amlodipine besylate* pada Gambar 4.11 berikut ini.



Gambar 4.11 Adsorpsi fisik *amlodipine besylate* (Dokumen pribadi)

Jika dilihat dari keadaan permukaan saat ditinjau dari mikroskop metalurgi, terlihat bahwa produk korosi berkurang saat inhibitor korosi *amlodipine besylate* mulai ditambahkan. Gambar 4.9 b) terlihat jenis produk korosi yang sangat beragam. Warna kecoklatan yang ditunjukkan mengidentifikasi adanya senyawa oksidasi besi pada Fe^{3+} . Bagian yang berwarna hitam pekat juga menandakan produk korosi namun berbeda jenis senyawa oksida dari besi. Lalu Gambar 4.9 c) merupakan baja saat

diberikan penambahan inhibitor korosi *amlodipine besylate*. Dari segi keseluruhan warna, cenderung lebih putih dari spesimen yang tidak diberikan inhibitor. Adanya warna putih pekat yang menempel pada permukaan baja karbon rendah menjadi kesesuaian uji FTIR bahwa adanya ikatan secara elektrostatik gugus – gugus fungsi organik. Dan juga karena adanya lapisan tersebut menurunkan laju korosi.

Oleh karena itu, penambahan obat *amlodipine besylate* sebagai inhibitor bagi perlindungan korosi baja karbon rendah di media HCl efektif dalam menurunkan laju korosi pada pH 1. Sehingga, bahan yang terkandung didalam obat ini bisa dapat dijadikan pengganti inhibitor konvensional yang membahayakan lingkungan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penambahan inhibitor obat *amlodipine besylate* pada media HCl dengan pH 1 dan pH 5 menurunkan laju korosi pada baja karbon rendah. Untuk pH 1 laju korosi terendah didapatkan pada konsentrasi inhibitor 1000 ppm sebesar 0.129 mmpy dengan waktu perendaman selama lima hari, sedangkan untuk pH 5 laju korosi terendah didapatkan pada konsentrasi inhibitor 900 ppm sebesar 0.0325 mmpy dengan waktu perendaman selama empat hari.
2. Mekanisme kerja inhibitor obat *amlodipine besylate* adalah secara *mixing type* inhibitor, namun dominan bersifat katodik.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut :

1. Perlu diadakannya pengujian lebih lanjut yang memahami setiap karakteristik bahan yang terkandung dalam obat *amlodipine besylate*.
2. Digunakannya variabel temperatur sehingga mengetahui dampak temperatur terhadap inhibisi obat *amlodipine besylate*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Akpan, Inemesit A., Offiong, Nnanake-Abasi O. 2016. "Inhibitory effect of amlodipine drug on corrosion of mild steel in HCl solution". **Indian Journal of Chemical Technology**. Vol : 24 No : 107-110.
- Aguirre, J., Walczak, M., Rohwerder, M. "The mechanism of erosion-corrosion of API X65 steel under turbulent slurry flow: Effect of nominal flow velocity and oxygen content". **Wear**. Vol : 203053 No : 438-439.
- Alasalvar, C., Soyly, M.S., Guder, A., Albayrak, C., Apaydin, G., Dilek, N. 2014. "Molecular structure, quantum mechanical calculation and radical scavenging activities of (E) - 4,6 - dibromo - 2 - [(3,5 - dimethylphenylimino)methyl] - 3 - methoxyphenol and (E) - 4,6 - dibromo - 2 - [(2,6 - dimethylphenylimino)methyl] - 3 - methoxyphenol compounds". **Spectrochemistry**. Vol : 130 No : 357-366.
- Alexandre. 2010. **Corrosion Inhibitors – Principles, Mechanism and Applications**. Dariva and Galio : License In Tech.
- Anam, C., Sirojudin. 2007. "Analisis Gugus Fungsi pada Sampel Uji Bensin dan Spiritus Menggunakan Metode Spektroskopi FT-IR". **Berkala Fisika**. Vol : 10 No : 1.
- Armijo, J. S. 2013. "Intergranular Corrosion of Nonsensitized Austenitic Stainless Steels – 1. Environmental Variables". **Journal of Corrosion**. Vol : 21 No : 7.
- Ashby, Michael F. 1999. **Materials Selection in Mechanical Design 2nd Edition**. Oxford : Butterworth Heinemann.
- ASM Handbook. 2005. **Corrosion Materials Volume 13B USA** : ASTM International.
- Asmara, Y. P., Kurniawan, T., Sutjipto A. G. E., Jafar, J. 2018. "Application of Plants Extracts as Green Corrosion Inhibitors for Steel in Concrete – A review". **Indonesian Journal of Science and Technology**. Vol : 3 No : 2.
- ASTM International. 1999. **ASTM G102-89 : Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related**

Information from Electrochemical Measurements.
United State.

- Baboian, Robert. 2005. **Corrosion Test and Standards: Application and Interpretation.** United States : ASTM International.
- Badea, G.E, A., Caraban, M., Sebesan, S., Dzitac, P., Cret, A., Setel. 2010. "Polarisation Measurements Used for Corrosion Rates Determination". **Journal of Sustainable Energy.** Vol : 1 No : 1.
- Bakar, A. M. 2014. **Inhibition of Mild Steel Corrosion in Hydrochloric Acid Solution by New Coumarin.** London : Western University.
- Baldar, Einar. 2003. **Corrosion and Protection.** Washington D.C. : Springer.
- Bayuseno, A.P. 2009. "Analisa Laju Korosi Pada Baja Untuk Material Kapal Dengan dan Tanpa Perlindungan Cat". **Jurnal ROTASI.** Vol : 11 No : 3.
- Bentiss, F., dkk. 2004. "2,5-Bis(4-dimethylamin-ophenyl)-1,3,4-oxadiazole and 2,5-bis(4-dimethyl-aminophenyl)-1,3,4-thiadiazole as corrosion inhibitors for mild steel in acidic media". **Journal Corrosion Science.** Vol : 55 No : 10.
- Bonougha, Moussa. 2016. **Evaluation Efficiency of Barium Sulfate Scale Inhibitors by Electrochemical Impedance Spectroscopy.** Boumerdes : University of M'Hamed Bougara.
- Boss, C.B, Fredeen, K.J. 2004. **Concepts, Instrumentation and Techniques in Inductively Copled Plasma Optical Emission Spectrometry.** Shelton : Perkin Elmer.
- Bruice, P.Y. 2001. **Organic Chemistry: Student's Solution Manual and Study Guide.** New Jersey: Paperhall.
- Callister, William D. 2014. **Fundamentals of Materials Science and Engineering 9th Edition.** New Jersey : John Wiley & Sons Inc.
-

-
- Chilingar, George W. 2008. **The Fundamentals of Corrosion and Scaling for Petroleum & Environmental Engineering**. Houston : Gulf Publishing Company.
- Cramer, Stephen D., Covino, Bernard S. 2005. **ASM Handbook Volume 13B Corrosion: Materials**. Ohio : Materials Park.
- Crolet, J.L., Thevenot, N., Dugstat, A. 2000. **Role of Free Acetic Acid on The CO₂ Corrosion of Steel** Houston : NACE.
- Dalimunthe, A. 2004. **Biosintesis, Mekanisme Kerja, dan Peranannya dalam Metabolisme**. Universitas Sumatera Utara : USU Digital Library.
- Dariva, Camila G., Galio, Alexandre F. 2014. **Corrosion Inhibitors – Principles, Mechanisms, and Applications**. Brazil : Universidade Federal do Pampa.
- Djapri, Sriati. 1989. **Metalurgi Mekanik Jilid 1-2**. Jakarta : Erlangga.
- Fadini, A., Schnepel, F.M. 1989. **Vibrational Spectroscopy : Methods and Applications**. Chichester : Ellis Horwood.
- Firmansyah, D. 2011. **Studi Inhibisi Korosi Baja pada Larutan Asam 1 M HCl Oleh Ekstrak Daun Sirsak (*Ammona muricata*)** [Thesis]. Depok : Universitas Indonesia.
- Fontana, M. G. 1986. **Corrosion Engineering 3rd Edition**. Singapore : McGraw-Hill Book Company.
- Fouda, A. S., dkk. 2016. “Evaluation of an Expired Nontoxic Amlodipine Besylate Drug as a Corrosion Inhibitor for Low-Carbon Steel in Hydrochloric Acid Solutions”. **Journal Bio Tribo Corros**. Vol : 2 No : 7.
- Gapsari, Femiana. 2017. **Pengantar Korosi**. Malang : UB Press.
- Griffith, Peter R. 2007. **Fourier Transform Infrared Spectrometry : 2nd Edition**. Toronto : John Wiley & Sons.
- Gupta, H.N. 2009. **Manufacturing Processes: Second Edition**. New Delhi : New Age International.
- Hackerman, N., Snavely, E. S. 1984. **Corrosion Basics: An Introduction**. Houston : NACE.
-

-
- Halimatuddahlia. 2003. **Pencegahan Korosi dan Scale pada Proses Produksi Minyak Bumi**. USU : Teknik Kimia.
- Hardjowigeno, Sarwono. 2010. **Ilmu Tanah**. Jakarta : Akademika Presindo.
- Haryono, Gogot. 2010. “Ekstrak Bahan Alam sebagai Inhibitor Korosi”. **Jurnal Korosi**. Universitas Pembangunan Negeri Veteran Jogjakarta.
- Hebert, Uhlig H. 2008. **The Cost of Corrosion to The United State**. Cambridge : Department of Metallurgy of Cambridge University.
- Heiderbach, Robert. 2011. **Metallurgy and Corrosion Control in Oil and Gas Production**. Canada : John Wiley & Sons.
- Hermawan, Sri. 2012. “Penentuan Efisiensi Korosi Baja Menggunakan Ekstrak Kulit Buah Kakao (*Theobroma Cacao*)”. **Jurnal Teknik Kimia**. Universitas Sumatera Utara.
- Huang. 2011. **Impact of EIS Using the Reference 600/3000 With an ECM8 MultiPlexer**. USA.
- Huang, Y., Lou, H. H. 2016. **Electroplating In: Encyclopedia of Chemical Processing**. New York : Taylor and Francis.
- Isro'is, R., Hidayati, M.D., Fuhaid, A.H., Crisaningtyas, T., Widya, I.W., Diani, N.A., Apriliana, W., Herlinawati, D., Fajjrudin, M. 2013. “Korosi Suatu Material”. **Jurnal Universitas Airlangga**.
- Jenkins, R., Snyder, R.L. 1996. **Introduction to X-ray Diffractometry**. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Jones, Denny A. 1992. **Principles and Prevention of Corrosion**. New York : Macmillan Publishing Company.
- Khaled, K.F. 2006. **Corrosion Inhibition of Copper in Chloride Media by 2-mercapto-4-(p-methoxyphenyl)-6-oxo-1,6-dihydropyrimidine-5-carbonitrile: Electricchemical and Theoretical Study Mater**. Chem. Phys. 112, 104-111.
-

-
- Khatal, H.S., Raj, B. 2002. **Corrosion of Austenitic Stainless Steels : Mechanism, Mitigation and Monitoring**. England : Woodhead Publishing.
- Langmuir, I. 1916. **The Adsorption of Gases on Plane Surface of Glass, Mica, and Platinum**. J Am Chem Soc 40:1361-1403.
- Levy, A. V. 2011. "Erosion and Erosion-Corrosion of Metals". **Journal of Corrosion**. Vol : 11 No : 51.
- Lewen, N. 2011. "The use of atomic spectroscopy in the pharmaceutical industry for the determination of trace elements in pharmaceuticals". **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**. Vol : 55 No : 653 – 661.
- Li, Yungui, Li, Qingqing, Wu, Caixia, Yu, Xi, Chen, Mengjun. 2019. "The inappropriate application of the regression Langmuir Q_m for adsorption capacity comparison". **Science of the Total Environment**. Vol : 699 No : 2020.
- Mansfeld, F., Kenkel, J. V. 2013. "Laboratory Studies of Galvanic Corrosion I. Two-Metal Couples". **Journal of Corrosion**. Vol : 31 No : 8.
- McCafferty, E. 2009. **Introduction to Corrosion Science**. Washington D.C. : Springer.
- Motawea, M.M., Gadow, H.S., Fouda, A.S. 2016. "Expired Cidamex Drug as Corrosion Inhibitor for Aluminum in Acidic Solution". **Global Journal of Researches in Engineering**. Vol : 16 No : 1.
- Nandiyanto, A. B. D., Oktiani, R., Ragadhita R. "How to Read and Interpret FTIR Spectroscopy of Organic Material". **Indonesian Journal of Science and Technology** Vol : 4 No : 1.
- Obot, I. B., Onyeachu I. B., Umoren, S. A., Quraishi, M. A., Sorour, A. A., Chen, T., Aljeaban, N., Wang, Q. 2019. "High Temperature Sweet Corrosion and Inhibition in the Oil and Gas Industry: Progress, Challenges, and Future
-

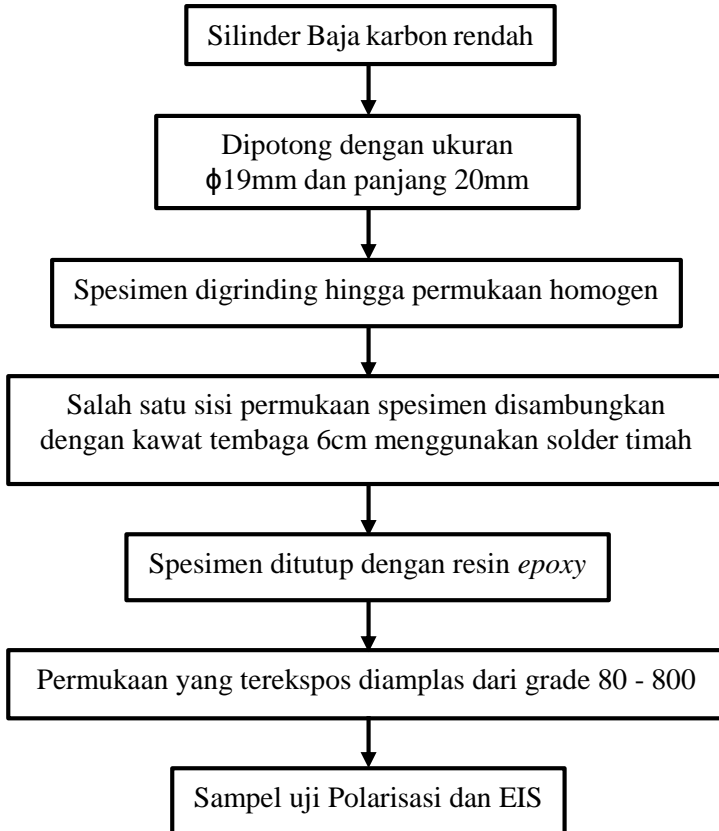
- Perspectives”. **Journal of Petroleum Science and Engineering**. In Press, Journal Pre-Proof.
- Oguzie, E.E. 2007. “Corrosion inhibition of aluminium in acidic and alkaline media by *Sansevieria trifasciata* extract”. **Corrosion Science**. Vol : 49 No : 1527.
- Papavinasam,, S. 2000. **Corrosion Inhibitors**. Canada : CANMET Materials Technology Laboratory.
- Papavinasam, S., Doiron, A., Panneerselvam, T., Revie, R. W. 2007. “Effect of Hydrocarbons on the Internal Corrosion of Oil and Gas Pipeline”. **Journal Corrosion**. Vol : 63 No : 7.
- Parkins, R. N. 2010. “A Review of Stress Corrosion Cracking of High Pressure Gas Pipelines”. **Journal of Corrosion**. Nace International.
- Pedefferri, Pietro. 2019. **Corrosion Science and Engineering**. Milano : Springer Nature Customer Service Center Gmbh.
- Pradityana, A., Shahab, A., Noerochim, L., Susanti, D. 2016. “Effect of Temperature on the Application of Sarang Semut Extract for Environmentally Friendly Corrosion Inhibitor”. **Journal of Corrosion**. Vol : 7 No : 3.
- Priya, S., Prathibha, Vasudha, V.G., Naga, H.P. 2018. “*Spathodea Campanulata* as a Corrosion Inhibitor for Mild Steel in 1 N H₂SO₄ Media”. **Materials Today**. Vol : 5 No : 22595.
- R. Davis, J. 2000. **Corrosion: Understanding the Basics**. Ohio : Material Park.
- Revie, R. W. 2008. **Corrosion and Corrosion Control**. Canada : Natural Resources.
- Revie, R. W. 2000. **Uhlig’s Corrosion Handbook**. Canada : John Wiley & Sons.
- Roberge, Pierre R. 2000. **Handbook of Corrosion Engineering Second Edition**. New York : McGraw-Hill Companies, Inc.
- Rozenfeld, I.L. 1981. **Corrosion Inhibitors**. New York : McGraw-Hill.

-
- Rozenfeld, I. L., Marchakov, I. K. 2013. "Mechanism of Crevice Corrosion". **Journal of Corrosion**. Vol : 20 No : 4.
- Sastri, Vedula S. 2011. **Green Corrosion Inhibitors Theory and Practice**. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc.
- Silberberg, Martin, dkk. 2014. **Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change 7th Edition**. New York : McGraw-Hill Companies, Inc.
- Silverstein, R.M., Bassler. 1998. **Spectrometric Identification of Organic Compounds: Sixth Edition**. New York: John Willey & Sons, Inc.
- Sing, A., Lin, Y., Ebenso, E.E., Liu, W., Pan, J., Huang, B. 2015. "Ginkgo Biloba Fruit Extract as An Eco-Friendly Corrosion Inhibitor fro J55 Steel in CO₂ Saturated 3.5% NaCl Solution". **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**. Vol : 24 No : 219-228.
- Singh, A., Singh, V.K., Quraishi, M.A. 2010. "Aqueous Extract of Kalmegh (Andrographis paniculata) Leaves as Green Inhibitor for Mild Steel in Hydrochloric". **International Journal of Corrosion**.
- Singh, R., Raj, B., Mudali, U.K., Singh, P. 2019. **Non-Destructive Evaluation of Corrosion and Corrosion-assisted Cracking**. Hoboken : John Wiley & Sons, Inc.
- Siregar, C., Martono, S., Rohman, A. 2018. "Application of Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy Coupled with Multivariate Calibration for Quantitative Analysis of Curcuminoid in Tablet Dosage Form". **Journal of Applied Pharmaceutical Science**. Vol : 8 No : 8.
- Sulistijono. 2000. **Diktat Korosi**. Surabaya : Teknik Material dan Metalurgi.
- Sun, D., Wu, M., Xie, F., Gong, K. 2019. "Hydrogen Permeation Behavior of X70 Pipeline Steel Simultaneously Affected by Tensile Stress and Sulfate-Reducing Bacteria". **International Journal of Hydrogen Energy**. Vol : 44 No : 43.
-

-
- Trethewey, Kenneth R, Chamberlain, John. 2006. **Corrosion for Science and Engineering 3rd Edition**. : Longman
- Vogel. 1979. **Textbook of Macro and Semimicro Qualitative Inorganik Analysis 5th Edition**. London : Longman Group Limited.
- Widharto, S. 2004. **Karat dan Pencegahannya**. Jakarta : PT. Pradnyaparamita.
- Woolman, J., dan Mottram, R. A. 2007. **The mechanical and physical properties of the British Standard En steels**. Michigan : Pergamon Press.
- Xu, J., Sun, C., Yan, M., Wang, F. 2012. “Effects of Sulfate Reducing Bacteria on Corrosion of Carbon Steel Q235 in Soil-Extract Solution”. **International Journal of Electrochemical Science**. Vol : 7.
- Zaki, A. 2006. **Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control**. Saudi Arabia : Elsevier Science and Technology Books.
-

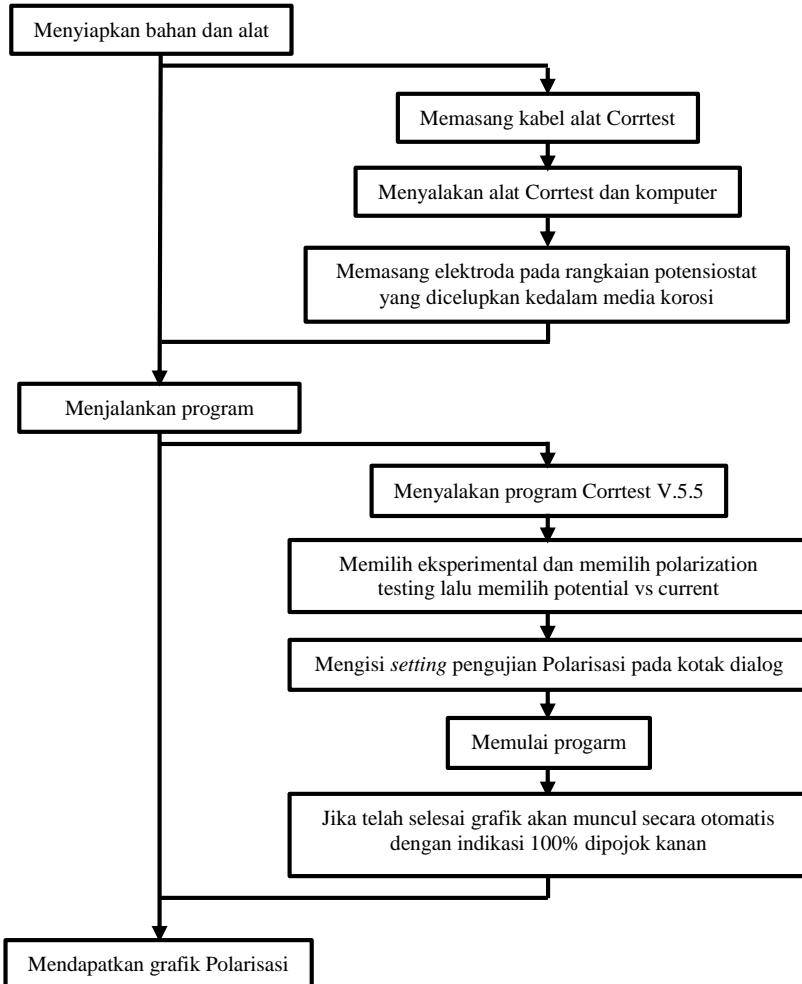
LAMPIRAN A
SKEMA PENELITIAN

1. Spesimen Uji



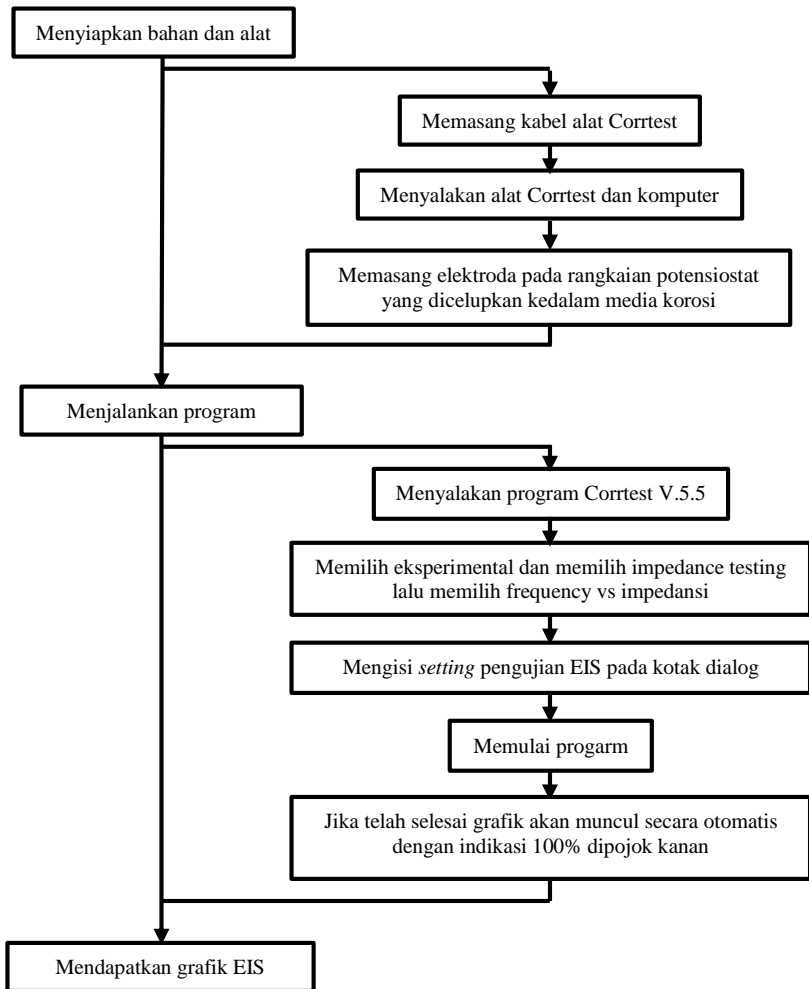
Gambar A.1 Pembuatan spesimen uji Polarisasi dan EIS

2. Prosedur Uji Polarisasi



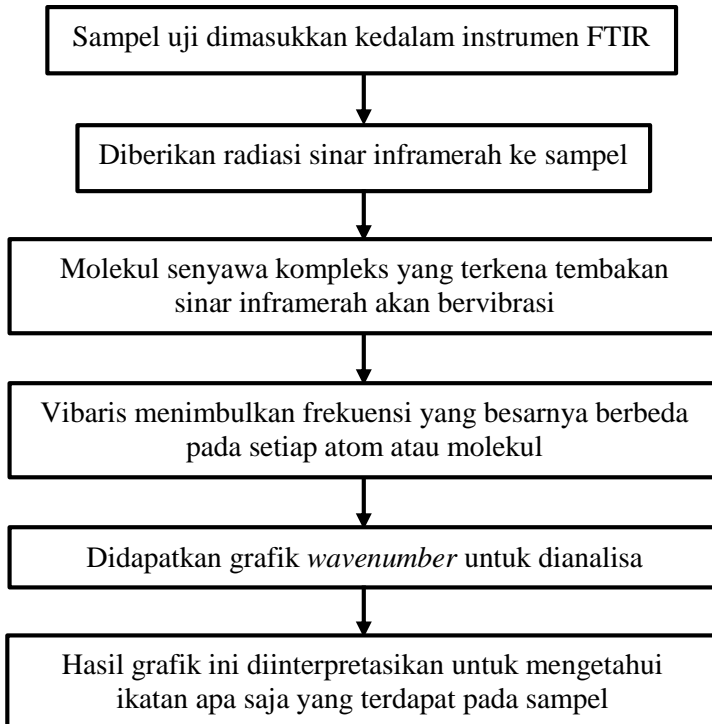
Gambar A.2 Prosedur pengujian polarisasi

3. Prosedur Uji EIS



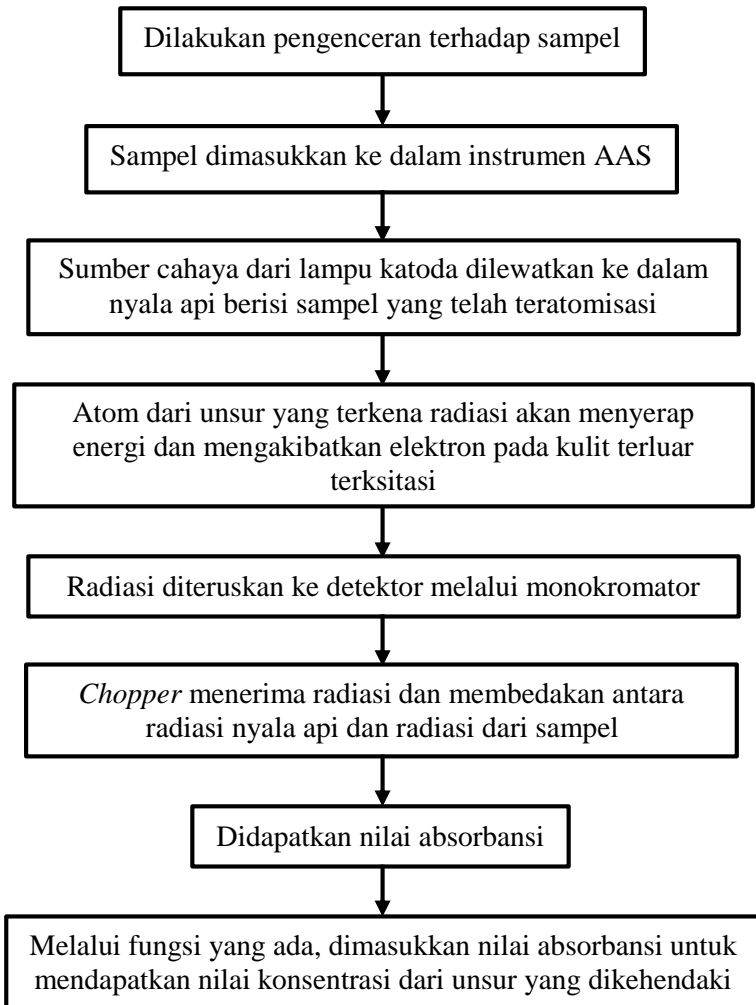
Gambar A.3 Prosedur pengujian EIS

4. Prosedur Uji FTIR



Gambar A.4 Prosedur pengujian FTIR

5. Prinsip Uji AAS



Gambar A.4 Prosedur pengujian AAS

LAMPIRAN B

PEMBUATAN MEDIA HCL

1. HCl pH 1

Diketahui :

Berat jenis HCl : 1.19 gr/ml

Mr HCl : 36.5 gr/mol

%HCl : 37%

Ditanya : Volume HCl 0.1M?

Jawab :

$$M = \frac{\% \times 10 \times \rho_{HCl}}{Mr}$$

$$= \frac{37 \times 10 \times 1.19}{36.5}$$

$$= 12.063$$

Dengan pengasumsian penggunaan 1000ml HCl untuk pH 1 maka pengenceran yang dilakukan,

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 12.063 = 1000 \times 0.1$$

$$V_{HCl} = 8.28ml$$

Maka untuk membuat 1L larutan 0.1M HCl dibutuhkan 8.28ml HCl 37% yang kemudian diencerkan dengan aquades hingga volume total mencapai 1000ml.

2. HCl pH 5

Diketahui :

Berat jenis HCl : 1.19 gr/ml

Mr HCl : 36.5 gr/mol

%HCl : 37%

Ditanya : Volume HCl 0.00001M?

Jawab :

$$M = \frac{\% \times 10 \times \rho_{HCl}}{Mr}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{37 \times 10 \times 1.19}{36.5} \\ &= 12.063 \end{aligned}$$

Dengan pengasumsian penggunaan 1000ml HCl untuk pH 5 maka pengenceran yang dilakukan,

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

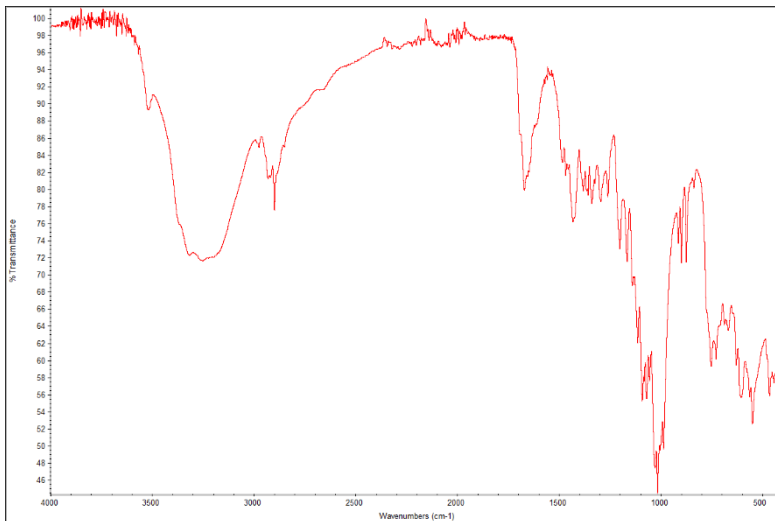
$$V_1 \times 12.063 = 1000 \times 0.00001$$

$$V_{\text{HCl}} = 0.000828\text{ml}$$

Maka untuk membuat 1L larutan 0.00001M HCl dibutuhkan 0.000828ml HCl 37% yang kemudian diencerkan dengan aquades hingga volume total mencapai 1000ml.

LAMPIRAN C PENGUJIAN FTIR

1. Tablet *amlodipine besylate*



Gambar C.2 Tablet obat *amlodipine besylate*

Tabel C.2 Tablet obat *amlodipine besylate*

Wave Number	Range	Type and Group	Bond
3521.90	3650-3496	Oximes (R-C=NOH)	O-H str.
	3595-3425	Intramolecular hydrogen bonded	O-H str.
	3550-3500	Carboxylic acids	O-H str.
	3550-3450	R-OH, dimeric	O-H str.
	3540-3380	Primary amides, free NH	N-H str.

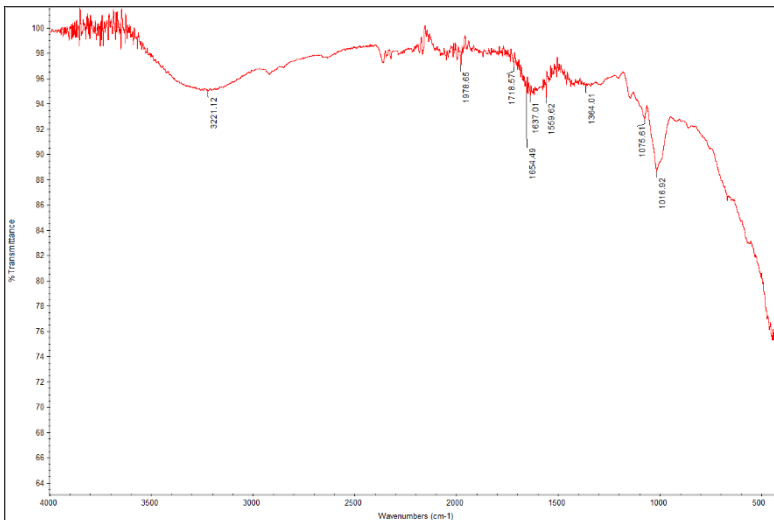
3252.36	3550-3205	Ketones	C=O str.
	3360-3220	Nitrites	N=O str.
	3400-3230	R-OH, polymeric	O-H str.
	3400-3200	Amino acids salts	NH ₂ str.
	3400-3095	Amines, imines	N-H str.
	3380-3150	Charged amine derivatives	NH ₃ ⁺ str.
	3360-3180	Amides	N-H str.
	3300-2500	R-COOH, bonded OH	O-H str.
2899.73	3300-2500	R-COOH, bonded OH	O-H str.
	3200-1700	R-OH, chelate	O-H str.
	3030-2500	Amino acid hydrochlorides	C-H str.
	2905-2875	Alkanes (-CH-)	C-H str.
1671.62	1710-1670	-CO-NH-CO-, amide	C=O str.
	1700-1665	Dimer. aryl ketones secondary amide	C=O str.
	1695-1660	6 ring ketones	C=O str.
	1690-1670	alkenes	C=C str.
	1690-1655	Quinones	C=O str.
	1690-1635	Oximes, oxazines, oxazolines, oxazolones, azomethines. Acyclic C=N	C=N str.
	1680-1660	Conj. polyene aldehydes	C=O str.

	1680-1650	Nitrites (R-O-N=O trans)	N=O str.
	1680-1630	Sec. amides	C=O str.
	1675-1665	Alkenes, $CR_1R_2=CHR_3$	C=C str.
1432.32	1470-1430	Alkenes (-CH ₃)	C-H str.
1382.22	1430-1350	Sulfotes	S=O str.
	1410-1310	Phenols	O-H str.
	1395-1385	Alkane	C-H def.
	1390-1360	Alkane, geminal dimethyl, isopropyl	CH ₃ def.
1359.23	1430-1350	Sulfotes	S=O str.
	1410-1310	Phenols	O-H str.
	1380-1310	Aliphatic nitro compounds	NO ₂ str.
	1370-1340	Sulfonyl chlorides	S=O str.
	1370-1300	Aromatic nitro ccompounds	NO ₂ str.
1340.02	1410-1310	Phenols	O-H str.
	1380-1310	Aliphatic nitro compounds	NO ₂ str.
	1370-1340	Sulfonyl chlorides	S=O str.
	1370-1300	Aromatic nitro ccompounds	NO ₂ str.
	1350-1300	Sulfones, sulfonamides	S=O str.
	1350-1260	Prim and sec. alcohols	O-H def.
1295.73	1350-1260	Prim and sec. alcohols	O-H def.
	1340-1180	Azides	-N ₃ str.

	1310-1295	Alkene ($R_1CH=CHR_2$) trans	C-H def.
1261.07	1275-1200	Conj, ethers	ROR str.
1202.20	1275-1200	Conj, ethers	ROR str.
	1230-1150	Sulfites	S=O str.
	1210-1150	Sulfonic acids	S=O str.
1166.94	1230-1150	Sulfites	S=O str.
	1210-1150	Sulfonic acids	S=O str.
	1200-1050	Sulfur compounds	C=S str.
	1185-1165	Sulfonyl chlorides	S=O str.
	1180-1140	Sulfonamides	S=O str.
	1175-1125	Substituted benzenes, 1,3- disubstituted or tri-substituted benzens	C-H def.
1114.80	1120-1100	Secondary alcohols	C-OH str.
1070.73	1075-1010	Primary alcohols	C-OH str.
1057.09	1075-1010	Primary alcohols	C-OH str.
	1070-1030	Sulfoxides	S=O str.
1017.12	1075-1010	Primary alcohols	C-OH str.
987.48	995-985	Monosubstituted alkenes ($RCH=CH_2$)	C-H def.
899.29	900-860	Tetra- or penta- substituted benzene	C-H def.

		containing 1 free H	
875.52	885-870	1,2,4-trisubstituted benzene	C-H def.
753.46	810-750	Benzene ring with three adjacent H atoms	C-H def.
	800-700	C-Cl equatorial	C-Cl str.
	770-730	Benzene ring with five adjacent free H atoms	C-H def.

2. Baja karbon rendah dengan inhibitor



Gambar C.3 Perendaman dengan inhibitor

Tabel C.3 Perendaman dengan inhibitor

Wave Number	Range	Type and Group	Bond
3221.12	3550-3205	Ketones	C=O str.
	3360-3220	Nitrites (R-O-N=O) overtones	N=O str.
	3400-3200	Amio acid salts	NH ₂ str.
	3400-3095	Amines, imines. associated	N-H str.
	3380-3150	Charged amine derivatives	NH ₃ ⁺
	3360-3180	Amides, bonded NH (primary)	N-H str.
	3300-2500	R-COOH, bonded OH	O-H str.
1978.65	3200-1700	R-OH, chelate	O-H str.
1718.57	3200-1700	R-OH, chelate	O-H str.
	1730-1700	Urethanes	C=O str.
	1730-1700	Amino acid hydrochlorides	C=O str.
	1730-1700	Dicarboxylic amino acids	C=O str.
	1725-1700	Sat. aliphatic acids, dimer, acyclic, ketones	C=O str.
1654.49	1690-1635	Oximes, oxazines, oxazokines, oxazolones, azomethines	C=N str.

	1680-1650	Intramolecular H-bonded carboxylic acids	C=O str.
	1680-1650	Nitrites	N=O str.
	1680-1630	Sec. amides, amide	C=O str.
	1680-1620	Nonconj. alkenes	C=C str.
	1670-1645	Intramolekular H-bonded aldehydes	C=O str.
	1670-1630	Tertiary amides, amide 1 band	C=O str.
	1665-1635	Alkenes	C=C str.
	1665-1630	Oximes, oxazines, etc.	C=N str.
	1660-1640	Alkenes	C=C str.
	1660-1610	Amino acids containing NH ₂ group. Amino acid 1 band	NH ₃ ⁺ def.
	1660-1580	Alkenes conj.	C=C str.
	1660-1480	Thiazoles	C=N str.
	1655-1635	Quinones	C=O str.
	1655-1610	Nitrates	NO ₂
1637.01	1670-1630	Tertiary amides, amide 1 band	C=O str.
	1665-1635	Alkenes	C=C str.
	1665-1630	Oximes, oxazines, etc.	C=N str.
	1660-1640	Alkenes	C=C str.

	1660-1610	Amino acids containing NH ₂ group. Amino acid I band	NH ₃ ⁺ def.
	1660-1580	Alkenes conj.	C=C str.
	1660-1480	Thiazoles	C=N str.
	1655-1635	Quinones	C=O str.
	1655-1610	Nitrates	NO ₂
	1650-1580	Prim. amines	NH def
	1650-1550	Sec. amines	NH def
	1640-1605	Alkyl nitroguanidines	NO ₂
	1640-1535	Ketones	C=O str.
1569.62	1660-1480	Thiazoles	C=N str.
	1650-1550	Sec. amines	NH def
	1640-1535	Ketones	C=O str.
	1620-1560	Charged amine derivatives	NH ₂ ⁺ def.
	1600-1560	Amino acid salts, all amino acids with ionized carboxyl	C=O str.
	1585-1530	Saturated nitramines	NO ₂ str.
	1580-1550	Nitrogen heterocycles, combination, C=C and C=N str.	C=C+C=N str.
	1580-1520	Pyrimidines and purines, combination,	C=C+C=N str.

		C=C and C=N str.	
	1570-1500	All amido acids	N-H def.
1364.01	1430-1350	Sulfites	S=O str.
	1410-1310	Phenols, tert. alcohols	O-H def.
	1390-1360	Alkane, geminal dimethyl, ispropyl	CH ₃ def.
	1380-1310	Aliphatic nitro compounds	NO ₂
	1370-1340	Sulfonyl chlorides	S=O str.
	1370-1300	Aromatic nitro compounds	NO ₂ str.
1075.61	1200-1050	Sulfur compounds	C=S str.
	1185-1165	Sulfonyl chlorides	S=O str.
	1180-1140	Sulfonamides	S=O str.
1016.92	1075-1010	Primary alcohols	C-OH str.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan laporan ini penulis merasa masih menemui beberapa kesulitan maupun hambatan, dan dalam penulisan laporan ini masih jauh dari kata sempurna, maka dari itu penulis mengharapkan kritik maupun saran yang dapat membangun dari semua pihak. Penulis menyadari dalam penyusunan laporan ini tidak lepas dari semua pihak. Maka dari itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada :

1. Allah SWT karena dengan rahmat dan kuasa-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan baik dan tepat waktu.
2. Orang tua penulis yakni Nooryanto dan Bayuni Diastuti yang selalu memberi dukungan yang tak terhingga dalam segala aspek.
3. Noorbayu Andriyanto dan Regita Meisya selaku kakak dan istri kakak dari penulis yang senantiasa selalu memberikan semangat serta mendoakan penulis.
4. Alm. Sri Tarmini selaku nenek penulis yang selalu memberikan motivasi dan didikannya agar selalu menjadi orang yang rendah hati dan percaya bahwa disetiap kesulitan akan ada kemudahan.
5. Oneng Aulia selaku partner tugas akhir penulis yang selalu saling menyemangati satu sama lain dan memberikan masukan.
6. Adhy Prihatmiko Wibowo selaku sahabat receh penulis yang memberikan tumpangan disaat mengerjakan dan hiburan agar penulis tidak penat.
7. Sobat MABAR : Saiful, Alvia, Laras, Adit, Dayyan, Mahesa, Yoga, Arfan, Wardhana yang selalu mengajak mabar Mobile Legend disaat penulis penat, tanpa kalian penulis masih warrior.
8. Sahabat korosi : Arif Rahman, Nanda Rizky Anugerah, Fajar Aditya, Siti Solekha yang selalu saling memberikan semangat

dan betukarpikiran ketika penulisan tugas akhir ini berlangsung.

9. Sahabat A.P.W.G : Setyo, Joan, Fathur, Trisha, Nadhifah yang selalu memberi dukungan dan melakukan kebodohnya seperti biasa agar penulis terhibur kembali.
10. Luthfi Dzaky dan Fadhila Friany Putri selaku sahabat nongkrong wacana yang sudah tidak wacana lagi.
11. Sahabat RT 5 RW 14 : Andrian, Kana, Fadhil, Ardhy, Rani, Sevita sebagai teman kecil yang saling memberikan doa.
12. Akun twitter @dailyskripsi yang selalu mengingatkan untuk mengerjakan skripsi setiap hari dan setiap waktu.
13. Teman – teman MT18 yang penulis cintai dan penulis banggakan, sebuah keluarga yang tidak dapat dipungkiri kekompakkannya.
14. Serta teman – teman PSM ITS LA17 yang telah mengajarkan banyak mengenai *passion* penulis dan juga sebagai batu loncatan dalam mengembangkan bakat.

Akhir kata, semoga penelitian ini dapat bermanfaat dan berguna bagi semua yang membutuhkan.

Surabaya, Januari 2020

Penulis

Fajar Naufal Agusriyanto

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Fajar Naufal Agusriyanto, dilahirkan di kota Jakarta pada 13 Agustus 1998 dari pasangan Nooryanto dan Bayuni Diastuti. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara dengan kakak bernama Noorbayu Andriyanto. Penulis telah menamatkan pendidikan dasar di SDN Bojong Rawalumbu 6 Bekasi, pendidikan menengah di SMP Negeri 16 Bekasi dan SMA Negeri 2 Depok. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Intitut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada Departemen Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem ITS. Selama berkuliah, penulis aktif dalam mengikuti berbagai kegiatan organisasi seperti BSO Minat Bakat HMMT FTI-ITS dan Staff Rumah Tangga PSM ITS. Penulis mengembangkan bakatnya dalam bernyanyi di Paduan Suara Mahasiswa ITS. Penulis juga pernah mengikuti berbagai kepanitian pada event – event di kampus seperti GERIGI ITS dan Konser Paduan Suara Mahasiswa ITS. Penulis juga aktif dalam mengikut berbagai pelatihan yang diselenggarakan di kampus, seperti pelatihan kepemimpinan, pelatihan jurnalistik, pelatihan wirausaha. Penulis juga pernah menjalani program On Job Training pada bulan Desember 2018 – Januari 2019 di PT. Industri Kereta Api (INKA) persero di bagian Quality Control. Penulis dapat dihubungi melalui surel fajarnaufal@gmail.com dan nomor handphone 085715617000.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)