



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR – TL184834**

**PENGARUH KONSENTRASI INHIBITOR OBAT JENIS  
ATORVASTATIN DAN pH TERHADAP PERLINDUNGAN  
KOROSI BAJA KARBON RENDAH DI MEDIA HCI**

**ONENG AULIA  
NRP. 0251164000034**

**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  
ATORVASTATIN DAN pH TERHADAP PERLINDUNGAN  
KOROSI BAJA KARBON RENDAH DI MEDIA HCl**

ONENG AULIA  
NRP. 02511640000034

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 CONCENTRATION ATORVASTATIN  
TYPE DRUG AND PH FOR CORROSION PROTECTION  
OF LOW CARBON STEEL IN HCL ENVIRONMENT**

ONENG AULIA  
NRP. 0251164000034

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

MATERIALS AND METALURGICAL 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  
ATORVASTATIN DAN pH TERHADAP PERLINDUNGAN  
KOROSI BAJA KARBON RENDAH DI LINGKUNGAN  
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:

**ONENG AULIA**

NRP 02511640000034

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 ATORVASTATIN DAN pH TERHADAP PERLINDUNGAN KOROSI BAJA KARBON RENDAH DI LINGKUNGAN HCl**

**Nama** : Oneng Aulia  
**NRP** : 02511640000034  
**Departemen** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Pembimbing I** : Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA  
**Pembimbing II** : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.

## **Abstrak**

*Korosi sangat merugikan, oleh karena itu ada beberapa cara untuk mencegahnya. Salah satunya adalah dengan menambahkan inhibitor. Obat atorvastatin digunakan sebagai inhibitor karena adanya senyawa antioksidan yang dapat menghambat laju korosi pada baja karbon rendah di media HCl. Baja karbon rendah digunakan dalam penelitian ini karena mempunyai kekuatan dan machinability yang baik. Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah tafel polarisasi dan eis. Hasil uji polarisasi pada pH 1 laju korosi terendah pada hari ke-5 yaitu sebesar 0,075 mmpy dengan efisiensi sebesar 94,361% sedangkan pada pH 5 laju korosi terendah pada hari ke-4 yaitu sebesar 0,006 mmpy dengan efisiensi sebesar 95,804%. Mekanisme kerja inhibitor obat atorvastatin adalah secara mixing inhibitor lebih mengarah katodik merupakan jenis inhibitor campuran (mixed inhibitor) serta melibatkan adsorpsi fisika (fisisorpsi) antara permukaan sampel dengan inhibitor.*

**Kata Kunci:** *Atorvastatin, Inhibitor, Tafel, EIS, Laju korosi.*

*(This page is intentionally left blank)*

# THE EFFECT OF CONCENTRATION ATORVASTATIN TYPE DRUG AND PH FOR CORROSION PROTECTION OF LOW CARBON STEEL IN HCL ENVIRONMENT

**Student Name** : Oneng Aulia  
**NRP** : 0251164000034  
**Department** : Material and Metalurgical Engineering  
**Supervisor** : Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA  
**Co-supervisor** : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.

## Abstract

*Corrosion is very detrimental, therefore there are several ways to prevent it. One way is to add inhibitors. Atorvastatin drug is used as an inhibitor because of the presence of antioxidant compounds that can inhibit the rate of corrosion in low carbon steel in HCl media. Low carbon steel is used in this study because it has good strength and machinability. In this study the method used is polarization and eis tafel. Polarization test results at pH 1, the lowest corrosion rate on the 5th day is 0.075 mmpy with an efficiency of 94.361%, while at pH 5 the lowest corrosion rate on the 4th day is 0.006 mmpy with an efficiency of 95.804%. The mechanism of action of atorvastatin inhibitors is mixing inhibitors but more cathodic, and involves physical adsorption (physisorption) between the surface of the sample and the inhibitor.*

**Keywords:** *Atorvastatin, Inhibitor, Tafel, EIS, Corrosion Rate.*

*(This page is intentionally left blank)*

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur kehadirat Allah SWT, karena atas ridho dan hidayahNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir. Tugas Akhir ini ditujukan untuk memenuhi mata kuliah wajib yang harus diambil oleh mahasiswa Departemen Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, Laporan Tugas Akhir ini tidak dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan bantuan kepada penulis hingga Laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan, diantaranya:

1. Allah SWT karena dengan rahmat dan kuasa-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan baik dan tepat waktu.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA selaku dosen pembimbing tugas akhir. Dengan bimbingan dan arahnya lah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc selaku dosen pembimbing 2 tugas akhir dan dosen wali penulis yang telah memberikan banyak masukan, kritik, dan saran bagi penulis.
4. Bapak Sigit Triwicaksono, S.Si., M.Si., P.hD selaku ketua departemen teknik material FTIRS-ITS
5. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.S.c selaku Kaprodi Departemen Teknik Material FTIRS ITS
6. Bapak Haniffuddin Nurdiansah S.T., MT. selaku dosen wali yang telah membantu menjalani pendidikan di jurusan teknik material FTIRS-ITS.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang tidak disadari. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca agar karya berikutnya bisa lebih baik lagi. Penulis berharap Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk

pembaca, sehingga pembaca dapat mengambil ilmu yang ada untuk perkembangan teknologi lebih baik.

Surabaya, 25 Januari 2020  
Penulis

Oneng Aulia

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Peneltian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Korosi dan Mekanisme Pada Baja.....	5
2.2 Jenis-Jenis Korosi .....	9
2.3 Korosi Pada Lingkungan Asam.....	10
2.4 Pengendalian Korosi .....	15
2.5 Inhibitor .....	18
2.5.1 Inhibitor Anodik .....	21
2.5.2 Inhibitor Katodik .....	24
2.5.3 Inhibitor Campuran .....	28
2.5.4 Inhibitor Inorganik.....	32
2.5.5 Inhibitor Organik .....	32
2.5.6 Inhibitor teradsorpsi.....	35
2.6 Atorvastatin.....	35
2.7 Metode Polarisasi.....	38
2.8 Adsorbsi.....	41
2.8.1 Jenis-Jenis Adsorbsi .....	43
2.8.2 Mekanisme Penyerapan .....	44
2.8.3 Isotherm Adsorbsi .....	45
2.8.4 Langmuir .....	46

2.8.5	Freundlich.....	47
2.9	Fourier Transform Infrared (FTIR) .....	49
2.9.1	Prinsip Alat.....	51
2.10	Pengujian EIS .....	52
2.11	Pengujian AAS .....	58
2.12	Penelitian Sebelumnya.....	59
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>		
3.1	Diagram Alir .....	63
3.2	Metode Penelitian .....	64
3.3	Peralatan Penelitian.....	64
3.4	Bahan Penelitian .....	65
3.5	Preparasi Inhibitor.....	65
3.6	Preparasi Larutan Elektrolit .....	65
3.7	Preparasi Spesimen .....	66
3.8	Pengujian .....	66
3.8.1	Pengujian Komposisi Kimia .....	67
3.8.2	Pengujian Polarisasi.....	67
3.8.3	Pengujian FTIR .....	69
3.8.4	Pengujian AAS .....	71
3.8.5	Pengujian Microscope Stereo .....	72
3.9	Rancangan Penelitian.....	73
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>		
4.1	Analisa Data.....	75
4.1.1	Hasil pengujian OES .....	75
4.1.2	Hasil pengujian Tafel polarization.....	76
4.1.3	Hasil pengujian EIS .....	83
4.1.4	Hasil Pengujian FTIR .....	86
4.1.5	Hasil pengujian AAS .....	89
4.1.6	Adsorption isotherm .....	90
4.1.7	Hasil pengujian Microscope Stereo .....	93
4.2	Pembahasan .....	94
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>		
5.1	Kesimpulan .....	101
5.2	Saran .....	101
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>101</b>



<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>113</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH.....</b>	<b>141</b>
<b>BIODATA PENULIS.....</b>	<b>143</b>

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b>	Proses pembentukan karat.....	5
<b>Gambar 2. 2</b>	Diagram pourbaix Fe modifikasi dari McCafferty 2009.....	11
<b>Gambar 2. 3</b>	Efek kosentrasi inhibitor Anodik pada laju korosi .....	23
<b>Gambar 2. 4</b>	Diagram polarisasi dari logam aktif-pasif yang menunjukkan ketergantungan pada arus konsentrasi inhibitor tipe pasif.....	24
<b>Gambar 2. 5</b>	Polarization curve in the presence of cathodic inhibitor .....	27
<b>Gambar 2. 6</b>	Adsorpsi inhibitor bermuatan negatif pada a permukaan logam bermuatan positif. ....	28
<b>Gambar 2. 7</b>	(a) Molekul inhibitor bermuatan positif tidak berinteraksi dengan permukaan logam yang bermuatan positif. (B) Sinergis adsorpsi inhibitor bermuatan positif dan anion pada positif permukaan logam yang diisi. ....	30
<b>Gambar 2. 8</b>	Rumus struktur atorvastatin calcium .....	35
<b>Gambar 2. 9</b>	Analisis Retrosynthetic atorvastatin calciu.....	37
<b>Gambar 2. 10</b>	Kurva polarisasi yang menunjukkan ekstrapolasi Tafel .....	40
<b>Gambar 2. 11</b>	Empat model isotherm yang umum .....	45
<b>Gambar 2. 12</b>	Gambar kurva persamaan langmuir .....	47
<b>Gambar 2. 13</b>	Gambar kurva persamaan Freundlich .....	48
<b>Gambar 2. 14</b>	Skema alat spektroskopi FT-IR. (1) Sumber inframerah. (2) Pembagi berkas (beam spliter). (3) Kaca pemantul. (4) Sensor inframerah. (5) Sampel. (6) Display.....	51
<b>Gambar 2. 15</b>	Respon Arus Sinusoidal dalam Sistem Linear .....	54
<b>Gambar 2. 16</b>	Origin of Lissajous Figure .....	56

<b>Gambar 2. 17</b>	Nyquist plot impedansi untuk sirkuit elektrokimia .....	58
<b>Gambar 3. 1</b>	Diagram Alir Penelitian .....	63
<b>Gambar 3. 2</b>	Spesimen Uji.....	66
<b>Gambar 3. 3</b>	Alat pengujian polarisasi dan EIS .....	68
<b>Gambar 3. 4</b>	Alat Pengujian FTIR .....	71
<b>Gambar 3. 5</b>	Alat Pengujian Microscope Stereo .....	73
<b>Gambar 4. 1</b>	Hubungan laju korosi terhadap waktu .....	77
<b>Gambar 4. 2</b>	Hubungan efisiensi terhadap waktu.....	78
<b>Gambar 4. 3</b>	Kurva tafel setiap penambahan inhibitor (a) pada pH 1 dan (b) pada pH 5.....	80
<b>Gambar 4. 4</b>	Kurva konsentrasi 900ppm pada semua hari pada pH 1 .....	82
<b>Gambar 4. 5</b>	Kurva konsentrasi 900 ppm pada semua hari pada pH 5.....	83
<b>Gambar 4. 6</b>	Kurva Nyquist baja karbon dengan penambahan inhibitor atorvastatin blanko, 600ppm, 700ppm, 800ppm, dan 900ppm (a)pH 1 (b)pH 5.....	84
<b>Gambar 4. 7</b>	Rangkaian Listrik Ekuivalen .....	85
<b>Gambar 4. 8</b>	Kurva FTIR.....	87
<b>Gambar 4. 9</b>	Langmuir adsorption isotherm plots.....	91

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b>	Tabel Macam-Macam Korosi.....	9
<b>Tabel 2. 2</b>	Perbedaan fisisorpsi dan chemisorpsi.....	44
<b>Tabel 3. 1</b>	Parameter pengujian potensiodinamik .....	68
<b>Tabel 3. 2</b>	Parameter pengujian EIS.....	69
<b>Tabel 3. 3</b>	Rancangan penelitian .....	73
<b>Tabel 4. 1</b>	Hasil pengujian OES.....	75
<b>Tabel 4. 2</b>	Hasil pengujian polarisasi pada pH 1 hari ke-5 .....	81
<b>Tabel 4. 3</b>	Hasil pengujian polarisasi pada pH 5 hari ke-4 .....	81
<b>Tabel 4. 4</b>	Hasil pengujian ftir .....	89
<b>Tabel 4. 5</b>	Hasil pengujian AAS .....	90
<b>Tabel 4. 6</b>	Langmuir adsorption parameters.....	92

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Sejak dimulainya revolusi industri, baja karbon telah digunakan sebagai konstruksi utama untuk sejumlah aplikasi struktural dan industrial karena mudah untuk dimachining (Golestani, 2014). Pada umumnya baja karbon rendah mengandung karbon sebanyak 1,7 % dan setiap baja memiliki sifat yang berbeda tergantung jumlah karbon yang terdapat di dalam baja tersebut. Baja karbon rendah biasanya sangat mudah mengalami korosi.

Pada umumnya larutan asam digunakan untuk melakukan pickling, yang merupakan pembersihan logam untuk menghilangkan kerak, minyak, pengotor, atau lapisan oksida hasil kontaminasi dan produk korosi lain yang tidak diinginkan pada permukaan. Larutan asam akan menyebabkan korosi merata pada baja mild steel, dan pada konsentrasi asam yang tinggi akan menyebabkan piting.

Korosi adalah salah satu proses yang paling merusak pada logam. Produk korosi terbentuk dari interaksi antara bahan logam dan lingkungannya, dan tergantung pada jenis dan kondisi lingkungannya. Korosi juga menyebabkan kerugian yang sangat besar terhadap suatu industrial, bahkan menurut Groysman and Brodsky (2006) biaya untuk menanggulangi korosi mencapai 5% GNP negara. Dengan demikian, upaya untuk mengembangkan metode yang lebih efisien yang ramah lingkungan untuk mencegah terjadinya korosi semakin ditingkatkan. Penggunaan inhibitor adalah salah satu metode yang paling praktis untuk melindungi logam terhadap korosi terutama dalam larutan asam untuk mencegah pembubaran logam dan konsumsi asam yang tak terduga (Umoru et al., 2008) Inhibitor merupakan metode perlindungan yang fleksibel, yaitu mampu memberikan perlindungan dari lingkungan yang kurang agresif sampai pada lingkungan yang tingkat korosifitasnya sangat tinggi, mudah diaplikasikan dan

tingkat keefektifan biayanya paling tinggi karena lapisan yang terbentuk sangat tipis sehingga dalam jumlah kecil mampu memberikan perlindungan yang luas (Terms dan Zahrani, 2006).

Secara umum inhibitor korosi merupakan suatu zat kimia yang bila ditambahkan ke dalam suatu lingkungan untuk menurunkan laju korosi suatu logam. Fontana (1987) menjelaskan sejumlah inhibitor menghambat korosi melalui cara modifikasi polarisasi katodik dan anodik, mengurangi pergerakan ion ke permukaan logam, menambah hambatan listrik pada permukaan logam dan menangkap atau menjebak zat korosif dalam larutan melalui pembentukan senyawa tidak agresif.

Penggunaan bahan inhibitor kimia mempunyai dampak negatif ke lingkungan dan juga harganya mahal. Sejumlah senyawa heterosiklik yang mengandung N,S, dan O baik yang berada dalam aromatik ataupun dalam sistem rantai panjang telah banyak ditemukan sebagai inhibitor yang efektif. Inhibitor ini memiliki sistem pi-elektron yang diperluas (seperti  $-C = C-$ ,  $-OR$ ,  $-OH$ ,  $-NR_2$ ,  $-NH_2$  dan  $-SR$ ), berfungsi dalam menyediakan elektron yang memfasilitasi adsorpsi inhibitor pada permukaan logam. Juga mempunyai kelarutan yang tinggi dan stabil dalam lingkungan agresif. Telah banyak dilakukan penelitian bahwa lebih dari 90% obat kadaluarsa tidak menurunkan konstituen aktifnya dan mampu mempertahankan stabilitas untuk jangka waktu yang lama. Obat kadaluarsa aman untuk digunakan karena tidak beracun dan tidak memberikan dampak negatif pada lingkungan. Produk ini tampaknya menjadi kandidat potensial untuk menggantikan inhibitor anorganik yang beracun. Salah satu kandidatnya adalah obat kadaluarsa atorvastatin. Atorvastatin adalah anggota kelas obat yang dikenal sebagai statin, dan digunakan terutama sebagai agen penurun alipid dan untuk pencegahan masalah yang terkait dengan penyakit kardiovaskular. Atorvastatin, dipasarkan dengan nama dagang Lipitor yang diproduksi oleh Pfizer, adalah salah satu obat terlaris (Ottmar, 2012).

Oleh karena itu, pada penelitian ini difokuskan pada penggunaan inhibitor dari bahan obat atorvastatin yang



diaplikasikan pada media HCl dengan menggunakan material baja karbon rendah. Pengujian yang dilakukan antara lain dengan tafel polarization untuk mengetahui laju korosi, EIS untuk mekanisme inhibitor, FTIR, AAS, dan microscope stereo.

## 1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimanakah pengaruh penambahan obat kadaluarsa atorvastatin sebagai inhibitor korosi terhadap karakteristik korosi pada baja karbon rendah?
2. Bagaimanakah mekanisme kerja inhibitor obat kadaluarsa jenis atorvastatin dalam perlindungan korosi pada baja karbon rendah di media 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 larutan dan pH selama pengujian berlangsung

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis karakteristik inhibisi dari inhibitor obat atorvastatin pada baja karbon rendah.
2. Menganalisis mekanisme kerja inhibitor dalam perlindungan korosi obat kadaluarsa jenis atorvastatin pada baja karbon rendah di media HCl.

## 1.5 Manfaat Penelitian

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

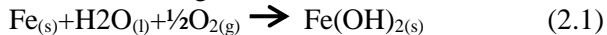
1. Dapat membantu dalam perkembangan dunia industri dan dunia pendidikan dalam ilmu korosi dan pengendaliannya.
2. Kandungan yang terdapat didalam obat amlodipin dapat menjadi alternatif inhibitor untuk perlindungan korosi baja karbon di sektor industri.
3. Memberikan harapan terhadap peneliti lain dalam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

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

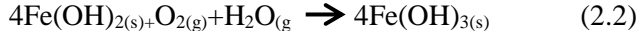
### 2.1 Korosi dan Mekanisme Pada Baja

Korosi dapat diartikan sebagai penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Tetapi bila kerusakan tersebut reaksi mekanisme, seperti penarikan, pembengkakan, atau patah, maka hal ini tidak disebut peristiwa korosi. Korosi dapat digambarkan sebagai sel galvanik yang mempunyai hubungan pendek dimana beberapa daerah permukaan logam bertindak sebagai katoda dan lainnya sebagai anoda, dan rangkaian listrik. (Uhlrig, 1961)

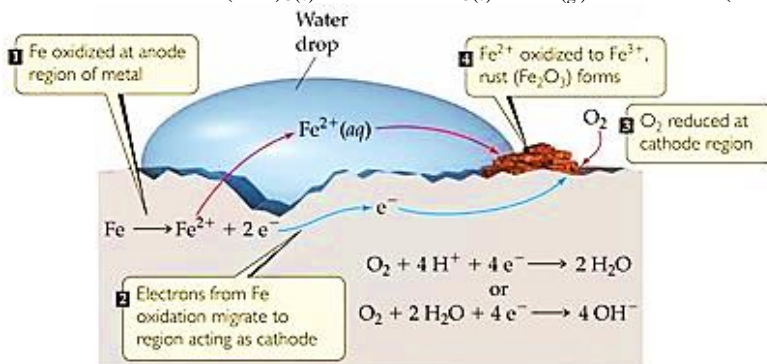
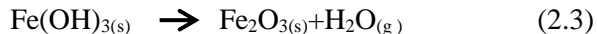
Menurut Haryono(2010) mekanisme korosi yang terjadi pada logam besi (Fe) dituliskan sebagai berikut:



Fero hidroksida  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  yang terjadi merupakan hasil sementara yang dapat teroksidasi secara alami oleh air dan udara dan menjadi feri hidroksida  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , sehingga mekanisme reaksi selanjutnya adalah:



Ferri hidroksida yang terbentuk akan berubah menjadi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang berwarna merah kecoklatan yang bisa kita sebut karat. (Vogel, 1979) Reaksinya adalah:



**Gambar 2. 1** Proses pembentukan karat (Theodore, 2015)

Korosi biasanya dimulai pada permukaan logam dan disebabkan oleh reaksi kimia dan dalam kasus logam, reaksi elektrokimia. Kehancuran kemudian dapat menyebar ke bagian dalam materi. Korosi dapat terjadi apabila terdapat empat elemen di bawah ini (Trethewey, 1991)

1. Anoda

Anoda biasanya terkorosi dengan melepaskan elektron-elektron dari atom-atom logam netral untuk membentuk ion-ion yang bersangkutan. Ion-ion ini mungkin tetap tinggal dalam larutan atau beraksi membentuk hasil korosi yang tidak larut. Terjadi reaksi oksidasi, maka daerah tersebut akan timbul korosi:  $M \rightarrow M^{+} + n e^{-}$

2. Katoda

Katoda biasanya tidak mengalami korosi, walaupun mungkin menderita kerusakan dalam kondisi-kondisi tertentu. Dalam katoda terjadi reaksi reduksi, daerah tersebut mengkonsumsi elektron.

3. Metallic pathway

Tempat arus mengalir dari katoda ke anoda. Hubungan secara fisik tidak diperlukan jika anoda dan katoda merupakan bagian dari logam yang sama.

4. Elektrolit

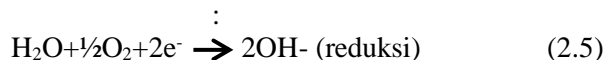
Elektrolit adalah larutan korosif yang dapat mengalirkan arus listrik dan mengandung ion-ion. Elektrolit dapat berupa larutan asam, basa dan larutan garam. Larutan elektrolit mempunyai peranan penting dalam korosi logam karena dapat menjadikan kontak listrik antara anoda dan katoda.

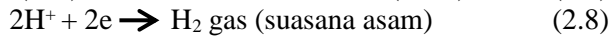
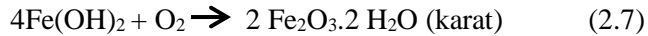
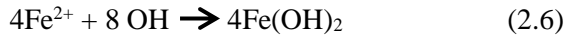
Agar korosi dapat terjadi, keempat elemen tersebut harus ada. Jika salah satu dari keempat elemen itu tidak ada, maka korosi tidak akan terjadi. Reaksi korosi yang terjadi adalah (Fontana, 1986):

Anoda :



Katoda





Faktor-faktor yang mempengaruhi laju korosi diantaranya adalah (ASM Handbook, 2005)

1. Faktor kandungan gas dan padatan terlarut
  - Karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ), jika karbondioksida dilarutkan dalam air maka akan terbentuk asam karbonat ( $\text{H}_2\text{CO}_2$ ) yang dapat menurunkan pH air dan meningkatkan korosifitas, biasanya bentuk korosinya berupa pitting.
  - Oksigen ( $\text{O}_2$ ), adanya oksigen yang terlarut akan menyebabkan korosi pada metal seperti laju korosi pada *mild steel alloy* akan bertambah dengan meningkatnya kandungan oksigen.
  - Klorida ( $\text{Cl}^-$ ), klorida meyerang lapisan *mild steel* dan lapisan stainless steel. Padatan ini menyebabkan terjadinya pitting, crevice corrossion, dan juga menyebabkan pecahnya paduan.
  - Karbonat ( $\text{CO}_3$ ), kalsium karbonat sering digunakan sebagai pengontrol korosi dimana film karbonat diendapkan sebagai lapisan pelindung permukaan logam., tetapi dalam produksi minyak hal ini cenderung menimbulkan masalah scale.
  - Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), ion sulfat ini biasanya terdapat dalam minyak. Dalam air, ion sulfat juga ditemukan dalam konsentrasi yang cukup tinggi dan bersifat kontaminan, dan oleh bakteri SRB sulfat diubah menjadi sulfida yang korosif.
2. Faktor temperatur

Penambahan temperatur umumnya menambah laju korosi walaupun kenyataannya kelarutan oksigen berkurang dengan meningkatnya temperatur. Apabila metal pada temperatur yang tidak uniform, maka akan besar kemungkinan terbentuk korosi. Pada lingkungan temperatur tinggi, laju korosi yang terjadi lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur rendah, karena pada temperatur tinggi kinetika reaksi kimia akan meningkat.

---

### 3. Seleksi material

Pemilihan atau seleksi material merupakan suatu faktor yang cukup mempengaruhi terjadinya korosi pada suatu struktur. Dengan pemilihan material yang tepat maka kita dapat meminimalisir terjadinya korosi pada suatu struktur. Sebagai contoh pemilihan material yang tepat untuk suatu struktur *platform* atau anjungan dimana biasanya pada struktur ini menggunakan logam baja karbon. Selain itu adanya penambahan unsur tertentu juga dapat mempengaruhi ketahanan suatu material terhadap adanya proses korosi.

### 4. Faktor PH

PH dalam proses korosi sangat berpengaruh untuk terjadi apa tidaknya proses korosi. Besarnya pH biasanya dinyatakan dengan angka berkisar antara 0-14. Jika pH berkisar antara 0-7 maka lingkungan bersifat asam sedangkan bila pH berkisar antara 7-14 maka lingkungan bersifat basa. Lingkungan dinyatakan netral apabila memiliki pH 7. Dengan menurunnya pH maka laju korosi akan meningkat. Makin rendah pH maka lingkungan tersebut bersifat makin asam dan kandungan hidrogennya meningkat. Pada pH yang rendah biasanya larutan bersifat lebih konduktif sedangkan pada pH yang tinggi maka mineral tersebut terlarut dapat membentuk deposit *scale* pada permukaan logam.

### 5. Faktor bakteri pereduksi atau *Sulfat Reducing Bacteria* (SRB)

Jenis bakteri yang dapat dijadikan sebagai penyebab terjadinya korosi adalah bakteri yang menghasilkan asam sebagai hasil metabolismenya yang dapat memicu terbentuknya asam sulfida yang dapat meningkatkan reaksi oksidasi logam pada anoda. Adanya bakteri pereduksi sulfat akan mereduksi ion sulfat menjadi gas  $H_2S$ , yang mana jika gas tersebut kontak dengan besi akan menyebabkan terjadinya korosi.

## 2.2 Jenis-Jenis Korosi

**Tabel 2.1** Tabel Macam-Macam Korosi (Chingondo, 2016; Marcus, 2008)

No	Tipe korosi	Mekanisme kerja
1	Pitting	Jenis korosi ini termasuk dalam serangan lokal karena keberadaan garam yang ternetralsasi di permukaan logam akan menyebabkan beberapa bagian akan cepat terkorosi (bertindak sebagai anoda). Karena serangan terjadi secara intensif sehingga akan terbentuk sumuran.
2	Galvanic	Perbedaan aliran elektron antara dua logam yang dihasilkan dari perbedaan potensi dari masing-masing logam akan menyebabkan korosi, logam dengan nilai emf lebih kecil akan terkorosi.
3	Uniform	Terjadinya merata/seragam pada semua permukaan. Korosi jenis ini dapat diprediksi umur pakainya dan direncanakan penggantian.
4	Crevice	Permukaan logam bereaksi dengan lingkungan elektrolit termasuk pula bagian yang ada dalam celah mengakibatkan korosi sel konsentrasi.
5	Erosion	Serangan terhadap permukaan logam akibat pergerakan fluida yang bersifat korosif, banyak berbentuk gerusan.
6	Stress corrosion cracking	Adanya aktifitas kombinasi antara tegangan tarik dengan lingkungan yang korosif akan menyebabkan perambatan retak dan menaikkan laju korosi
7	Intergranular	Terjadi pada batas butir logam
8	Corrosion fatigue	Korosi yang terjadi karena <i>cyclic stress</i> dan lingkungan yang korosif.

---

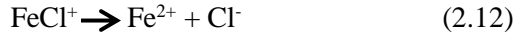
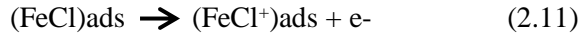
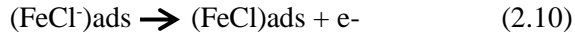
9	Fretting	Korosi-erosi tingkat lanjut karena logam yang bergesekan secara terus-menerus.
---	----------	--

---

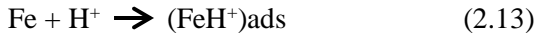
### 2.3 Korosi Pada Lingkungan Asam

Reaksi reduksi dan oksidasi pada kondisi asam dijabarkan dalam persamaan sebagai berikut (Behpour M, 2008):

Anodic :

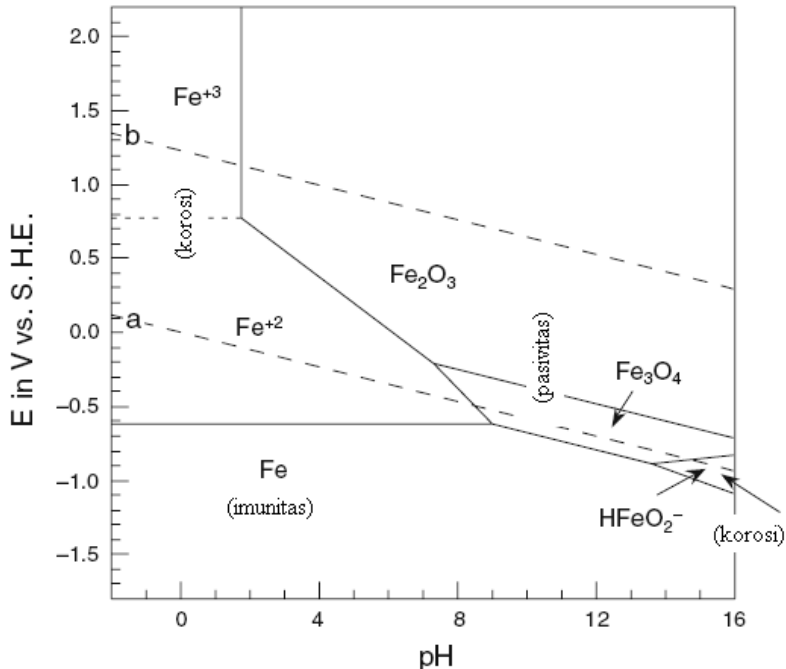


Katodik :



Reaksi korosi logam dalam larutan asam dapat dievaluasi dari diagram potensial-pH atau sering disebut sebagai diagram Pourbaix yang bisa dianggap sebagai peta yang menunjukkan kondisi potensial (oxidizing power) dan pH (keasaman ataupun kebasahan) untuk berbagai kemungkinan fase stabil dalam sistem elektrokimia. Garis batas diagram membagi area kestabilan untuk fase yang berbeda yang diturunkan dari persamaan Nerst. Diagram Pourbaix dapat digunakan untuk memperkirakan apakah logam akan berada dalam kondisi terkorosi, imun ataukah dalam kondisi pasif. Namun, prediksi tentang laju korosi tidak dapat dilakukan dengan diagram Pourbaix ini (McCafferty, 2009).





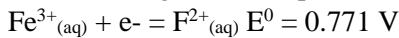
**Gambar 2.2** Diagram pourbaix Fe modifikasi dari McCafferty 2009

Untuk menggambarkan bagaimana diagram potensial-pH diturunkan, berikut ini merupakan penelitian tentang besi di beberapa daerah pada gambar. Langkah pertama adalah memutuskan spesies besi mana yang akan diambil untuk diperhitungkan. Untuk kasus paling sederhana ini adalah  $\text{Fe}^{2+}$  (aq),  $\text{Fe}^{3+}$  (aq),  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  (s), dan  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  (s). Seiring dengan bertambahnya waktu, Fe,  $\text{FeO}_4^{2-}$ , dan semua kompleks hidroksi Fe(II) dan Fe(III) diabaikan. Secara eksperimental, ditemukan bahwa kestabilan termodinamika (yaitu, energi pembentukan standar bebas) dari kebanyakan endapan logam hidroksida tergantung pada usia padatan. Presipitat yang berumur beberapa hari, minggu, atau bahkan bulan lebih stabil daripada bahan yang baru disiapkan. Stabilitas ini tercermin dalam nilai kelarutan produk. Untuk  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  (s), misalnya, orang mungkin menggunakan

kelarutan  $6,4 \times 10^{-38}$  untuk padatan amorf yang baru diendapkan,  $3,2 \times 10^{-40}$  untuk bahan amorf yang telah lama, atau  $3,3 \times 10^{-42}$  untuk a-FeO(OH) (goethite). Demikian pula, seseorang menemukan  $K_{sp} = 1,9 \times 10^{-15}$  untuk Fe(OH)<sub>2</sub>(s) yang baru diendapkan tetapi  $8 \times 10^{-16}$  untuk padatan yang telah lama. Dalam perhitungan diputuskan untuk menggunakan data untuk endapan yang baru karena paling tepat untuk operasi laboratorium biasa yang dilakukan di rentang waktu beberapa jam atau kurang.

1. Kesetimbangan antara Fe<sup>2+</sup><sub>(aq)</sub> dan Fe<sup>3+</sup><sub>(aq)</sub>

Reaksi setengah sel dan persamaan Nerst adalah



$$E_h = 0,771 - 0,0591 \log \frac{[\text{Fe}^{3+}]}{[\text{Fe}^{2+}]} \quad (2.16)$$

Jika  $[\text{Fe}^{2+}] = [\text{Fe}^{3+}]$ , maka nilai  $\log = 1$  dan nilainya  $E_h$  menjadi 0,771. Karena reaktan dan produk dalam larutan, maka garisnya diplot sebagai garis putus-putus. Jika rasionya  $[\text{Fe}^{2+}] / [\text{Fe}^{3+}]$  adalah  $10^{-3}$  akan didapatkan nilai  $E_h = 0,948$ , dan jika rasionya adalah  $10^{+3}$   $E_h$  akan memiliki nilai 0,594. Garis-garis ini juga ditunjukkan pada garis b Gambar 2.2 dan masing-masing diberi label -3 dan +3. Dengan demikian, wilayah di atas baris 1 mewakili bidang stabilitas Fe<sup>3+</sup><sub>(aq)</sub> dan wilayah di bawah ini adalah bidang stabilitas Fe<sup>2+</sup><sub>(aq)</sub>.

2. Precipitation of Fe(OH)<sub>3</sub>

Seperti yang telah diketahui, endapan terhidrasi besi hidroksida amorf terbentuk ketika pH Fe<sup>3+</sup><sub>(aq)</sub> dinaikkan. pH di mana pengendapan baru saja dimulai dapat dihitung dari produk kelarutan, tetapi masalah agak rumit karena Fe<sup>3+</sup><sub>(aq)</sub> mengalami hidrolisis yang signifikan di daerah pH tepat sebelum presipitasi. Nilai  $[\text{Fe}^{2+}]$  yang diperlukan dalam kelarutan produk, karenanya, secara substansial nilainya kurang dari formal concentration besi(III).

Jika FIFe(III) adalah formal concentration dari besi(III), maka pada daerah pH dimana  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  akan terbentuk seperti persamaan berikut:

$$\text{FIFe(III)} = [\text{Fe}^{3+}] + [\text{Fe}(\text{OH})^{2+}] + [\text{Fe}(\text{OH})_2^+] + [\text{Fe}(\text{OH})_3] + 2[\text{Fe}_2(\text{OH})_2^{4+}] \quad (2.17)$$

Gabungan dari persamaan diatas dengan nilai kelarutan  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  dan konstanta formasi untuk spesien hidroxy,  $K_{11}$ ,  $K_{12}$ ,  $K_{13}$ , dan  $K_{22}$  diberikan pada persamaan berikut:

$$\text{FIFe(III)} = [\text{K}_{\text{sp}}/(\text{OH}^-)^3] [1 + \text{K}_{11}(\text{OH}^-)^2] + [\text{K}_{12}(\text{OH}^-)^2] + [\text{K}_{13}(\text{OH}^-)^3] + [2\text{K}_{22} \text{K}_{\text{sp}}/(\text{OH}^-)] \quad (2.18)$$

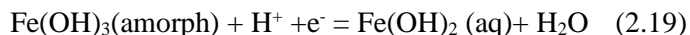
Garis vertikal Gambar 2.2 adalah untuk besi  $10^{-3}$  Fe(III) diperoleh dari hasil memecahkan pers. 8 untuk  $[\text{OH}^-]$  dengan iterasi yang berurutan. Juga ditunjukkan pada garis untuk  $10^{-1}$  dan  $10^{-5}$  Fe(III). Karena tidak ada oksidasi atau reduksi terlibat, garis-garisnya vertikal, dan tidak tergantung dari niali Eh.

### 3. Presipitasi $\text{Fe}(\text{OH})_2$

Perhitungan pH di mana  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  terbentuk jauh lebih sederhana daripada untuk hidroksida besi karena hidrolisisnya ion  $\text{Fe}^{2+}$  (aq) dapat diabaikan di wilayah pH ini. Karena itu,  $[\text{Fe}^{2+}]$  kira-kira sama dengan konsentrasi formal besi(II). Produk kelarutan,  $1,9 \times 10^{-15}$ , memberikan pH = 7,14, 8.14, dan 9.14 untuk konsentrasi formal besi (II) sama dengan  $10^{-1}$ ,  $10^{-3}$  dan  $10^{-5}$ .

### 4. Equilibrium Between $\text{Fe}(\text{OH})(\text{aq})$ and $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{amorph})$

Persamaannya adalah:



Nilai yang diperlukan dari potensi setengah sel standar dapat dihitung dari energi bebas standar pembentukan reaktan dan produk. Nilai-nilai ini ditabulasikan dalam "Potensi Oksidasi" sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Delta G^{\circ} &= \Delta G^{\circ}_f[\text{H}_2\text{O}] + \Delta G^{\circ}_f[\text{Fe}(\text{OH})_2] - \Delta G^{\circ}_f[\text{Fe}(\text{OH})_3] \\ &= -56.690 + (-115.57) - (-166.0) \\ &= -6.26 \text{ kcal mole}^{-1}\end{aligned}$$

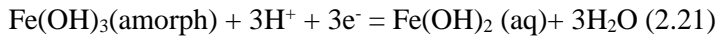
$$E^{\circ} = -\Delta G^{\circ}/nF = 0.271 \text{ volt}$$

Persamaannya adalah:

$$E_h = 0.271 - 0.0591 \text{ Ph} \quad (2.20)$$

#### 5. Equilibrium Between $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ and $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{amorph})$

Persamaannya adalah:



Potensi setengah sel standar harus dihitung dari energi bebas standar pembentukan reaktan dan produk:

$$\begin{aligned}\Delta G^{\circ} &= \Delta G^{\circ}_f[\text{H}_2\text{O}] + \Delta G^{\circ}_f[\text{Fe}(\text{OH})_2] - \Delta G^{\circ}_f[\text{Fe}(\text{OH})_3] \\ &= -20.30 + 3(-56.690) - (-166.0) \\ &= -24.37 \text{ kcal/mole}\end{aligned}$$

dimana  $E^{\circ} = 1,057$  volt. Oleh karena itu, persamaan Nernst adalah

$$E_h = 1.057 - 0.0591 \log [\text{Fe}^{2+}] - 0.177 \text{ Ph} \quad (2.22)$$

#### 6. Aplikasi pada korosi pada besi

Gambar 2.2 membantu dalam memahami perilaku korosi besi, setidaknya dalam sistem air tanpa adanya agen pengompleks. Di bawah kondisi reduksi yang sangat kuat, dalam semua nilai pH, zat besi stabil secara termodinamik dan karenanya kebal terhadap korosi. Dalam prakteknya kondisi ini dicapai oleh membuat potongan besi untuk dilindungi katoda sel elektrolit. Ini disebut perlindungan katodik kapal lambung dan pipa besi yang terkubur dijelaskan secara umum buku teks chemistry.

Jika korosi awal menghasilkan hidroksida tidak larut atau oksida, dapat membentuk lapisan pada permukaan yang menghalangi lebih jauh kontak antara dioksigen atau air dan logam. Pembentukan lapisan pelindung seperti itu disebut passivation, dan

bidang stabilitas berbagai hidroksida tidak larut dan oksida pada Gambar 2.2 menunjukkan daerah-daerah di mana pasif, setidaknya secara teoritis.

Besi paling rentan terhadap korosi di wilayah kiri atas pada Gambar 2.2. pH di wilayah ini banyak alami perairan, dan mengurangi kondisi dapat diharapkan di mana pun ada kekurangan oksigen atmosfer di permukaan besi. Seperti diketahui, korosi dapat terjadi secara elektrolitik kondisi ini. Di hadapan kelembaban bagian-bagian tersebut permukaan besi yang bersentuhan dengan udara berfungsi sebagai katoda di mana dioksidasi berkurang dan bagian-bagian permukaan terlindungi dari udara adalah situs korosi oksidatif. Di wilayah ini tidak ada oksida besi atau hidroksida yang tidak larut yang dapat terbentuk untuk menghambat korosi.

Salah satu cara untuk melindungi korosi di wilayah ini adalah menggunakan inhibitor. Inhibitor yang digunakan secara komersial dalam pelarut "karat pencegahan" adalah ion dikromat atau kromat yang melindungi terhadap pembentukan pelindung di permukaannya dalam bentuk  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Oksidasi yang kecil jumlah  $\text{Fe}^{2+}$  (atau mungkin besi metalik) menghasilkan beberapa  $\text{Cr}^{3+}$  yang mengendap sebagai  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  dalam kisaran pH di atas 4 hingga 5. Pada saat berdiri, kromium(III) hidroksida dikonversi menjadi  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (McCafferty, 2009).

## 2.4 Pengendalian Korosi

Korosi pada logam secara elektrokimia disebabkan karena komposisi kimia logam tidak homogen sehingga terjadilah penurunan mutu logam. reaksi semacam ini adalah reaksi yang berlangsung secara spontan. Oleh sebab itu, proses terkorosinya logam oleh lingkungannya adalah proses yang spontan dan tidak dapat dicegah terjadinya. Di situasi praktis tersebut, serangan korosi hanya dapat dikendalikan sehingga struktur dan komponen logam mempunyai masa pakai yang lebih panjang. Walaupun demikian pengendalian korosi harus dilakukan semaksimal, karena dari segi ekonomi dan keamanan merupakan hal yang tidak mungkin ditinggalkan atau diabaikan (Widyanto, 2004). Teknologi

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

1. Desain Usaha penanggulangan korosi sebaiknya sudah dilakukan sejak tahapan desain proses. Ahli-ahli korosi sebaiknya ikut dilibatkan dalam desain proses dari sejak pemilihan proses, penentuan kondisi-kondisi prosesnya, penentuan bahan-bahan konstruksi, pemilihan lay-out, saat konstruksi sampai tahap start-upnya. Di antara cara-cara penanggulangan korosi dari segi desain yang sering digunakan adalah:
  - Isolasi alat dari lingkungan korosif
  - Mencegah hadir/terbentuknya elektrolit
  - Jaminan lancarnya aliran fluida
  - Mencegah korosi erosi/abrasi akibat kecepatan aliran
  - Mencegah terbentuknya sel galvanik
2. Pemilihan material bahan konstruksi harus dipilih yang tahan korosi. Apalagi jika lingkungannya korosif. Ketahanan korosi masing-masing bahan tidak sama pada berbagai macam lingkungan. Mungkin sesuatu bahan sangat tahan korosi dibanding bahan-bahan lain pada lingkungan tertentu. Tetapi bahan yang sama mungkin adalah yang paling rawan korosi pada lingkungan yang berbeda dibanding dengan bahan-bahan yang lain. Di antara bahan-bahan konstruksi yang paling sering digunakan adalah besi, aluminium, timah hitam, tembaga, nikel, timah putih, dan titanium.
3. Pelapisan metode pelapisan atau coating adalah suatu upaya mengendalikan korosi dengan menerapkan suatu lapisan pada permukaan logam besi. Misalnya, dengan pengecatan atau penyepuhan logam. Penyepuhan besi biasanya menggunakan logam krom atau timah. Kedua logam ini dapat membentuk lapisan oksida yang tahan terhadap lapisan film permukaan

dari oksida logam hasil oksidasi yang tahan terhadap korosi lebih lanjut. Logam seng juga digunakan untuk melapisi besi (galvanisir), tetapi seng tidak membentuk lapisan oksida seperti pada krom dan timah, melainkan berkarbon demi besi.

Ada dua macam cara pelapisan, yaitu :

-Pelapisan dengan bahan logam. Pada pelapisan dengan bahan logam, dapat digunakan bahan-bahan logam yang lebih inert maupun yang kurang inert sebagai bahan pelapis. Pemakaian kedua macam bahan tersebut mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing.

-Pelapisan dengan bahan non logam yaitu dengan pelapis berbahan dasar organik seperti cat polimer dan pelapis berbahan dasar anorganik

4. Proteksi katodik dan anodik proteksi katodik merupakan metode pencegahan korosi pada logam dengan cara logam yang ingin dilindungi dijadikan lebih bersifat katodik. Apabila dilakukan dengan arus listrik dari power suplai maka disebut arus tanding, dan jika dihubungkan dengan logam lain disebut anoda korban. Proteksi katodik sangat efektif untuk melindungi korosi eksternal pada pipa saluran yang berada di bawah tanah atau dibawah air laut. Namun penggunaan metoda ini dapat menimbulkan masalah baru yang harus dipertimbangkan, seperti arus sesat (stray-current) yang justru dapat meningkatkan laju korosi pada logam lain di sekitar logam yang dilindungi, melepuhnya permukaan logam (blistering), retak pada struktur, rusaknya lapisan cat, dan apabila dilakukan pada alumunium maka dapat merusak lapisan pasif. Proteksi anodik adalah metoda perlindungan logam terhadap korosi dengan cara merubah potensial logam menjadi lebih positif. Metoda ini juga digunakan untuk melindungi korosi internal pada tangki atau vessel, namun hanya efektif jika logam dan lingkungan dapat membentuk lapisan pasif. Biaya instalasi, maintenance, dan power yang cukup besar merupakan parameter yang harus dipertimbangkan ketika memilih metoda ini.

5. Perlakuan lingkungan upaya perlakuan lingkungan ini sangat penting dalam penanggulangan korosi di industri. Lingkungan yang korosif diupayakan menjadi tidak atau kurang korosif. Ada dua macam cara perlakuan lingkungan yaitu:
- Penggubahan media/elektrolit. Misalnya penurunan suhu, penurunan kecepatan alir, penghilangan oksigen atau oksidator, pengubahan konsentrasi.
  - Penggunaan inhibitor. Inhibitor adalah suatu bahan kimia yang jika ditambahkan dalam jumlah yang kecil saja kepada lingkungan media yang korosif, akan menurunkan kecepatan korosi. Inhibitor bekerja menghambat laju korosi. Belum banyak diketahui bagaimana cara kerja inhibitor dalam menghambat korosi.

## 2.5 Inhibitor

Penghambat atau inhibitor korosi banyak digunakan di industri untuk menghalangi korosi logam, karena inhibitor mampu memperlambat dan bahkan hampir menghilangkan proses korosif yang terjadi dalam transportasi, produksi dan penyimpanan minyak dan turunannya. Mayoritas inhibitor yang digunakan dalam industri dalam korosi asam adalah senyawa organik yang mengandung atom nitrogen, oksigen dan sulfur. Inhibitor yang mempunyai dua atau lebih ikatan rangkap juga mengambil bagian penting dalam memfasilitasi adsorpsi senyawa ini ke permukaan logam, karena ikatan dapat terbentuk antara pasangan elektron dan atau awan elektron atom donor dan permukaan logam sehingga mengurangi serangan zat korosif pada media asam. Dengan demikian inhibitor digunakan untuk menurunkan laju korosi logam dalam asam. Jadi inhibitor tersebut adalah zat yang digunakan untuk menghentikan atau memperlambat proses korosi (Ferreira, 2016).

Penggunaan inhibitor merupakan salah satu metode yang paling praktis untuk perlindungan terhadap korosi terutama dalam larutan asam yang dapat mencegah pengrusakan logam dan penggunaan asam yang tidak diharapkan. Senyawa organik dan anorganik yang berbeda dipelajari sebagai penghambat untuk



melindungi logam dari serangan korosi. Kemampuan suatu senyawa untuk dijadikan sebagai penghambat tergantung pada kemampuannya untuk membentuk film penghalang yang kuat dan mempunyai sifat adsorpsi pada permukaan logam. Biasanya, senyawa organik memberikan pengaruh yang signifikan terhadap luas daerah teradsorpsi pada permukaan logam. Kemampuan teradsorpsi yang tinggi dari inhibitor menyebabkannya dapat digunakan sebagai inhibitor korosi yang efektif. Efisiensi inhibitor korosi organik ini terkait dengan adanya fungsi kutub dari atom sulfur, oksigen atau nitrogen dalam molekul, senyawa heterosiklik dan elektron orbital p. Fungsi kutub biasanya dianggap sebagai pusat reaksi pembentukan proses adsorpsi (Al-turkustani, 2016).

Beberapa inhibitor memperlambat korosi dengan adsorpsi untuk membentuk film tipis yang tidak terlihat, hanya beberapa molekul tebalnya, yang lain membentuk endapan tebal yang terlihat yang melapisi logam dan melindungi dari serangan korosi. Mekanisme umum lainnya yang membuat logam terkorosi dimana terjadi interaksi adsorpsi antara logam dengan produk korosi membentuk lapisan pasif. Bentuk korosi lainnya dapat menyebabkan kondisi dimana lingkungan menjadi lebih menguntungkan untuk pembentukan endapan pelindung atau sebagai alternatif menghilangkan konstituen agresif dari lingkungan korosif. Inhibitor korosi telah tumbuh menjadi salah satu metode umum untuk memperlambat korosi. Beberapa manfaat langsung dari menggunakan inhibitor korosi antara lain:

1. Memperpanjang umur pemakaian suatu logam
2. Mencegah logam dari kegagalan yang mengakibatkan cacat getas
3. Menghindari kontaminasi produk
4. Mencegah hilangnya energi panas yang berlebihan
5. Mempertahankan penampilan yang menarik

Penghematan inhibitor untuk masing-masing tujuan ini harus dievaluasi untuk menentukan apakah program penghambatan korosi akan bersifat ekonomis. Karena biaya terkadang sulit untuk diperkirakan, metode terbaik adalah untuk memperoleh data tentang

pemeliharaan, penggantian dan sebagainya dari sejarah masa lalu sistem yang akan dilindungi atau dari sistem yang sama. Ada beberapa biaya yang terkait dengan penggunaan inhibitor. Kenyataannya, biaya satu atau lebih dari factor dibawah ini harus diperhitungkan dalam setiap evaluasi ekonomi penghambatan korosi

1. Installation peralatan injeksi
2. Perawatan peralatan injeksi
3. Pembelian inhibitor
4. Pemantauan konsentrasi inhibitor
5. Perubahan sistem untuk mengakomodasi inhibitor
6. Perubahan operasional untuk mengakomodasi bahan kimia inhibitor
7. Pembersihan system
8. Pembuangan limbah
9. Peralatan keselamatan personel

Literatur korosi ilmiah dan teknis mengandung banyak formulasi dan daftar senyawa kimia yang menunjukkan sifat penghambat. Namun, hanya sedikit yang benar-benar digunakan dalam praktiknya. Ini sebagian dikarenakan pertimbangan biaya toksisitas, ketersediaan, dan keramahan lingkungan yang biasanya sangat berpengaruh. Dalam kasus di mana major shutdown dapat dihindari melalui penggunaan inhibitor, keuntungan ekonomis dari analisis inhibisi tidak diragukan lagi kejelasannya, dalam kasus yang kurang jelas, ekonomi yang lebih rinci harus dilakukan (Roberge, 2000).

Mekanisme kerja korosi dapat berupa inhibitor teradsorpsi pada logam dan membentuk suatu lapisan tipis dengan ketebalan beberapa molekul inhibitor, melalui pengaruh lingkungan yang kemudian akan mengendap dan teradsorpsi pada permukaan logam, membentuk suatu lapisan pasif dengan mengkorosi logamnya terlebih dahulu pada permukaan logam, dll.

Inhibitor menurut mekanisme kerjanya dibagi menjadi inhibitor anodik, katodik, dan campuran. Dan berdasarkan bahan dasarnya dibedakan menjadi inhibitor organik dan inhibitor inorganik.

---

### 2.5.1 Inhibitor Anodik

Inhibitor anodik dapat memperlambat reaksi elektrokimia di anoda melalui pembentukan lapisan pasif pada bagian permukaan suatu logam tersebut sehingga logam tersebut dapat terlindungi dari korosi. Terdapat dua jenis inhibitor anodik (Roberge, pierre R, 1999), yaitu:

1. Oxydizing anions, dapat membentuk lapisan pasif pada baja tanpa kehadiran oksigen. Contohnya antara lain kromat, nitrit, dan nitrat
2. Non-Oxydizing ions, dapat membentuk lapisan pasif pada baja dengan kehadiran oksigen. Contohnya antara lain phospat, tungstate, dan molybdat.

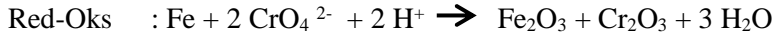
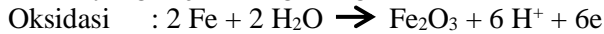
Nama lain dari inhibitor anodik adalah inhibitor pasif. Inhibitor jenis ini merupakan inhibitor yang menghambat reaksi oksidasi pada anoda. Inhibitor ini juga mendukung reaksi alami dari permukaan pasif logam dengan mekanisme membentuk sebuah film teradsorpsi pada logam, dapat dilihat dalam ilustrasi Gambar 2.3. Secara umum, inhibitor bereaksi dengan produk korosi sehingga film kohesif dan tidak larut pada permukaan logam. Inhibitor anodik mempengaruhi diagram polarisasi potensiostatik logam digeser ke nilai-nilai yang lebih positif dan nilai arus dalam kurva menurun dengan kehadiran inhibitor korosi.

Inhibitor anodik bereaksi dengan ion logam positif (+) yang diproduksi di anoda, umumnya membentuk hidroksida tidak larut yang diendapkan pada permukaan logam sebagai film yang tidak larut dan impermeable untuk ion logam. Dari hidrolisis hasil inhibitor dalam ion OH<sup>-</sup>. Ketika konsentrasi inhibitor menjadi cukup tinggi, kerapatan arus katodik pada potensi pasivasi utama menjadi lebih tinggi daripada kritis kepadatan arus anodik, yang, menggeser potensi untuk rasa yang mulia, dan mengakibatkan logam menjadi pasif. Untuk efek anodik inhibitor, sangat penting bahwa konsentrasi inhibitor harus cukup tinggi dalam larutan. Jumlah yang tidak pantas dari inhibitor mempengaruhi performa yang rendah. Konsentrasi di bawah dengan nilai kritis lebih buruk daripada tanpa inhibitor sama sekali. Secara umum dapat menyebabkan pitting, pengurangan

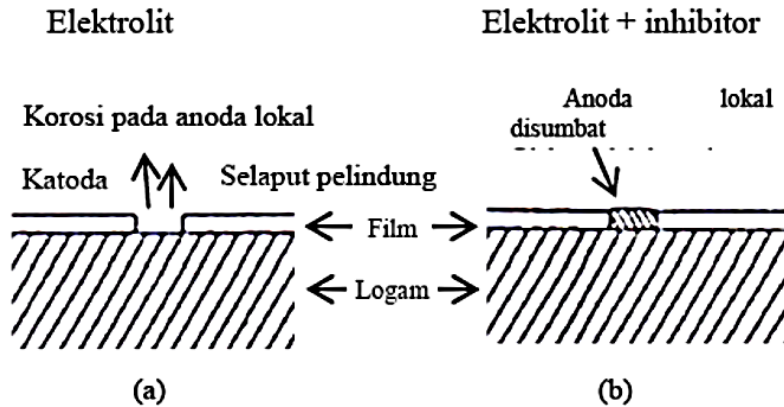
---

karena di daerah anodik relatif terhadap katoda, atau dapat mempercepat korosi, seperti korosi umum, karena kerusakan penuh pasif tersebut. Beberapa contoh inhibitor anorganik anodik adalah nitrat, molibdat, natrium kromat, fosfat, hidroksida dan silikat (Alexandre, 2010).

Salah satu contoh inhibitor yang memasifkan anoda adalah senyawa-senyawa kromat, misalnya  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ . Salah satu reaksi redoks yang terjadi dengan logam besi adalah:



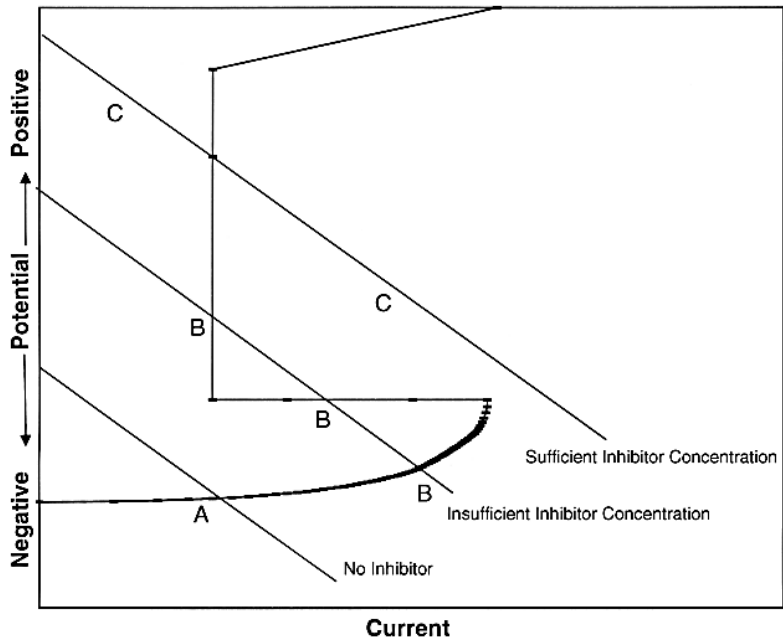
Inhibitor jenis  $\text{CrO}_4^{2-}$  dan  $\text{NO}_2^-$  cukup banyak digunakan untuk perlindungan logam besi dan aluminium terhadap berbagai medium korosif. Namun dari studi teoritis maupun eksperimental, kedua jenis inhibitor tersebut kurang baik digunakan dalam medium yang mengandung  $\text{H}_2\text{S}$  dan  $\text{Cl}^-$ . Dengan adanya  $\text{H}_2\text{S}$ , sebagian dari  $\text{CrO}_4^{2-}$  bereaksi dengan  $\text{H}_2\text{S}$  yang menghasilkan belerang. Nampaknya  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  yang terbentuk tidak dapat terikat kuat pada logamnya. Sedangkan pada medium  $\text{Cl}^-$ , terjadi kompetisi reaksi dengan logamnya. Misalnya ion klorida dapat membentuk kompleks terlarut dengan senyawa  $\text{Fe(III)}$  yang ada pada permukaan logam besi, sehingga lapisan pelindung  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sukar dipertahankan keberadaannya (Dalimunthe, 2004).



**Gambar 2.3** Efek konsentrasi inhibitor Anodik pada laju korosi(Thretewey, 1991)

Keterangan gambar:

1. Korosi dibagian selaput oksida yang terkelupas. Selaput bertindak sebagai katoda, sedangkan logam bertindak sebagai anoda
2. Anion dalam inhibitor anodik bereaksi dengan ion logam dalam larutan dan menutup bagian yang bersifat anodic



**Gambar 2.4** Diagram polarisasi dari logam aktif-pasif yang menunjukkan ketergantungan pada arus konsentrasi inhibitor tipe pasif (Uhlig, 2010)

Dengan tidak adanya inhibitor, logam terkorosi dalam keadaan aktif pada tingkat yang sesuai dengan titik A pada Gambar 2.4. Ketika konsentrasi inhibitor meningkat, korosi juga meningkat hingga konsentrasi kritis dan laju korosi menurun (titik B) pada Gambar 2.4 tercapai. Di kritis konsentrasi, ada transisi cepat dari logam ke logam keadaan pasif, dan laju korosi menurun (titik C).

### 2.5.2 Inhibitor Katodik

Inhibitor katodik dapat memperlambat reaksi katodik suatu logam dan membentuk presipitat di wilayah katoda yang dapat meningkatkan impedansi permukaan sekaligus membatasi difusi

---

pereduksi untuk melindungi logam tersebut. Terdapat tiga jenis inhibitor katodik (Roberge, pierre R, 1999), yaitu:

1. Racun katoda, dapat menghambat reaksi evolusi hidrogen. Contohnya seperti sulfide, selenida, arsenat, danantimonat.
2. Presipitat katoda, dapat mengendap membentuk oksida sebagai lapisan pelindung pada logam. Contohnya seperti kalsium, seng, dan magnesium.
3. Oxygen scavengers, dapat mengikat oksigen terlarut sehingga mencegah reduksi oksigen pada katoda. Contohnya seperti hidrasin, natrium sulfit, dan hidrok silamin HCl.

Selama proses korosi, inhibitor korosi katodik mencegah terjadinya reaksi reduksi logam. Karenaa jika pada suatu proses korosi reaksi reduksinya terganggu maka reaksi oksidasi (pada anoda) juga ikut terganggu dan dapat menghambat proses setengah sel reaksi redoks yang artinya menghambat proses korosi. Inhibitor memasifkan katoda juga dapat bekerja dengan menutup permukaan katoda dengan suatu senyawa kimia tertentu, baik yang dihasilkan oleh suatu reaksi kimia ataupun dengan pengkodisian suatu larutan tertentu misalnya pH. Inhibitor anodik menyebabkan potensial korosi bergeser ke arah yang lebih negatif.

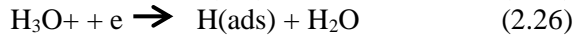
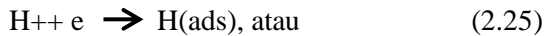
Inhibitor katodik merupakan kation yang bermigrasi ke permukaan katodik dandiendapkan secara kimia atau elektrokimia dan mengisolasi permukaan ini, sehingga menghalangi pembebasan gas hydrogen di permukaan katodik. Reaksi katodik dilingkungan netral, adalah:



Pada reaksi ini, inhibitor bereaksi dengan ion hidroksil menghasilkan senyawa yang mengendap di permukaan katoda, sehingga menyelimuti katoda dari elektrolit dan mencegah masuknya oksigen. Inhibitor yang banyak digunakan untuk tipe ini adalahlarutan garam seng dan magnesium yang membentuk hidroksida tidak larut, kalsium yangmenghasilkan karbonat dan polifosfat. Reaksi katodik di lingkungan asam:



Secara umum terdapat 3 jenis inhibitor yang mempasifkan katoda, yaitu jenis racun katoda, jenis inhibitor mengendap pada katoda dan jenis penangkap oksigen. Inhibitor racun katoda pada dasarnya berperan mengganggu rekasi pada katoda. Pada kasus pembentukan gas hidrogen, reaksi diawali yang teradsorpsi pada permukaan katoda:



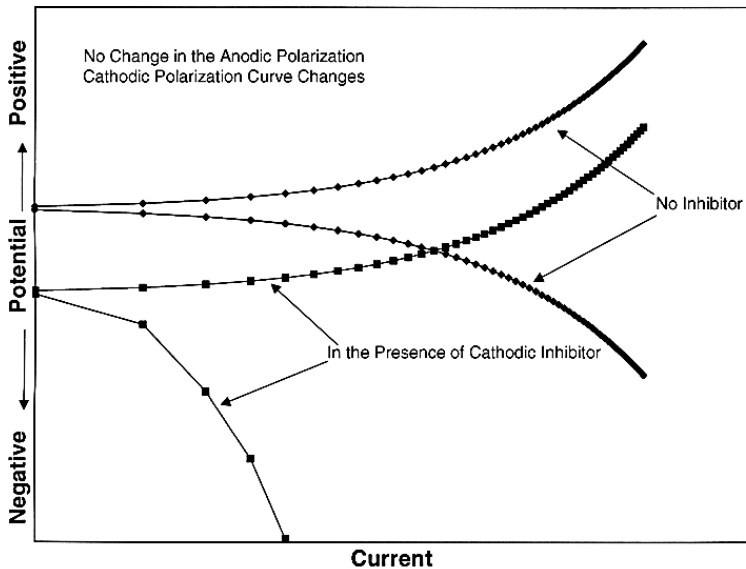
Inhibitor harus berperan menghambat kedua tahap reaksi diatas terutama reaksi yang pertama, misalInya berdasarkan diagram arus –potensial (voltamogram) reaksi pembentukan hidrogen dari asamnya, maka untuk memperkecil arus katodik dapat dengan menurunkan tegangan lebih katodiknya. Yang patut dipertimbangkan adalah bila inhibitor hanya menghambat reaksi kedua saja, maka akan terjadi penumpukan atom hidrogen pads permukaan katoda. Atom-atom tersebut dapat terpenetrasi ke dalam kisi logam – dan mengakibatkan timbulnya kerapuhan akibat hydrogen.

Beberapa contoh inhibitor katodik anorganik adalah ion dari magnesium, seng, dan nikel yang bereaksi dengan hidroksil ( $\text{OH}^{-}$ ) dari air membentuk hidroksida tidak larut seperti ( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Ni}(\text{OH})_2$  yang disimpan di situs katodik dari permukaan logam, melindunginya. Juga dapat dikutip polifosfat, fosfonat, tanin, lignin Dan garam kalsium sebagai contoh yang menghadirkan mekanisme reaksi yang sama.

Senyawa sulfida ( $\text{S}^{2-}$ ) dan selenida ( $\text{Se}^{2-}$ ) mungkin dapat digunakan, karena dapat terserap pada permukaan katoda. Namun sayang sekali pada umumnya senyawa-senyawa itu mempunyai kelarutan yang rendah di dalam air atau suasana asam. Selain itu



dapat pula mengendapkan berbagai logam, disamping sifat racunnya. Senyawa arsenat, bismutat dan antimonat dapat pula digunakan, yang melalui suatu reaksi tertentu (misal reaksi kondensasi) dapat tereduksi menghasilkan produk yang mengendap pada katoda. Biasanya reaksi tersebut berlangsung pada pH relatif rendah. Inhibitor jenis kedua adalah yang dapat diendapkan pada katoda (Dalimunthe, 2004).

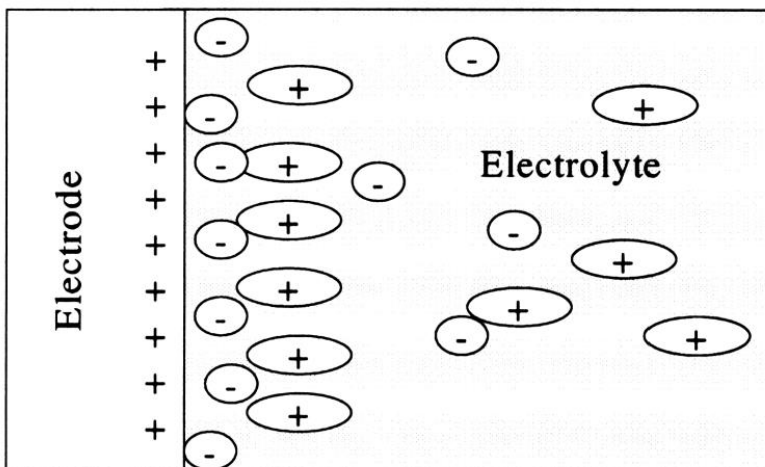


**Gambar 2.5** Polarization curve in the presence of cathodic inhibitor (Uhlig, 2010)

Inhibitor katodik menghambat reaksi reduksi. Zat dengan potensi tinggi untuk hidrogen dan yang bentuk endapan di katoda efektif dalam asam dan larutan alkali. Efek dari katodik inhibitor pada kurva polarisasi ditunjukkan pada Gambar 2.5. Dalam hal ini, kemiringan kurva polarisasi anodik tidak terpengaruh, tetapi kemiringan kurva polarisasi katodik semakin tinggi.

### 2.5.3 Inhibitor Campuran

Campuran dari inhibitor katodik dan anodik. Inhibitor campuran, biasanya mengandung salah satu bahan oksidator seperti kromat, nitrit dan bahan nonoksidator yang dapat menyebabkan terjadinya pengendapan seperti ortifosfat atau silikat. Sekitar 80% inhibitor adalah senyawa organik yang tidak dapat ditetapkan secara spesifik sebagai anodik atau katodik dan dikenal sebagai inhibitor campuran. Efektivitas inhibitor organik terkait sejauh mana yang mereka menyerap dan menutupi permukaan logam. Adsorpsi tergantung pada struktur inhibitor, di permukaan muatan logam, dan pada jenis elektrolit. Inhibitor campuran melindungi logam dengan tiga cara yang mungkin: adsorpsi fisik, kemisorpsi, dan pembentukan film (Uhlig, 2011).



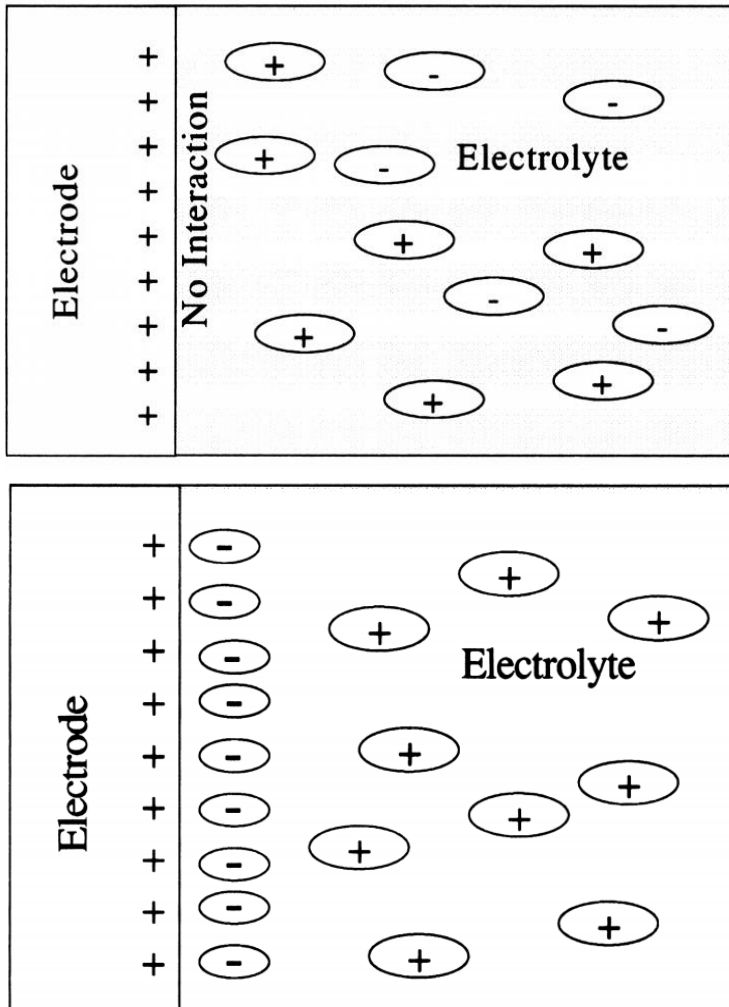
**Gambar 2. 6** Adsorpsi inhibitor bermuatan negatif pada a permukaan logam bermuatan positif (Uhlig, 2010).

Adsorpsi fisik (atau elektrostatik) adalah hasil dari tarikan elektrostatik antara inhibitor dan permukaan logam. Ketika permukaan logam bermuatan positif, adsorpsi inhibitor bermuatan negatif (anionik) difasilitasi (Gambar 2.6). Adsorpsi terjadi sebagai

---

akibat dari gaya elektrostatik antara muatan listrik pada logam dan muatan ionik atau dipol pada molekul inhibitor.

Molekul bermuatan positif bekerja dalam kombinasi dengan yang bermuatan negatif dapat menghambat positif logam bermuatan. Anion, seperti ion halida, dalam larutan menyerap pada permukaan logam yang bermuatan positif, dan kation organik selanjutnya teradsorpsi pada dipol (Gambar 2.7). Korosi pada besi dalam asam sulfat yang mengandung ion klorida dihambat oleh kation amonium kuaterner melalui sinergis ini efek (Trabanelli, 1970).



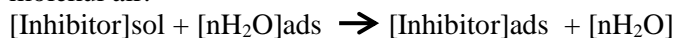
**Gambar 2.7** (a) Molekul inhibitor bermuatan positif tidak berinteraksi dengan permukaan logam yang bermuatan positif. (b) Sinergis adsorpsi inhibitor bermuatan positif dan anion pada positif permukaan logam yang diisi (Uhlig, 2011)

Inhibitor yang teradsorpsi secara fisik berinteraksi dengan cepat, tetapi mereka juga mudah dikeluarkan dari permukaan. Peningkatan temperatur umumnya memfasilitasi desorpsi molekul inhibitor yang teradsorpsi secara fisik. Inhibitor paling efektif adalah mereka yang secara kimia menyerap (chemisorb), suatu proses yang melibatkan pembagian biaya atau transfer biaya antara molekul penghambat dan permukaan logam. Chemisorpsi berlangsung lebih lambat daripada fisik adsorpsi. Dengan meningkatnya temperatur, adsorpsi dan penghambatan juga meningkat. Chemisorpsi bersifat spesifik dan tidak sepenuhnya reversibel (Levin, 1965).

Molekul inhibitor teradsorpsi dapat mengalami reaksi pada permukaan, menghasilkan film polimer. Proteksi karat meningkat secara nyata ketika film-film tumbuh dari lapisan yang teradsorpsi hampir dua dimensi menjadi film tiga dimensi ke atas hingga mencapai ketebalan beberapa ratus angstrom. Penghambatan efektif hanya ketika film melekat, tidak larut, dan mencegah akses solusi ke logam. Film pelindung mungkin nonconducting (kadang-kadang disebut inhibitor ohmik karena mereka meningkatkan resistansi sirkuit, sehingga menghambat proses korosi) atau melakukan *self-healing films*.

Sebagian besar inhibitor organik memiliki setidaknya satu fungsional kelompok, dianggap sebagai pusat reaksi atau kelompok penahan. Kekuatan adsorpsi tergantung pada muatannya kelompok penahan [lebih pada atom hetero (mis., atom selain karbon, termasuk nitrogen dan belerang) hadir dalam kelompok penahan]. Struktur sisa molekul mempengaruhi kepadatan muatan pada kelompok penahan (Levine, 1965).

Molekul air menyerap pada permukaan logam yang terbenam dalam fase berair. Molekul organik teradsorpsi dengan mengganti molekul air:



di mana  $n$  adalah jumlah molekul air yang dipindahkan oleh satu molekul penghambat. Kemampuan inhibitor untuk menggantikan molekul air tergantung pada interaksi elektrostatik antara logam dan inhibitor. Di sisi lain, jumlah molekul airnya yang dipindahkan

tergantung pada ukuran dan orientasi molekul penghambat. Jadi, interaksi pertama antara inhibitor dan permukaan logam tidak spesifik dan melibatkan rendah energi aktivasi. Proses ini, disebut "adsorpsi fisik," cepat dan, dalam banyak kasus, reversibel.

Dalam kondisi yang menguntungkan, molekul yang teradsorpsi yang terlibat dalam interaksi kimia (chemisorption) membentuk ikatan dengan permukaan logam. Chemisorpsi spesifik dan tidak reversibel. Ikatan terjadi dengan transfer elektron atau berbagi antara logam dan inhibitor. Transfer elektron adalah khas untuk logam transisi yang memiliki orbital elektron kosong dan berenergi rendah. Inhibitor memiliki elektron yang terikat dengan ikatan yang relatif lebih longgar dengan mudah, Efisiensi penghambatan yang homolog serangkaian zat organik berbeda hanya dalam heteroatom biasanya dalam urutan berikut:  $P > S > N > O$  (Uhlig, 2011).

#### **2.5.4 Inhibitor Inorganik**

Inhibitor anorganik dapat menginhibisi material logam baik secara anodik atau katodik karena memiliki gugus aktif (Wiston, 2000). Inhibitor ini terdiri dari beberapa senyawa anorganik antara lain: fosfat, kromat, dikromat, silikat, borat, molibdat dan arsenat. Senyawa-senyawa tersebut sangat berguna dalam aplikasi pelapisan korosi, namun inhibitor ini memiliki kelemahan yaitu bersifat toksik (Ameer et al., 2000).

#### **2.5.5 Inhibitor Organik**

Inhibitor organik adalah molekul-molekul organik dengan rantai samping yang dapat teradsorpsi pada permukaan logam. Inhibitor organik, biasanya dirancang sebagai pembentuk lapisan/film, melindungi logam dengan membentuk suatu lapisan/film hidrofobik pada permukaan logam. (Roberge, 2000). Keefektifannya bergantung pada susunan kimia, struktur molekul dan afinitasnya terhadap permukaan logam. Karena pembentukan lapisan/film adalah suatu proses adsorpsi, suhu dan tekanan merupakan faktor yang penting. Inhibitor organik akan diadsorpsi berdasarkan muatan ion inhibitor tersebut dan muatan pada

permukaan logam. Inhibitor kationik, seperti amina-amina, atau inhibitor anionik, seperti sulfonat-sulfonat, akan diadsorpsi lebih dahulu bergantung pada apakah logam bermuatan negatif atau positif. Kekuatan ikatan adsorpsi adalah faktor yang dominan untuk inhibitor organik yang larut dalam air. Inhibitor organik membentuk suatu lapisan/film protektif molekulmolekul teradsorpsi pada permukaan logam, yang menjadi suatu penghalang pada pelarutan logam di dalam larutan elektrolit. Karena permukaan logam yang tertutupi sebanding dengan konsentrasi inhibitor, konsentrasi inhibitor di dalam larutan/medium adalah kritis. Sebagai contoh, konsentrasi natrium benzoat 0,05% atau natrium sinamat 0,2% adalah efektif dalam air pada pH 7,5 dan yang mengandung 17 ppm NaCl atau 0,5% berat etil oktanol. Korosi karena etilen glikol pada sistem air pendingin dapat dikendalikan dengan menggunakan etanolamin sebagai inhibitor (Roberge, 2000).

Inhibitor ini biasanya mengalami proses fisisorpsi pada permukaan logam karena terdapat gugus polar pada struktur. Senyawa organik yang digunakan sebagai inhibitor, kadang-kadang, mereka bertindak sebagai katodik, anodik atau bersama-sama, sebagai inhibitor katodik dan anodik, bagaimanapun, sebagai aturan umum, bertindak melalui proses adsorpsi permukaan, ditunjuk sebagai film-pembentuk. Tentu terjadinya molekul menunjukkan afinitas yang kuat untuk senyawa permukaan logam yang menunjukkan efisiensi inhibisi baik dan risiko lingkungan yang rendah. Inhibitor ini membangun sebuah molekul Film terserap hidrofobik pelindung pada permukaan logam, yang menyediakan penghalang untuk pembubaran logam dalam elektrolit. Mereka harus larut atau terdispersi dalam medium sekitarnya logam (Alexandre, 2010).

Efisiensi inhibitor organik tergantung dari:

1. Struktur kimia, seperti ukuran molekul organik.
2. Ikatan aromatic atau ikatan terkonjugasi, sebagai rantai karbon.
3. Jenis dan jumlah atom ikatan atau kelompok dalam molekul (baik  $\pi$  atau  $\sigma$ ).

4. Sifat dan biaya dari permukaan logam dari modus adsorpsi seperti kekuatan ikatan dengan substrat logam.
5. Kemampuan untuk lapisan untuk menjadi kompak atau cross-linked.
6. Kemampuan untuk membentuk kompleks dengan atom sebagai solid dalam kisi logam.
7. Jenis larutan elektrolit seperti kelarutan yang memadai di lingkungan.

Efisiensi ini inhibitor korosi organik terkait dengan kehadiran kelompok - kelompok fungsional polar dengan S, O atau N atom dalam molekul, senyawa heterosiklik dan elektron pi, umumnya memiliki bagian hidrofilik atau hidrofobik terionisasi. Fungsi kutub biasanya dianggap sebagai pusat reaksi untuk pembentukan adsorpsi. Berdasarkan studi dari sejumlah senyawa organik yang mengandung atom-atom-nitrogen (N) untuk inhibisi korosi besi, Hackerman, dkk sebagaimana dikemukakan oleh Luo, dkk (1998) menekankan pentingnya kerapatan elektron (electron density) pada atom dari gugus fungsional yang merupakan suatu pusat reaksi terhadap keefektifan inhibisi dari banyak senyawa organik. Mereka menemukan bahwa, di dalam larutan  $6 \text{ mol/dm}^3 \text{ HCl}$ , inhibisi dari inhibitor-inhibitor organik meningkat dengan meningkatnya kerapatan elektron pada atom nitrogen (N) yang merupakan pusat reaksi untuk senyawa-senyawa piridin dan turunannya (Rozenfeld, 1981). Hasil yang sama diperoleh untuk amina-amina alifatik dan siklik dan telah didukung oleh hasil penelitian yang lain (Trabanelli dan Carrasetti, 1970, Luo, dkk, 1998). Karena secara umum dianggap bahwa elektron yang terlibat di dalam ionisasi pertama memiliki pasangan-pasangan elektron bebas (lone pairs of electrons), potensial ionisasi biasanya dapat disebut sebagai suatu ukuran kerapatan elektron pada atom nitrogen. Untuk senyawa-senyawa organik, makin rendah potensial ionisasi, makin kuat adsorpsinya dan makin tinggi efisiensi inhibisinya (I E).



### 2.5.6 Inhibitor teradsorpsi

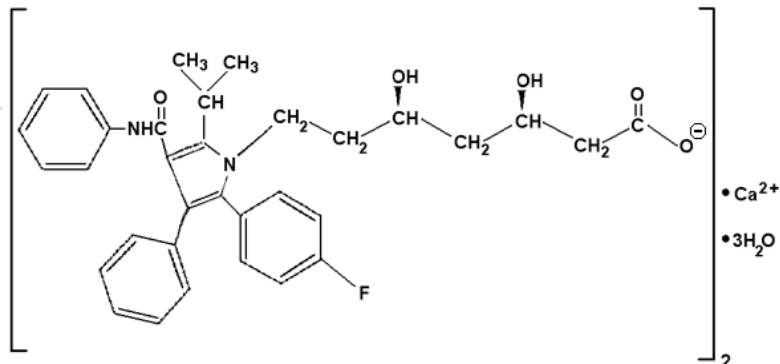
Sorpsi adalah penyerapan suatu zat oleh zat lain, terdapat dua jenis sorpsi, yaitu absorpsi dan adsorpsi. Pada adsorpsi, zat yang diserap hanya terdapat pada bagian permukaan zat penyerap, sedangkan pada absorpsi, zat atau ion yang diserap masuk ke bagian dalam zat penyerap. Adsorpsi semata-mata hanya suatu efek permukaan, sedangkan dalam absorpsi, zat cair dan gas yang diabsorpsi menembus dalam ruang-ruang kapiler dari zat pengabsorpsi. Ada dua jenis komponen yang terlibat dalam adsorpsi, yaitu zat penyerap (adsorben) dan zat terserap (absorbat).

Ada tiga cara yang dilakukan inhibitor teradsorpsi terhadap permukaan logam, yaitu (Roberge, 2010):

1. Isolasi langsung situ-situ anodik dan katodik.
2. Pembentukan penghalang secara fisika atau kimia.
3. Berinteraksi dengan antarmediasi reaksi korosi.

### 2.6 Atorvastatin

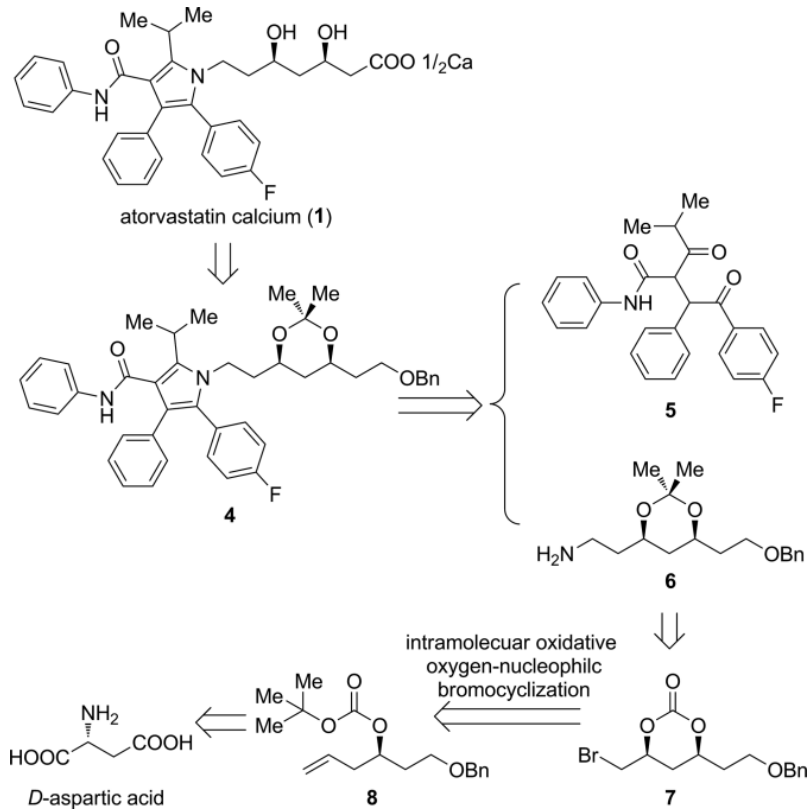
Atorvastatin calcium adalah agen turunan dari lipid sintetik. Enzim ini mengkatalisis konversi HMG-CoA ke mevalonate, langkah awal dalam biosintesis kolesterol. Rumus empiris dari atorvastatin calcium adalah  $(C_{33}H_{34}FN_2O_5) \cdot 2Ca \cdot 3H_2O$  dan berat molekul adalah 1209,42. rumus struktur adalah:



**Gambar 2.8** Rumus struktur atorvastatin calcium (Pfizer Ireland Pharmaceuticals, 2009)

---

Metode pertama yang dilakukan dalam sintesis Atorvastatin adalah (1) terdiri dari 6 step Atorvastatin calcium (1) diuraikan dalam format sintesis retro pada Gambar 3. Menurut Yan Wu (2017) tahap akhir antar memediasi 4 bisa diubah menjadi 1 melalui debenzylation, oxidation, deprotection, and salt formation. Prekursor atorvastatin yang dibutuhkan 4 akan disintesis menggunakan reaksi Paal- Knorr antara diketon 5 yang sudah digantikan sepenuhnya oleh chiral C-7-amino benzil eter 6. Lanjutan struktur blok 6 bisa diakses dari chiral syn-1,3-karbonat 7 melalui serangkaian transformasi fungsional-kelompok sederhana. Syn-1,3-diol motif dari 7 bisa diastereoselectively constructed oleh oksidatif oksigen nukleofilik reaksi bromocyclization antarmolekul mulai dari karbonat 8. Senyawa 8 akan disusun secara chiral pool mulai dan tersedia secara komersial D-aspartat acid.



**Gambar 2.9** Analisis Retrosynthetic atorvastatin calcium (Yan Wu, 2017)

Statin merupakan salah satu obat yang secara luas digunakan untuk pencegahan primer dan sekunder penyakit kardiovaskular. Obat ini dapat menurunkan kadar kolesterol low-density-lipoprotein (LDL) tubuh dengan berikatan dengan sisi aktif pada 3-hidroksi-3-metilglutaril-koenzim A (HMG-CoA) reduktase (HMGR) (Sirtori, 2014). Mekanisme dalam tubuh adalah dengan mengurangi kadar kolesterol dalam darah dan peran antioksidan dalam menekan terjadinya oksidasi LDL hasil reaksi inflamasi. Kolesterol yang diserap melalui usus dibawa ke jaringan ekstra hepatic untuk

dihidrolisis yang selanjutnya dibawa ke hepar. Sisa LDL dalam darah dibawa menuju hepar untuk disintesa menjadi asam empedu (Adam, 2009). Kandungan senyawa aktif flavonoid dapat menurunkan kadar kolesterol total dan LDL dalam darah dengan cara meningkatkan sintesa empedu (Price, 2005). Senyawa aktif fenolik dalam atorvastatin berfungsi sebagai aktifitas antioksidan yang sebagai inhibitor kompetitif berikatan dengan HMG-CoA reduktase yang membuat asam melanovat (senyawa biosintesis kolesterol) tidak akan terbentuk sehingga pembentukan kolesterol dalam hati menjadi terhambat (Sekhon, 2012).

Selain dapat menurunkan kadar kolesterol LDL, statin juga diketahui memiliki efek menguntungkan lain pada tubuh yang disebut efek pleiotropik. Efek pleiotropik tersebut antara lain anti-inflamasi, immunomodulator, dan anti kanker pada sel inang (Danilio, 2014). Beberapa penelitian juga menemukan bahwa statin memiliki efek pleiotropik dalam melawan infeksi mikroba pada banyak organ, seperti sepsis, pneumonia, dan beberapa penelitian lain menyebutkan bahwa statin dapat secara langsung mempengaruhi baik pertumbuhan maupun virulensi bakteri (Falagas, 2008) Statin diduga dapat mengganggu fungsi regulasi sel bakteri melalui gangguan ikatan (binding) dan merusakkan struktur permukaan sel seperti asam teikoat, asam lipoteikoat, lipopolisakarida, dan/atau protein permukaan. Statin menghambat jalur melanovat pada sel manusia. Jalur melanovat ini juga terdapat pada bakteri, namun tidak semua bakteri memiliki jalur melanovat, hanya bakteri gram positif seperti *S. aureus*. Statin pun menghambat pertumbuhan bakteri *S. aureus* dengan berikatan dan menghambat aktivitas HMG reduktase bakteri (Lareu, 2017).

## 2.7 Metode Polarisasi

Polarisasi merupakan penyimpangan (deviasi) suatu potensial reaksi dari potensial kesetimbangannya. Elektroda dapat juga dipolarisasi oleh tegangan luar. Nilai polarisasi biasanya diukur dalam istilah potensial-lebih,  $\eta$ , (overpotential) yang merupakan pengukuran polarisasi yang berhubungan dengan potensial

kesetimbangan elektroda ( $E_{eq}$ ). Polarisasi ini dapat berupa anodik, jika proses anodik pada katoda dipercepat dengan mengubah potensial dalam arah positif, atau dapat juga berupa polarisasi katodik, jika proses katodik dipercepat dengan memindahkan potensial tersebut dalam arah negatif.

Potensial-lebih yang berhubungan dengan polarisasi anodik dan katodik dinamakan potensial-lebih anodik ( $\eta_a$ ) dan potensial-lebih katodik ( $\eta_c$ ). Potensial-lebih dapat diungkapkan dengan persamaan  $\eta = E - E_{eq}$ .  $E$  adalah potensial terapan, dan  $E_{eq}$  adalah potensial kesetimbangan. Selama polarisasi, reaksi reduksi dan oksidasi terjadi pada permukaan logam, menghasilkan arus listrik total pada permukaan logam. Jumlah densitas arus dari reaksi ini dihubungkan terhadap potensial-lebih dengan menggunakan persamaan Butler-Volmer:

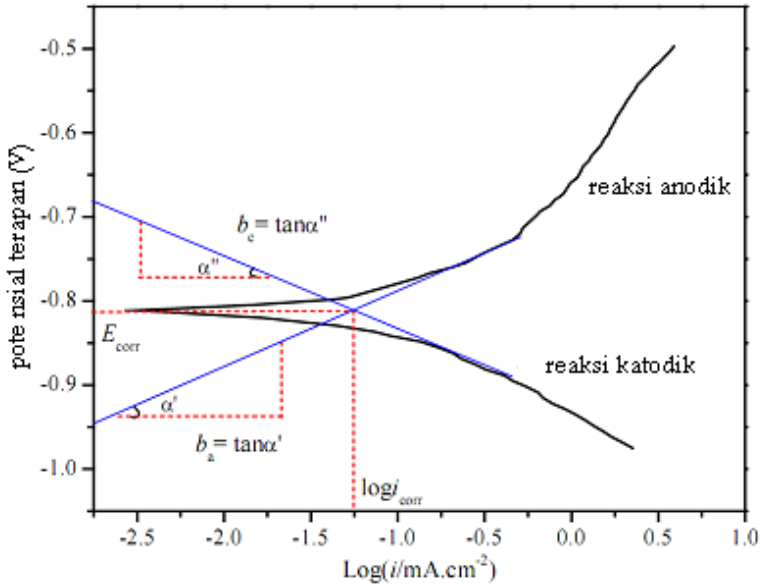
$$i = i_0 \left\{ \exp\left(\alpha \frac{nF}{RT} \eta\right) - \exp\left[-(1-\alpha) \frac{nF}{RT} \eta\right] \right\} \quad (2.28)$$

Dimana  $i_0$  adalah densitas arus anodik dan katodik pada potensial kesetimbangan ( $E_{eq}$ ).  $\alpha$  adalah koefisien simetri untuk reaksi anodik dan katodik, mendekati nilai 0,5.  $\eta$  adalah potensial-lebih,  $n$  adalah jumlah elektron yang terlibat,  $R$  adalah konstanta gas yaitu 8.314 J/mol.K,  $T$  adalah suhu absolut, dan  $F$  adalah konstanta Faraday yaitu 96.485 C/mol elektron. Butler-Volmer meringkas persamaan tersebut menjadi persamaan tafel seperti berikut ini:

$$\eta = a \pm b \log|i| \quad (2.29)$$

Dimana  $b$  merupakan kemiringan dari reaksi anodik dan katodik (potensial-lebih anodik,  $b_a = (RT/\alpha nF)$ , dan potensial-lebih katodik  $b_c = RT/(1-\alpha)nF$  tanda (+) untuk potensial-lebih anodik, dan tanda (-) untuk potensial-lebih katodik (Hoang, 2007).

Plot potensial terapan (potensial-lebih) terhadap algoritma densitas arus dinamakan plot Tafel. Kemiringan tafel, potensial korosi ( $E_{\text{corr}}$ ), dan densitas arus korosi ( $i_{\text{corr}}$ ) dapat ditentukan dengan menggunakan cara ekstrapolasi berikut:



**Gambar 2. 10** Kurva polarisasi yang menunjukkan ekstrapolasi Tafel (Hoang, 2007)

Metode Tafel ini memberikan informasi mengenai besar arus korosi ( $i_{\text{corr}}$ ) yang dihasilkan pada permukaan logam yang kontak dengan larutan korosif. Nilai arus yang diperoleh selanjutnya dapat menjadi parameter kinerja suatu inhibitor korosi. Efisiensi inhibisi dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\%I = \frac{CR_{\text{unh}} - CR_{\text{inh}}}{CR_{\text{unh}}} \times 100\% \quad (2.28)$$

Dimana  $CR_{\text{unh}}$  adalah laju korosi blanko, dan  $CR_{\text{inh}}$  adalah laju korosi larutan yang mengandung inhibitor. Semakin besar nilai efisiensi inhibisi (% I) dari suatu larutan yang mengandung senyawa tertentu, semakin baik senyawa tersebut bertindak sebagai inhibitor korosi.

## 2.8 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan peristiwa penyerapan suatu substansi pada permukaan zat padat. Pada fenomena adsorpsi, terjadi gaya tarik-menarik antara substansi terserap dan penyerapnya. Dalam sistem adsorpsi, fasa teradsorpsi dalam solid disebut adsorbat sedangkan solid tersebut adalah adsorben. Bila gas atau uap bersentuhan dengan permukaan padatan yang bersih, maka gas atau uap tadi akan teradsorpsi pada permukaan padatan tersebut. Permukaan padatan disebut sebagai adsorben, sedangkan gas atau uap disebut sebagai adsorbat. Semua padatan dapat menyerap gas atau uap pada permukaan. Banyak gas yang teradsorpsi yang bergantung pada suhu dan tekanan gas serta luas permukaan padatan. Padatan yang paling efisien adalah padatan yang sangat porous seperti arang dan butiran padatan yang sangat halus (Bird T., 1993). Proses adsorpsi dapat terjadi karena adanya gaya tarik atom atau molekul pada permukaan padatan yang tidak seimbang. Adanya gaya ini, padatan cenderung menarik molekul-molekul lain yang bersentuhan dengan permukaan padatan, baik fasa gas atau fasa larutan kedalam permukaannya. Akibatnya konsentrasi molekul pada permukaan menjadi lebih besar dari pada dalam fasa gas zat terlarut dalam larutan. Proses adsorpsi hanya terjadi pada permukaan, tidak masuk dalam fasa bulk/ruah. (Kipling, 1965)

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi, yaitu (Atkins, 1990):

1. Jenis adsorben dan jenis adsorbat, kekuatan interaksi adsorbat dengan adsorben dipengaruhi oleh sifat dari adsorbat maupun adsorbennya. Gejala yang umum dipakai untuk meramalkan komponen mana yang diadsorpsi lebih kuat adalah kepolaran adsorben dengan adsorbatnya. Apabila adsorbennya bersifat

- polar, maka komponen yang bersifat polar akan terikat lebih kuat dibandingkan dengan komponen yang kurang polar.
2. Massa adsorben yang ditambahkan, jumlah adsorben yang ditambahkan kedalam larutan sangat memengaruhi hasil adsorpsi karena adsorben mempunyai titik jenuh tertentu. Pada titik ini adsorben tidak dapat lagi mengadsorpsi adsorbat dari larutan. Seluruh adsorbat dalam larutan dapat diambil jika jumlah adsorben yang ditambahkan proporsional dengan dengan jumlah adsorbat dalam larutan atau dengan kata lain adsorbat telah terambil semua kedalam permukaan aktif adsorben sebelum mencapai titik jenuh
  3. Luas permukaan, daya adsorpsi akan meningkat dengan ukuran partikel yang semakin kecil. Oleh karena itu, kecepatan adsorpsi suatu adsorben yang berbentuk powder lebih besar daripada adsorben yang berbentuk granular atau bongkahan.
  4. Temperatur, laju adsorpsi akan meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur dan menurun jika temperatur dikurangi. Hal ini terjadi jika terdapat perbedaan temperatur yang cukup besar. Sedangkan perbedaan temperatur yang kecil tidak memengaruhi proses adsorpsi
  5. Pengadukan, proses adsorpsi dipengaruhi oleh difusi film dan difusi pori. Tahapan ini sangat bergantung pada kecepatan pengadukan. Pada pengadukan yang rendah, maka tahapan adsorpsi hanya terjadi pada difusi film saja.
  6. Lama pengadukan, adsorpsi terjadi saat adsorben mulai menyerap adsorbat dalam jangka waktu yang tertentu. Besarnya hasil penyerapan bergantung dari lamanya interaksi yang diberikan kepada adsorben dan adsorbat. Interaksi ini terjadi ketika proses pengadukan, dalam proses pengadukan tersebut terjadi kesempatan bagi adsorben untuk menyerap sebanyak-banyaknya zat pengotor.



---

### 2.8.1 Jenis-Jenis Adsorpsi

Berdasarkan interaksi molekular antara permukaan adsorben dengan adsorbat, adsorpsi dibedakan 2 jenis yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia (Treybal, 1981).

1. Adsorpsi fisika merupakan adsorpsi yang terjadi karena adanya gaya Van der Waals. Gaya Van der Waals adalah gaya tarik-menarik yang relatif lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben. Pada adsorpsi fisika, adsorbat tidak terikat kuat pada adsorben sehingga adsorbat dapat bergerak dari suatu bagian permukaan adsorben ke bagian permukaan adsorben lainnya dan pada permukaan yang ditinggalkan oleh adsorbat tersebut dapat digantikan oleh adsorbat lainnya. Adsorpsi fisika merupakan peristiwa reversibel sehingga jika kondisi operasinya diubah, maka akan membentuk kesetimbangan yang baru. Proses adsorpsi fisika terjadi tanpa memerlukan energi aktivasi. Ikatan yang terbentuk dalam adsorpsi ini dapat diputuskan dengan mudah yaitu dengan pemanasan pada temperatur sekitar 150–200°C selama 2-3 jam.
2. Adsorpsi kimia merupakan adsorpsi yang terjadi karena terbentuknya ikatan kimia antara molekul-molekul adsorbat dengan adsorben. Ikatan yang terbentuk merupakan ikatan yang kuat sehingga lapisan yang terbentuk merupakan lapisan monolayer. Pada adsorpsi kimia yang terpenting adalah spesifikasi dan kepastian pembentukan monolayer sehingga pendekatan yang digunakan adalah dengan menentukan kondisi reaksi. Adsorpsi kimia tidak bersifat reversibel dan umumnya terjadi pada suhu tinggi diatas suhu kritis adsorbat. Oleh karena itu, untuk melakukan proses desorpsi dibutuhkan energi yang lebih tinggi untuk memutuskan ikatan yang terjadi antara adsorben dengan adsorbat.

**Tabel 2. 2** Perbedaan fisisorpsi dan chemisorpsi (McCafferty, 2009)

	<b>Fisiosorpsi</b>	<b>Kemisorpsi</b>
<b>Tipe interaksi</b>	Molekul terikat secara Van der Waals atau gaya elektrostatik	Molekul terikat secara ikatan kimia dengan terjadinya transfer atau berbagi muatan
<b>Reversibilitas</b>	Adsorbat mudah dihilangkan dengan pelarut pembersih	Adsorpsi tidak dapat kembali, lebih kuat
<b>Energi</b>	Panas adsorpsi rendah <40 kJ/mol	Panas adsorpsi tinggi >40kJ/mol
<b>Kinetika</b>	Proses adsorpsi berlangsung cepat	Panas adsorpsi lambat
<b>Spesifitas</b>	Bersifat tidak spesifik atau tidak dipengaruhi identifikasi permukaan	Interaksi spesifik, sangat bergantung pada identifikasi permukaan

### 2.8.2 Mekanisme Penyerapan

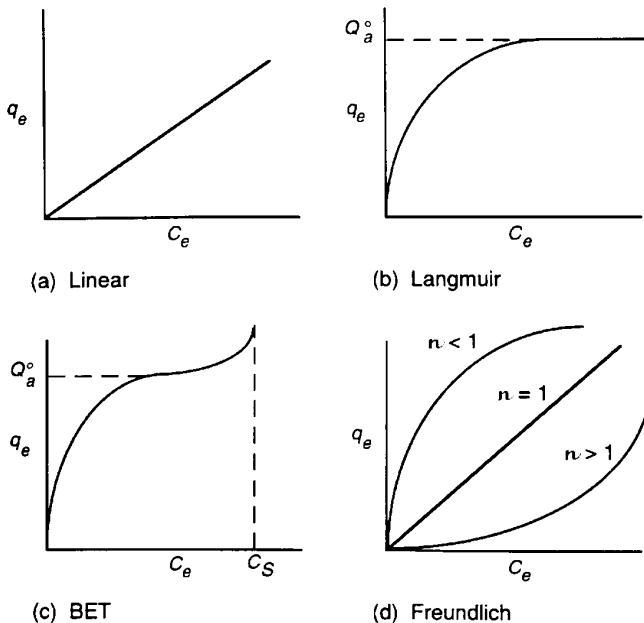
Proses adsorpsi dapat digambarkan sebagai proses dimana molekul meninggalkan larutan dan menempel pada permukaan zat adsorben akibat kimia dan fisika (Reynolds, 1982). Proses adsorpsi tergantung pada sifat zat padat yang mengadsorpsi, sifat atom/molekul yang diserap, konsentrasi, temperatur dan lain-lain. Pada proses adsorpsi terbagi menjadi 4 tahap yaitu:

1. Transfer molekul-molekul zat terlarut yang teradsorpsi menuju lapisan film yang mengelilingi adsorben.
2. Difusi zat terlarut yang teradsorpsi melalui lapisan film yang mengelilingi adsorben (film diffusion process).
3. Difusi zat terlarut yang teradsorpsi melalui kapiler atau pori dalam adsorben (pore diffusion process).

4. Adsorpsi zat terlarut yang teradsorpsi pada dinding pori atau permukaan adsorben.

### 2.8.3 Isotherm Adsorpsi

Ketertutupan penutupan permukaan adsorben oleh adsorbat pada tekanan dan temperatur tertentu disebut isotherm adsorpsi. Jika suatu adsorben dibiarkan kontak dengan larutan, maka jumlah zat yang teradsorpsi akan bertambah naik secara bertahap sampai suatu keadaan seimbang tercapai. Proses penyerapan biasanya dinyatakan sebagai suatu isotherm adsorpsi (Atkins, 1999).

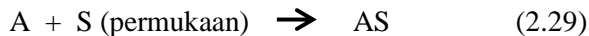


**Gambar 2.11** Empat model isotherm yang umum (Atkins, 1999)

### 2.8.4 Langmuir

Irving Langmuir (1918) menggunakan model sederhana untuk mendeskripsikan jerapan molekul pada permukaan padatan, dan menurunkan persamaan untuk isoterm. Langmuir Menganggap bahwa padatan mempunyai permukaan yang sama, molekul yang di adsorpsi ditempatkan pada tempat yang spesifik, energi permukaan tidak tergantung pada ditempati atau tidaknya permukaan, dan molekul yang diadsorpsi hanya membentuk satu lapis (monolayer) (Ira. N. Levine, 1995). Dengan asumsi ini, maka sorbat maksimal yang dapat dijerap oleh sorben dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Langmuir berikut (Laksono et. al. 1999). Persamaan langmuir:

Untuk reaksi:



- Laju adsorpsi =  $K_a C (1 - \theta)$
- Laju desorpsi =  $K_d \cdot \theta$

Pada keadaan setimbang, maka laju adsorpsi dan desorpsi molekul-molekul pada permukaan adalah sama.

$$K_a C (1 - \theta) = K_d \cdot \theta \quad (2.30)$$

$$\theta = \frac{K_a C}{K_d + K_a C} \quad (2.31)$$

$$\frac{K_a}{K_d} = b \quad (2.32)$$

Maka:

$$\theta = \frac{(K_a / K_d) C}{1 + (K_a / K_d) C} = \frac{b C}{1 + b C} \quad (2.33)$$

Dimana fraksi penutupan permukaan adsorbat oleh molekul pada konsentrasi secara isoterm :

$$\theta = \frac{X}{X_m} \quad (2.34)$$

$$X = \frac{X_m b C}{1 + b C} \quad (2.35)$$

Transformasi ke persamaan linier menjadi:

$$\frac{C}{X} = \frac{1}{bX_m} + \frac{C}{X_m} \quad (2.36)$$

Keterangan :

C = konsentrasi zat terlarut pada keadaan stimbang

$\theta$  = fraksi penutupan permukaan oleh adsorbat

$1 - \theta$  = fraksi permukaan yang kosong

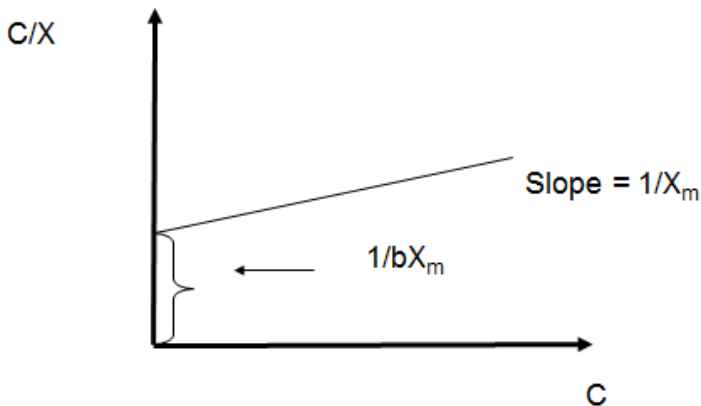
Ka = konstanta laju adsorpsi

Kd = konstanta laju desorpsi

B = konstanta langmuir

X = jumlah molekul adsorbat yang diserap per- $m^2$  penyerap ( $mol.m^{-2}$ )

$X_m$  = jumlah molekul adsorbat yang dapat diserap per- $m^2$  zat penyerap yang membentuk sebuah lapisan tunggal ( $mol.m^{-2}$ ).



**Gambar 2. 12** Gambar kurva persamaan langmuir (Levine, 1995)

### 2.8.5 Freundlich

Isoterm Freundlich dapat diambil dengan mengubah anggapan Langmuir untuk memperbolehkan beberapa macam

tempat adsorpsi pada padatan. Setiap tempat adsorpsi mempunyai panas adsorpsi yang berbeda (Levine, 1995). Hubungan antara jumlah zat yang diadsorpsi dan konsentrasi dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{X}{M} = \log KC^n \quad (2.37)$$

$X/M$  = jumlah adsorbat yang diadsorpsi per  $m^2$  sorben ( $mol/m^2$ )

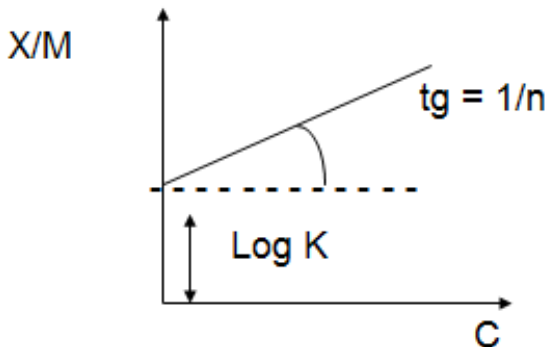
$C_e$  = konsentrasi sorbat dalam larutan setelah diadsorpsi

$K$  dan  $n$  = konstanta yang tergantung pada suhu

Dinyatakan dalam log:

$$\text{Log} \frac{X}{M} = \text{Log} KC_e^{\frac{1}{n}} \quad (2.38)$$

$$\theta = \frac{(K_a / K_d)C}{1 + (K_a / K_d)C} = \frac{bC}{1 + bC} \quad (2.39)$$



**Gambar 2. 13** Gambar kurva persamaan Freundlich(Levine, 1995)

---

## 2.9 Fourier Transform Infrared (FTIR)

FT-IR merupakan salah satu instrument yang menggunakan prinsip spektroskopi. Spektroskopi adalah spektroskopi inframerah yang dilengkapi dengan transformasi fourier untuk deteksi dan analisis hasil spektrumnya (Anam. 2007). Spektroskopi inframerah berguna untuk identifikasi senyawa organik karena spektrumnya yang sangat kompleks yang terdiri dari banyak puncak-puncak (Chusnul. 2011). Selain itu, masing-masing kelompok fungsional menyerap sinar inframerah pada frekuensi yang unik. Pancaran inframerah umumnya mengacu pada bagian spektrum elektromagnet yang terletak di antara daerah tampak dan daerah gelombang mikro. Pancaran inframerah yang kerapatannya kurang dari pada  $100\text{ cm}^{-1}$  (panjang gelombang lebih dari  $100\text{ }\mu\text{m}$ ) diserap oleh sebuah molekul organik dan diubah menjadi energi putaran molekul. Penyerapan itu tercatu dan demikian spektrum rotasi molekul terdiri dari garis-garis yang tersendiri.

Serapan radiasi inframerah oleh suatu molekul terjadi karena interaksi vibrasi ikatan kimia yang menyebabkan perubahan polarisabilitas dengan medan listrik gelombang elektromagnetik. Terdapat dua macam getaran molekul, yaitu getaran ulur dan getaran tekuk. Getaran ulur adalah suatu gerakan berirama di sepanjang sumbu ikatan sehingga jarak antar atom bertambah atau berkurang. Getaran tekuk dapat terjadi karena perubahan sudut-sudut ikatan antara ikatan-ikatan pada sebuah atom, atau karena gerakan sebuah gugusan atom terhadap sisa molekul tanpa gerakan nisbi atom-atom di dalam gugusan. Contohnya liukan (twisting), goyangan (rocking) dan getaran puntir yang menyangkut perubahan sudut-sudut ikatan dengan acuan seperangkat koordinat yang disusun arbitrer dalam molekul. Hanya getaran yang menghasilkan perubahan momen dwikutub secara berirama saja yang teramati di dalam inframerah (Hartomo, 1986).

Atom molekul bergerak dengan berbagai cara, tetapi selalu pada tingkat energi tercatu. Energi getaran rentang untuk molekul organik bersesuaian dengan radiasi inframerah dengan bilangan gelombang antara  $1200$  dan  $4000\text{ cm}^{-1}$ . Bagian tersebut dari

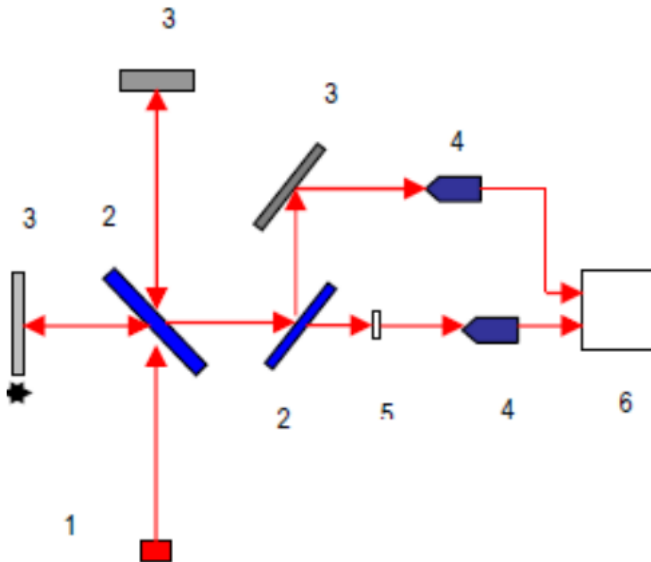
---

---

spektrum inframerah khususnya berguna untuk mendeteksi adanya gugus fungsi dalam senyawa organik. Memang daerah ini sering dinyatakan sebagai daerah gugus fungsi karena kebanyakan gugus fungsi yang dianggap penting oleh para kimiawan organik mempunyai serapan khas dan nisbi tetap pada panjang gelombang tersebut. Identifikasi pita absorpsi khas yang disebabkan oleh berbagai gugus fungsi merupakan dasar penafsiran spektrum inframerah. Hadirnya sebuah puncak serapan dalam daerah gugus fungsi dalam sebuah spektrum inframerah hampir selalu merupakan petunjuk pasti bahwa beberapa gugus fungsi tertentu terdapat dalam senyawa cuplikan. Demikian pula, tidak adanya puncak dalam bagian tertentu dari daerah gugus fungsi sebuah spektrum inframerah biasanya berarti bahwa gugus tersebut yang menyerap pada daerah itu tidak ada (Pine, 1980).



### 2.9.1 Prinsip Alat



**Gambar 2. 14** Skema alat spektroskopi FT-IR. (1) Sumber inframerah. (2) Pembagi berkas (beam splitter). (3) Kaca pemantul. (4) Sensor inframerah. (5) Sampel. (6) Display (Anam dkk. 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 ( $\delta$ ). 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).

## 2.10 Pengujian EIS

Electrochemical impedance biasanya digunakan untuk mengetahui hubungan antara elektroda material dan larutan (contohnya uji korosi untuk mengetahui perbedaan lapisan logam dalam larutan garam) (Ross Macdonald, 2005). EIS telah digunakan untuk mempelajari mekanisme korosi baja dalam larutan. Pengukuran dengan metoda EIS dapat menginterpretasikan terjadinya proses elektrokimia. (Dewi Selvia, 2004). EIS bekerja berdasarkan respon terhadap sirkuit yang setara untuk interface elektroda/larutan. EIS digunakan untuk menentukan parameter kinetika elektrokimia berkaitan dengan unsur-unsur listrik seperti tahanan,  $R$ , kapasitansi,  $C$ , dan induktansi,  $L$ . Tahanan listrik dalam EIS dinyatakan dengan impedansi ( $Z$ ). Impedansi adalah ukuran kemampuan suatu rangkaian dalam menahan arus listrik. Dalam impedansi, sinyal potensial dan arus AC berada dalam fasa yang berbeda, dan nilainya dipengaruhi oleh frekuensi. Impedansi elektrokimia diukur melalui potensial AC yang diterapkan pada sel elektrokimia untuk mengukur arus dengan asumsi bahwa potensial yang dibangkitkan sinusoidal. (Fiqi, 2014). Data impedansi dapat ditunjukkan dalam plot Nyquist dimana negatif dari komponen imajiner diplot pada sumbu vertikal, dan komponen nyata diplot pada sumbu horisontal. Berikut contoh hasil kurva dari EIS (Jeffers, 1999).

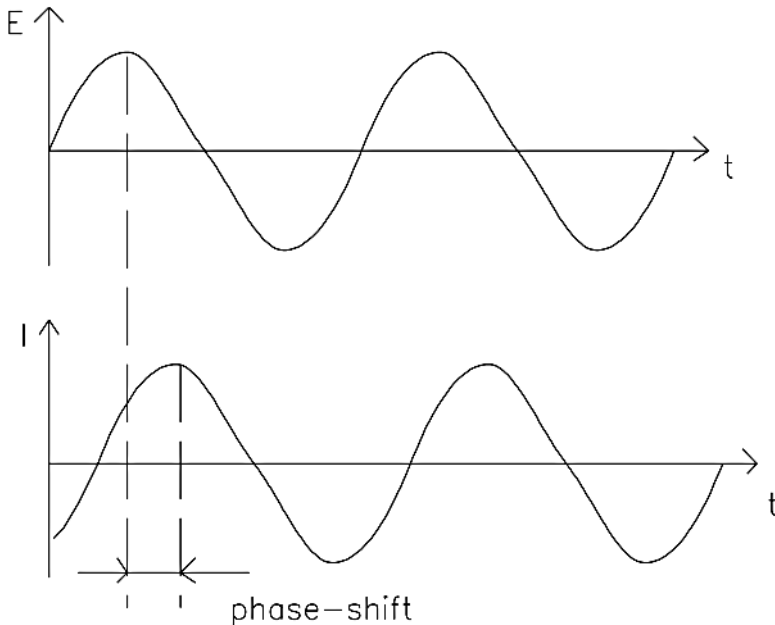
Impedance merupakan kemampuan elemen sirkuit untuk melawan aliran arus listrik. Hukum Ohm (Persamaan 1) mendefinisikan resistansi dalam hal rasio antara tegangan, E, dan saat ini, I (Gamry, 2012):

$$R = \frac{E}{I} \quad (2.40)$$

Meskipun hubungan ini terkenal, penggunaannya terbatas hanya satu elemen rangkaian - resistor ideal. Ideal resistor memiliki beberapa sifat penyederhanaan:

1. Mengikuti Hukum Ohm di semua level arus dan tegangan.
2. Nilai resistansi tidak tergantung pada frekuensi.
3. Sinyal arus dan tegangan AC melalui sebuah resistor berada dalam satu fase

Impedansi elektrokimia biasanya diukur dengan menerapkan potensial AC ke sel elektrokimia dan kemudian mengukur arus melalui sel. Menganggap bahwa diterapkan eksitasi potensial sinusoidal, dianggap potensi ini adalah sinyal arus AC. Sinyal ini kemudian dapat dianalisis sebagai jumlah sinusoidal fungsi (seri Fourier). Impedansi elektrokimia biasanya diukur dengan menggunakan sinyal eksitasi kecil, dilakukan agar sel responsnya pseudo-linear. Dalam linear (atau pseudo-linear) sistem, respons saat ini terhadap potensi sinusoidal akan menjadi sinusoid pada frekuensi yang sama tetapi bergeser fase (lihat Gambar 2.12). Linearitas dijelaskan lebih lanjut detail di bagian berikut:



**Gambar 2. 15** Respon Arus Sinusoidal dalam Sistem Linear  
(Gamry, 2012)

Sinyal eksitasi, dinyatakan sebagai fungsi waktu memiliki bentuk sebagai berikut:

$$E_t = E_o \sin(\omega t) \quad (2.41)$$

di mana  $E_t$  adalah potensial pada waktu  $t$ ,  $E_o$  adalah amplitude dari sinyal, dan  $\omega$  adalah frekuensi radial. Hubungan antara frekuensi radial  $\omega$  (dinyatakan dalam radian/detik) dan frekuensi  $f$  (dinyatakan dalam hertz) adalah:

$$\omega = 2\pi f \quad (2.42)$$

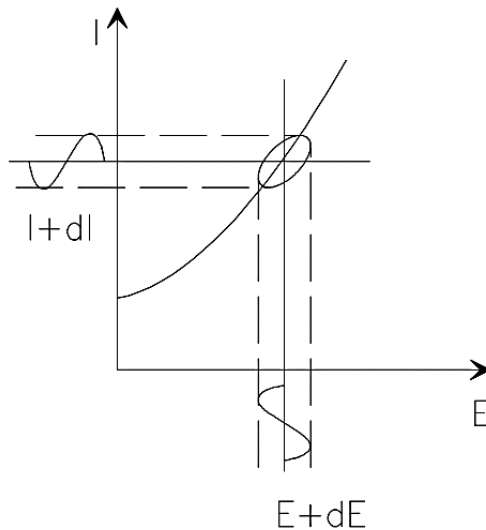
Dalam sistem linier, sinyal respons,  $I_t$ , dialihkan ke fase ( $\phi$ ) dan memiliki amplitudo berbeda,  $I_o$ . Dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$I_t = I_o \sin(\omega t + \phi) \quad (2.43)$$

Ekspresi analog dengan Hukum Ohm memungkinkan kita untuk menghitung impedansi sistem sebagai berikut:

$$Z = \frac{E_t}{I_t} = \frac{E_0 \sin(\omega t)}{I_0 \sin(\omega t + \phi)} = Z_0 \frac{\sin(\omega t)}{\sin(\omega t + \phi)} \quad (2.44)$$

Impedansi karenanya dinyatakan dalam bentuk ( $Z_0$ ), dan pergeseran fasa ( $\phi$ ). Jika kita memplot sinyal sinusoidal  $E(t)$  yang diterapkan pada sumbu X dari grafik dan sinyal respons sinusoidal  $I(t)$  pada Sumbu Y, hasilnya adalah oval (lihat Gambar 2.16). Oval ini sebagai "Figur Lissajous". Analisis Lissajous Angka pada layar osiloskop adalah metode pengukuran impedansi yang diterima sebelum ketersediaan instrumentasi EIS modern.



**Gambar 2. 16** Origin of Lissajous Figure

Dengan euler's relationship:

$$\text{Exp}(j\phi) = \cos\phi + j\sin\phi \quad (2.45)$$

dari persamaan diatas bias untuk mengekspresikan impedansi sebagai kompleks fungsi. Potensi digambarkan sebagai berikut:

$$E_t = E_o \exp(j\omega t) \quad (2.46)$$

Dan respon arus adalah persamaan berikut:

$$I_t = I_o \exp(j\omega t) \quad (2.47)$$

Impedansi kemudian direpresentasikan sebagai berikut:

$$Z(\omega) = \frac{E}{I} = Z_o \exp(j\phi) = Z_o (\cos\phi + j\sin\phi) \quad (2.48)$$

Jika impedansi bagian real dialurkan pada sumbu-x dan bagian imajiner pada sumbu-y akan diperoleh aluran Nyquist. Berdasarkan aluran Nyquist, impedansi dapat dinyatakan sebagai suatu vektor yang panjang. Sudut antar vektor dan sumbu-x adalah  $\phi$  (sudut Z) seperti tampak Gambar 2.10. Perilaku impedansi suatu elektroda dapat diungkapkan dalam aluran Nyquist yang menyatakan aluran impedansi imajiner sebagai fungsi impedansi real dari  $\omega$  menjadi 0 sampai  $\omega$  menjadi  $\infty$ . Pada  $\omega$  menjadi  $\infty$ , nilai  $Z_r = R_s$  (tahanan larutan). Pada  $\omega$  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  $\omega_0$  yang ada nilainya.

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. (Gamry, 2012)

Impedansi ini ditentukan oleh hukum ohm seperti Persamaan 2.49 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Z(\omega) &= \frac{E(t)}{I(t)} = Z'(\omega) + jZ''(\omega) \\ Y(\omega) &= \frac{I(t)}{E(t)} = Y'(\omega) + jY''(\omega) \end{aligned} \quad (2.49)$$

Dimana :

$E(t)$  = Potensial yang bergantung waktu (V)

$I(t)$  = Arus yang bergantung waktu (A)

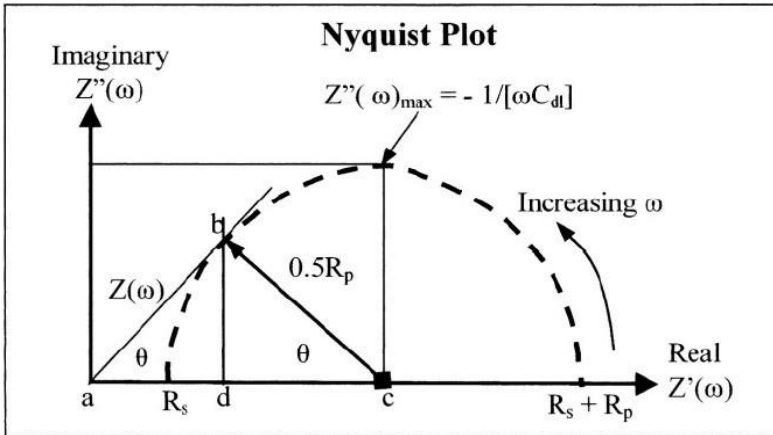
$\omega$  =  $2\pi f$  = frekuensi angular (Hz)

$f$  = Frekuensi sinyal (Hz)

$Z'(\omega) + jZ''(\omega)$  = Impedansi nyata

$Y'(\omega) + jY''(\omega)$  = Impedansi imajiner

$t$  = Waktu  
 $j$  =  $-11/2$   
 $j''$  =  $-1$



**Gambar 2. 17** Nyquist plot impedansi untuk sirkuit elektrokimia (Nestor, 2004)

### 2.11 Pengujian AAS

AAS atau Atomic Absorption Spectrophotometry adalah suatu instrumen dalam ilmu kimia analitik yang digunakan untuk menentukan kadar suatu unsur dalam senyawa berdasarkan serapan atomnya. Metode AAS berprinsip pada absorpsi cahaya oleh atom. Atom-atom menyerap cahaya tersebut pada panjang gelombang tertentu, tergantung pada sifat unsurnya. Dengan absorpsi energi, berarti memperoleh lebih banyak energi, suatu atom pada keadaan dasar dinaikkan tingkat energinya ke tingkat 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 unsure metallic 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 akan teruapkan dengan pemercikkan. Atom yang akan tereksitasi setelah kemudian mengemisikan radiasi pada panjang gelombang tertentu. (Oscar, 2015).

## 2.12 Penelitian Sebelumnya

**Tabel 2.3** Table penelitian sebelumnya

<b>N o</b>	<b>Peneliti</b>	<b>Bahan obat</b>	<b>Metal</b>	<b>Medi a</b>	<b>Pembahasan</b>
1	Imran Naqvi, 2011	Cefixime	Mild steel	HCl	Efisiensi tertinggi didapatkan pada kosentrasi $8.8 \times 10^{-4}$ M sebesar 90,2% dengan mekanisme adsorption
2.	I.B. Obot, 2009	Clotrimazole	Al	HCl	Efisiensi tertinggi didapatkan pada kosentrasi $1 \times 10^{-4}$ M sebesar 88%
3.	Ishtiaque Ahamad, 2010	Pheniramine	Mild Steel	HCl	Efisiensi tertinggi didapatkan pada kosentrasi 0,833 mM

					sebesar 86,4 %. Inhibitor tipe campuran
4.	Sudhish kumar sukla, 2009	Streptomycin	Mild Steel	HCl	Efisiensi tertinggi didapatkan pada konsentrasi 500 ppm sebesar 88,5 % dengan mekanisme adsorption
5.	S. Hari Kumar, 2012	Cloxacillin	Mild Steel	HCl	Efisiensi tertinggi didapatkan pada konsentrasi $15 \times 10^{-4}$ M sebesar 80,5 %. Inhibitor tipe campuran
6.	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 adsorption.

---

7.	R.S. Abdel Hameed, 2011	Ranitidine	Mild Steel	HCl	Efisiensi tertinggi didapatkan pada konsentrasi 400 ppm sebesar 92 % dengan mekanisme adsorption
8.	Ishtiaque Ahamad, 2010	Mebendazole	Mild Steel	HCl	Efisiensi tertinggi didapatkan pada konsentrasi $2,54 \times 10^{-4}$ M sebesar 96,2 %. Inhibitor tipe campuran
9.	A. S. Fouda, 2016	Amlodipine Besylate	Low carbon Steel	HCl	Efisiensi tertinggi didapatkan pada konsentrasi 250 ppm sebesar 84 % dengan mekanisme adsorption
10	Priyanka Singh, 2017	Atorvastatin	Mild Steel	HCl	Efisiensi tertinggi didapatkan pada konsentrasi 150 ppm sebesar 96,38 % dengan mekanisme adsorption

---

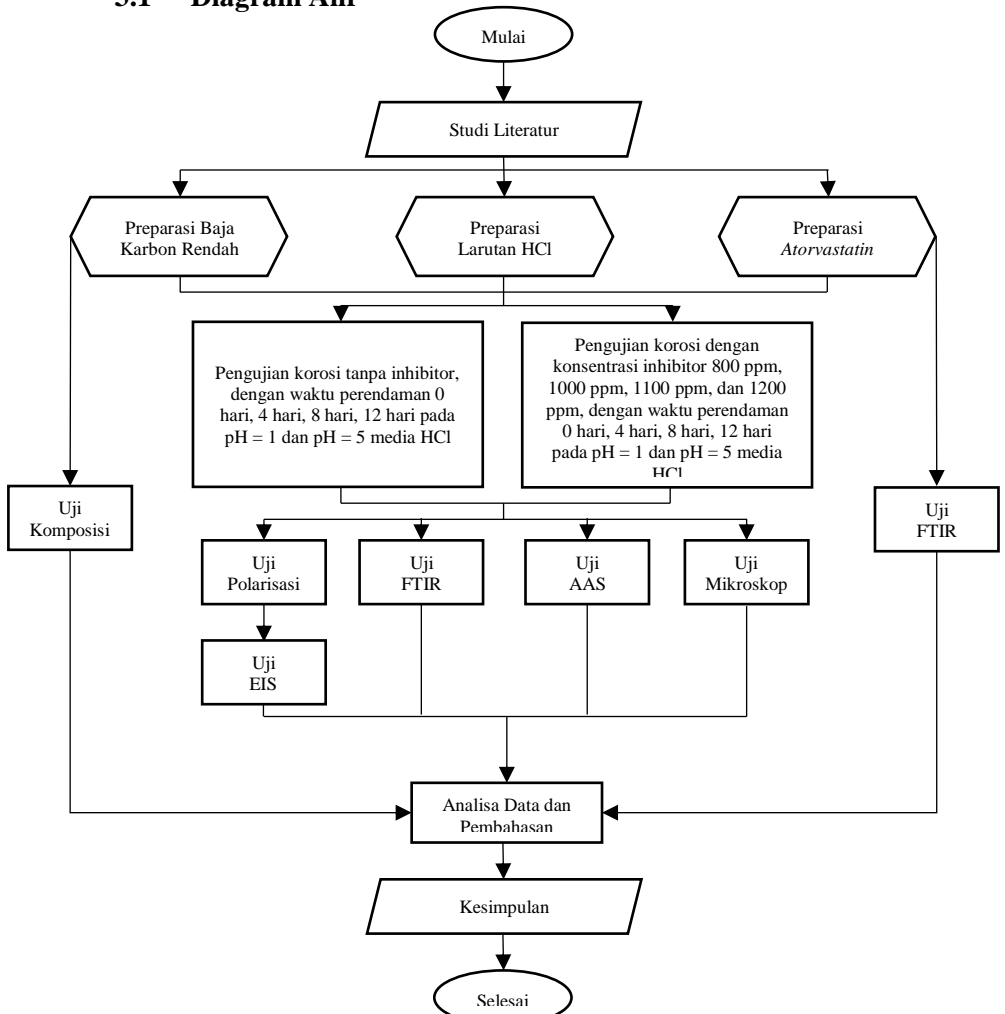
---

11	P.Geethaman . i, 2014	Lupicof	Mild Steel	HCl	Efisiensi tertinggi didapatkan pada konsentrasi 0,9 mM sebesar 70,86 % dengan mekanisme inhibitor campuran
12	R. S. Abdel . Hameed, 2014	Voltaren	Al	HCl	Efisiensi tertinggi didapatkan pada konsentrasi 125 ppm sebesar 89,7 % dengan mekanisme <i>physicochemical adsorption</i>
13	P.Geethaman . i, 2016	Asthalin	Mild Steel	HCl	Efisiensi tertinggi didapatkan pada konsentrasi 0,9 mM sebesar 94,76 % dengan mekanisme adsorption inhibitor

---

# BAB III METODOLOGI PENELITIAN

## 3.1 Diagram Alir



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

---

### 3.2 Metode Penelitian

Untuk mendapatkan data secara spesifik dalam penyelesaian masalah di suatu penelitian diperlukan serangkaian langkah-langkah yang sistematis dan terstruktur yang harus dilakukan. Adapun langkah-langkah sistematis tersebut adalah:

#### 1. Studi Literatur

Dalam melakukan penelitian ilmiah harus dilakukan teknik penyusunan yang sistematis untuk memudahkan langkah-langkah yang akan diambil. Begitu pula yang dilakukan penulis dalam penelitian ini, langkah pertama yaitu dengan melakukan studi literatur. Studi literatur yaitu cara yang dilakukan oleh setiap peneliti sebagai dasar acuan yang sudah ada, seperti mempelajari secara singkat dari penelitian yang sudah ada dan mencari sumber yang dapat dijadikan sebagai pedoman dalam penelitian atau acuan sendiri. Tujuan paling mendasar adalah untuk menganalisa kegagalan yang terjadi pada penelitian sebelumnya supaya tidak terulang kembali di masa depan. Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari studi literatur adalah mengevaluasi penelitian terkait sebelumnya dan untuk pengembangan yang lebih baik. Referensi ini dapat dicari dari buku, jurnal, artikel laporan penelitian, dan situs-situs di internet.

#### 2. Experimental

Penelitian ini dilakukan dengan dengan pengujian langsung sesuai dengan prosedur dan metode yang ada. Adapun pengujian yang dilakukan yaitu: Pengujian seperti Uji komposisi kimia, Uji polarisasi, Uji EIS, Uji Microscope Stereo, Uji FTIR dan Uji AAS.

### 3.3 Peralatan Penelitian

Adapun peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Peralatan uji komposisi kimia
  2. Peralatan uji Polarisasi
  3. Peralatan uji EIS
  4. Peralatan uji FTIR
  5. Peralatan uji Microscope Stereo
-

6. Peralatan uji AAS

### 3.4 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Material

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah baja karbon rendah. Spesimen tersebut didesain dengan diameter 19 mm dan ketebalan 10 mm.

2. Inhibitor

Inhibitor yang digunakan untuk penelitian ini adalah inhibitor obat atorvastatin. Variasi konsentrasi inhibitor obat atorvastatin sebesar 0 ppm, 600 ppm, 700 ppm, 800 ppm dan 900 ppm. Selain itu divariasikan dengan pH sebesar 1 dan 2. Terdapat variasi waktu perendaman yaitu 0,4,8, dan 12 hari.

3. Elektrolit

Larutan elektrolit yang digunakan Sebagai media korosi pada penelitian adalah HCl.

4. Aquades

### 3.5 Preparasi Inhibitor

Menimbang inhibitor obat atorvastatin yang sudah dihaluskan sebanyak 30 mg untuk pembuatan konsentrasi inhibitor 600 ppm, 35 mg untuk pembuatan konsentrasi inhibitor 700 ppm, 40 mg untuk pembuatan konsentrasi inhibitor 800 ppm, dan 45 mg untuk pembuatan konsentrasi inhibitor 900 ppm.

### 3.6 Preparasi Larutan Elektrolit

Pada penelitian untuk larutan elektrolit menggunakan larutan garam HCl. Proses pembuatan larutan terdiri dari beberapa langkah yaitu:

1. Menyiapkan HCl 37% sebanyak 8,4 mL HCl untuk membuat pH=1 dan sebanyak 0,84 mL untuk membuat pH=2
2. Mengukur Aquades sebesar 91,6 mL untuk pH=1 dan 99,16 mL untuk pH=2

3. Melakukan pengenceran HCl (mencampurkan step 1 dan 2)
4. Menyiapkan inhibitor sesuai konsentrasi yang diinginkan, misalnya 600 ppm adalah 0,6 gr/L larutan elektrolit.
5. Mencampurkan inhibitor kedalam larutan elektrolit.

### 3.7 Preparasi Spesimen

Pada pengujian polarisasi dan Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) baja karbon rendah di potong dengan ukuran  $\varnothing$  19 mm dan tebal 10 mm. Selanjutnya, spesimen disolder untuk menyambungkan spesimen dengan kabel tembaga (panjang  $\pm 10$  cm). Setelah kabel tembaga tersambung, spesimen di mounting dengan resin epoxy. Kemudian spesimen di grinding dengan menggunakan kertas gosok dari grade 100, 220, 400 dan 800 untuk menghaluskan permukaan yang akan diuji.



**Gambar 3. 2** Spesimen Uji

### 3.8 Pengujian

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



---

### 3.8.1 Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia dilakukan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Pengujian ini dengan menggunakan alat EOS(Optical Emission Spectroscopy). Dan akan didapatkan komposisi dari spesimen uji.

### 3.8.2 Pengujian Polarisasi

Pengujian polarisasi dilakukan di Laboratorium Korosi dan Kegagalan Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS Surabaya. Pengujian ini dengan menggunakan alat uji CorrTest dengan software CS Studio5. Yang terdiri dari elektroda acuan, elektroda kerja, dan elektroda bantu yang bertujuan untuk menganalisa laju korosi material pada larutan HCl 1M dengan konsentrasi inhibitor konsentrasi 0,600,700,800,900(ppm) dan inhibitor dengan konsentrasi maksimal dari pengujian tunggal inhibitor. Dan didapatkan pula kurva polarisasi potensial material yang digunakan dengan acuan standard ASTM G-5 (Standard Method for Making Potensiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurement). Prosedur pengujian polarisasi adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan alat dan bahan yaitu spesimen, campuran larutan (HCl dan masing-masing sampel inhibitor dengan konsentrasi inhibitor konsentrasi 0,600,700,800,900(ppm) gelas ukur 100 ml, dan alat pengujian polarisasi beserta komponennya.
2. Memasang elektroda pada rangkaian polarisasi.
3. Menyalakan alat uji polarisasi potensiodinamik CorrTest.
4. Mengaktifkan program CR Studio5 dan memasukkan parameter pengujian lalu menjalankan program.



**Gambar 3. 3** Alat pengujian polarisasi dan EIS

Adapun parameter yang digunakan dalam pengujian polarisasi ini adalah:

**Tabel 3. 1** Parameter pengujian potensiodinamik

<b>Elektroda kerja (WE)</b>	Baja karbon rendah
<b>Elektroda bantu (CE)</b>	Grafit
<b>Elektroda acuan (RE)</b>	Hg/HgCl
<b>Densitas (g/cm<sup>3</sup>)</b>	7,85
<b>Luas sampel (cm<sup>2</sup>)</b>	2,84
<b>Scan rate (mV/s)</b>	10
<b>Sweep range</b>	5

Pengujian 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 pada alat CorrTest gelombang sinus AC dengan amplitudo 10 mV dengan real part ( $Z'$ ) maupun imaginary part ( $Z''$ ) diukur pada berbagai frekuensi dalam range 100000 Hz sampai 0.1 Hz. Nilai ketahanan transfer muatan ( $R_{ct}$ ) diperoleh dari diameter semicircles dari Nyquist plot. Prosedur pengujian polarisasi adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan alat dan bahan yaitu spesimen, campuran larutan (HCl 1M) 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.

Adapun parameter yang digunakan dalam pengujian polarisasi ini adalah:

**Tabel 3. 2** Parameter pengujian EIS

<b>Elektroda kerja (WE)</b>	Baja karbon rendah
<b>Elektroda bantu (CE)</b>	Grafit
<b>Elektroda acuan (RE)</b>	Hg/HgCl
<b>Densitas (<math>\text{g}/\text{cm}^3</math>)</b>	7,86
<b>Luas sampel (<math>\text{cm}^2</math>)</b>	2,84
<b>Scan rate (<math>\text{mV}/\text{s}</math>)</b>	10

### 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. Pengujian FTIR dilakukan untuk menganalisa gugus – gugus fungsi dan kurva spektrum FTIR yang terbentuk pada inhibitor obat atorvastatin 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, akan dapat ditentukan gugus fungsi yang bersesuaian dengan Panjang gelombang yang terekam pada masing-masing sampel.

Fungsi dari panjang gelombang. Dari panjang gelombang tersebut, akan dapat ditentukan gugus fungsi yang bersesuaian dengan Panjang gelombang yang terekam pada masing-masing sampel. Sampel yang akan diuji FTIR ada tiga yaitu, inhibitor obat atorvastatin, baja yang telah direndam dalam HCl pH 1, dan baja yang telah rendam ditambah dengan inhibitor dengan konsentrasi terbaik.

Adapun langkah-langkah pengujian sebagai berikut:

1. Menggunakan sel kristal KRS 5 yang berupa silinder 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.



**Gambar 3. 4** Alat Pengujian FTIR

### **3.8.4 Pengujian AAS**

Pengujian yang dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik Universitas Airlangga ini bertujuan untuk menganalisa kadar Fe terlarut pada larutan sampel yang telah dilakukan uji FTIR. 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 akan diserap dan intensitas penyerapan akan berbanding lurus dengan banyaknya atom bebas logam yang berada pada sel. Nilai absorpsi akan didapatkan dari pengujian ini, lalu dari nilai absorpsi akan didapatkan fungsi tertentu untuk mendapatkan konsentrasi unsur yang diinginkan, pada penelitian kali ini ialah Fe. Pengujian ini dilakukan pada dua sampel dengan

bentuk larutan yaitu larutan HCl yang telah direndami baja, dan larutan yang telah ditambahi dengan inhibitor.

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 Stereo**

Hasil yang didapat pada pengujian AAS adalah berupa kurva kalibrasi antara absorpsi dan konsentrasi sehingga didapatkan konsentrasi Fe yang terlarut. Pengujian yang dilakukan di Laboratorium Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember ini bertujuan untuk mengetahui terdapatnya korosi pada bagian dari permukaan Baja mild steel. Pengujian ini dilakukan dengan maksud apakah terdapat perbedaan jenis korosi pada spesimen yang tanpa inhibitor dan spesimen yang sudah dilakukan proses perendaman.

Pada pengujian ini, bagian yang diteliti adalah bagian permukaan dari baja karbon rendah. Mekanisme dalam pengambilan data Microscope Stereo adalah dengan cara menaruh objek yang akan 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 akan 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 akan digunakan sehingga hasilnya diterima melalui komputer.



Gambar 3. 5 Alat Pengujian Microscope Stereo

### 3.9 Rancangan Penelitian

Tabel 3. 3 Rancangan Penelitian

P H	Konsentras i Inhibitor (ppm)	Waktu Perendama n (hari)	Uji Polarisas i	uji EI S	uji AA S	Uji FTI R	Uji Microscop e Stereo
1	0	0	√	√	-	-	-
		4	√	√	-	-	-
		8	√	√	-	-	-
		12	√	√	√	√	√
	600	0	√	√	-	-	-
		4	√	√	-	-	-
		8	√	√	-	-	-
		12	√	√	-	-	-
	700	0	√	√	-	-	-
		4	√	√	-	-	-
		8	√	√	-	-	-
		12	√	√	-	-	-
800	0	√	√	-	-	-	
	4	√	√	-	-	-	

		8	√	√	-	-	-
		12	√	√	-	-	-
	900	0	√	√	-	-	-
		4	√	√	-	-	-
		8	√	√	-	-	-
		12	√	√	-	-	-
		0	√	√	-	-	-
	0	4	√	√	-	-	-
		8	√	√	-	-	-
		12	√	√	-	-	-
		0	√	√	-	-	-
	600	4	√	√	-	-	-
		8	√	√	-	-	-
		12	√	√	-	-	-
		0	√	√	-	-	-
5	700	4	√	√	-	-	-
		8	√	√	-	-	-
		12	√	√	-	-	-
		0	√	√	-	-	-
	800	4	√	√	-	-	-
		8	√	√	-	-	-
		12	√	√	-	-	-
		0	√	√	-	-	-
	900	4	√	√	-	-	-
		8	√	√	-	-	-
		12	√	√	√	√	√



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisa Data

Dari penelitian yang telah dilakukan sesuai dengan rancangan yang ada pada bab sebelumnya maka diperoleh data-data berupa uji komposisi kimia menggunakan oes, laju korosi menggunakan tafel polarization, mekanisme inhibisi dengan eis(electrochemical impedance spectroscopy), senyawa yang terdapat pada obat atorvastatin dan pada permukaan baja yang telah direndam dalam larutan hcl dengan penambahan inhibitor, dan penampakan permukaan baja yang telah terkorosi dan yang telah ditambahkan dengan inhibito menggunakan microscope stereo.

#### 4.1.1 Hasil pengujian OES (Optical Emission Spectrometry)

Dilakukan analisa komposisi sampel baja dengan ditembak radiasi elektromagnetik sebanyak 3 kali pada permukaanya kemudian dirata-rata. Berikut merupakan hasil dari oes:

**Tabel 4. 1** Hasil pengujian OES

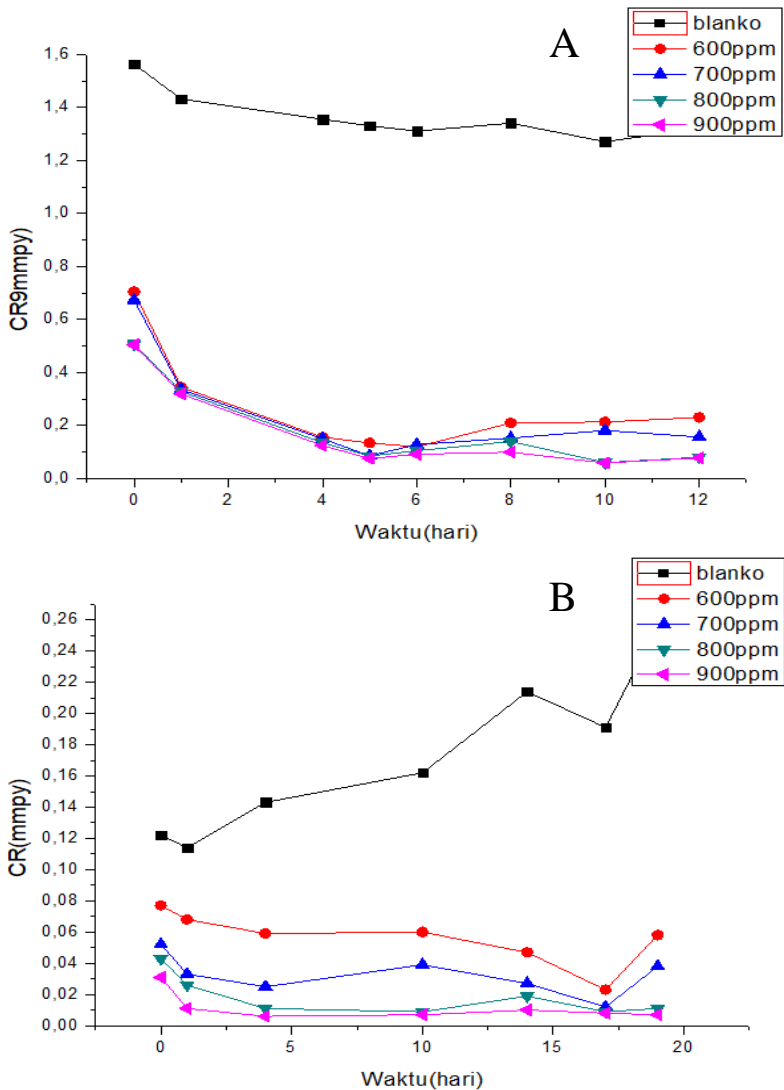
C	Si	Mn	P	S
0,303	0,255	1,02	0,0134	0,0016
Cr	Mo	Ni	Al	Co
0,985	0,0076	0,0289	0,0265	0,0027

Berdasarkan tabel 4.1 komposisi karbon sekitar 0.3%, maka baja ini termasuk baja karbon rendah. Unsur selain Fe yang terkandung dalam spesimen berdasarkan tabel 4.1 diantaranya adalah C, Si, Mn, P, S, Cr, Mo, Ni, Al, Co.

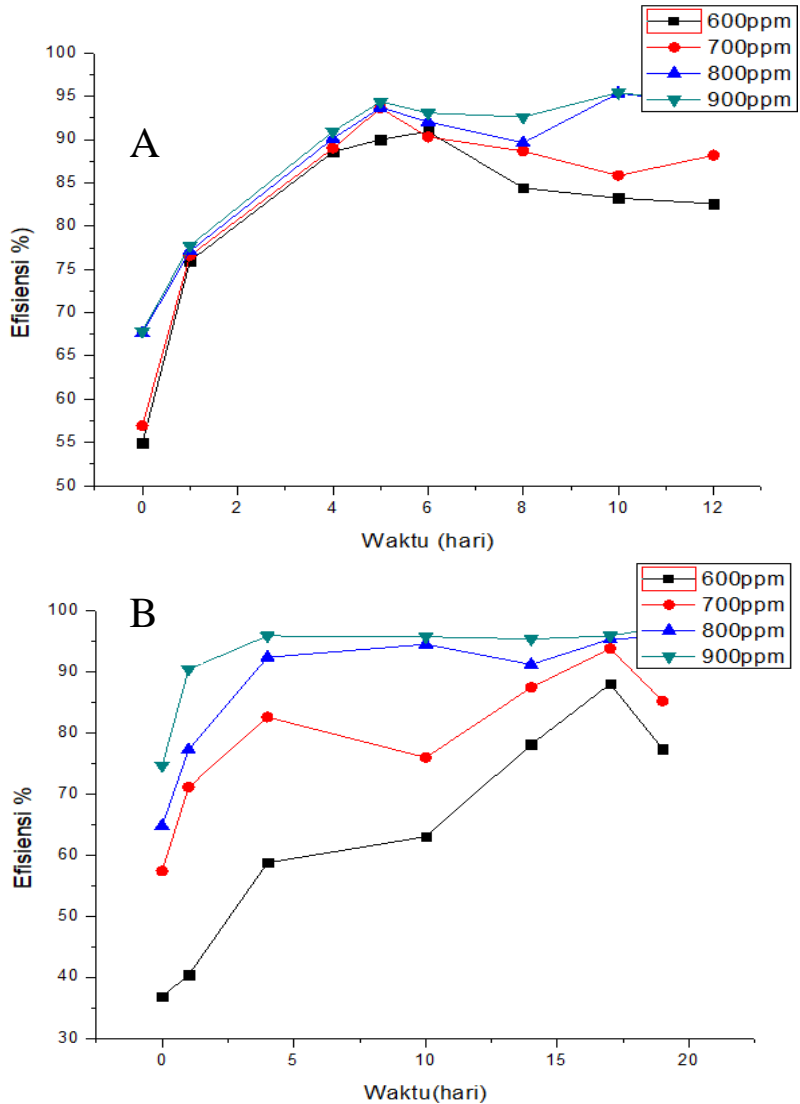
---

#### **4.1.2 Hasil pengujian Tafel polarization**

Berikut merupakan hasil pengujian laju korosi yang dilakukan selama 12 hari menggunakan tafel pada semua konsentrasi.



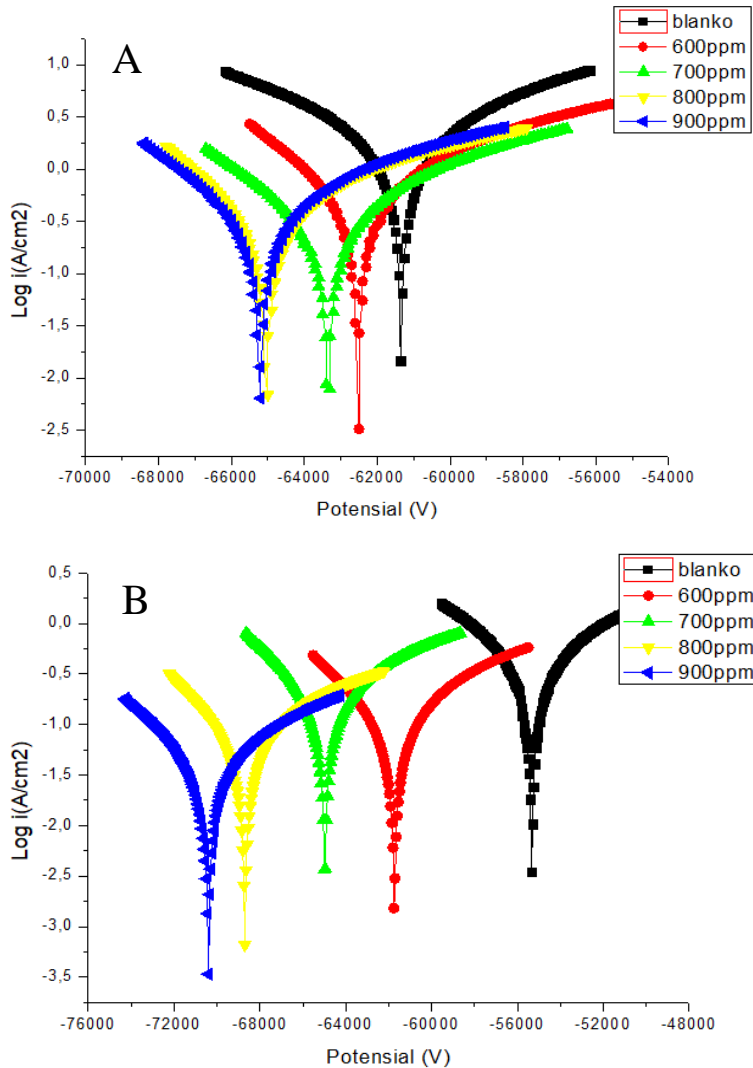
**Gambar 4. 1** Hubungan laju korosi terhadap waktu (a)pH 1  
(b)pH 5



**Gambar 4. 2** Hubungan efisiensi terhadap waktu (a)pH 1 (b)pH 5

---

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa pada pH 1 laju korosi terendah pada hari ke-5 yaitu sebesar 0,075 mmpy pada konsentrasi 900ppm sedangkan pada pH 5 laju korosi terendah pada hari ke-4 yaitu sebesar 0,006 mmpy pada konsentrasi 900. Pada Gambar 4.2 efisiensi tertinggi pada pH 1 terjadi pada hari ke-5 yaitu sebesar 94,361% sedangkan pada pH 5 efisiensi tertinggi terjadi pada hari ke-4 yaitu sebesar 95,804%. Berikut merupakan hasil tabel polarization pada pH 1 hari ke-5 dan pada pH 5 hari ke-4.



**Gambar 4.3** Kurva tafel setiap penambahan inhibitor (a) pada pH 1 hari ke-5 dan (b) pada pH 5 hari ke-4

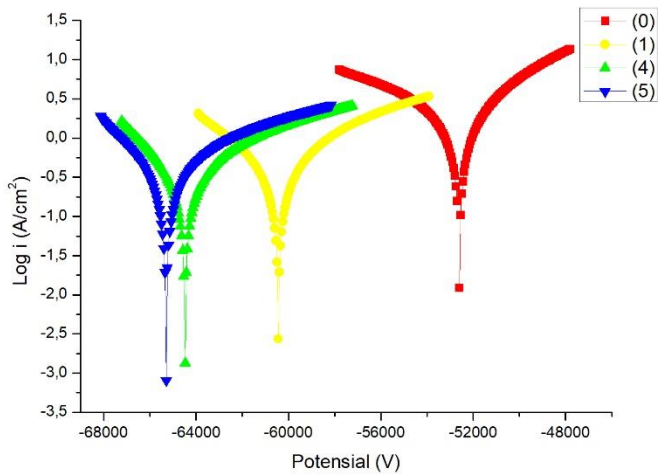
Pada gambar diatas ditunjukkan bahwa ketika penambahan inhibitor dilakukan kurva tafel bergeser kekiri yang artinya korosi katodik, dan bergeser semakin kebawah yang artinya laju korosinya semakin berkurang.

**Tabel 4. 2** Hasil pengujian polarisasi pada pH 1 hari ke-5 dan pada pH 5 hari ke-4

pH	Sampel(ppm)	Ecorr (V)
1	Blanko	-0,614
	600ppm	-0,625
	700ppm	-0,634
	800ppm	-0,651
	900ppm	-0,652
5	blanko	-0,654
	600ppm	-0,697
	700ppm	-0,699
	800ppm	-0,715
	900ppm	-0,718

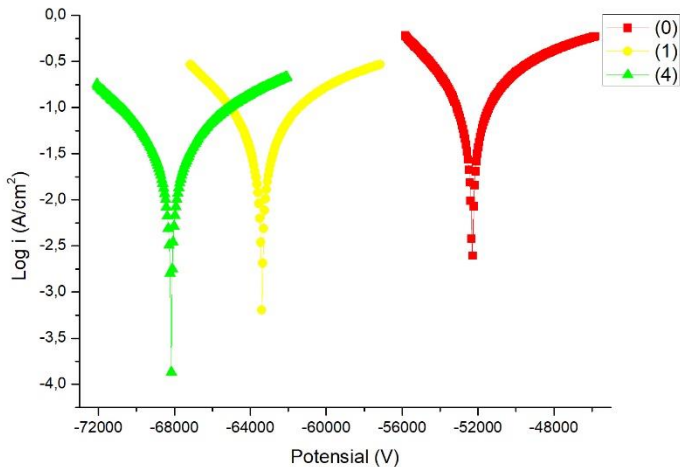
Pada Table 4.2 menunjukkan bahwa semakin bertambahnya konsentrasi inhibitor maka Ecorr yang dihasilkan semakin kecil. Pada pH 1 konsentrasi 900ppm memiliki potensial sebesar -0,652 V, sementara pada pH 5 pada konsentrasi 900ppm dengan potensialnya sebesar -0,718 V.

Berikut merupakan hasil plotting tafel polarization pada sampel dengan konsentrasi 900ppm pada hari 0-5 untuk pH 1 dan hari 0-4 pada pH 5.



**Gambar 4. 4** Kurva konsentrasi 900ppm pada pH 1 hari ke-0 sampai dengan hari ke-5



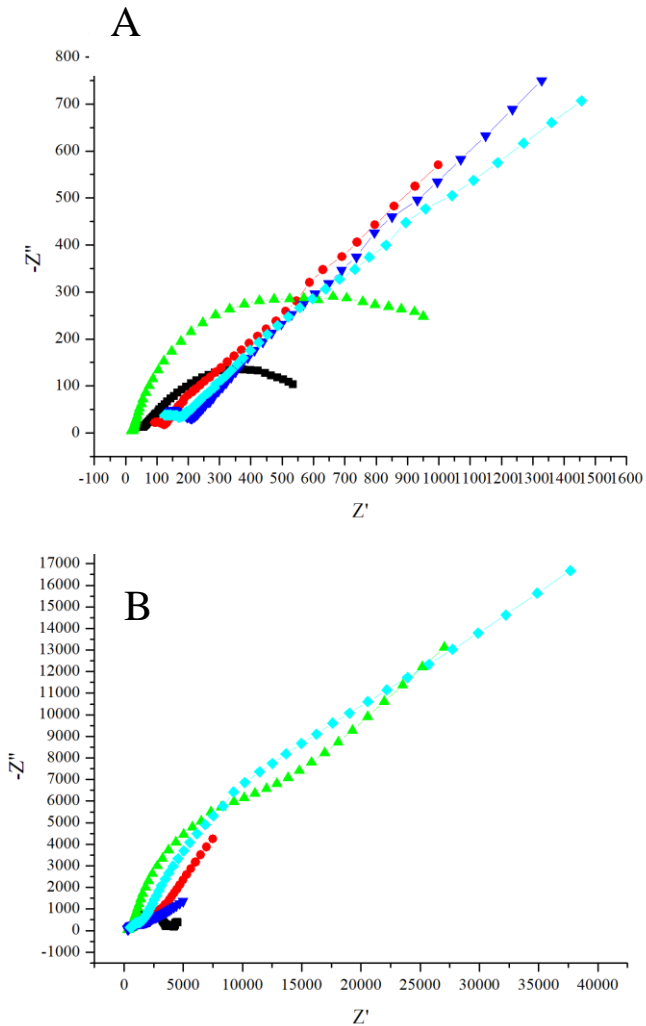


**Gambar 4. 5** Kurva konsentrasi 900 ppm pada pH 5 hari ke-1 sampai dengan ke-4

Pada gambar diatas ditunjukkan bahwa dengan bertambahnya waktu, kurva polarisasi bergeser kekiri yang artinya semakin katodik, dan bergeser kebawah yang menunjukkan bahwa laju korosinya semakin menurun.

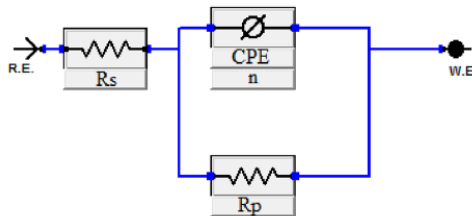
#### 4.1.3 Hasil pengujian EIS

Pengujian EIS ini dilakukan untuk mengetahui mekanisme inhibisi pada baja karbon rendah dengan penambahan inhibitor. Alat yang digunakan sama dengan polarisasi, yaitu menggunakan Wuhan Corrtest Instrument dengan software Zview v5.5. Pada pengujian EIS dilakukan dengan sampel pada konsentrasi tanpa inhibitor, dan sampel dengan penambahan inhibitor dengan konsentrasi 600ppm, 700ppm, 800ppm, dan 900ppm.



**Gambar 4. 6** Kurva Nyquist baja karbon dengan penambahan inhibitor atorvastatin 0, 600ppm, 700ppm, 800ppm, dan 900ppm (a)pH 1 pada hari ke-5 (b)pH 5 pada hari ke-4

Hasil pengujian EIS tersebut ditampilkan dalam alunan Nyquist berupa diagram berbentuk setengah lingkaran yang merupakan plot impedansi nyata (real) terhadap impedansi imajiner (imaginer). Pada Gambar 4.6 menunjukkan bahwa semakin banyak penambahan inhibitor maka diameter kurva terlihat semakin besar. Parameter listrik yang dihasilkan yaitu  $R_p$ ,  $R_s$  diperoleh berdasarkan fitting data dengan rangkaian ekivalen yang ditunjukkan pada Gambar 4. 7 Besaran  $R_s$  adalah tahanan larutan yang tergantung dari konsentrasi ion, jenis ion dan geometri area penghantar arus.  $R_p$  adalah tahanan transfer muatan yang dibentuk oleh reaksi elektrokimia tunggal pada permukaan logam yang dikendalikan secara kinetika.



**Gambar 4. 7** Rangkaian Listrik Ekivalen

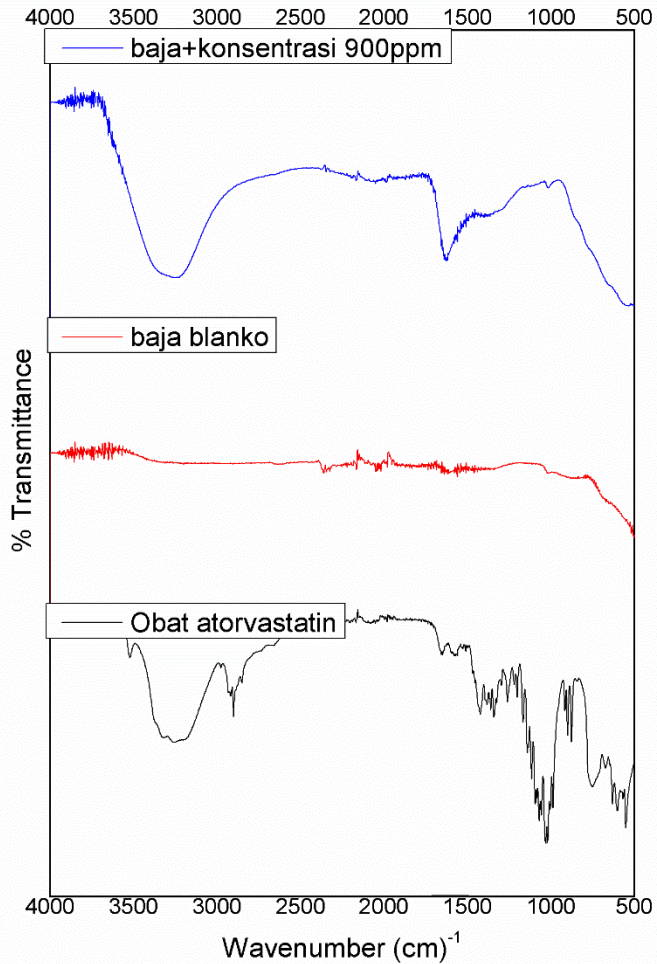
Secara umum penambahan inhibitor menaikkan tahanan transfer muatan atau  $R_p$ . Hal ini menunjukkan bahwa penambahan inhibitor menghambat transfer muatan atau elektron dari permukaan logam ke media larutan sehingga reaksi oksidasi atom-atom besi dan reduksi ion dalam larutan menurun. Secara detail parameter elektrokimia atau listrik berupa  $R_p$  dan  $R_s$  ditunjukkan pada Tabel 4.4 dibawah ini.

**Table 4.4** Hasil pengujian EIS

pH	Sampel(ppm)	Rs( $\Omega/\text{cm}^2$ )	Rp( $\Omega/\text{cm}^2$ )
1	Blanko	39,36	531,63
	600ppm	73,18	1550,1
	700ppm	87,08	2210,7
	800ppm	126,4	3031
	900ppm	147,9	3444
5	blanko	153,7	3989,4
	600ppm	332	6475,5
	700ppm	339,5	10552
	800ppm	554,3	15623
	900ppm	1277	29101

#### 4.1.4 Hasil Pengujian FTIR

Pengujian FTIR bertujuan untuk mengetahui ikatan kimia yang terjadi dalam baja sehingga mampu mengurangi laju korosi. Dalam pengujian ini dilakukan pada sampel yang pertama yaitu obat atorvastatin, baja yang sudah direndam dalam pH 1 selama 5 hari, dan baja yang telah direndam HCl dengan konsentrasi 900ppm selama 5 hari pula. Didapatkan kurva FTIR diketahui gugus fungsi senyawa yang berperan dalam penghambatan laju korosi dengan panduan "A Handbook of Spectroscopic Data Chemistry" oleh B.D Mistry (2019). Gambar dibawah ini merupakan hasil spectrum FTIR.



**Gambar 4. 8** Kurva FTIR

Setelah dilakukan pengujian, langkah selanjutnya yaitu dengan melakukan interpretasi hasil spectrum, dengan berdasarkan referensi "A Handbook of Spectroscopic Data Chemistry" oleh B.D Mistry (2019) didapatkan gugus fungsi dari tiap peak yang ada. Seperti ditunjukkan pada table 4.4 dibawah ini.

**Tabel 4. 3** Gugus fungsi Obat Atorvastatin

<b>Wavenumber (cm<sup>-1</sup>)</b>	<b>Gugus Fungsi</b>
3521.90	O-H str. dan N-H str.
3252.36	C=O str., N=O str., O-H str., NH <sub>2</sub> str., N-H str. dan NH <sub>3</sub> <sup>+</sup> str.
2899.73	O-H str. dan C-H str.
1671.62	C=O str., C=C str., C-H str., dan N=O str.
1432.32	C-H str.
1382.22	S=O str., O-H str., C-H def., dan CH <sub>3</sub> def.
1359.23	S=O str., O-H str., dan NO <sub>2</sub> str.
1340.02	O-H str., NO <sub>2</sub> str., S=O str., dan O-H def.,
1295.73	-NH <sub>3</sub> 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	C-OH str.
987.48	C-H def.
899.29	C-H def.
875.52	C-H def.
753.46	C-H def. dan C-F str.

**Tabel 4. 4** Gugus fungsi baja karbon rendah tanpa inhibitor

Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )	Gugus Fungsi
2359.55	O-H str. dan NH <sup>+</sup>
1654.50	C=O str., C=N str., N=O str., C=C str., dan NH <sub>3</sub> <sup>+</sup> def.
1637.32	C=N str., C=O str., N=O str., C=C str., NH <sub>3</sub> <sup>+</sup> def.
1617.81	NH <sub>3</sub> <sup>+</sup> def. C=C str., C=N str., NH def., C=O str., N=O str., N=N str.
1559.95	C=C+C=N str., NH def+CN def., N-H def., NO <sub>2</sub> str.
1544.89	C=C+C=N str., NH def+ CN def., N-H def., NH <sub>3</sub> <sup>+</sup> def., NH def+CN def., NO <sub>2</sub> str.
1508.31	C=N str., N-H def., NH <sub>3</sub> <sup>+</sup> def., C=C+C=N str.
1458.68	N=O str., C-H def.

**Tabel 4. 5** Gugus Fungsi baja karbon rendah yang direndam dengan penambahan inhibitor

No	Wave Number (cm <sup>-1</sup> )	Gugus Fungsi
1.	1642	C-H str
2.	2058	C=O str; O-Hstr
3.	2165	O=H str
4.	3246	O-H str

Pada gambar FTIR dapat terlihat bahwa ikatan yang sama ada pada wave number 1642 dimana gugus fungsi C-H yang ada obat atorvastatin akan lepas dan akan menempel pada baja.

#### 4.1.5 Hasil pengujian AAS

Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui banyaknya Fe yang terlarut pada larutan HCl pH 1 yang telah dilakukan uji perendaman pada sampel FTIR. Hal ini kemudian dapat dianalisa lebih lanjut pada hasil mikrostruktur. Terdapat dua

sampel yang yang digunakan pada pengujian ini, yaitu sampel pertama merupakan larutan HCl pH 1 tanpa inhibitor dan yang kedua larutan HCl pH 1 dengan konsentrasi tertinggi, yaitu 900ppm.

**Tabel 4. 6** Hasil pengujian AAS

No	Sampel	Fe yang Terlarut(%)
1.	Blanko	2,11
2.	900ppm	0,26

Pada hasil pengujian AAS menunjukkan bahwa pada sampel tanpa inhibitor(blanko) Fe yang terlarut adalah 2,11 %. Sementara pada sampel dengan konsentrasi 900ppm Fe yang terlarut adalah 0,26%.

#### 4.1.6 Adsorption isotherm

Adsorption isotherm biasanya digunakan untuk mengetahui model interaksi antara inhibitor dengan permukaan baja (Jiang, 2014). Faktor utama efisiensi inhibitor korosi tergantung pada kemampuan adsorpsi permukaan logam. Oleh karena itu, perlu diketahui mekanisme adsorpsi dan isotherm adsorpsi yang dapat memberikan informasi tentang interaksi inhibitor dan permukaan logam. Perlindungan permukaan baja karbon rendah tergantung bagaimana molekul inhibitor (obat atorvastatin) akan teradsorpsi pada permukaan logam dan juga ionisasi dan polarisasi molekul (Lagrene, 2002). The degree of surface coverage( $\theta$ ) sebagai fungsi konsentrasi (C) dari inhibitor dipelajari secara grafis dengan menggunakannya ke berbagai isotherm adsorpsi untuk menemukan isotherm adsorpsi terbaik. Isotherm yang dipakai dalam penelitian ini yaitu Langmuir.

$C / \theta$  versus C diplot pada Gambar 4.8 yang merupakan garis lurus dan kemiringan mendekati 1, menunjukkan bahwa Langmuir adsorpsi isotherm adalah yang paling cocok untuk menggambarkan perilaku inhibitor pada permukaan baja (Jiang, 2002). Energi bebas adsorpsi dihitung menggunakan rumus berikut:

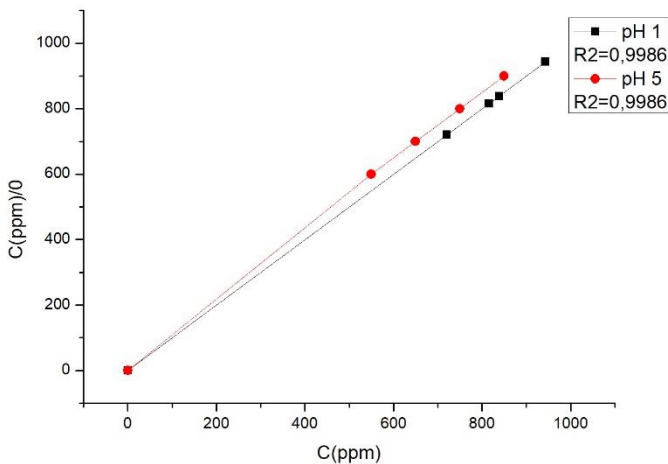


$$\Delta G_{\text{ads}}^{\circ} = -2,303 RT \text{ Log } (55,5K_{\text{ads}}) \quad (4.1)$$

di mana R merupakan konstanta gas universal, T adalah temperatur absolut,  $K_{\text{ads}}$  adalah konstanta kesetimbangan untuk proses adsorpsi-desorpsi, dan 55,5 adalah konsentrasi molar air dalam larutan ( $\text{mol. L}^{-1}$ ). Parameter termodinamika adsorpsi lainnya seperti entalpi adsorpsi dan entropi adsorpsi diperoleh rumus sebagai berikut:

$$\text{Log } K_{\text{ads}} = \frac{1}{2,303} \left( -\frac{\Delta H_{\text{ads}}}{RT} \right) + \left( \frac{\Delta S_{\text{ads}}}{R} \right) \quad (4.2)$$

Nilai yang dihitung dari  $K_{\text{ads}}$ ,  $\Delta H_{\text{ads}}$ ,  $\Delta S_{\text{ads}}$ , dan  $\Delta G_{\text{ads}}$  dicatat pada Tabel 4.7. Lagrenée et al. telah meneliti bahwa semakin tinggi nilai  $K_{\text{ads}}$ , lapisan teradsorpsi yang terbentuk jauh lebih kuat dan lebih stabil yang menghasilkan efisiensi inhibisi yang lebih tinggi. Nilai-nilai negatif yang ditunjukkan pada  $\Delta G_{\text{ads}}$  menunjukkan adsorpsi spontan inhibitor pada permukaan baja Umoren, 2007).

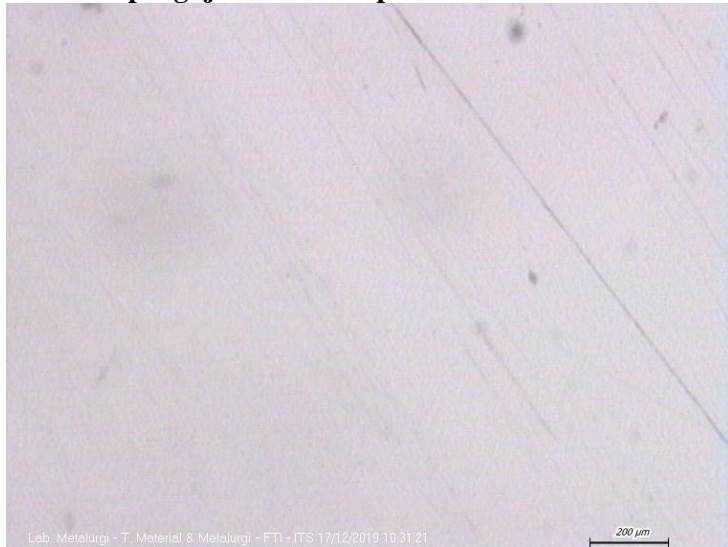


**Gambar 4. 9** Langmuir adsorption isotherm plots

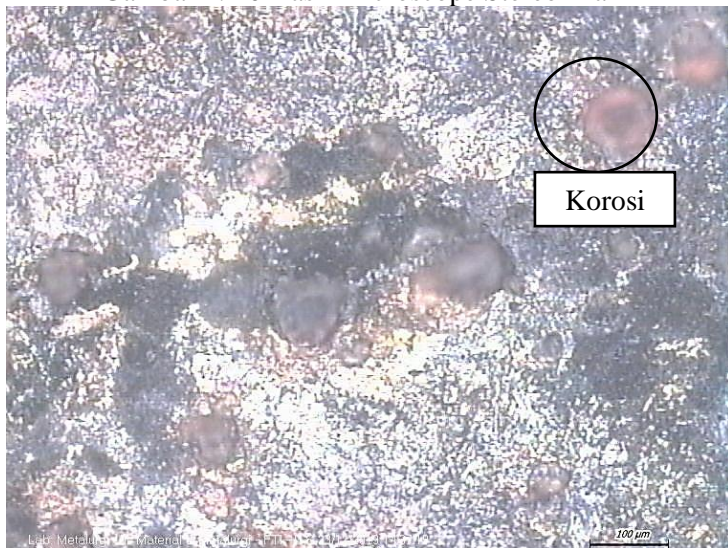
**Tabel 4. 7** Langmuir Adsorption Parameters

pH 1							
C	CR	%	$\theta$	C/ $\theta$	Kads	1/Kads	AG(kJ/mol)
0,000	1,270			0,000			
600,000	0,213	83,228	0,832	720,908	0,008	120,908	1,929
700,000	0,180	85,827	0,858	815,596	0,009	115,596	1,818
800,000	0,059	95,354	0,954	838,976	0,026	38,976	-0,876
900,000	0,058	95,433	0,954	943,069	0,023	43,069	-0,628
pH 5							
C	CR	%	$\theta$	C/ $\theta$	Kads	1/Kads	AG(kJ/mol)
0,000	0,143			0,000			
600,000	0,059	58,741	0,587	1021,429	0,002	421,429	5,023
700,000	0,025	82,517	0,825	848,305	0,007	148,305	2,435
800,000	0,011	92,308	0,923	866,667	0,015	66,667	0,454
900,000	0,006	95,804	0,958	939,416	0,025	39,416	-0,848

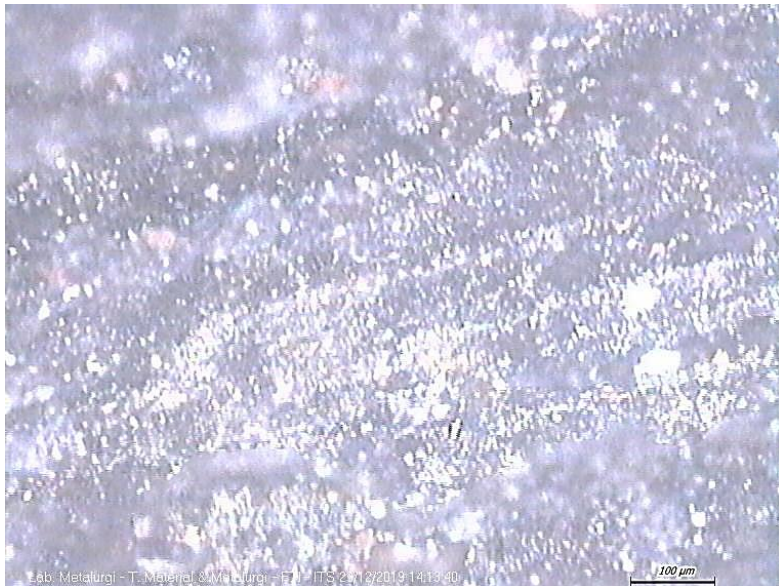
#### 4.1.7 Hasil pengujian Microscope Stereo



Gambar 4. 10 Hasil Microscope Stereo Blank



Gambar 4. 11 Hasil Microscope Stereo hasil perendaman + HCl



Gambar 4. 12 Hasil Microscope Stereo sampel dengan inhibitor

Pada Gambar 4.11 menunjukkan hasil microscope stereo dari sampel tanpa inhibitor, terlihat pada permukaannya terdapat banyak produk korosi hampir menyeluruh di setiap sisinya. Gambar 4.12 menunjukkan hasil produk korosi yang lebih sedikit dan tidak merata seperti pada sampel tanpa inhibitor. Ini menandakan bahwa inhibitor mempengaruhi produk korosi yang terdapat pada permukaan sampel.

#### 4.2 Pembahasan

Pada pengujian polarisasi didapatkan bahwa inhibitor menurunkan laju korosi pada baja karbon rendah. Pada Gambar 4.1 hubungan antara laju korosi dengan pH 1 didapatkan bahwa hari pertama sampai dengan hari kelima laju korosi mengalami penurunan signifikan, setelah itu mengalami kenaikan tetapi hanya sedikit, dan kemudian turun pada hari ke sepuluh selanjutnya selalu naik sampai hari ke-12. Pada Gambar 4.2 hubungan antara laju

korosi dengan pH 5 didapatkan bahwa hari pertama sampai dengan hari kelima laju korosi mengalami penurunan secara signifikan, selanjutnya naik dan pada hari ke-17 mengalami kenaikan secara konstan. Hasil fitting Tafel polarisasi menunjukkan kurva yang bergeser ke arah katodik pada setiap variasi penambahan konsentrasi inhibitor, yaitu dimana jika ( $E_{corr} = E_{corr} \text{ uninhibited} - E_{corr} \text{ inhibited}$ ) lebih dari 85mV, inhibitor juga mampu diklasifikasikan katodik atau anodik inhibitor, sedangkan jika nilainya kurang dari 85mV maka diklasifikasikan sebagai mixing inhibitor (Sulistijono, 2014). Untuk penambahan inhibitor obat atorvastatin merupakan tipe mixing inhibitor karena memiliki nilai potensial kurang dari 85mV yakni tepatnya  $(-0,614\text{mV} - (-0,652\text{mV})) = 38\text{mV}$ . Mixing inhibitor sendiri menurunkan laju korosi dengan cara yaitu menghambat proses katodik dan anodik. Pada penelitian ini inhibitor lebih mengarah kepada inhibitor katodik seperti terlihat pada Gambar 4.3 dimana kurva polarisasi bergeser ke kiri. Pada Tabel 4.2 menunjukkan bahwa dengan peningkatan konsentrasi inhibitor, nilai  $I_{corr}$  mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena obat atorvastatin mengandung antioksidan yang berfungsi memperlambat reaksi oksidasi pada korosi.

Pada pengujian selanjutnya, yaitu pengujian EIS menunjukkan kurva Nyquist semicircle, bentuk semicircle yang tidak sempurna terjadi akibat penyebaran frekuensi pada permukaan metal yang heterogen saat proses adsorpsi. Keadaan ini biasanya terjadi akibat kekerasan permukaan, impuritas, dislokasi, adsorpsi inhibitor dan porous layer (De Souza, 2009; Khaled, 2006). Gambar 4.6 menunjukkan kurva Nyquist, semakin bertambahnya konsentrasi inhibitor maka semakin besar pula diameter kurva Nyquist, hal ini dikarenakan lapisan barrier pada permukaan baja hasil adsorpsi molekul inhibitor, diameter kurva Nyquist berbanding lurus dengan nilai efisiensi (Joyine, 2014). Secara umum pada Tabel 4.4 menunjukkan bahwa penambahan inhibitor pada larutan HCl mampu menurunkan laju korosi baja karbon rendah, hal ini ditunjukkan pada  $R_p$  konsentrasi inhibitor

lebih besar dibandingkan dengan Rp konsentrasi tanpa inhibitor. Rp (Ketahanan logam) juga menunjukkan resistansi perpindahan muatan. Besarnya nilai Rp disebabkan terdapat lapisan barrier yang terdapat pada permukaan baja akibat adsorpsi molekul inhibitor (Hossein, 2017). Besarnya nilai Rp (tahanan logam) mampu menghambat transfer muatan atau elektron dari permukaan logam ke media larutan sehingga reaksi oksidasi atom-atom besi dan reduksi ion dalam larutan menurun (Ghali, 2013). Oleh sebab itu, nilai untuk Rs (tahanan larutan) lebih kecil dari nilai Rp tetapi tetap mengalami kenaikan. Meningkatnya nilai Rs menunjukkan bahwa inhibitor bereaksi dengan larutan elektrolit sehingga menyebabkan menurunnya kemampuan elektrolit untuk menghantarkan arus listrik yang berdampak pada menurunnya nilai  $i_{corr}$  yang diperoleh dari uji tafel yang dapat dilihat dalam Gambar 4.3 kurva bergeser semakin kebawah tiap penambahan konsentrasi inhibitor. Penambahan inhibitor pada lingkungan pH 1 dan pH 5 mampu meningkatkan nilai Rs dan Rp, yang menunjukkan bahwa inhibitor bekerja dengan cara mengganggu reaksi pada logam dan pada larutan. Oleh karena itu, inhibitor dapat dikategorikan dalam jenis inhibitor campuran, yang juga bersesuaian dengan hasil uji tafel.

Pada pengujian FTIR, suatu senyawa digolongkan sebagai inhibitor apabila memiliki beberapa unsur yang diindikasikan dapat menjadi inhibitor korosi seperti atom N, S, O, P. Atom-atom tersebut berkoordinasi dengan ion logam untuk membentuk lapisan pelindung yang menghambat proses korosi (Hossein, 2017). Hal ini dikarenakan obat atorvastatin tersebut memiliki pasangan elektron bebas. Elektron bebas ini menjadi ligan yang membentuk senyawa kompleks dengan baja. Sesuai dengan hasil FTIR pada Tabel 4.4 ligan yang ada pada permukaan baja adalah ikatan C-H dan O-H dimana keduanya juga terdapat dalam obat atorvastatin.

Pada Tabel 4.5 hasil pengujian AAS menunjukkan Fe yang terlarut pada setiap sampel, yaitu sampel pada larutan tanpa inhibitor dan sampel dengan penambahan konsentrasi 900ppm. Sampel larutan tanpa inhibitor menunjukkan Fe yang terlarut lebih tinggi yaitu sebesar 2,11 % dibandingkan dengan sampel dengan

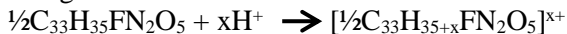
konsentrasi 900ppm yang memiliki kadar Fe sebesar 0,26%. Banyaknya Fe yang terlarut adalah adanya produk korosi yang terlarut dilarutkan. Hal ini membuktikan bahwa dengan adanya penambahan inhibitor, dapat menurunkan laju korosi sehingga Fe yang terlarut lebih sedikit (Day & Underwood, 1989).

Terlihat bahwa dengan bertambahnya senyawa antioksidan dalam media korosif, maka serangan ion-ion korosif pada permukaan baja semakin menurun karena terganggu oleh senyawa antioksidan. Mekanisme penghambatan reaksi korosi baja dengan penambahan obat atorvastatin adalah pembentukan senyawa kompleks dengan ion logam besi dipermukaan baja yang kemudian menghalangi serangan ion korosif pada permukaan baja. Dimulai pada hari ke 6 dan seterusnya pada pH 1 dan hari ke-lima dan seterusnya pada pH 5 inhibitor obat atorvastatin kurang efektif untuk menginhibisi baja karbon rendah karena laju korosi yang terus meningkat. Inhibitor melepas ion  $H^+$  pada elektrolit sehingga ion tersebut berikatan dengan ion negatif pada elektrolit. Semakin banyak inhibitor yang ditambahkan maka ion  $H^+$  yang dilepas semakin banyak sehingga elektrolit semakin bersifat asam dan laju korosi semakin meningkat. Peningkatan laju korosi dapat juga dikarenakan semakin lama waktu perendaman, maka semakin banyak senyawa kompleks yang terbentuk antara oleh senyawa yang ada pada obat atorvastatin yang terbentuk dan ion  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  semakin banyak, sehingga lapisan pelindung yang terbentuk pada permukaan besi semakin banyak (Ali, 2014). Pada saat waktu perendaman ke-5 sampai hari ke-12, kenaikan dari laju korosi dipengaruhi oleh efisiensi inhibisi yang semakin menurun, ini dikarenakan inhibitor mulai terdegradasi dan semakin banyak terbentuk lapisan  $Fe(OH)_2$  yang menghalangi difusi  $H_2O/O_2$  ke permukaan sampel. Laju korosi baja karbon rendah berbeda pada lingkungan HCl pH 1 dan pH 5, Laju korosi pada semua media asam meningkat dengan meningkatnya konsentrasi larutan, yang disebabkan karena kenaikan konsentrasi menaikkan jumlah ion hidrogen yang merupakan komponen utama reaksi katodik (Khadom, 2009), hal ini dibuktikan dimana pH 1 mempunyai laju

korosi yang lebih tinggi dibandingkan dengan pH 5. Konsentrasi mempengaruhi kemampuan asam dalam melepaskan ion hidrogen, semakin rendah konsentrasi asam maka kemampuan untuk melepaskan ion hidrogen semakin rendah (Ulfin Ita, 2010). Hal ini menyebabkan elektrolit dengan konsentrasi yang rendah tidak mudah mengalami reaksi, sehingga pada konsentrasi rendah laju korosi pada baja lebih rendah daripada konsentrasi yang lebih tinggi.

Pada setiap konsentrasi memiliki efisiensi yang terus meningkat hingga 900 ppm. Hal ini karena energi yang diterima, digunakan untuk meningkatkan laju adsorpsi inhibitor dengan permukaan logam. Pada table 4.6 dapat dilihat bahwa nilai negatif  $AG_{ads}$  menunjukkan spontanitas dari proses adsorpsi dan stabilitas spesies yang teradsorpsi pada permukaan baja karbon rendah (Fouda, 2009). Biasanya nilai sekitar  $-20$  kJ/mol atau lebih tinggi menandakan bahwa mekanismenya merupakan physisorption, sedangkan yang lebih rendah dari  $-40$  kJ/mol menandakan bahwa mekanismenya chemisorption (Umoren, 2006). Nilai dari  $AG_{ads}$  yang telah dihitung adalah  $-0,6$  kJ/mol yang artinya mekanisme dari inhibitor obat atorvastatin ini adalah tipe physisorption.

Molekul inhibitor (obat atorvastatin) dapat ter-adsorpsi pada permukaan baja karbon rendah melalui urutan mekanisme penghambatan. Yang pertama adalah dalam larutan asam, molekul inhibitor ada dalam protonated atau dalam bentuk netral (Shukla, 2000). Inhibitor atorvastatin membentuk molekul terprotonisasi, sebagai berikut:



Molekul inhibitor yang telah terprotonisasi kemudian mulai bersaing dengan ion  $H^+$  untuk berebut elektron pada permukaan baja karbon rendah. Molekul terprotonasi kemudian memenangkan persaingan dan teradsorpsi pada permukaan baja melalui interaksi elektrostatik antara ion  $FeCl^-$  yang sudah ada pada permukaan baja karbon rendah (adsorpsi fisika). Kationik membentuk molekul penghambat, setelah menerima elektron dari permukaan baja, kembali ke bentuk netralnya. Akumulasi elektron pada permukaan



baja membuatnya lebih negatif. Untuk menghilangkan kelebihan muatan negative ini dari permukaan baja, elektron dari d-orbital Fe dapat ditransfer untuk orbital p (antibonding) yang kosong dari inhibitor molekul (retrodonasi) melalui pasangan electron bebas yang ada pada ligan, dengan demikian memperkuat adsorpsi inhibitor pada permukaan logam (Yadav, 2012 dan Yadav, 2013). Terjadinya reaksi antara inhibitor dengan larutan menyebabkan terhambatnya reaksi katodik yang terjadi. Selain itu, proses adsorpsi yang terjadi pada permukaan sampel juga menyebabkan terhambatnya reaksi anodik, sehingga secara keseluruhan laju korosi mengalami penurunan.

Pada konsentrai 900ppm larutan tepat pada kesemimbangan dimana obat terlarut semua dan tidak ada yang mengendap. Sehingga pada konsentrasi ini memiliki efisiensi yang paling baik dibandingkan dengan yang lainnya. Senyawa yang ada pada inhibitor atorvastatin yang telah terprotonisasi banyak yang berhasil memenangkan persaingan dengan  $H^+$  yang ada pada larutan, kemudian akan menutupi permukaan baja karbon rendah.  $\pi$  -elektron dari cincin aromatik juga dapat berinteraksi dengan orbital d-kosong dari atom-atom logam yang mempunyai pasangan electron bebas sehingga memperkuat ikatan dan akan menyebabkan laju korosi rendah. Penghambatan juga dapat terjadi karena berat molekul senyawa atorvastatin yang besar, sehingga serangan oleh spesies agresif tertutup pada permukaan baja (Akpan, 2013).

*(Halaman sengaja dikosongkan)*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan hasil kesimpulan bahwa:

1. Penambahan inhibitor obat atorvastatin dapat menurunkan laju korosi baja karbon rendah pada media HCl pH 1 dan pH 5. Pada pH 1 laju korosi terendah pada hari ke-5 yaitu sebesar 0,075 mmpy dengan efisiensi sebesar 94,361% sedangkan pada pH 5 laju korosi terendah pada hari ke-4 yaitu sebesar 0,006 mmpy dengan efisiensi sebesar 95,804%
2. Mekanisme kerja inhibitor obat atorvastatin adalah secara mixing inhibitor lebih mengarah katodik, serta melibatkan adsorpsi fisika (fisisorpsi) antara permukaan sampel dengan inhibitor.

#### **5.2 Saran**

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terkait kandungan yang terdapat pada obat atorvastatin.
2. Perlu ditambahkan variabel temperature untuk mengetahui efek laju korosinya.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdel Hameed, R. S. 2011. **Ranitidine drugs as non toxic corrosion inhibitor for mild steel in hydrochloric acid medium**. *Portugaliae Electrochimica Acta*, 29, 273–285
- Adam, J. 2009. **Buku Ajar Ilmu Penyakit Dalam Jilid III**. Dalam: *Dislipidemia*. Jakarta: Pusat Penerbitan Departemen Ilmu Penyakit Dalam Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia, pp. 1948-1954.
- Ahamad, I., & Quraishi, M. A. 2010. **Mebendazole: New and efficient corrosion inhibitor for mild steel in acid medium**. *Corrosion Science*, 52(2), 651–656.
- Ahamad, I., Prasad, R., & Quraishi, M. A. 2010. **Inhibition of mild steel corrosion in acid solution by Pheniramine drug: Experimental and theoretical study**. *Corrosion Science*, 52(9), 3033–3041.
- Akpan, I. A., & Offiong, N.-A. O. 2013. **Inhibition of Mild Steel Corrosion in Hydrochloric Acid Solution by Ciprofloxacin Drug**. *International Journal of Corrosion*, 1–5. doi:10.1155/2013/301689
- Alexander, M., Corrigan, A., Gorski, L. 2010. **Infusion Nursing: An Evidence Based Approach**. Saunders Elsevier Inc.
- Al-Turkustani, A. M. 2016. **Thermodynamic, chemical and electrochemical investigation of Pandanus tectorius extract as corrosion inhibitor for steel in sulfuric acid solutions**. *Eur. J. Chem.*, 4(3): 303-310.
- Ameer, M. A., Khamis, E., dan Al-Senani, G. 2000. **Effect of Thiosemicarbozones on Corrosion of Steel of Phoporic Acid Produced by Wet Process**. *Ads. Science Technologies*. Vol: 2 P. 127-138.
- Anam, Choirul. Sirojudin. 2007. **Analisis Gugus Fungsi Pada Sampel Uji, Bensin Dan Spiritus Menggunakan Metode Spektroskopi FT-IR**. *Berkala Fisika*. Vol 10 no.1. 79 – 85

- 
- Anees A. 2009. **The Effects of Temperature and Acid Concentration on Corrosion of Low Carbon Steel in Hydrochloric Acid Media.** American Journal of Applied Sciences Vol 6: 1403-1409
- A.S. Fouda, F.E. Heikal, M.S. Radwan, J. 2009. **Appl. Electrochem.** 39 (391).
- ASM Handbook. 2005. **Corrosion Materials Volume 13B: Corrosion:** USA: ASTM International.
- ASTM G5-94
- Atkins, P. W., 1999. **Kimia Fisika.** (diterjemahkan oleh : Kartahadiprojo Irma I), edisi ke-2, Erlangga, Jakarta.
- Behpour M, Ghoreishi SM, Soltani N, Salavati-Niasari M, Hamadani M, Gandomi A. 2008. **Electrochemical and theoretical investigation on the corrosion inhibition of mild steel by thiosalicylaldehyde derivatives in hydrochloric acid solution.** Corros Sci 50:2172–2181. doi:10.1016/j.corsci.2008.06.020
- Bird, T. 1993. **Kimia Fisika untuk Universitas.** Cetakan ke-2. Jakarta : Penerbit PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Brown, Theodore L. 2015. **Chemistry: The Central Science (13th edition).** New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Chang, Raymond. 2004. **Kimia Dasar Konsep-konsep Inti Jilid 2.** Jakarta: Erlangga
- Chusnul. 2011. **Spektroskopi IR.** Berkala Fisika. Vol 11 no.1. 23 – 28
- Dalimunthe, Indra Surya. 2004. **Kimia dari Inhibitor Korosi.** Program Studi Teknik Kimia. Fakultas Teknik. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Danilo G, Luigi A. 2014. **Statins and periodontal inflammation: A pleiotropic effect of statins or a pleiotropic effect of LDLcholesterol lowering Atherosclerosis.** 2014:234(2):381-2.
- Falagas ME, Makris GC, Matthaïou DK, Rafailidis PI. **Statins for infection and sepsis: a systematic review of the clinical evidence.** J Antimicrob Chemother. 2008;61:774-85.
- 
-

- 
- Fardhyanti, Dewi Selvia. 2004. **Uji Efektivitas Natrium Fosfat Sebagai Inhibitor Pada Korosi Baja Tulangan Beton.** Artikel Ilmiah JKSA Vol: 7 No. 2.
- Ferreira, K.C.R., Cordeiro, R.F.B., Nunes, J.C., Orofino, H., Magalhães, A., Torres, A.G., & D'Elia, E. 2016. **Corrosion inhibition of carbon steel in HCl solution by aqueous brown onion peel extract.** Int. J. Electrochem. Sci., 11: 406 – 418
- Fontana, Mars G. 1986. **Corrosion Engineer.** McGraw Hill Book Company. Singapore
- Fouda, A. S., Mahmoud, W. M., & Abdul Mageed, H. A. (2016). **Evaluation of an Expired Nontoxic Amlodipine Besylate Drug as a Corrosion Inhibitor for Low-Carbon Steel in Hydrochloric Acid Solutions.** Journal of Bio- and Tribo-Corrosion, 2(2).
- Gamry Instrument. 2012. **Basics of Electrochemical Impedance Spectroscopy.** USA.
- Geethamani P, Kasturi PK. 2016. **The inhibitory action of expired asthalin drug on the corrosion of mild steel in acidic media: a comparative study.** J Taiwan Inst Chem Eng 63:490–499.
- Geethamani P, Kasturi PK, Aejitha S .2014. **A new pharmaceutically expired drug acts as corrosion inhibitor for mild steel in acid medium.** Elixir Corro Dye 76:28406–28410
- Ghali, A. Addon, B. Mutel, B. Benstaali, F. Bentiss. 2013. **Corrosion inhibition of carbon steel in 0.5 M NaCl aqueous solution by humid air plasma treatment.** The European Physical Journal Applied Physics, pp.30801-p1-p8
- Golestani Gh, Shahid M, Ghazanfari D. 2014. **Electrochemical evaluation of antibacterial drugs as environment-friendly inhibitors for corrosion of carbon steel in HCl solution.** Appl SurfSci 308:347–362.
-

- 
- Griffiths, P.R. 1975. **Chemical Analysis: A Series of Monograph on Analytical Chemistry and Its Application, Chemical Infrared Fourier Transform Spectroscopy**. Vol: 43. Toronto: John Willey&SMS
- Hameed RSA. 2011. **Ranitidine drugs as non-toxic corrosion inhibitors for mild steel in hydrochloric acid medium**. Port Electrochim Acta 29:273–285.
- Hameed RSA, Ismail EA, Abu-Nawwas AH, AL-Shafey HI. 2015. **Expired Voltaren drugs as corrosion inhibitor for aluminium in hydrochloric acid**. Int J Electrochem Sci 10:2098–2109
- Hartomo, A.J., Purba, A.V., 1986. **Penyelidikan Spektrometri Senyawa Organik**, Edisi keempat, Erlangga, Jakarta in:
- Haryono, G. 2010. **Ekstrak Bahan Alam Sebagai Inhibitor Korosi**. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan”, Universitas Pembangunan Nasional.
- Hoang, H. V. 2007. **Electrochemical Synthesis of Novel Polyaniline- Montmorillonite**.
- Imran Naqvi\*, A. R. Saleemi, S. Naveed. 2011. **Cefixime: A drug as Efficient Corrosion Inhibitor for Mild Steel in Acidic Media**. Electrochemical and Thermodynamic Studies. Int. J. Electrochem. Sci., 6 (2011) 146 – 161
- Jeffers, Kenneth. 1999. **Electrochemical Impedance Spectroscopy for The Characterization Of Corrosion And Cathodic Protection Of Buried Pipelines**. Thesis, University of Florida.
- Jiang Y., Li C., Wang W., Hou B., Wu L. 2014. **Inhibition properties and adsorption behavior of imidazole and 2-phenyl-2-imidazoline on AA5052 in 1.0 M HCl solution**. Corros. Sci. 2014;83:124–136. doi: 10.1016/j.corsci.2014.02.004.
- Khaled, K.F., 2006. **Corrosion inhibition of copper in chloride media by 2-mercapto-4-(p-methoxyphenyl)-6-oxo-1,6-dihydropyrimidine-5-carbonitrile: Electrochemical and theoretical study Mater. Chem. Phys.** 112, 104–111
-



- 
- Kipling, J.J. 1965. **Adsorption for solution of Non Electrolytes**. London: Academic Press.
- Kumar S. Hari and S. Karthikeyan. (2012). **Inhibition of mild steel corrosion in hydrochloric acid solution by cloxacillin drug**. VIT University, India
- Lagrene, M ., Bouklah, M., Hammouti, & Bentiss, F. 2006. **Thermodynamic properties of 2,5-bis(4-methoxyphenyl)-1,3,4-oxadiazole as a corrosion inhibitor for mild steel in normal sulfuric acid medium**. Corrosion Science 48: 2831-2842.A.S. Fouda, F.E. Heikal, M.S. Radwan, J. 2009. Appl. Electrochem. 39 (391)
- Laksono, E. W., I. Jaslin., dan A. K. Prodjosantoso. 2006. **Efek pH terhadap Kemampuan Adsorpsi Kitosan dengan Logam**. Proseding Seminar Nasional Kimia. pp. 243-247.
- Lareu RR, Dix BR, Hughes JD. 2017. **Statins: antimicrobial resistance breakers or makers**. Peer J.1-35.
- Levin S. A., Gintzberg, I. S. Dinner, and V. N. Kuchinsky. 1965. **Proceedings of Second European Symposium on Corrosion Inhibitors**. Ferrara, Italy. p. 765.
- Levine, Ira N. 1995. **Physical Chemistry Fourth Edition**. Singapura: McGraw-Hill
- Luo, H., Guan, Y.C and Han, K,N. 1998. **Corrosion Inhibition of A Mild Steel by Aniline and Alkylamines in Acidic Solutions**. Corrosion, 54, 721 – 731
- M. Lagrenée, B. Mernari, M. Bouanis, M. Traisnel, and F. Bentiss. 2002. **Study of the mechanism and inhibiting efficiency of 3,5-bis(4-methylthiophenyl)-4H-1,2,4-triazole on mild steel corrosion in acidic media**. Corrosion Science, vol. 44, no. 3, pp. 573–588
- M. Chigondo dan F. Chigondo. 2016. **Recent natural corrosion inhibitors for mild steel: an overview**. J. Chem.
- Macdonald, J. Ross., Evgenji, Barsoukov. 2005. **Impedance Spectroscopy Theory, Experiment, And Applications**. John Wiley and Sons, Inc, United States of America.
-

- 
- Marcus P., and Oudar J., 1995. **Corrosion Mechanisms in Theory and Practice**. Marcel Dekker Inc.
- Mattel, C.L. 1991. **Adsorption 2nd Edition**. McGraw-Hill Company Inc. New York
- McCafferty, E. 2009. **Thermodynamics of Corrosion: Pourbaix Diagrams**. Introduction to Corrosion Science, 95–117. doi:10.1007/978-1-4419-0455-3\_6.
- Nestor Perez. 2004. **Electrochemistry and Corrosion Science**. Kluwer Academic Publishers.
- Obot, I. B., Obi-Egbedi, N. O., dan Umoren, S. A. 2009. **Antifungal drugs as corrosion inhibitors for aluminium in 0.1 M HCl**. Corrosion Science 51(8), 1868–1875.
- Ottmar KJ, Colosi LM, Smith JA. 2012. **Fate and transport of atorvastatin and simvastatin drugs during conventional wastewater treatment**. Chemosphere 88:1184–1189.
- Papavinasam, S. (2011). **Corrosion Inhibitors**. Uhlig's Corrosion Handbook:1021–1032. doi:10.1002/9780470872864.ch71
- P. Marcus, V. Maurice, H.H. Strehblow, Localized corrosion. 2008. **Pitting: a model of passivity breakdown including the role of the oxide layer nanostructure**. Corros. Sci. 50 (9) 2698e2704
- Pine, S.H., J.B. Hendrickson, D.J. Cram dan G.S. Hammond. 1980. **Organic Chemistry**. McGraw-Hill Inc., New York.
- Price, S.A., dan Wilson, L. M. .2005. **Patofisiologi: Konsep Klinis Proses-proses Penyakit, Edisi 6, Vol. 2**. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC
- Reynolds. 1982. **Unit Operation and Processes In Environmental Engineering**. California : Texas A&M University. Brook/Cole Engineering Division
- Roberge, P. R. 2000. **Handbook of Corrosion Engineering**. McGraw-Hill. New York. Page 333 – 351, 1093.
- Ross Macdonald, J. Evgenji, Barsoukov. 2005. **Impedance Spectroscopy Theory, Experiment, And Applications**. John Wiley and Sons, Inc, United States of America.
-

- 
- Rozenfeld, I.L. 1981. **Corrosion Inhibitors**. New York: McGraw Hill Book Inc., p 133.
- S. A. Umoren and E. E. Ebenso. 2007. **The synergistic effect of polyacrylamide and iodide ions on the corrosion inhibition of mild steel in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**. Materials Chemistry and Physics, vol. 106, no. 2-3, pp. 387–393.
- Sekhon B.S., 2012. **Iodine: A support against infections and emerging as an antibiotic**. J Pharm Educ Res. 3(1):35-39.
- Shukla, S. K., Singh, A. K., Ahamad, I., & Quraishi, M. A. 2009. **Streptomycin: A commercially available drug as corrosion inhibitor for mild steel in hydrochloric acid solution**. Materials Letters, 63(9-10), 819–822.
- Shukla SK, Quraishi MA. 2009. **Cefotaxime sodium: a new and efficient corrosion inhibitor for mild steel in hydrochloric acid solution**. Corros Sci 51:1007–1011.
- Singh, P., Chauhan, D. S., Srivastava, K., Srivastava, V., & Quraishi, M. A. 2017. **Expired atorvastatin drug as corrosion inhibitor for mild steel in hydrochloric acid solution**. International Journal of Industrial Chemistry, 8(4), 363–372.
- Sirtori CR. 2014. **The pharmacology of statins**. Pharmacol Res. Danilo G, Luigi A. 2014. **Statins and periodontal inflammation: A pleiotropic effect of statins or a pleiotropic effect of LDLcholesterol lowering Atherosclerosis**.2014;234(2):381-2.
- Sulistijono. 2000. **Diktat Korosi dan Analisa Kegagalan**. Surabaya: ITS
- Supardi, Rahmat. 1997. **Korosi**. Tarsito. Bandung
- Tandy, E. 2012. **Kemampuan Adsorben Limbah Lateks Karet Alam Terhadap Minyak Pelumas Dalam Air**. Jurnal Teknik Kimia USU. Volume 1 No. 2. Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik. USU
- Tems, R & Al-Zahrani., A.M. 2006. **Cost of Corrosion in Oil Production & Refining**. Saudi Aramco Journal of Technology
-

- 
- Trabanelli, G and Carasetti. 1970. **Mechanism and Phenomenology of Organic Inhibitors**. in Advances in Corrosion Science and Technology. Vol. 1, Eds. Fontana, M.G and Stachie, R.W., New York: Plenum Press, p 119
- Trethewey, K. R. Dan J. Chamberlain., 1991. **Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan**. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama
- Treyball, R.E. 1981. **Mass Transfer Operations**. Singapore: Mc, Graw Hill Book Co. 573-574, 581-582.
- Uhlig, H. H. 1961. **Corrossion Handbook**. London: John Willey & Sons Inc.
- Ulfin, Ita. 2010. **Kimia Dasar Seri Buku Untuk Jurusan Sains dan Teknologi**. Surabaya: ITS Press
- Umoru, L. E., Afonja, A. A., Ademodi, B. 2008. **Corrosion Study of AISI 304, AISI 321 and AISI 430 Stainless Steels in a Tar Sand Digester**. Jmmce. Org., 7(4), 291-299
- Vogel. 1979. **Textbook of marco and semimicro qualitative inorganik analysis, 5<sup>th</sup> ed.**, p.p. 257337. London: Longman Group limited.
- Widyanto, S. 2004. **Proteksi dan Pengendalian Korosi**. Makalah Training Indocor. Bandung
- Wiston, R. 2000. **Uhlig's Corrosion Handbook, 2nd edition**. John willey and sons Inc. New York. P. 1091.
- Wu, Y., Liu, M.-J., Huang, H.-Q., Huang, G.-X., Xiong, F.-J., & Chen, F.-E. 2017. **Asymmetric Synthesis of Atorvastatin Calcium through Intramolecular Oxidative Oxygen-Nucleophilic Bromocyclization**. European Journal of Organic Chemistry, 2017(25), 3681–3688.
- Yadav DK, Chauhan DS, Ahamad I, Quraishi MA. 2013. **Electrochemical behavior of steel/acid interface: adsorption and inhibition effect of oligomeric aniline**. RSC Adv 3:632–646.
- Yadav DK, Quraishi MA. 2012. **Electrochemical investigation of substituted pyranopyrazoles adsorption on mild steel in acid solution**. Ind Eng Chem Res 51:8194–8210.
-

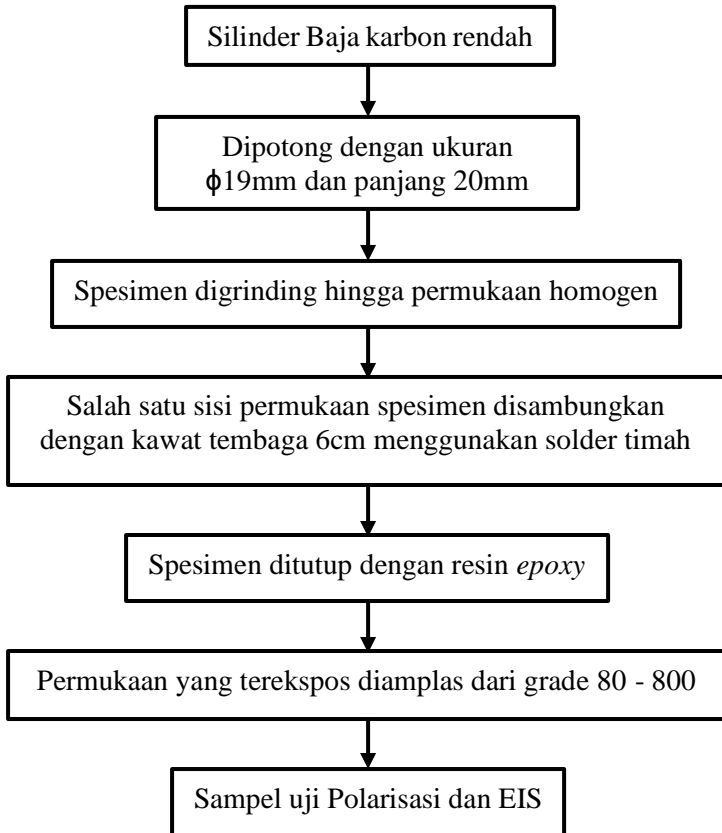
---

Yasmien., Riftiani, A., Nurhayati, I. 2008. **Sintesis Senyawa 5-Keto Kariofilena dari Kariofilena sebagai Bahan Baku Parfum Melalui Reaksi Hidroborasi Oksidasi.** Program Kreativitas Mahasiswa. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Semarang: Universitas Negeri Semarang.

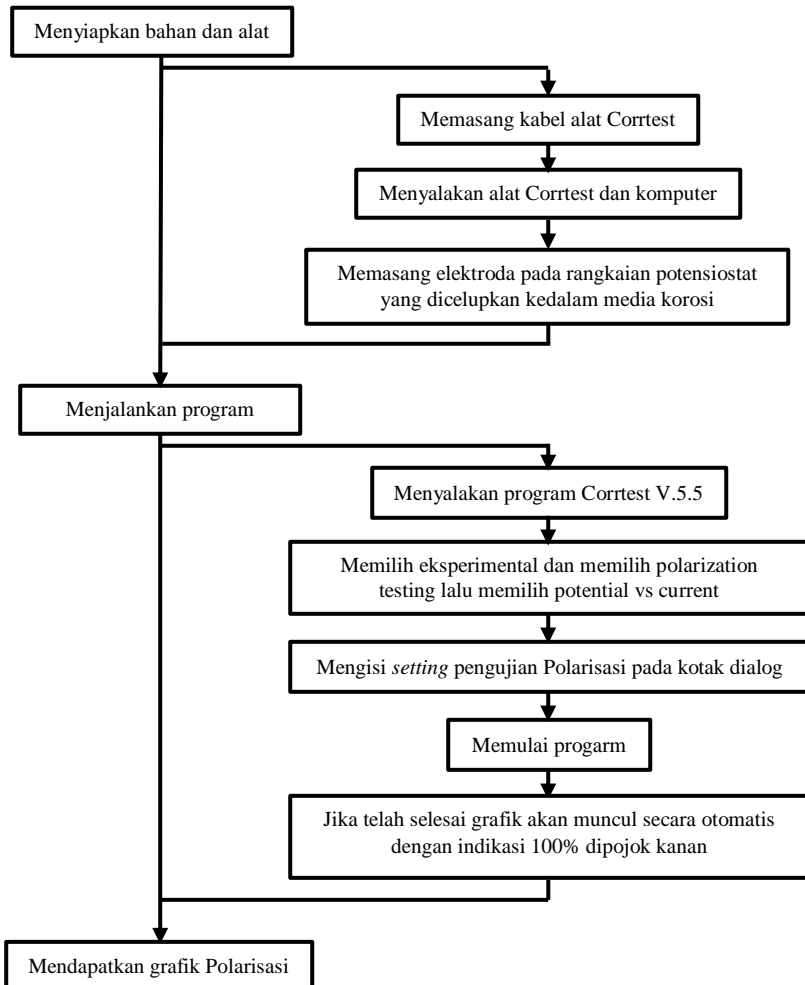
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LAMPIRAN A SKEMA PEMBUATAN

### 1. Pembuatan spesimen

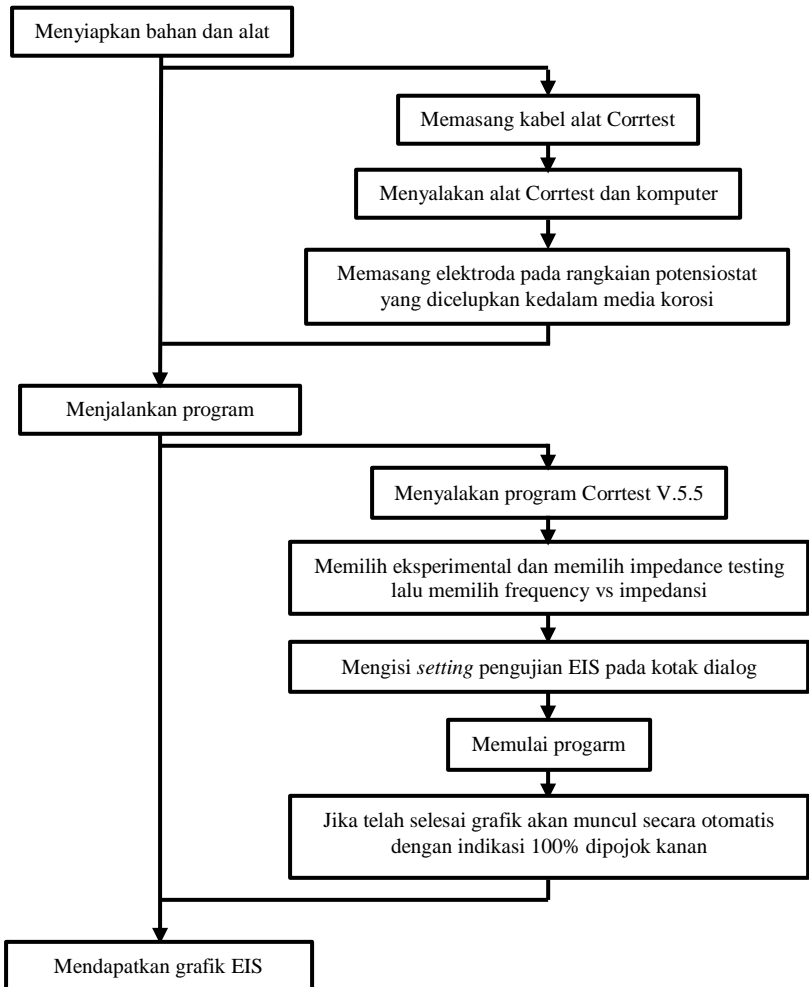


## 2. Prosedur uji Polarisasi

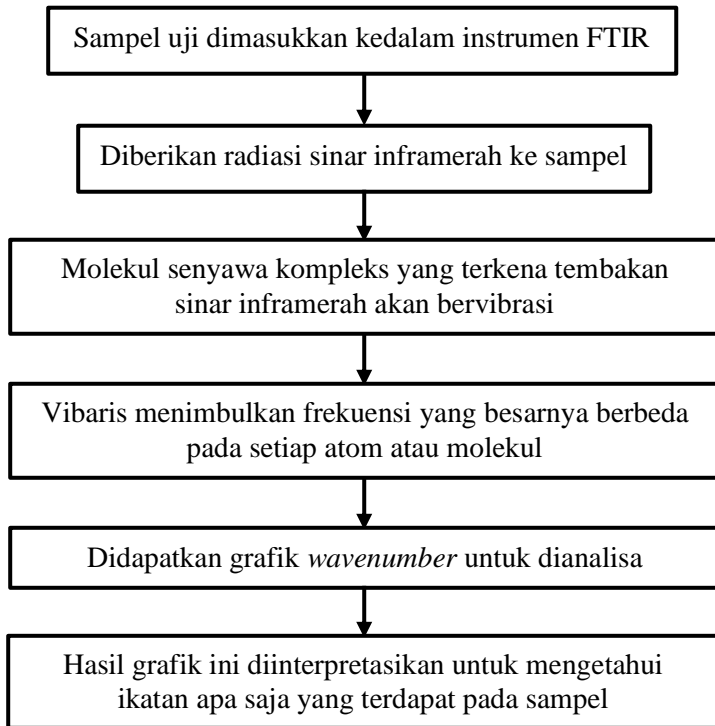




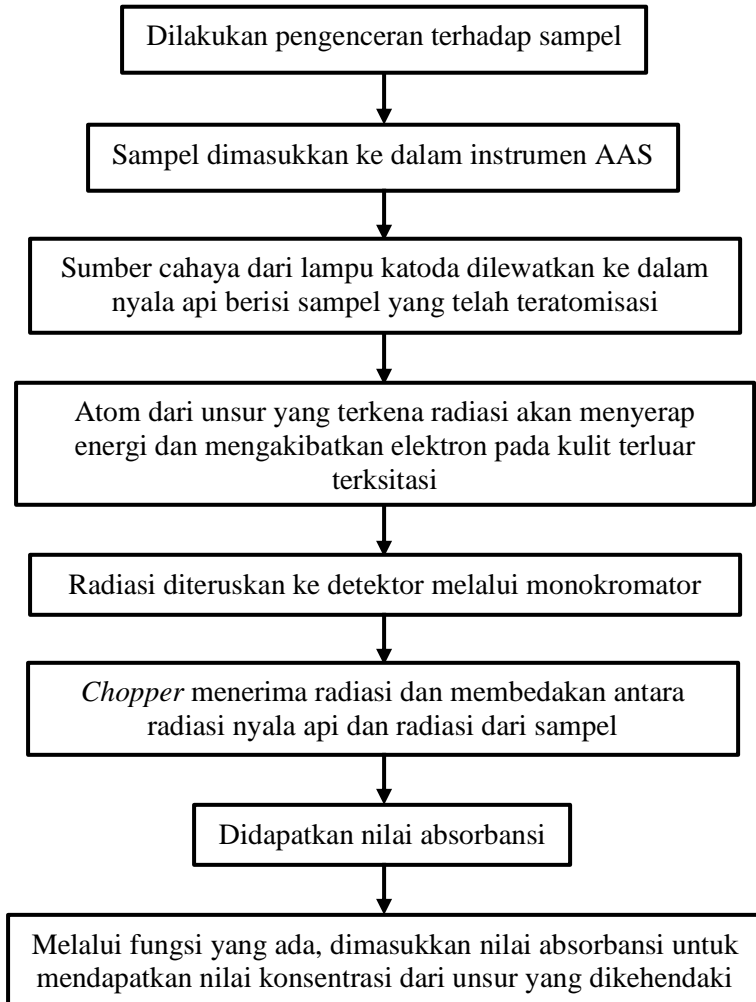
### 3. Prosedur uji EIS



#### 4. Prinsip kerja Uji FTIR



## 5. Prinsip kerja Uji AAS



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

---

## LAMPIRAN B PEMBUATAN MEDIA HCL

Pembuatan Larutan 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,

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

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

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

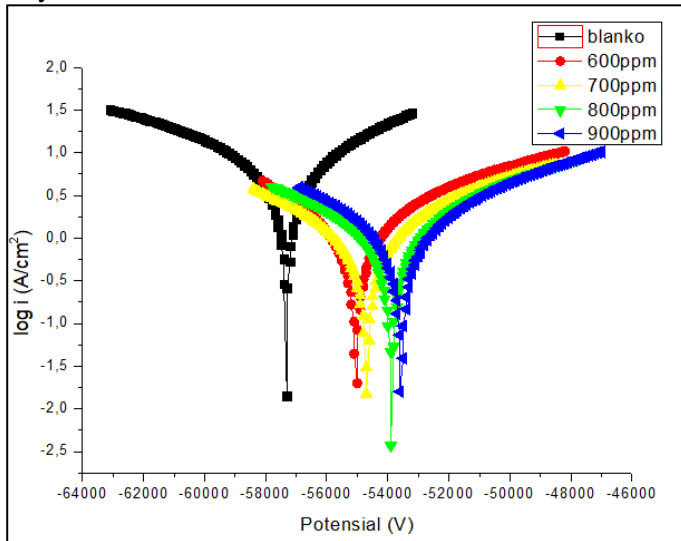
Maka untuk membuat 1L larutan 0.00001M HCl dibutuhkan 0.000828ml HCl 37% yang kemudian diencerkan dengan aquades hingga volume total mencapai 1000ml.

**LAMPIRAN C**  
**PENGUJIAN POLARISASI**

pH 1 hari ke-	CR(mmpy)	Efisiensi(%)_	pH 5 hari ke-	CR(mmpy)	Efisiensi(%)
0	1,563		0	0,122	
	0,704	54,958		0,077	36,885
	0,673	56,942		0,052	57,377
	0,506	67,626		0,043	64,754
	0,503	67,818		0,031	74,590
1	1,431		1	0,114	
	0,344	75,961		0,068	40,351
	0,335	76,590		0,033	71,053
	0,327	77,121		0,026	77,193
	0,319	77,743		0,011	90,351
4	1,355		4	0,143	
	0,155	88,561		0,059	58,741
	0,149	89,004		0,025	82,517
	0,134	90,111		0,011	92,308
	0,123	90,923		0,006	95,804
5	1,330		10	0,162	
	0,133	90,000		0,060	62,963
	0,085	93,609		0,039	75,926
	0,084	93,684		0,009	94,444
	0,075	94,361		0,007	95,679
6	1,310		14	0,214	
	0,119	90,916		0,047	78,037
	0,127	90,305		0,027	87,383
	0,104	92,061		0,019	91,121
	0,091	93,053		0,010	95,327
8	1,340		17	0,191	
	0,209	84,403		0,023	87,958
	0,152	88,657		0,012	93,717
	0,139	89,627		0,009	95,288
	0,099	92,612		0,008	95,812
10	1,270		19	0,256	
	0,213	83,228		0,058	77,344
	0,180	85,827		0,038	85,156
	0,059	95,354		0,011	95,703
	0,058	95,433		0,007	97,266

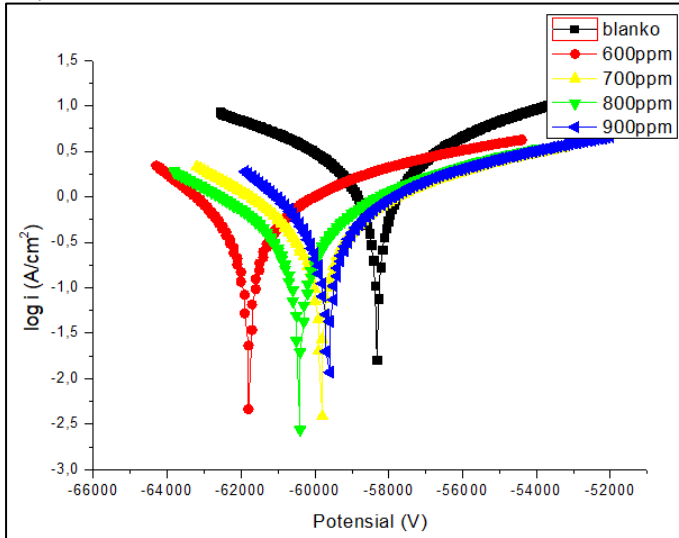
12	1,320		
	0,230	82,576	
	0,156	88,182	
	0,079	94,015	
	0,077	94,167	

Day 1

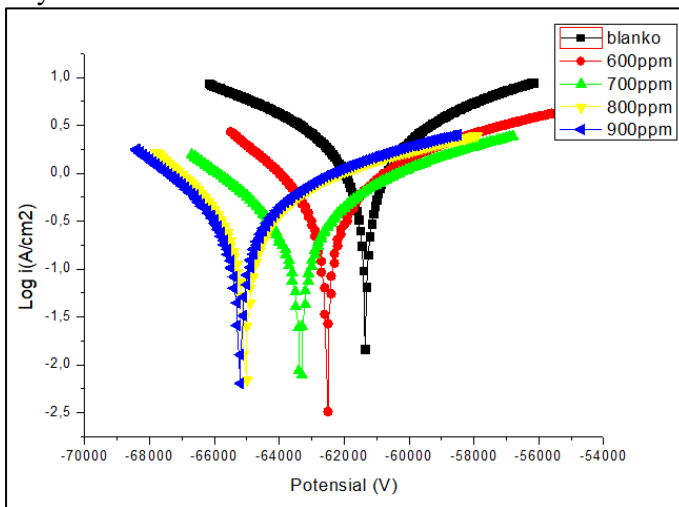




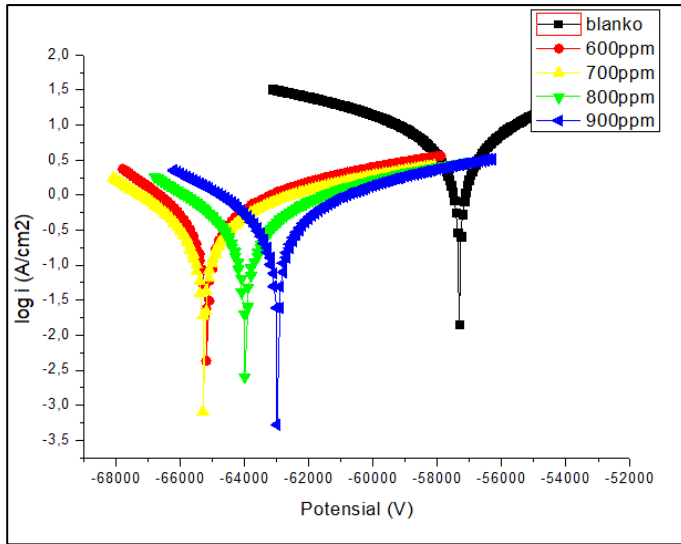
Day 4



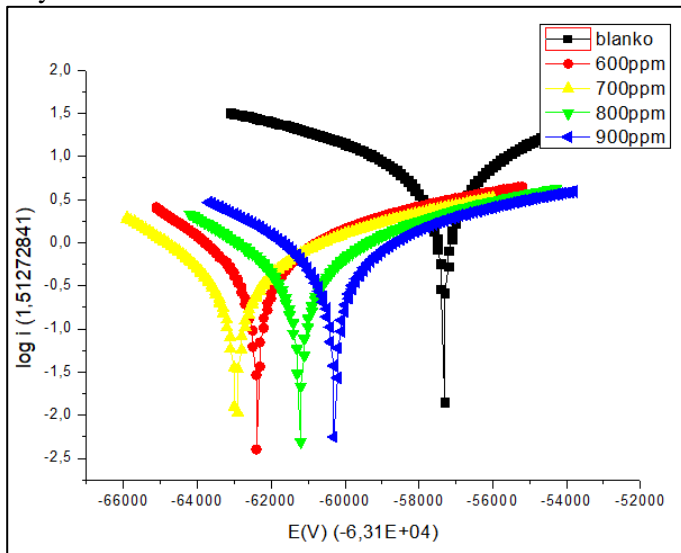
Day 5



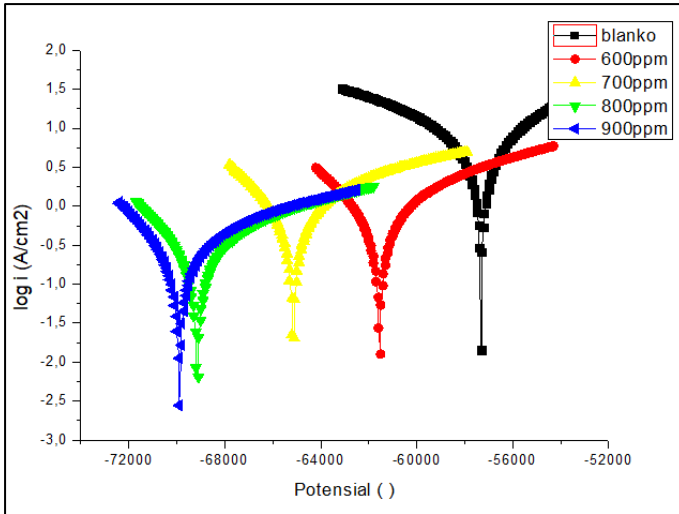
Day 6



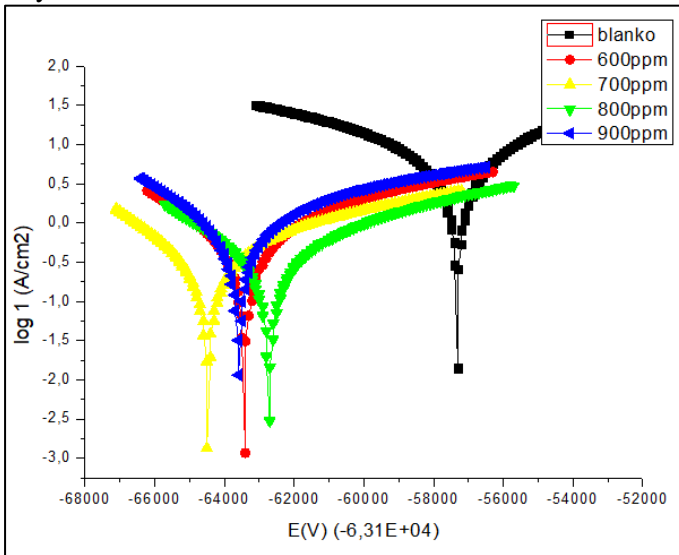
Day 8



Day  
10

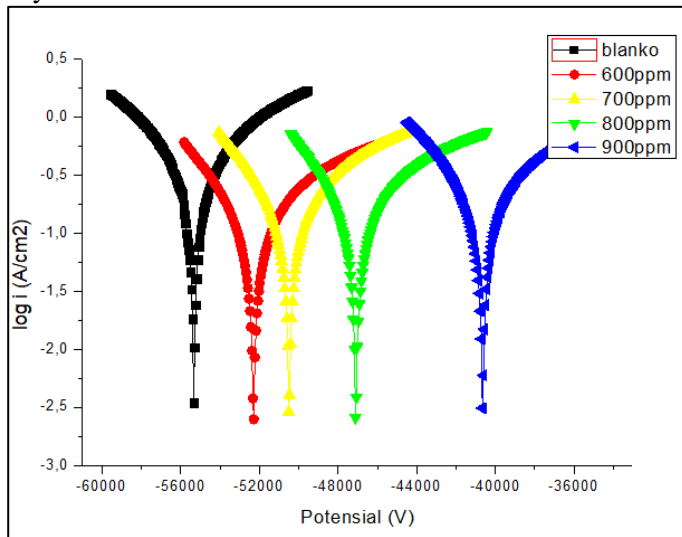


Day 12

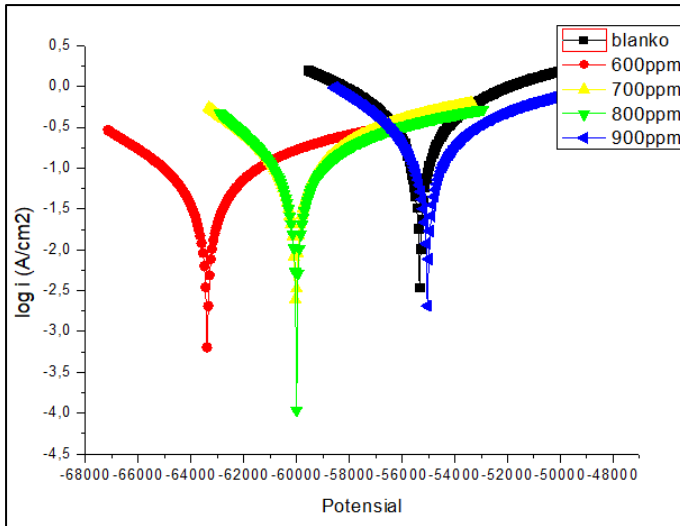


pH 5

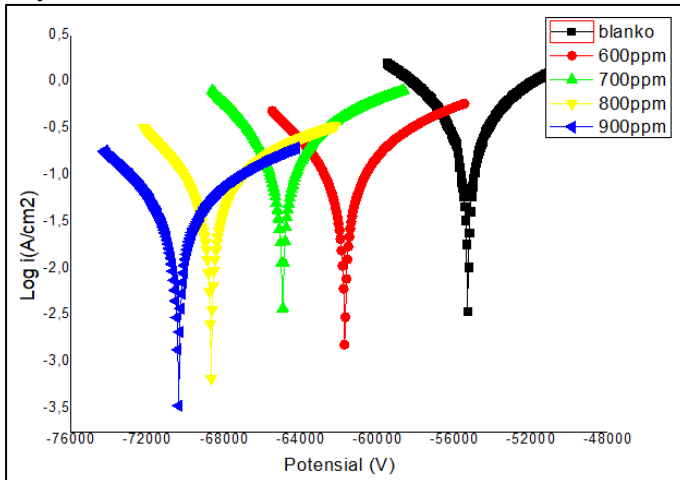
day 0



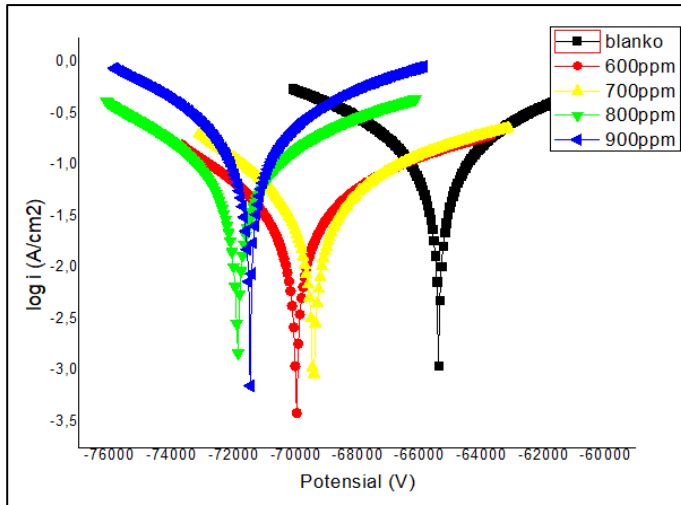
Day 1



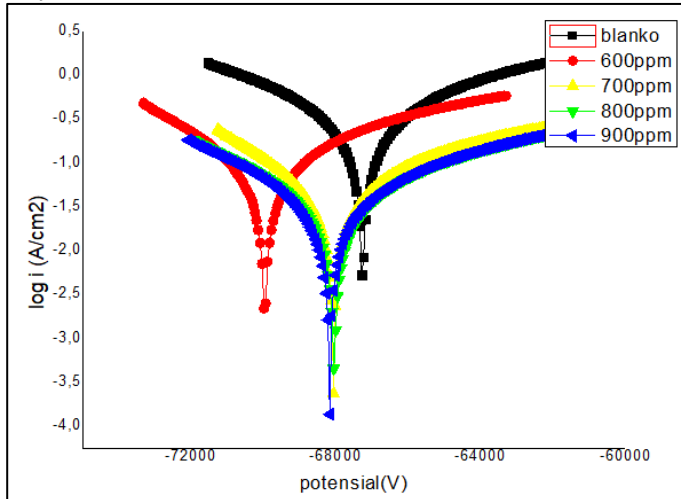
Day 4



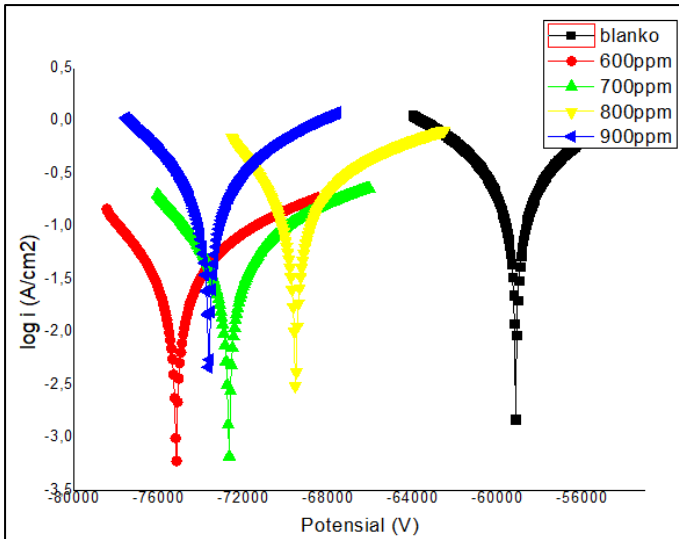
Day 10



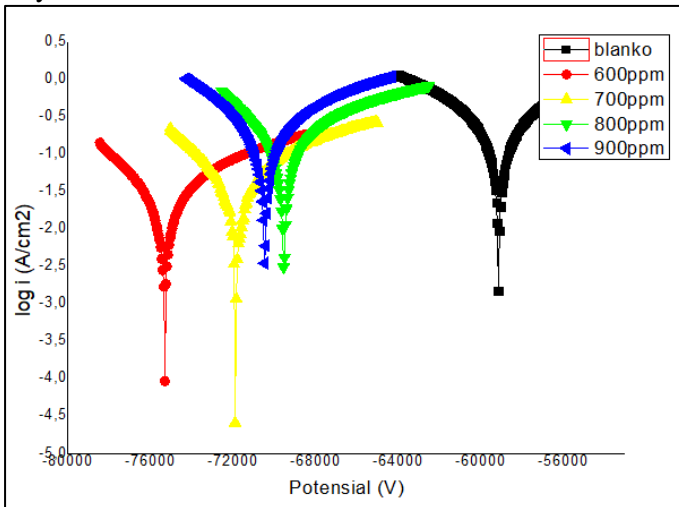
Day 14



Day 17



Day 19



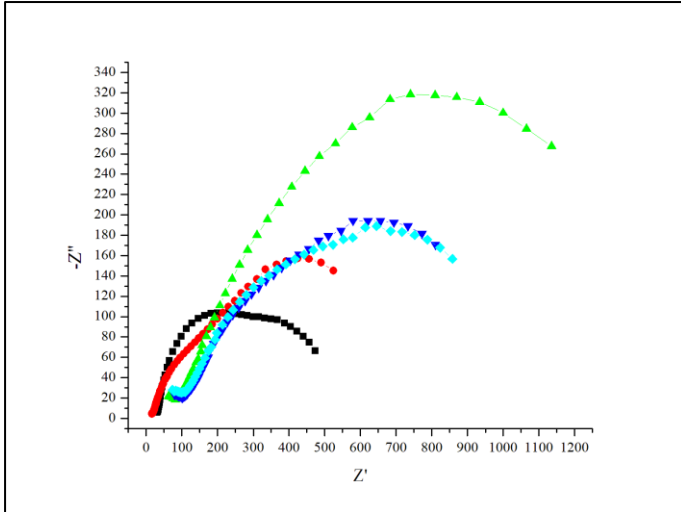




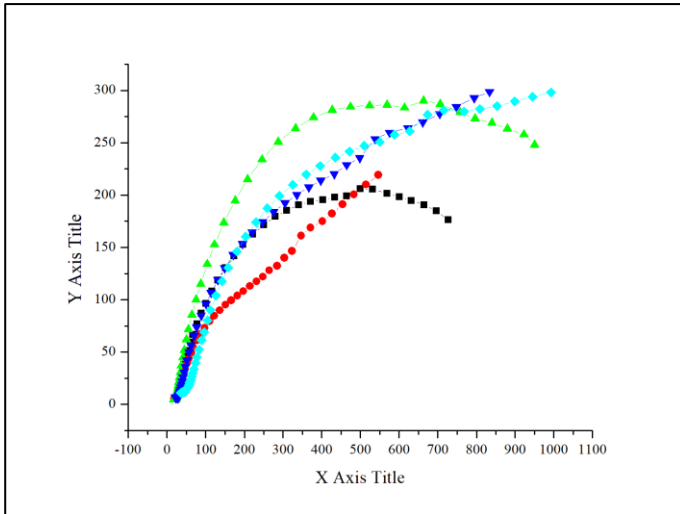
---

**LAMPIRAN D**  
**PENGUJIAN EIS**

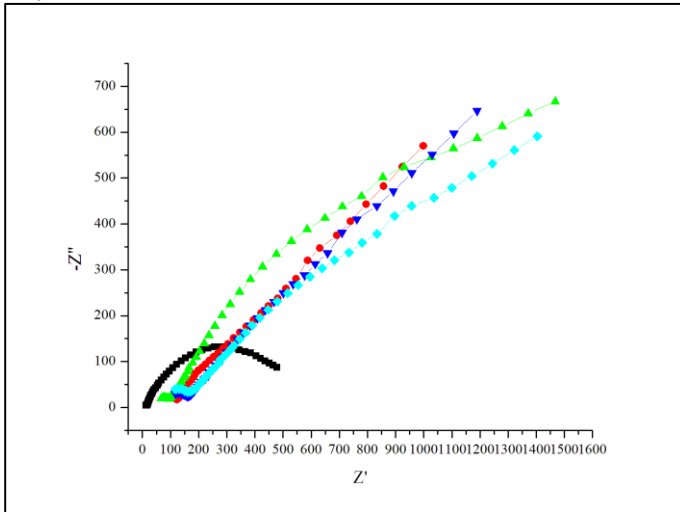
Ph 5  
Day 0



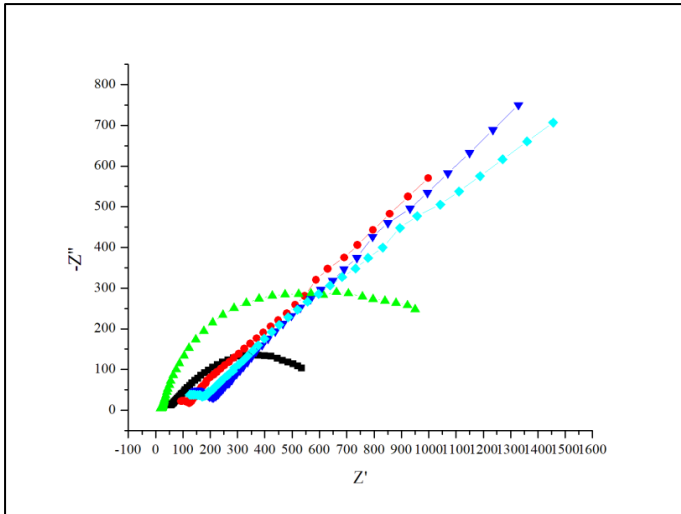
Day 1



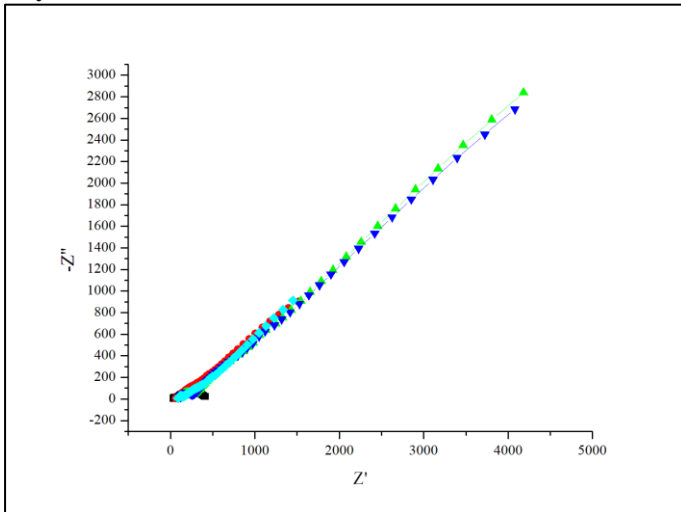
Day 4



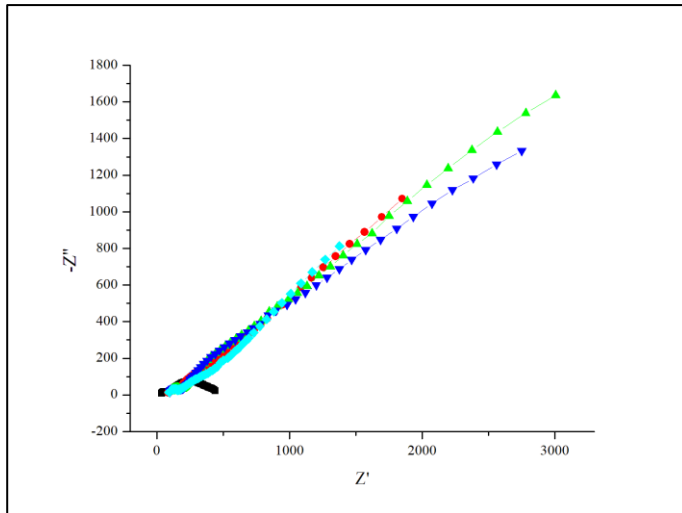
Day 5



Day 8

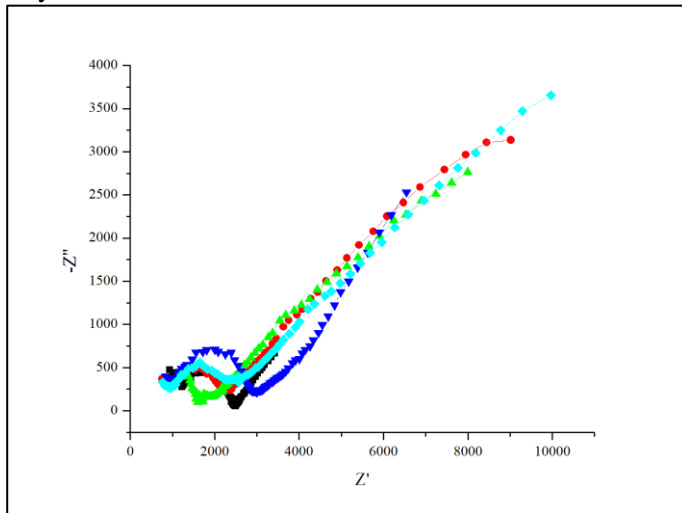


Day 12

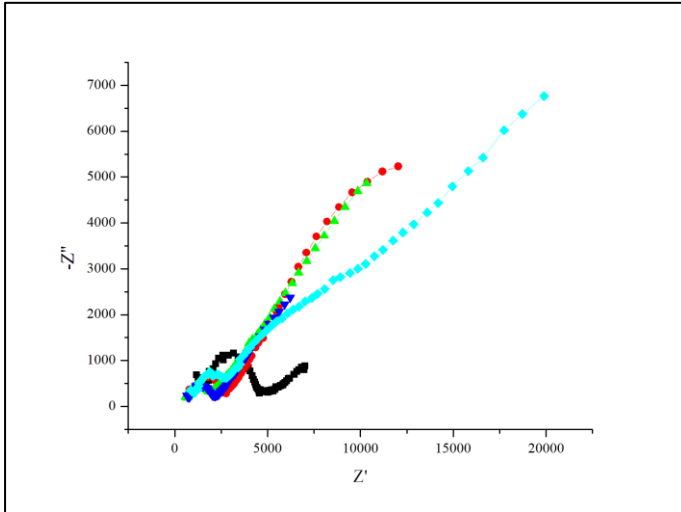


Ph 5

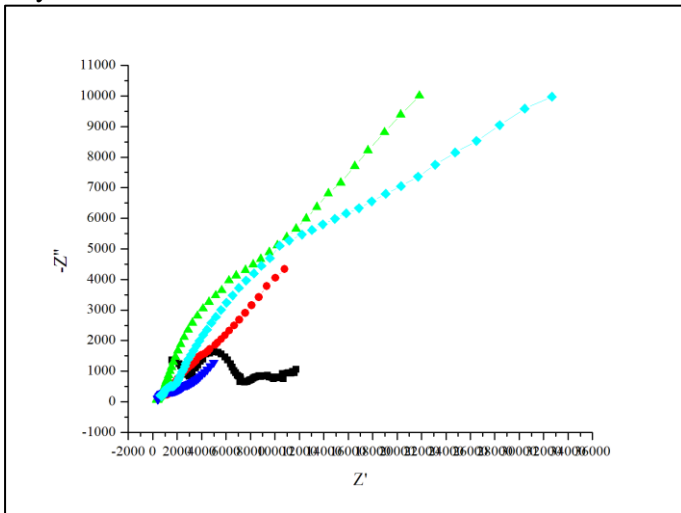
Day 0



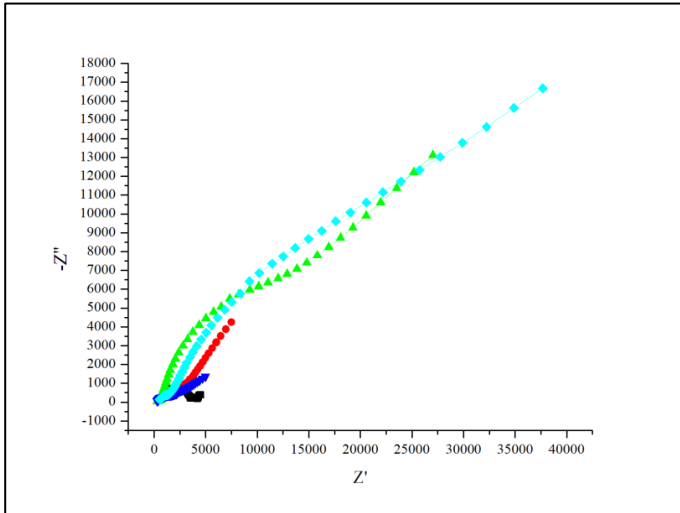
Day 1



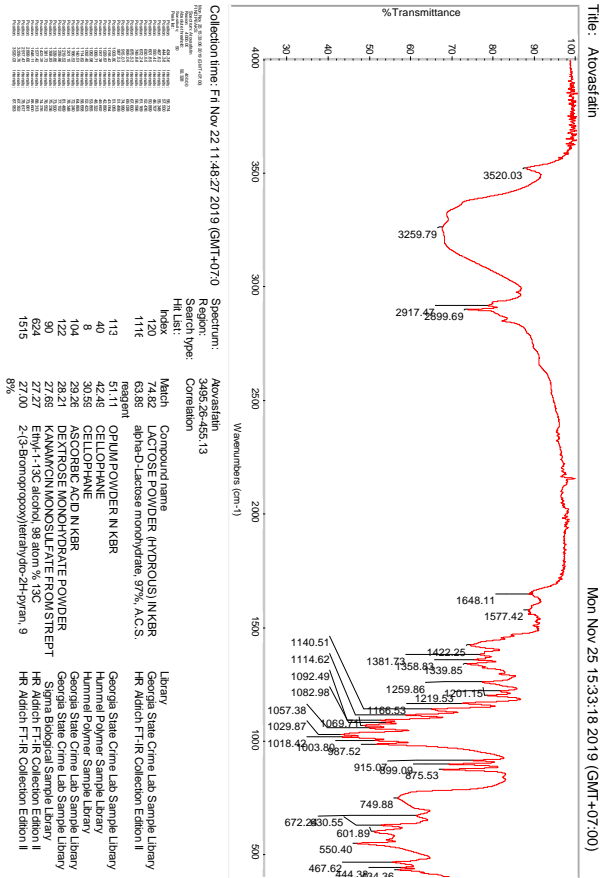
Day 14



Day 17



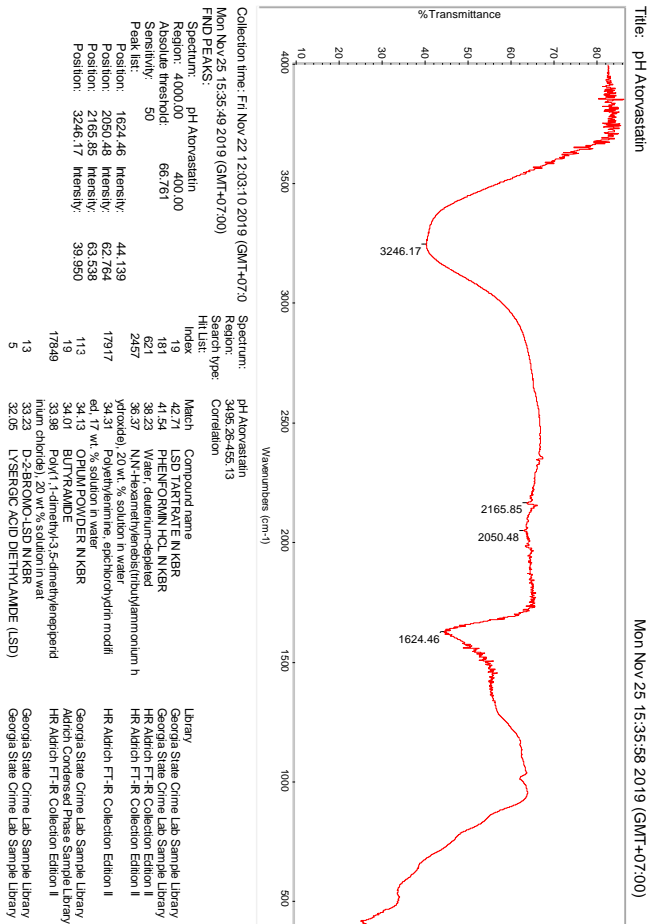
LAMPIRAN E  
TABEL PENGUJIAN FTIR



Kurva FTIR Obat atorvastatin







Kurva FTIR baja yang telah direndam dalam HCl pH 1 selama 5 hari dengan konsentrasi 900ppm

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis merasa bahwa dalam menyusun laporan ini masih menemui beberapa kesulitan dan hambatan, disamping itu juga menyadari bahwa penulisan laporan ini masih jauh dari sempurna dan masih banyak kekurangan-kekurangan lainnya, maka dari itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak. Menyadari penyusunan laporan ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Orang tua Penulis yaitu Ibu tercinta Rini dan Ayah Suwaji. Berkat bantuan doa, wejangan, dan finansial lah penulis bisa mengejar cita- citanya.
2. Syahdahtul kahfi selaku adik penulis, yang mana doa dan dukungannya menjadikan kekuatan bagi penulis.
3. Sahabat Sunggik, Tata dan Rinka yang selalu memberikan support dan memberikan motivasi kapanpun.
4. Sahabat best forever Alvia Husna Maulidia dan Laras Refsita Dewanti yang selalu bersama penulis dari semester awal hingga akhir, dan mantan partner kamar Zahra Zakiah. Alhamdulillah bisa dipertemukan dengan mereka.
5. Fajar Naufal Agusriyanto selaku partner tugas akhir penulis yang selalu saling menyemangati dan memberikan masukan.
6. Sahabat Anggota WhatsApp Lamtur yang selalu siap membagi waktu untuk berbagi gossip yang tidak pernah surut.
7. Sahabat tongkrongan Adhy, Ipul, Dayyan, Wardhana, Adit yang telah meluangkan waktu untuk menemani penulis untuk mabar bersama di kala stress memikirkan skripsi.
8. Seluruh Board NACE SC ITS dan sobat Medfo HMMT FTI-ITS yang telah memberikan banyak pelajaran bagi penulis.
9. Mas Fikra, Mas Ghifari, dan Mbak Rani yang telah membagi dan memberikan ilmunya.

- 
10. Teman-teman lab Korosi Siti, Mamang, Nanda, Arif yang telah membagikan ilmu dan tenaganya.
  11. Sahabat basecamp Ella Novita Rahma yang selalu menemani penulis disaat kaderisasi.
  12. Teman-teman MT18 yang selalu membantu penulis dengan baik.
  13. Teman-teman lab kimia analitik yang telah memperbolehkan penulis berada di lab kimia analitik.
  14. Serta seluruh teman-teman dan pihak yang telah membantu penulis dan memberikan semangat.

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

## BIODATA PENULIS



Oneng Aulia, lahir di Lumajang pada tanggal 30 Oktober 1998. Merupakan Anak pertama dari pasangan Suwaji dan Rini. Penulis menempuh pendidikan di SDN Kaliwungu 01, SMP Negeri 01 Tempeh, SMAN 2 Lumajang hingga saat ini masih menjalani kuliah di Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS. Dalam riwayat pendidikan penulis telah menjalani organisasi seperti Staff Medfo HMMT FTI-ITS 2017-2018, Sekretaris Student Development NACE SC ITS 2017-2018, Sekretaris Student Development NACE SC ITS 2018-2019, Sekretaris Medfo HMMT FTI-ITS 2018-2019. Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. INKA pada bulan Desember 2018 hingga Januari 2019. Tugas Akhir ini sebagai kontribusi penulis dalam dunia riset dan penulis memilih topik korosi (Inhibitor Organik).  
Email: [Onengaulia23.yahoo.co.id](mailto:Onengaulia23.yahoo.co.id)  
No. Handphone: 081555686098