



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL184834

ANALISA PENGARUH VARIASI KONSENTRASI, TEMPERATUR DAN WAKTU PERENDAMAN EKSTRAK BIJI JUWET (*SYZYGIUM CUMINI*) SEBAGAI INHIBITOR BAJA API5L GRADE B DENGAN MEDIA HCL 1M

RETNO AMBARWASIH
NRP. 0251154000063

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA
Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2019



TUGAS AKHIR - 184834

**ANALISA PENGARUH VARIASI
KONSENTRASI, TEMPERATUR ,DAN WAKTU
PERENDAMAN EKSTRAK BIJI JUWET
(*SYZYGIUM CUMINI*) SEBAGAI INHIBITOR
BAJA API 5L GRADE B DENGAN MEDIA HCL
1M**

RETNO AMBARWASIH
NRP. 0251154000063

Dosen Pembimbing
Prof.Dr.Ir. Sulistijono,DEA
Vania Mitha Pratiwi, ST. MT

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

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - 184834

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF
CONCENTRATION, TEMPERATURE, AND
TIME OF SEEDING VARIATIONS OF JUWET
SEED EXTRACTS (SYZYGIVM CUMINI) AS
INHIBITOR ON 5L GRADE B STEEL IN 1M HCl
MEDIA**

**RETNO AMBARWASIH
NRP. 02511540000063**

**Supervisor:
Prof.Dr.Ir. Sulistijono,DEA
Vania Mitha Pratiwi, ST. MT**

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

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALISA PENGARUH VARIASI KONSENTRASI,
TEMPERATUR, DAN WAKTU PERENDAMAN EKSTRAK
BIJI JUWET (SYZYGIVM CUMINI) SEBAGAI
INHIBITOR BAJA API 5L GRADE B DENGAN MEDIA
HCI IM**

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

RETNO AMBARWASIH

NRP. 02511540000063

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA (Pembimbing 1)
2. Vania Mitha Pratiwi, ST, MT (Pembimbing 2)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALISA PENGARUH VARIASI KONSENTRASI, TEMPERATUR, DAN WAKTU PERENDAMAN EKSTRAK BIJI JUWET (SYZYGIIUM CUMINI) SEBAGAI INHIBITOR BAJA API 5L GRADE B DENGAN MEDIA HCl 1M

Nama : Retno Ambarwasih
NRP : 0251154000063
Departemen : Teknik Material FTI-ITS
Dosen Pembimbing 1 : Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA
Dosen Pembimbing 2 : Vania Mitha Pratiwi S.T, M.T

Abstrak

Keanekaragaman tanaman yang ada di Indonesia ,dapat dimanfaatkan sebagai tanaman obat salah satunya adalah tanaman juwet, disinyalir tanaman ini memiliki kandungan antioksidan yang tinggi, sehingga dapat dimanfaatkan inhibitor korosi. Korosi merupakan suatu peristiwa kerusakan atau penurunan kualitas suatu bahan logam yang disebabkan oleh terjadinya reaksi terhadap lingkungan, inhibitor merupakan salah satu metode dalam pengendalian korosi. Untuk mengetahui pemanfaatan Biji Juwet lebih lanjut, maka dilakukan penelitian Ekstrak Biji Juwet sebagai inhibitor organik yang diaplikasikan pada Baja API 5L grade B dalam media HCl 1M, dengan variasi konsentrasi, temperatur, dan waktu perendaman. Metode maserasi dengan larutan methanol digunakan untuk mengekstrak biji juwet. Pengujian yang dilakukan meliputi weight loss , FTIR, Polarisasi Tafel , EIS, dan AAS. Hasil penelitian membuktikan bahwa ekstrak biji juwet dapat dijadikan inhibitor yang baik. Dari hasil uji weightloss diperoleh efisiensi inhibisi tertinggi pada konsentrasi 500 ppm sebesar 91,0%, dan efisiensi tertinggi pada temperatur 50 °C, sebesar 74,01%, dengan waktu perendaman hari ke-6 memiliki efisiensi tertinggi yaitu sebesar 79,01%. Hasil uji FTIR ekstrak biji juwet memiliki beberapa gugus seperti O-H, C=O, dan N=O. Pengujian Polarisasi tafel menunjukkan bahwa

inhibitor ini bertipe mixing inhibitor. Pengujian EIS menunjukkan bahwa penambahan inhibitor dapat menghambat transfer muatan dari permukaan logam ke media larutan. Dan mekanisme inhibisi terabsorpsi secara fisik (physical adsorption).

Kata Kunci : Inhibitor korosi, Polarisasi, Electrochemical Impedance Spectroscopy, Weightloss.

ANALYSIS OF THE EFFECT OF CONCENTRATION, TEMPERATURE, AND TIME OF SEEDING VARIATIONS OF JUWET SEED EXTRACTS (SYZYGIVM CUMINI) AS INHIBITOR ON 5L GRADE B STEEL IN 1M HCl MEDIA

Name : Retno Ambarwasih
NRP : 0251154000063
Departement : Material Engineering FTI-ITS
Supervisor 1 : Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA
Supervisor 2 : Vania Mitha Pratiwi S.T, M.T

Abstract

The diversity of plants in Indonesia, can be used as medicinal plants, one of which is juwet plants, allegedly this plant has a high antioxidant content, so that corrosion inhibitors can be utilized. Corrosion is an event of damage or deterioration in the quality of a metal caused by a reaction to the environment, an inhibitor is one method of controlling corrosion. To find out the utilization of Juwet Seeds further, the research of Juwet Seed Extract as an organic inhibitor was applied to API 5L grade B steel in 1M HCl media, with variations in concentration, temperature, and immersion time. The maceration method with methanol solution is used to extract juwet seeds. Tests carried out include weight loss, FTIR, Tafel Polarization, EIS, and AAS. The results of the study prove that juvenile seed extract can be a good inhibitor. From the results of weightloss the highest inhibition efficiency obtained at a concentration of 500 ppm was 91.0%, and the highest efficiency at a temperature of 50 °C, was 74.01%, with the 6th day immersion having the highest efficiency of 79.01%. FTIR test results Juwet seed extract has several groups such as O-H, C = O, and N = O. Tafel Polarization testing shows that this inhibitor has a mixing inhibitor type. EIS testing shows that the addition of inhibitors can inhibit the transfer of charge

from the metal surface to the solution media. And the inhibition mechanism is absorbed physically (physical adsorption).

Keywords: Corrosion inhibitors, Polarization, Electrochemical Impedance Spectroscopy, Weightloss.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr.Wb.

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul **“Analisa Pengaruh Variasi Konsentrasi, Temperatur,dan Waktu Perendaman Ekstrak Biji Juwet (*Syzygium cumini*) sebagai Inhibitor Baja API 5L Grade B dengan Media HCl 1M”** . Laporan tugas akhir ini dibuat untuk melengkapi Mata Kuliah Tugas Akhir yang menjadi salah satu syarat kelulusan mahasiswa di Departemen Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, laporan tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah memberi dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis sehingga laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan sebagai berikut:

1. Allah SWT karena dengan rahmat dan kuasa-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan baik dan tepat waktu.
2. Orang tua penulis, Bapak Suradi dan Ibu Suwarti yang telah mendukung penulias melalui doa,motivasi dan semangat.
3. Bapak Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng. selaku Ketua Jurusan pada Departemen Teknik Material FTI-ITS.
4. Bapak Prof. Dr. Ir, Sulistijono, DEA selaku dosen pembimbing 1 tugas akhir dan telah memberikan ilmu, bimbingan serta wawasan kepada penulis, dan menjadi panutan penulis.
5. Ibu Vania Mitha Pratiwi, ST,MT selaku dosen pembimbing 2 tugas akhir penulis yang telah memberikan arahan, kritik, dan saran saat menulis Tugas akhir ini.

6. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST. M.Sc. selaku Dosen Wali penulis dan Kaprodi Departemen Teknik Material FTI-ITS.

Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Surabaya, Juni 2019

Penulis,

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Juwet (<i>Syzygium cumini</i> L.....	5
2.2 Pengertian Korosi	9
2.3 Baja API 5L grade B	12
2.4 Faktor-Faktor Terjadinya Korosi	13
2.5 Korosi pada Baja Karbon Rendah.....	16
2.6 Bentuk-Bentuk Korosi.....	17
2.7 Pengaruh HCl Terhadap Korosi	19
2.8 Perlindungan Korosi.....	20
2.9 Inhibitor Organik	26
2.10 Pengujian Korosi.....	32
2.10.1 Metode Weight Loss.	33
2.10.2 Pengujian FTIR.....	34
2.10.3 Polarisasi Tafel.	35
2.10.4 Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS).....	40

2.10.5 Pengujian AAS	49
2.11 Tanin	51
2.12 Penelitian Sebelumnya	54
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir	57
3.2 Prosedur Penelitian	58
3.3 Peralatan Penelitian	60
3.4 Bahan Penelitian	60
3.5 Preparasi dan Ekstrak Biji Juwet.....	61
3.6 Preparasi Spesimen.	63
3.7 Preparasi Larutan Elektrolit	64
3.8 Pengujian.....	64
3.8.1 Pengujian FTIR.....	64
3.8.2 Pengujian Weightloss.	65
3.8.3 Pengujian Polarisasi Tafel.	67
3.8.4 Pengujian Polarisasi EIS.....	69
3.8.5 Pengujian AAS.....	70
3.9 Rancangan Pengambilan Data	71
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Analisa Data dan Pembahasan.....	75
4.1.1 Pengujian FTIR.	75
4.1.2 Hasil Pengujian Weightloss.	80
4.1.3 Hasil Uji Polarisasi Tafel.....	88
4.1.4 Hasil Uji EIS (Electrochemical Impedance Spectrometry).....	91
4.1.5 Adsorpsi Isoterm.	95
4.1.6 Pengujian AAS.....	97
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	101
5.2. Saran.....	101

DAFTAR PUSTAKA	103
LAMPIRAN	109
BIODATA PENULIS	127

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pohon juwet (A), Morfologi Batang (B), Bunga (C), Buah Muda (D), Buah Mulai Matang (E), Buah Matang (F).....	5
Gambar 2.2	Mekanisme Pembentukan Karat Besi.....	11
Gambar 2.3	Diagram Pourbaix Fe	16
Gambar 2.4	Ilustrasi Physical Adsorption	28
Gambar 2.5	Ilustrasi Chemisorption	28
Gambar 2.6	Double Layer pada Elektroda-larutan Interface.....	29
Gambar 2.7	Skema Alat Spektroskopi FT-IR.....	35
Gambar 2.8	Contoh Grafik Polarisasi	38
Gambar 2.9	Anodik, Katodik, Campuran (mixed), dan Hambatan Kontrol.	39
Gambar 2.10	Perubahan Kurva Sinusoidal.....	41
Gambar 2.11	Plot Nyquist dengan Vektor Impedansi.....	42
Gambar 2.12	Rangkaian Listrik Sederhana dengan Satu Model Waktu Konstan.....	42
Gambar 2.13	Aliran Nyquist.....	44
Gambar 2.14	Ekuivalensi Sirkuit Sempel Randles untuk Sel Elektrokimia	46
Gambar 2.15	Nyquist Plot untuk Laju Korosi 1mm/year	46
Gambar 2.16	Nyquist Plot untuk Impedansi Warburg	47
Gambar 2.17	Diagram Nyquist untuk Mixed Control Circuit.....	48
Gambar 2.18	Nyquist Plot untuk Failed Pelapisan.	49
Gambar 2.19	Skema Kerja Uji AAS	51
Gambar 2.20	Gugus Fungsi (a) Quercetin (b)Gallic Acid biji Juwet	52
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	58
Gambar 3.2	Serbuk Halus Biji Juwet	62

Gambar 3.3	Dimensi Spesimen Baja API 5L Grade B.....	64
Gambar 3.4	Alat Pengujian FTIR	65
Gambar 3.5	Pengujian Weight Loss dengan Variasi Konsentrasi.....	66
Gambar 3.6	Pengujian Weight Loss dengan Variabel Konsentrasi Variasi Waktu Perendaman.....	66
Gambar 3.7	Pengujian Weight Loss dengan Variabel Konsentrasi dan Variasi Temperatur	67
Gambar 3.8	Alat Pengujian Polarisasi Tafel.....	69
Gambar 3.9	Pengujian EIS	70
Gambar 3.10	Alat Pengujian AAS	71
Gambar 4.1	FTIR Ekstrak Biji Juwet	75
Gambar 4.2	Kurva FTIR Adsorpsi Molekul Inhibitor Ekstrak Biji Juwet pada Baja setelah Immerse	77
Gambar 4.3	Gabungan Spektrum FTIR Inhibitor Ekstrak Biji Juwet dan Baja API 5L Grade B setelah Immerse.....	79
Gambar 4.4	Effisiensi Inhibitor Biji Juwet Uji Weight loss	81
Gambar 4.5	Effisiensi Inhibitor Uji Weight loss pada Waktu Perendaman Tertentu	84
Gambar 4.6	Effisiensi Inhibitor Uji Weight loss pada Temperatur Tertentu.....	86
Gambar 4.7	Kurva Tafel Sampel Tanpa Inhibitor dan dengan Inhibitor.....	88
Gambar 4.8	Sirkuit Equivalent pada Pengujian EIS (Zview Corrttest v5.5)	92
Gambar 4.9	Kurva Nyquist Hasil EIS Kedua Sampel.....	92
Gambar 4.10	Prediksi Mekanisme Inhibisi (a)Tanpa Inhibitor (b)dengan Inhibitor Biji Juwet.....	95
Gambar 4.11	Gambar 4.11 Kurva Kalibrasi Antara Absorbsi dan Konsentrasi	98

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kandungan Kimia pada Masing-masing Bagian Tumbuhan Juwet (S.Cumini).....	8
Tabel 2.2	Spesifikasi Bahan Baja API 5L Grade B.	12
Tabel 2.3	Perbedaan Fisisorpsi dan Kemisorpsi.	30
Tabel 2.4	Tabel Hubungan Laju Korosidan Ketahanan Korosi	32
Tabel 2.5	Keterangan Fungsi Komponen FTIR	34
Tabel 2.6	Elemen Listrik	43
Tabel 2.7	Penelitian-Penelitian Terdahulu.....	54
Tabel 3.1	Komposisi Kimia Baja API 5L Grade B.....	61
Tabel 3.2	Data Pengujian Inhibitor Ekstrak Biji Juwet Variable Variasi Konsentrasi	72
Tabel 3.3	Tabel 3.3 Data Pengujian Inhibitor Ekstrak Biji Juwet Variable Variasi Konsentrasi dan Temperatur.....	72
Tabel 3.4	Data Pengujian Inhibitor Ekstrak Biji Juwet Variable Variasi Konsentrasi dan Waktu Perendaman.....	73
Tabel 4.1	Gugus Fungsi FTIR Inhibitor Ekstrak Biji Juwet.....	76
Tabel 4.2	Gugus Fungsi FTIR Baja API 5 L Grade B setelah Immerse.	78
Tabel 4.3	Laju Korosi dan Efisiensi Inhibisi Masing-masing Inhibitor.	81
Tabel 4.4	Laju Korosi dan Efisiensi Inhibisi Masing-masing Waktu Perendaman	84
Tabel 4.5	Parameter Pengujian Potensiodinamik	86
Tabel 4.6	Parameter Hasil Uji Polarisasi Tafel.....	89
Tabel 4.7	Parameter Uji EIS	92
Tabel 4.8	Parameter Hasil Uji EIS pada Sampel Tanpa Inhibitor dan dengan Inhibitor	94

Tabel 4.9	Nilai Energi Bebas Absorpsi pada Uji Weightloss.....	97
Tabel 4.10	Metode Kalibrasi untuk Mendapatkan Konsentrasi Fe.	97
Tabel 4.11	Konsentrasi Fe Sampel	98

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki keanekaragaman jenis tumbuhan termasuk buah-buahan yang berpotensi untuk dijadikan sebagai bahan obat-obatan, salah satunya adalah buah Juwet (*Syzygium cumini* (L.) Skeels). Juwet dimanfaatkan tidak hanya sebagai bahan makanan saja, namun di beberapa negara Juwet dimanfaatkan sebagai obat-obatan herbal (Kumar *et al.*, 2007; Sharma *et al.*, 2012). Secara historis, tanaman Juwet tumbuh secara eksklusif di India, tetapi sekarang dapat ditemukan tumbuh hingga seluruh benua Asia, Afrika Timur, Afrika Selatan, Madagaskar, dan di daerah yang lebih hangat di Amerika Serikat seperti Florida. (Warrier *et al.*, 1996). Buah Juwet (*Syzygium cumini*) yang tumbuh di Indonesia sekarang keberadaannya sangat jarang karena kurangnya budidaya dan pemanfaatan buah Juwet itu sendiri. Kurangnya informasi mengenai tumbuhan ini, dapat menjadi salah satu penghambat dalam pembudidayaan Juwet di Indonesia.

Buah Juwet merupakan salah satu tanaman obat paling penting yang digunakan dalam pengobatan diabetes di India dan di berbagai sistem obat tradisional di Asia Tenggara. Juwet juga digunakan dalam pengobatan diabetes di Unani, Siddha, Srilanka, dan Tibet dalam pengobatan alternatif sistem Homeopati (Woensel E, 2010; Sagorage *et al.*, 2006). Selain itu, Juwet juga mengandung komponen utama formulasi antidia-betis dan beberapa formulasi lain yang terkandung dalam Juwet termasuk diabecon, diasulin, tonik pankreas 180cp, dia-care, diabetas, hyponidd, dan diashis (Subash Babu dan Prince, 2004). Pada umumnya masyarakat lebih banyak mengkonsumsi daging buah dari buah Juwet itu sendiri, sedangkan biji nya tidak dikonsumsi dan akan menjadi limbah.

Pada penelitian Lia Marliyani dkk, Biji Juwet (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) menunjukkan kandungan golongan senyawa alkaloid, flavonoid, kuinon, polifenol, tanin, dan

steroid/triterpenoid. Ekstrak biji Juwet memiliki aktivitas anti oksidan kuat dengan nilai IC_{50} (*Inhibition Corrosion*) 67,098 bpj dan berpotensi untuk dikembangkan sebagai anti oksidan alami karena nilai IC_{50} (*Inhibition Corrosion*) nya mendekati pembanding Vitamin C (IC_{50} 6,98 bpj). Senyawa fenolat diduga sebagai senyawa aktif anti oksidan. Kandungan senyawa dalam biji diantaranya tanin, asam galat, glukosida fitomelin dan alfa-fitosterol (AyyamarM,2012). Biji Juwet memiliki aktivitas antiinflamasi, antipiretik, psikofarmakologis, hipoglikemik, dan hipolipidemik. Biji Juwet mengandung alkaloid, jambosin, dan jambolin atau antimellin glikosida yang menghentikan konversi pati menjadi gula. Ekstrak biji memiliki kemampuan untuk menurunkan tekanan darah sebesar 34,6%, dan tindakan ini dikaitkan dengan kandungan asam ellagic. Ekstrak biji dalam bentuk cair diberikan kepada pasien yang menderita diabetes mellitus atau glikosuria(P.S.M. Prince,dkk,2003). Berdasarkan penelitian kandungan senyawa dalam Biji Juwet (*Syzigium cumini* (L.) Skeels),maka Biji Juwet berpotensi untuk dijadikan bahan alami inhibitor organik.

Inhibitor korosi merupakan substansi kimia yang apabila ditambahkan dalam konsentrasi yang relatif sedikit ke lingkungan korosif, secara efektif dapat menurunkan laju korosi logam (Nasoetion, 2011). Inihibitor korosi adalah bahan kimia yang diinjeksikan ke dalam sistem dengan tujuan untuk melapisi permukaan dalam pipa dengan lapisan anti korosi sehingga pipa terhindar dari korosi (IPS Engineering Standard, 1997). Penelitian tentang inhibitor organik sangatlah diperlukan karena merupakan bahan dari alam yang tidak beracun, ramah lingkungan, mudah untuk diperoleh dan harganya yang tidak mahal. Saat ini penggunaan inhibitor organik mendapatkan perhatian lebih namun sayangnya, diketahui bahwa efektivitas dari inhibitor organik menurun seiring dengan kenaikan temperatur (Sangeetha, 2011).

Inihibitor korosi biasanya diinjeksikan pada sistem perpipaan dalam industri minyak dan gas,karena dalam industri

tersebut sering mengalami kegagalan korosi. Akibat adanya korosi perusahaan akan mengalami kerugian yang besar. Oleh karena itu, dilakukan penelitian dengan tujuan untuk menganalisa pengaruh inhibitor ekstrak biji buah Juwet (*Syzigium cumini* (L.) Skeels) terhadap laju korosi pada Baja API 5L Grade B dalam larutan HCL 1M dengan variasi konsentrasi, temperatur dan waktu perendaman.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi temperatur inhibitor ekstrak Biji Juwet (*Syzigium cumini* (L.) Skeels) terhadap laju korosi baja API 5L grade B dalam larutan HCL 1M pada konsentrasi Optimum?
2. Bagaimana pengaruh variasi waktu perendaman inhibitor ekstrak Biji Juwet (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) terhadap laju korosi baja API 5L grade B dalam larutan HCL 1M pada konsentrasi Optimum?
3. Bagaimana mekanisme inhibisi dari inhibitor ekstrak Biji Juwet (*Syzigium cumini* (L.) Skeels) pada lingkungan asam HCL 1M?

I.3 Batasan Masalah

Untuk membatasi ruang lingkup penelitian, ditetapkan batasan-batasan dari penelitian yang dilakukan, antara lain:

1. Material yang digunakan memiliki komposisi dan dimensi dianggap sama.
2. Kehalusan dari permukaan tiap-tiap specimen dianggap sama.
3. Komposisi lain yang terkandung dalam ekstrak Biji Juwet (*Syzigium cumini* (L.) Skeels) diasumsikan tidak berpengaruh.

I.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisa pengaruh variasi temperatur inhibitor ekstrak Biji Juwet (*Syzigium cumini* (L.) Skeels) terhadap laju korosi baja API 5L *grade* B dalam larutan HCL 1M pada konsentrasi optimum.
2. Menganalisa pengaruh variasi waktu perendaman inhibitor ekstrak Biji Juwet (*Syzigium cumini* (L.) Skeels) terhadap laju korosi baja API 5L *grade* B dalam larutan HCL 1M pada konsentrasi optimum.
3. Menganalisa mekanisme inhibisi inhibitor ekstrak Biji Juwet (*Syzigium cumini* (L.) Skeels) pada lingkungan asam HCL 1M.

I.5 Manfaat

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Untuk memperkaya kajian dibidang pengendalian korosi tentang *Green Inhibitor* yang berbahan dasar bahan alam di lingkungan sekitar.
2. Lebih memahami tentang pemanfaatan biji buah Juwet yang biasanya hanya dimanfaatkan sebagai bahan obat, namun ternyata dapat digunakan sebagai alternatif inhibitor korosi yang dapat diaplikasikan pada baja karbon yang digunakan pada dunia industri khususnya industri minyak dan gas bumi.
3. Hasil penelitian ini diharapkan bisa dimanfaatkan oleh industri migas untuk pengendalian korosi *pipeline* baja karbon.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Juwet (*Syzygium cumini* L.)

Pohon juwet (*Syzygium cumini*) kokoh dan memiliki tinggi 10-20 m, diameter batang 40-90 cm percabangannya rendah, tajuknya beraturan atau bulat, menyebar selebar 12 m, kayunya yang berada di pangkal batang kasar berwarna kelabu tua. Batangnya tebal, seringkali tumbuhnya bengkok, dan bercabang banyak. Daun tunggal, tebal, tangkai daun 1-3,5 cm. Helaian daun lebar bulat memanjang atau bulat telur terbalik, pangkal lebar berbentuk baji, tepi rata, pertualangan menyirip, permukaan atas mengilap, panjang 7-16 cm, lebar 5-9 cm, warnanya hijau (Verheiji & Coronel, 1997).



Gambar 2.1 Pohon Juwet (A), Morfologi Batang (B), Bunga (C), Buah Muda (D), Buah Mulai Matang (E), Buah Matang (F)

S. cumini memiliki bunga majemuk berbentuk malai dengan cabang yang berjauhan, bunga duduk, tumbuh di ketiak daun dan di ujung percabangan, kelopak bentuk lonceng berwarna hijau muda, mahkota berbentuk bulat telur, benang sari banyak,

panjangnya 4-7 mm, berwarna putih, daun baunya harum, bakal buahnya dengan 2-3 ruang, tangkai putik 6-7 mm panjangnya, berwarna putih. Buahnya buah buni, lonjong, panjang 2-3 cm, masih muda hijau, setelah masak warnanya merah tua keunguan, bergerombol mencapai 40 butir, daging buah berwarna kuning kelabu sampai ungu, mengandung banyak sari buah, hampir tidak berbau, dengan rasa sepat keasaman. Bijinya 0-5 butir, bentuk lonjong, keras, panjangnya 3-5 cm, berwarna hijau sampai coklat. Berakar tunggang bercabang-cabang, berwarna coklat muda (Verheiji & Coronel, 1997). Menurut Palmbob (2004) morfologi jamblang secara vegetatif dan generatif diperlihatkan pada Gambar 2.1.

Juwet (*Syzygium cumini*) tergolong tumbuhan buah-buahan yang berasal dari Asia dan Australia tropis. Biasa ditanam di pekarangan atau tumbuh liar, terutama di hutan jati. Jamblang tumbuh di dataran rendah sampai ketinggian 500 m dpl (Dalimatra, 2003; BPPT, 2005). Di India tumbuhan ini dijumpai hingga ketinggian 1800 meter dpl (Sah & Verma, 2011).

Pohon Juwet tumbuh baik pada ketinggian 600 kaki (1800 m dpl), tetapi sulit untuk berbuah, hanya untuk diambil kayunya. Juwet tumbuh baik pada daerah yang kering, tanah berpasir, lempung atau pada daerah batu kapur. Tumbuhan ini tidak dapat tumbuh dengan baik pada daerah yang basah atau lembab (Morton, 1987).

Syzygium cumini di India dan Florida mulai berbunga pada bulan Februari dan Maret, tetapi terkadang masih berbunga pada bulan Mei, Juni, dan Juli. Di Jawa jamblang berbunga pada bulan Juli sampai Agustus dan buah matang bulan September hingga Oktober. Pada pertengahan bulan Mei sampai pertengahan bulan Juni jamblang di Filipina berbuah, sementara itu di Sri Lanka bunga mulai tumbuh pada bulan Mei hingga Agustus, dan buah dipanen pada bulan November dan Desember. Masyarakat India memanen buah jamblang dengan cara dipetik langsung, satu

pohon berusia 5 tahun dapat menghasilkan 700 biji (Morton, 1987).

Juwet berbunga bulan Maret sampai April dan pembentukan buah berlangsung sekitar 32 hari setelah berbunga selama bulan Mei sampai Juli. Buah matang warnanya hitam keunguan (Chaudhary & Mukhophadyay, 2012).

Jenis umum Juwet di India adalah: 1) *Ra Jaman*, buah besar berbentuk lonjong, ungu tua atau kebiruan, daging buah manis dan biji kecil, 2) *Kaatha*, buah kecil, dan daging buah asam. Di Jawa, juga ditemukan dua jenis jamblang, buah kecil disebut *Djoowet kreekil*, buah tanpa biji dikenal dengan nama *Djoowet booten*. Di Malaya selatan, pohon-pohon jamblang berdaun kecil dengan tandan bunga kecil (Morton, 1987).

Juwet (*Syzygium cumini*) kaya akan senyawa antocyanin, glukosida, asam *ellagic*, *isoqueletin*, *kaemferol* dan *myrecetin*. Bijinya mengandung alkaloid, jambolin, dan glikosida. Jambolin atau antimelin dapat menghentikan konversi diastatic pati menjadi gula dan ekstrak bijinya dapat menurunkan tekanan darah sampai 34,6% dan hal ini dikaitkan dengan kandungan asam ellagic. Bijinya kaya akan flavonoid dan anti oksidan (Ayyanar & Babu, 2012).

Kandungan buah jamblang untuk setiap 100 gr adalah 84-86 gr, air, 0,2-0,7 gr protein, 0,3 gr lemak, 14-16 gr, karbohidrat, 0,3-0,9 gr, serat, 0,4-0,7 gr abu, 8-15 gr posfor, 1,2 mg besi, 0,01 mg, riboflavin, 0,3 mg niasin, dan 5- 18 mg vitamin C (Yulistyarini *et al.*, 2000). Daging buahnya digunakan untuk membuat selai, jeli, jus, cuka dan pudding. Buahnya juga digunakan untuk membuat anggur dalam jumlah besar di Filipina. Daunnya digunakan sebagai pakan ternak dan sebagai makanan bagi ulat sutra di India. Ekstrak daunnya menghasilkan minyak esensial yang digunakan sebagai wewangian dalam sabun. (Chaudhary & Mukhophadyay, 2012).

Menurut Ayyanar & Babu (2012), jamblang memiliki kandungan kimia yang berbeda pada masing-masing bagiannya, seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Kandungan Kimia pada Masing-masing Bagian Tumbuhan Juwet (*S.Cumini*). (Ayyanar & Babu, 2012)

No.	Bagian	Kandungan
1.	Daun	<i>zat glukosida, flavanol, quirectein, myricetin tritefenoid, esterase, karbon dan tanin.</i>
2.	Kulit Batang	<i>asam betulinic, friyedelin, epifriedelanol, βsitosterol, eugenin dan fatty asam ester dari epi-friedelanol, β-sitosterol, querecetin kaempferol, myricetin, asam galie dan asam ellagik, bergenis, flavonoids, dan tanin.</i>
3.	Akar	<i>flavonoid, glycoside dan isorhamnetin3-O-rutinoside. Rafinosa, glucose, fructose, asam sitrik, asam mallic,</i>
4.	Buah	<i>asam gallik, anthocyanin, delphinidin- 3-gentiobioside, eyanidindicli glycoside, petunidin dan malvidin.</i>

2.2 Pengertian Korosi

Korosi atau pengkaratan merupakan suatu peristiwa kerusakan atau penurunan kualitas suatu bahan logam yang disebabkan oleh terjadinya reaksi terhadap lingkungan. Beberapa pakar berpendapat definisi hanya berlaku pada logam saja, tetapi para insinyur korosi juga ada yang mendefinisikan istilah korosi

berlaku juga untuk material non logam, seperti keramik, plastik, karet. Sebagai contoh rusaknya cat karet karena sinar matahari atau terkena bahan kimia, mencairnya lapisan tungku pembuatan baja, serangan logam yang *solid* oleh logam yang cair (*liquid metal corrosion*) (AR Hakim, 2012).

Korosi juga didefinisikan sebagai hasil perusakan dari reaksi kimia antara logam atau logam paduan dan lingkungannya. Lingkungan yang dimaksud yang dapat mengakibatkan proses korosi adalah berupa lingkungan atmosfer, gas, tanah, larutan garam, larutan asam, dll (Pandyo, 2012).

Industri minyak dan gas alam merupakan salah satu yang berkaitan erat dengan fenomena korosi. Baja karbon sebagai material yang paling umum digunakan sebagai pipa-pipa penyalur produksi yang dialiri beragam fluida dengan tingkat korosifitas tertentu memberikan kondisi lingkungan yang disukai oleh korosi. Penanganan terhadap korosi yang tidak dilakukan dengan baik akan memberikan kerugian yang dapat mencapai angka yang tinggi.

Reaksi korosi menghasilkan oksida logam, sulfida logam dan hasil reaksi lainnya. Pada proses korosi reaksi yang berpengaruh adalah reaksi elektrokimia. Korosi elektrokimia biasanya terjadi pada lingkungan yang basah, pada temperatur yang relatif rendah dengan berbagai bentuk korosi yang mengikuti mekanisme elektrokimia yaitu terjadi reaksi oksidasi (anodik) dan reduksi (katodik) (Fontana, 1986).

Menurut Jones (1992), proses korosi hanya akan terjadi jika ada tiga komponen utama dalam sel korosi, yaitu:

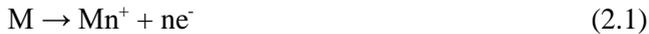
1. Logam atau bahan

Didalam logam atau bahan itu sendiri terdapat 2 komponen penting dalam penentuan terjadinya reaksi korosi, yaitu :

- a. Anoda

Anoda adalah bagian permukaan yang mengalami reaksi oksidasi atau terkorosi. Pada anoda ini logam terlarut dalam

larutan dan melepaskan elektron untuk membantuk ion logam yang bermuatan positif. Reaksi korosi suatu logam M dinyatakan dalam persamaan berikut :



b. Katoda

Katoda adalah elektroda yang mengalami reaksi reduksi dengan menggunakan elektron yang dilepaskan oleh anoda. Pada lingkungan air alam, proses yang sering terjadi adalah pelepasan H₂ dan reduksi O₂.

- Pelepasan H₂ dalam larutan asam dan netral. Evolusi hidrogen / larutan asam:



Reduksi air / larutan netral /basa:



- Reduksi oksigen terlarut dalam larutan asam dan netral
Reduksi oksigen / asam:



Reduksi oksigen / netral atau basa:



- Reduksi ion logam yang lebih elektronegatif



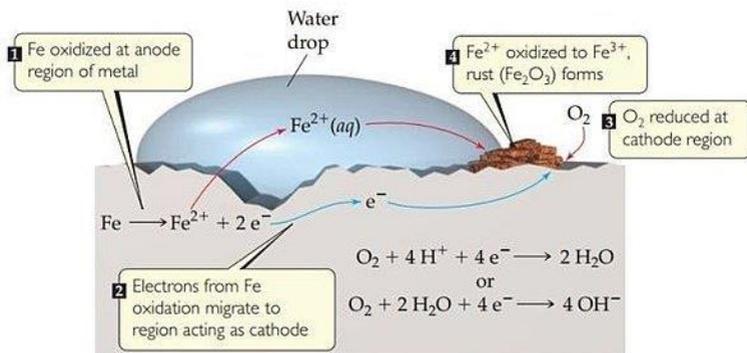
2. Rangkaian listrik

Antara anoda dan katoda haruslah terdapat suatu hubungan atau kontak agar elektron dapat mengalir dari anoda menuju katoda.

Keempat elemen diatas sangat berperan penting dalam korosi. Sehingga mekanisme korosi yang terjadi pada baja yang berada didalam suatu larutan berawal dari teroksidasinya suatu logam. Logam yang teroksidasi akan melepaskan elektronnya ke elektrolit, untuk menyetimbangkan muatan pada logam itu sendiri, logam akan melepaskan ion yang bermuatan positif yang

akan berikatan dengan ion bermuatan negatif dari elektrolit sehingga membentuk suatu endapan yang melekat pada permukaan logam itu sendiri yang kemudian disebut dengan karat. Larutan akan bertindak sebagai katoda dengan reaksi yang umum terjadi adalah pelepasan H_2 dan reduksi O_2 akibat ion H^+ dan H_2O yang tereduksi. Reaksi yang terjadi di permukaan logam ini akan menyebabkan pengelupasan akibat pelarutan logam kedalam larutan secara berulang-ulang hingga akhirnya logam akan kehilangan massanya. (Roberge, 2000)

Mekanisme pembentukan karat besi dapat digambarkan seperti Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Mekanisme pembentukan karat besi (ASM,2000)

3. Elektrolit

Untuk mendukung suatu reaksi reduksi dan oksidasi dan melengkapi rangkaian elektrik, antara anoda dan katoda harus dilengkapi dengan elektrolit. Elektrolit menghantarkan arus listrik karena mengandung ion-ion yang mampu menghantarkan *elektroequivalen force* sehingga reaksi dapat berlangsung. Semakin banyak kandungan ion-ion dalam elektrolit maka semakin cepat elektrolit menghantarkan arus listrik.

2.3 Baja API 5L grade B

Standar yang paling sering ditentukan sebagai bahan pipa adalah American Petroleum Institute (API) dengan standar API 5L (API, 2000) yang menentukan nilai baja dengan berbagai sifat yang mencakup pipa memiliki pengaruh uji tinggi dan pipa baja las yang baik.

Komposisi kimia dan tes tarik untuk jenis baja API 5L grade B dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Spesifikasi Bahan Baja API 5L Grade B (ASTM A53)

Grade	Komposisi Kimia (%)				Yield Strength psi (min)	Tensile Strength psi (min)
	C	Mn	S	P		
B	0,22	1,2	0,03	0,03	35.000	60.000

Spesifikasi tersebut memberikan nilai untuk komposisi kimia yang menentukan tingkat maksimum yang diijinkan untuk karbon, mangan, sulfur dan fosfor.

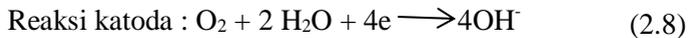
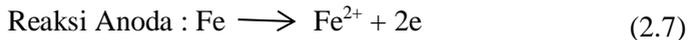
Baja API 5L Grade B merupakan spek pipa baja (seamless dan welded) yang memiliki kekuatan tinggi untuk keperluan konstruksi pipelines dimana diperlukan tingginya kekuatan dan ketahanan terhadap tekanan. Karakteristik mekanik ini diadaptasi oleh ukuran butir kecil yang dihasilkan dari proses fully killed dan Al treating. Baja ini dipakai pula untuk konstruksi pipa penyalur minyak dan gas alam (Cervantes,2014).

2.4 Faktor-Faktor Terjadinya Korosi

Laju korosi pada lingkungan netral normalnya adalah 1 mpy atau kurang. Umumnya problem korosi disebabkan oleh air tetapi ada beberapa faktor selain air yang mempengaruhi laju korosi, diantaranya (ASM Handbook, 2003):

1. Faktor Kandungan Gas dan Padatan Terlarut
 - Oksigen (O_2), adanya oksigen yang terlarut akan menyebabkan korosi pada metal seperti laju korosi pada *mild*

steel alloys akan bertambah dengan meningkatnya kandungan oksigen. Kelarutan oksigen dalam air merupakan fungsi dari tekanan, temperatur dan kandungan klorida. Untuk tekanan 1 atm dan temperatur kamar, kelarutan oksigen adalah 10 ppm dan kelarutannya akan berkurang dengan bertambahnya temperatur dan minyak-air yang dapat menghambat timbulnya korosi adalah 0,05 ppm atau kurang. Reaksi korosi secara umum pada besi karena adanya kelarutan oksigen adalah sebagai berikut :



- Karbondioksida (CO_2), jika karbondioksida dilarutkan yang dapat menurunkan pH air dan meningkatkan korosifitas, biasanya bentuk korosinya berupa pitting yang dalam air maka akan terbentuk asam karbonat (H_2CO_3) secara umum reaksinya adalah:



FeCO_3 merupakan *corrosion product* yang dikenal sebagai *sweet corrosion*.

- Klorida (Cl^-), klorida menyerang lapisan mild steel dan lapisan stainless steel. Padatan ini menyebabkan terjadinya *pitting*, *crevice corrosion*, dan juga menyebabkan pecahnya paduan. Klorida biasanya ditemukan pada campuran minyak-air dalam konsentrasi tinggi yang akan menyebabkan proses korosi. Proses korosi juga dapat disebabkan oleh kenaikan konduktivitas larutan garam, dimana larutan garam yang lebih konduktif, laju korosinya juga akan lebih tinggi.

- Karbonat (CO_3^{2-}), 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 (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 sulfide 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 proses 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.

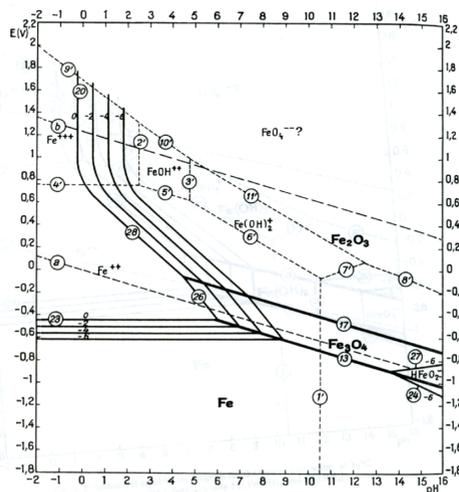
4. Faktor pH

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 bila memiliki pH 7. Dengan melihat diagram Pourbaix pada Gambar 2.3 korosi dari logam pada pH tertentu dapat diprediksi apakah lingkungan tersebut dapat mengalami korosi atau tidak. Selain itu juga dapat melihat sifat logam pada berbagai kondisi (Gunaatmaja, 2011).

Untuk menghitung pH pada lingkungan asam dapat dihitung dengan persamaan $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$ sedangkan untuk lingkungan basa dapat dihitung dengan persamaan $\text{pH} = 14 - \log [\text{OH}^-]$. 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 terlarut dapat membentuk deposit *scale* pada permukaan logam (Andijani, 2005).

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.

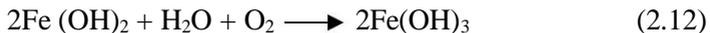
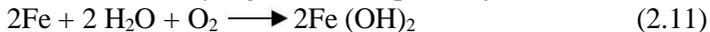


Gambar 2.3 Diagram Pourbaix Fe (Fontana, 1986)

2.5 Korosi pada Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah adalah baja yang memiliki kadar karbon kurang dari sama dengan 0,25% dan biasanya digunakan dalam aplikasi pipa saluran air. Untuk meningkatkan sifat-sifat mekanisnya diperlukan penambahan paduan lain. Baja terdiri dari beberapa fasa dan terdapat ketidakhomogenan pada permukaannya, sehingga menyebabkan sel elektrokimia lokal. Hal tersebut menyebabkan rendahnya ketahanan korosi pada baja karena reduksi katodik mudah untuk terjadi sehingga menyebabkan porous sebagai produk korosi dan tidak terbentuk produk sampingan seperti lapisan tipis (Pierre R. Roberge, 2000).

Produk korosi yang dihasilkan pada baja antara lain:



Penambahan elemen paduan pada baja karbon rendah seperti Cu, Ni, dan Cr, dapat meningkatkan ketahanan baja pada karbon rendah terhadap korosi. Sedangkan penambahan unsur seperti Si, Ti, S, Se, dan C akan menurunkan ketahanan terhadap korosi (ASM Handbook, 2003).

2.6 Bentuk-Bentuk Korosi

Korosi telah diklasifikasikan melalui berbagai metode. Ada metode yang membagi korosi menjadi korosi temperatur rendah dan korosi temperatur tinggi. Ada yang mengklasifikasikan korosi menjadi dua kombinasi (untuk oksidasi) korosi elektrokimia. Namun yang lebih sering digunakan adalah korosi basah dan korosi kering (Fontana, 1986).

Korosi basah terjadi ketika terdapat *liquid*. Ini biasanya melibatkan larutan berair atau elektrolit dan memberikan jumlah korosi terbanyak sejauh ini. Contoh paling sederhana adalah korosi baja oleh air. Korosi kering terjadi apabila tidak ada fase *liquid* atau di atas titik pengembunan dari lingkungan. Uap dan gas biasanya merupakan agen korosi. Korosi kering paling sering

dihubungkan dengan temperatur tinggi. Sebagai contoh adalah serangan korosi pada baja oleh gas pada *furnace* (Fontana, 1986).

Adanya sejumlah kecil embun dapat mengubah penggambaran korosi seluruhnya. Contoh kloring kering bersifat tidak korosif pada baja, namun adanya embun atau kelembapan atau klorin terlarut dalam air, sangatlah korosif dan serangan pada umumnya menyerang logam dan paduannya. Berbeda dengan titanium, gas klorin kering lebih korosif dibandingkan dengan klorin basah (Fontana, 1986).

Menurut Fontana dan Greene (1986), korosi dapat dibagi menjadi enam jenis berdasarkan bentuknya yaitu : korosi batas butir, korosi merata, korosi sumur, korosi celah, korosi galvanik dan korosi erosi.

1. Korosi batas butir

Korosi batas butir merupakan serangan korosi yang terjadi pada batas butir logam atau daerah sekitarnya tanpa serangan yang cukup besar terhadap butirnya sendiri. Seperti yang diketahui bahwa logam merupakan susunan butiran-butiran kristal seperti butiran pasir yang menyusun batu pasir. Butiran-butiran tersebut saling terikat yang kemudian membentuk mikrostruktur.

Adanya serangan korosi batas butir menyebabkan butiran menjadi lemah terutama di batas butir sehingga logam kehilangan kekuatan. Dalam hal ini timbul keretakan pada logam akibat korosi melalui batas butir. Retak yang ditimbulkan korosi jenis ini disebut *stress corrosion cracking* (SCC) yang terdiri atas retak *intergranular* dan retak *transgranular*. Retak *intergranular* berjalan sepanjang batas butir, sedangkan retak *transgranular* berjalan tanpa menyusuri batas butir tersebut (Fontana dan Greene, 1986).

2. Korosi merata

Korosi merata merupakan bentuk korosi yang sering terjadi dan banyak dijumpai pada besi yang terendam dalam larutan asam. Jenis korosi ini terlihat secara merata pada permukaan logam dengan intensitas yang sama, yang akan

menjadi tipis secara merata pada permukaannya dengan kecepatan yang hampir sama, sehingga daerah-daerah anoda dan katoda tersebar pada seluruh permukaan. Contohnya sebatang besi (Fe) atau seng (Zn) direndam dalam larutan H_2SO_4 , keduanya akan larut dengan laju yang merata pada permukaan logam (Fontana dan Greene, 1986).

3. Korosi sumuran

Korosi sumuran adalah korosi yang terjadi pada daerah tertentu. Bentuk korosi ini umumnya disebabkan oleh klorida. Korosi jenis ini terjadi karena komposisi material yang tidak homogen, rusaknya lapisan pelindung, adanya endapan dipermukaan material, serta adanya kerusakan pada bagian material (Fontana dan Greene, 1986).

4. Korosi celah

Korosi celah merupakan korosi yang terkonsentrasi pada daerah tertentu. Korosi ini terjadi pada suatu logam di daerah yang berhubungan langsung dengan bahan lain yang bukan logam (Fontana dan Greene, 1986).

5. Korosi galvanik

Korosi galvanik terjadi karena perbedaan potensial antara dua logam yang tidak sama. Bila kedua logam ini bersinggungan akan menghasilkan aliran elektron diantara kedua logam tersebut. Logam yang lebih mulia bersifat katodik dan akan diserang korosi lebih kecil, sedangkan logam yang kurang mulia bersifat anodik dan akan lebih mudah diserang korosi (Fontana dan Greene, 1986).

6. Korosi erosi

Korosi erosi disebabkan oleh gabungan dari kerusakan elektrokimia dan kecepatan fluida yang tinggi pada permukaan logam. Korosi ini dicirikan oleh adanya gelombang, lembah yang biasanya merupakan suatu pola tertentu (Fontana dan Greene, 1986).

2.7 Pengaruh HCl Terhadap Korosi

Korosi disebabkan oleh beberapa hal, salah satu diantaranya adalah pada lingkungan asam. Logam yang berada pada lingkungan asam seperti pipa-pipa asam industri akan lebih cepat terkorosi dikarenakan diperoleh hasil karat besi dan ion H⁺ yang mempercepat korosi selanjutnya. Larutan yang bersifat asam kuat seperti HCl dan H₂SO₄ juga dapat mempercepat terjadinya korosi. Pada HCl terdapat ion-ion Cl⁻ yang bersifat sangat agresif sehingga bila asam kuat ini digabungkan dengan suatu logam baik itu baja ataupun besi maka ion-ion ini akan menarik unsur Fe yang ada pada logam sehingga logam terserang korosi dan menjadi berkarat.

Ion klorida dikenal sebagai ion yang memiliki efek perusak terhadap baja karbon. Kebanyakan ion tersebut memiliki kemampuan untuk terserap di permukaan logam dan berinterferensi membentuk lapisan tipis. *Pitting* merupakan jenis serangan utama yang terjadi akibat ion klorida. Ketika proses korosi dimulai, reaksi hidrolisis logam dari reaksi anodik menyebabkan penurunan pH, yang dapat menghambat perbaikan lapisan pasif dan mempercepat serangan. Baja karbon akan terkorosi di dalam air yang mengandung klorida terutama dalam bentuk korosi *uniform* dibandingkan dalam bentuk *localized attack* (ASM Handbook, 2005).

2.8 Perlindungan Korosi

Korosi adalah sebuah proses yang berjalan secara alami dan tidak berhenti selama suatu material masih terekspos dengan lingkungan yang bersifat korosif. Namun bukan berarti korosi tidak dapat ditanggulangi. Kerugian yang diakibatkan oleh proses korosi dapat diminimalisir dengan menggunakan metode – metode yang tepat sesuai dengan kondisi dari sistem yang akan dilindungi. Menurut Jones (1992), metode – metode tersebut adalah

1. Proteksi Katodik (*Impressed Current*)

Metode arus tanding diaplikasikan dengan memberikan arus listrik searah dari sumber luar, untuk melindungi suatu struktur logam yang saling berdekatan. Pada prinsipnya, metode ini dilakukan dengan memberikan suplai elektron kepada struktur yang diproteksi secara katodik agar tidak terjadi kebocoran elektron. Proses ini menggunakan penyearah (rectifier) dengan kutub negatif dihubungkan ke logam yang akan dilindungi dan kutub positif dihubungkan ke anoda. Anoda yang digunakan biasanya adalah anoda inert.

2. Anoda Korban (*Sacrificial Anode*)

Metode ini menggunakan prinsip galvanik, dimana suatu logam yang akan dilindungi, misalnya pipa, dihubungkan secara elektrik dengan logam yang bersifat anodik (lebih negatif dibandingkan pipa) sesuai dengan deret galvanik. Dengan demikian, pipa akan menjadi katoda dan logam lainnya akan menjadi anoda. Anoda korban akan terus-menerus termakan oleh korosi dan harus diganti secara periodik.

3. *Coating*

Coating adalah proses pelapisan permukaan logam dengan cairan atau serbuk, yang akan melekat secara kontinu pada logam yang akan dilindungi, setelah melalui proses solidifikasi. Adanya lapisan pada permukaan logam akan meminimalkan kontak logam dengan lingkungannya, yang kemudian akan mencegah proses korosi pada logam. Pelapisan yang paling umum digunakan adalah dengan cat. Cat yang digunakan biasanya merupakan bahan organik yang tidak dapat larut yang disebut pigmen, dengan partikel pengangkut cair. Pigmen biasanya terdiri dari logam oksida TiO_2 , PbO_3 , Fe_2O_3 , dan lainnya. Sementara zat pengangkutnya berupa minyak nabati yang jika mengalami kontak dengan udara akan teroksidasi dan terpolimerisasi menjadi zat padat.

4. *Material selection dan design*

Prinsip dasar metode pemilihan material adalah memilih material sesuai dengan kondisi lingkungan dimana material tersebut akan diaplikasikan. Metode ini erat kaitannya dengan potensial galvanik dari logam yang digunakan.

5. Inhibitor

Inhibitor dapat didefinisikan sebagai sebuah substansi yang ketika ditambahkan dengan konsentrasi yang kecil ke dalam sebuah lingkungan, akan menurunkan sifat kekorosifan dari lingkungan tersebut (Jones, 1992). Pada aplikasinya inhibitor akan sangat berguna jika digunakan untuk sebuah sistem yang bersirkulasi sebab sistem yang bersifat tunggal (tidak bersirkulasi) akan menggunakan banyak inhibitor sehingga dikatakan tidak efisiensi dari sisi ekonomi (Fontana, 1986).

Secara umum inhibitor memiliki mekanisme kerja seperti berikut ini (Andijani, 2005):

1. Inhibitor teradsorpsi pada permukaan logam, dan membentuk suatu lapisan tipis dengan ketebalan beberapa molekul inhibitor. Lapisan ini tidak terlihat dengan mata biasa namun dapat menghambat penyerangan lingkungan terhadap logam.

2. Melalui pengaruh lingkungan (seperti pH) menyebabkan inhibitor dapat mengendap dan selanjutnya teradsorpsi pada permukaan logam serta melindunginya terhadap korosi. Endapan yang terjadi cukup banyak dan lapisan dapat diamati dengan mata telanjang.

3. Inhibitor lebih dahulu mengkorosi logamnya dan menghasilkan suatu zat kimia dan lalu mengalami adsorpsi dari produksi korosi untuk membentuk lapisan pasif pada permukaan

4. Inhibitor menghilangkan konstituen yang agresif dari lingkungannya.

Inhibitor korosi adalah signifikasi utama dalam perlindungan logam. Agar bisa digunakan efektif, inhibitor harus sesuai dengan lingkungan tertentu, ekonomis untuk operasi

perlakuan yang disetujui, dan memberikan kontribusi efek penurunan yang tinggi. Inhibitor korosi menurunkan laju korosi dengan berbagai cara, seperti yang dinyatakan Rani & Basu, (2012), diantaranya: adsorpsi ion/molekul ke permukaan logam, meningkatkan atau menurunkan reaksi anodic dan/atau katodik, menurunkan laju difusi reaktan menuju permukaan logam, menurunkan ketahanan elektrik permukaan logam, dan memiliki keuntungan aplikasi *in situ*.

Efektifitas inhibitor telah ditentukan dengan berbagai cara dan kesimpulannya telah ditarik untuk menentukan faktor-faktor kontribusi terhadap efektifitas. Beberapa konsep umum diantaranya ukuran molekul organik, ikatan aromatik dan/atau konjugasi, panjang rantai karbon, kekuatan ikatan dengan substrat logam, tipe dan jumlah ikatan atom atau grup dalam molekul, kemampuan *layer* menjadi padat/ atau jaring silang, dan kemampuan untuk kompleks dengan atom sebagai padatan dengan kisi logam.

Adapun persamaan untuk menghitung efisiensi inhibisi dijelaskan berikut ini.

$$IE (\%) = \frac{CR_{uninhibited} - CR_{inhibited}}{CR_{uninhibited}} \quad (2.13)$$

Keterangan:

$CR_{uninhibited}$ = Laju Korosi tanpa Inhibitor

$CR_{inhibited}$ = Laju Korosi dengan Inhibitor

Snaveley & Hackerman (1970), membagi inhibitor dalam beberapa kelas, yaitu: *passivators*, *precipitators*, *vapor phase*, *cathodic*, *anodic*, *neutralizing*, dan *absorbants*. Sedangkan inhibitor korosi organik/adsorpsi dapat diklasifikasikan sebagai anodik, katodik, atau keduanya. Klasifikasi inhibitor organik/adsorpsi dilihat dari reaksi pada permukaan logam dan bagaimana potensial logam dipengaruhi. Secara garis besar jenis-jenis inhibitor korosi dibagi berdasarkan mekanisme inhibisinya, yaitu sebagai berikut (Roberge, 2008):

a. Inhibitor Anodik

Inhibitor anodik bekerja pada anoda dengan cara menghambat terjadinya reaksi anodik. Inhibitor jenis ini bekerja dengan mengubah sifat permukaan logam menjadi pasif. Anorganik anion seperti kromat dan nitrit akan membentuk sebuah senyawa ionik yang akan menempel pada permukaan dimana kemudian lapisan ini akan menjadi penghambat dari reaksi korosi (Jones, 1992).

Sayangnya inhibitor jenis anodik ini memiliki kelemahan yaitu kadar inhibitor yang terkandung dalam lingkungan harus terjaga dengan stabil. Sebab apabila kandungannya kurang maka akan dapat mempercepat laju korosi semakin cepat dan membuat terbentuknya *pitting*. Terdapat dua jenis inhibitor anodik yaitu (Roberge, 2008):

1. *Oxidizing ion* yang bisa membentuk perlindungan pada logam tanpa membutuhkan oksigen, contoh inhibitor jenis ini adalah inhibitor berbasis nitrat, kromat, dan nitrit.

2. *Non-Oxidizing ion* adalah jenis inhibitor anodik yang membentuk lapisan pasif pada permukaan anoda dengan membutuhkan kehadiran oksigen seperti *oshphate*, *tungsten*, *molybdate*.

b. Inhibitor Katodik

Keterbalikan dari inhibitor anodik, inhibitor jenis ini adalah inhibitor yang bekerja dengan cara memperlambat laju korosi melalui penghambatan proses yang terjadi di katodik. Penghambatan reaksi yang terjadi pada katoda adalah dengan cara membentuk presipitasi di permukaan material agar menghasilkan suatu tahanan dan impedansi dipermukaan katoda, atau dengan cara memperkecil kemampuan difusi zat yang akan tereduksi. Terutama dengan menurunkannya kadar oksigen yang terlarut (Fontana, 1986). Apabila reaksi katodik ini dapat dihambat, maka hal yang serupa juga terjadi pada reaksi anodik sebab reaksi yang terjadi pada katoda dan anoda berjalan setimbang.

Inhibitor katodik terbagi atas beberapa jenis berdasarkan mekanisme inhibisi-nya yaitu :

1. Racun katodik (*Cathodic Posions*), yang dapat menghambat reaksi evolusi hidrogen.
2. Katodik Presipitasi (*Cathodic Precipitate*) seperti Natrium, Magnesium, *Zinc* yang membentuk lapisan presipitat oksida di permukaan material.
3. *Oxygen Scavenger* yang menghambat laju korosi dengan cara mengurangi kadar oksigen dalam larutan yang bisa membuat efek depolarisasi contoh dari jenis oxygen scavenger ini antara lain *hydrazine*, DEHA, Natrium sulfit, dan *ascorbic acid*.

Defisiensi inhibitor katodik dalam sebuah lingkungan tidak akan menyebabkan terjadinya serangan *pitting* seperti yang sering sekali terjadi pada inhibitor anodik. Laju korosi akan menurun secara seragam pada permukaan seiring dengan turunnya konsentrasi dari inhibitor katodik ini (Jones, 1992).

c. *Mixed-Type Inhibitor*

Inhibitor tipe gabungan mempengaruhi *branch* anodik dan katodik pada kurva polarisasi. Substansi organik berfungsi sebagai inhibitor tipe gabungan. Inhibitor organik teradsorpsi pada permukaan logam menyediakan *barrier* terhadap disolusi di anoda dan *barrier* reduksi oksigen pada site katoda, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5 grup yang berfungsi *protective* pada inhibitor organik gabungan dapat berupa *amino*, *carboxyl*, dan *phosphonate*.

d. Inhibitor Presipitasi

Inhibitor jenis ini adalah inhibitor yang memiliki sifat dapat membentuk *presipitat* dipermukaan logam. Contoh dari inhibitor jenis ini adalah silika dan fosfat. Contoh lain dari proses inhibitor presipitasi ini adalah pada lingkungan *hard water* yaitu keadaan dimana banyak terkandung ion kalsium dan magnesium yang bisa menghambat laju korosi akibat kalsium yang mengendap membentuk presipitat dipermukaan logam (Roberge, 2008).

Inhibitor jenis ini terkadang membutuhkan oksigen untuk mendapat reaksi inhibisi yang baik.

e. Inhibitor Mudah Menguap (*Volatile Corrosion Inhibitors*)

Inhibitor jenis ini bekerja pada ruangan tertutup dengan cara meniupkannya dari tempatnya diuapkan menuju ke lingkungan yang korosif. Inhibitor ini setelah menyentuh permukaan logam yang akan dilindungi lalu terkondensasi menjadi garamnya dan memberikan ion yang bisa melindungi logam dari korosi. Kemampuan dan efektifitas dari inhibitor jenis ini tergantung dari kemampuan menguap campuran inhibitor tersebut. Untuk perlindungan yang cepat diperlukan inhibitor yang kemampuan uapnya tinggi. Namun untuk perlindungan yang lebih lambat namun untuk jangka panjang dibutuhkan inhibitor yang mampu uapnya rendah (Roberge, 2008).

2.9 Inhibitor Organik

Penggunaan inhibitor korosi adalah cara yang efektif untuk mengisolir logam dari bahan korosi untuk mencegah korosi elektrokimia (Souza dan Spinelli, 2009). Umumnya inhibitor korosi berasal dari senyawa organik dan anorganik, namun beberapa diantara inhibitor tersebut beracun, *non-biodegradable*, dan mahal untuk disintesis (Abiola dan Tobun, 2010). Isu keamanan dan lingkungan inhibitor korosi yang muncul di industri selalu menjadi kekhawatiran global. Inhibitor ini dapat menyebabkan kerusakan sementara atau permanen yang menyerang sistem organ, ginjal, atau hati, mengganggu proses biokimia, atau mengganggu sistem enzim dalam tubuh (Raja, 2008). Berdasarkan hal-hal tersebut, maka penelitian diarahkan untuk menemukan sumber baru inhibitor korosi terutama dari bahan alami mulai banyak dilakukan. Bahan alam dipilih sebagai alternatif karena bersifat aman, mudah didapatkan, bersifat *biodegradable*, biaya murah, dan ramah lingkungan (Ostovari, 2009).

Inhibitor organik mampu untuk memunculkan efek katodik dan juga anodik. Mekanisme dari inhibitor jenis ini adalah dengan cara membentuk lapisan tipis yang bersifat hidrofobik sebagai hasil adsorpsi ion inhibitor oleh permukaan logam. Inhibitor organik ini membentuk lapisan protektif yang teradsorpsi di permukaan logam dan menjadi penghalang antara logam dan elektrolit sehingga reaksi reduksi dan oksidasi pada proses korosi dapat terhambat. Contoh dari inhibitor organik ini adalah gugus kimia yang bisa membentuk ikatan *co-ordinates* dengan logam seperti *amino* ($-\text{NH}_2$), *carboxyl* ($-\text{COOH}$), dan *phosphonate* ($-\text{PO}_3\text{H}_2$) (Andijani, 2005). Reaksi adsorpsi pada saat pembentukan lapisan yang protektif ini dipengaruhi oleh panas dan tekanan. Inhibitor organik akan terabsorpsi sesuai muatan ion-ion inhibitor dan muatan permukaan. Kekuatan dari ikatan absorpsi merupakan faktor penting bagi inhibitor dalam menghambat korosi.

1. Mekanisme Inhibisi secara Adsorpsi

Penyerapan suatu zat oleh zat lain disebut sorpsi. Ada 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 kedalam ruang - ruang kapiler dari zat pengabsorpsi. Ada dua jenis komponen yang terlibat dalam adsorpsi, yaitu zat terserap (adsorbat) dan zat penyerap (adsorben). Ada tiga cara yang dilakukan inhibitor teradsorpsi terhadap permukaan logam yaitu:

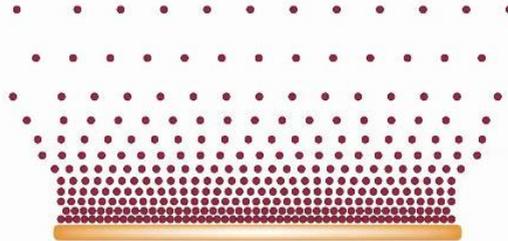
- a. Pembentukan penghalang secara fisika atau kimia
- b. Isolasi langsung situs-situs anodik dan katodik
- c. Berinteraksi dengan antarmediasi reaksi korosi

Pada jenis inhibitor organik, terjadi proses adsorpsi pada permukaan logam untuk membentuk lapisan senyawa kompleks.

Namun dalam adsorpsi terbagi menjadi 3 mekanisme yaitu (Roberge, 2008) :

a. Physical adsorption

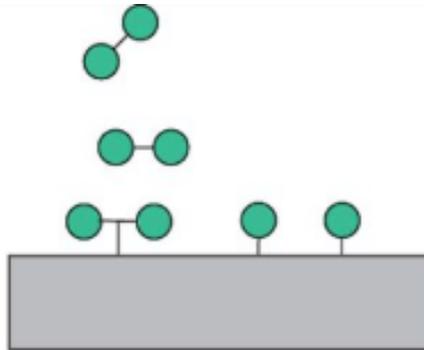
Mekanisme ini terbentuk hasil dari interaksi elektrostatik antara inhibitor dengan permukaan logam. Logam yang diberi muatan positif akan mengikat inhibitor dengan muatan negatif. Begitu juga dengan sebaliknya. Ikatan ini terbentuk dengan cepat dan bersifat bolak-balik namun mudah hilang atau rusak dari permukaan logam. Mekanisme *Physical Adsorption*, dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Ilustrasi Physical Adsorption (J. Shatner,2018)

b. Chemisorption

Mekanisme ini terbentuk dari transfer atau membagi muatan antara molekul dari inhibitor dengan permukaan logam. Jenis adsorpsi ini sangat efektif karena sifatnya tidak bolak-balik namun dalam pembentukannya berjalan lebih lambat. Mekanisme *chemisorption* dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 2.5.

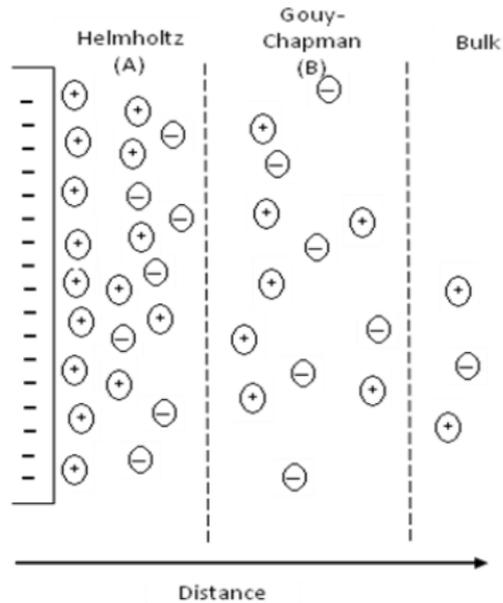


Gambar 2.5 Ilustrasi *Chemisorption* (emedicalprep,2018)

c. *Film Forming*

Mekanisme jenis ini dipengaruhi oleh struktur inhibitor, komposisi larutan sebagai media elektrolit, sifat bawaan dari logam, dan potensial elektrokimia pada lapisan antar muka logam-larutan. Adsorpsi inhibitor organik biasanya melibatkan minimal dua dari jenis adsorpsi di atas yang berjalan simultan. Sebagai contoh, adsorpsi inhibitor organik pada logam di lingkungan HCl adalah kombinasi *chemisorptions-physical adsorption* yang memberikan perlindungan fisik dan kimiawi (NACE, 1973).

Proses distribusi anion dan kation antara logam dan larutan, terlihat pada Gambar 2.6 Sebagai lapisan elektrik ganda.



Gambar 2.6 *Double Layer* pada Elektroda-larutan Interface (Natarajan,2012)

Perbedaan Fisisorpsi dan Kemisorpsi ditampilkan dalam bentuk Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Perbedaan Fisisorpsi dan Kemisorpsi (Firmansyah, 2011)

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

Kemampuan inhibisi korosi dari senyawa karbon tergantung pada sifat adsorpsi dan konsentrasi inhibitor teradsorpsi dalam melindungi permukaan logam dari media korosif, dan atau memodifikasi reaksi elektroda dari pelarutan logam pada proses anodik. Adanya adsorpsi senyawa organik

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

pada permukaan elektroda memberikan informasi tentang lapis rangkap listrik, kinetika transfer elektron, dan peran antarmedia dalam mekanisme inhibisi dari proses elektroda seperti pada sintesis elektroorganik dan elektroplating. Adsorpsi sangat tergantung pada sifat fisika dan kimia dari molekul inhibitor, seperti gugus fungsi, faktor sterik, sifat aromatis, rapat elektron atom donor, dan karakter orbital π dari donor elektron (Firmansyah, 2011).

Terdapat beberapa tipe isoterm adsorpsi yang dapat dijadikan referensi ketika mempelajari mekanisme inhibitor korosi. Salah satunya adalah isoterm adsorpsi *Langmuir* yang merupakan model paling sederhana dengan asumsi tidak ada interaksi antar molekul adsorbat, lapisan terbentuk berupa *monolayer*, maksimum fraksi penutupan =1 (saat permukaan adsorbat jenuh dengan adsorben), permukaan adsorbat homogen sehingga setiap area permukaan memiliki energi ikatan yang sama dan molekul yang teradsorpsi tidak bergerak pada permukaan (Dada, 2012).

Isoterm adsorpsi Langmuir merupakan model adsorpsi paling sederhana. Dalam isoterm Langmuir, adsorpsi yang terjadi adalah kemisorpsi dan interaksi antara adsorbat dengan adsorbat diabaikan (Masel, 1996: 247).Langmuir mengasumsikan (Mc Cash, 2001:73) bahwa:

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

Persamaan isoterm adsorpsi Langmuir dapat diturunkan secara teoritis dengan menganggap terjadinya kesetimbangan antara molekul-molekul zat yang diadsorpsi pada permukaan adsorben dengan molekul -molekul zat yang tidak teradsorpsi.

Persamaan isoterm adsorpsi Langmuir dapat dituliskan sebagai berikut.

Untuk mengetahui derajat *surface coverage* sebagai hubungan fraksi molekulnya, maka digunakan persamaan berikut. dimana:

$$\theta = \frac{IE\%}{100} \quad (2.14)$$

Dimana:

θ = derajat *surface coverage*

IE% = efisiensi inhibitor (%)

$$\Delta G^{\circ} ads = RT - \ln(C_{solv} K_{ads}) \quad (2.15)$$

$$K_{ads} = \frac{1}{55.5} \exp\left(\frac{-\Delta G^{\circ}}{RT}\right) \quad (2.16)$$

dimana:

C = konsentrasi inhibitor (mg/L)

K_{ads} = konstanta kesetimbangan adsorpsi

θ = derajat *surface coverage*

R = konstanta Gas Ideal (8.314 J/mol K)

T = temperatur (K)

ΔG° = Standart Energi Bebas Adsorpsi (kJ/mol)

2.10 Pengujian Korosi

Laju korosi adalah kecepatan rambatan atau kecepatan penurunan kualitas bahan terhadap waktu. Dalam perhitungan laju korosi, satuan yang biasa digunakan adalah mm/th (standar internasional) atau mill/year (mpy, standar British). Tingkat ketahanan suatu material terhadap korosi umumnya memiliki nilai laju korosi antara 1 – 200 mpy. Pada Tabel 2.4. di bawah ini adalah penggolongan tingkat ketahanan material berdasarkan laju korosinya (Yudha Kurniayan Afandi,2015).

Tabel 2.4 Tabel Hubungan Laju Korosi dan Ketahanan Korosi

<i>Relative Corrosion Resistance</i>	<i>Approximate metric equivalent</i>				
	<i>Mpy</i>	<i>mm/year</i>	$\mu\text{m/yr}$	<i>nm/yr</i>	<i>pm/sec</i>
<i>Outstanding</i>	< 1	< 0.02	< 25	< 2	< 1
<i>Excellent</i>	1– 5	0.02–0.1	25-100	2– 10	1– 5
<i>Good</i>	5– 20	0.1 – 0.5	100-500	10– 50	5– 20
<i>Fair</i>	20–50	0.5 – 1	500–1000	50–100	20– 50
<i>Poor</i>	50-200	42125	1000–5000	150–500	50–200
<i>Unacceptable</i>	200+	5+	5000+	500+	200+

2.10.1 Metode Weight Loss

Metode yang digunakan untuk menghitung laju korosi adalah metode berat hilang. Metode ini melibatkan proses pembersihan dan penimbangan sebelum korosi dan pembersihan serta penimbangan setelah korosi. Hasil pengurangan berat awal dan berat akhir digunakan untuk mengukur laju korosi. Berdasarkan ASTM G31-72, persamaan untuk menghitung laju korosi adalah sebagai berikut:

$$\text{Laju Korosi} = \frac{KW}{DAT} \quad (2.17)$$

keterangan:

- K = konstanta ($\text{mpy} = 3,45 \times 10^6$)
- W = kehilangan berat (gram)
- D = densitas (gram/cm^3)
- A = luas permukaan yang terendam (cm^2)
- T = waktu (jam)

Metode elektrokimia dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{CR} = \frac{k I_{\text{corr}} EW}{D} \quad (2.18)$$

Keterangan:

CR = laju korosi, mpy

Icorr = Kerapatan arus, mA

EW = Berat ekuivalen,

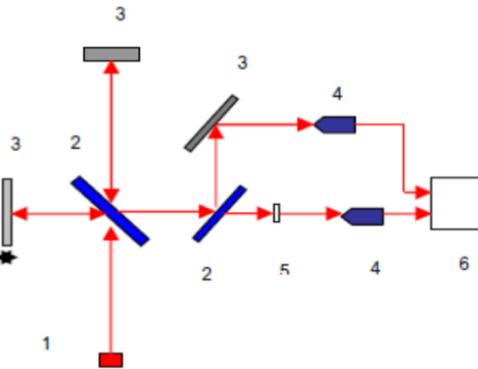
D = densitas, gram/cm³

A = luas sampel yang terkena proses korosi , cm²

2.10.2 Pengujian FTIR

FTIR (Fourier Transform InfraRed) merupakan metode yang menggunakan spektroskopi inframerah. Pada spektroskopi inframerah, radiasi inframerah dilewatkan pada sampel. Sebagian radiasi inframerah diserap oleh sampel dan sebagian lagi dilewatkan atau ditransmisikan. Analisis gugus fungsi dengan FTIR bertujuan untuk mengetahui proses yang terjadi pada pencampuran apakah secara fisik atau kimia. Sampel ditempatkan ke dalam set holder, kemudian dicari spektrum yang sesuai. Hasilnya akan didapatkan difraktogram hubungan antara bilangan gelombang dengan intensitas (Smith, 2011).

Terdapat tiga teknik pengukuran sampel yang umum digunakan dalam pengukuran spektrum menggunakan FTIR yaitu Photo Acoustic Spectroscopy (PAS), Attenuated Total Reflectance (ATR), dan Difuse Reflectance Infrared Fourier Transform (DRIFT). Setiap teknik memiliki karakteristik spektrum vibrasi molekul tertentu. Metode pembacaan spektrum vibrasi molekul pada FTIR ada dua macam, yaitu metode reflektansi dan metode transmisi (Anam, 2007). Skema alat Spektroskopi FT-IR dapat dilihat seperti Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Skema Alat Spektroskopi FT-IR (Marcott,C., 1986)

Keterangan fungsi komponen FT-IR disajikan dalam bentuk Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Keterangan Fungsi Komponen FT-IR (Marcott,C., 1986)

No.	Fungsi Komponen
1.	Sumber inframerah
2.	Pembagi berkas (beam splitter)
3.	Kaca pemantul
4.	Sensor inframerah
5.	Sampel
6.	Display

2.10.3 Polarisasi Tafel

Polarisasi adalah perubahan potensial dari keadaan seimbang. Ketika suatu logam tidak berada pada kesetimbangan dengan larutan yang mengandung ion-ionnya, potensial

elektrodanya berbeda dari potensial korosi bebas dan selisih antar keduanya bisa disebut polarisasi (Thretewey, 1991).

Beberapa metode polarisasi dapat digunakan untuk uji korosi. Pada metode polarisasi potensiodynamik potensial elektroda (spesimen logam) divariasikan dengan diberi arus listrik pada elektrolit. Metode ini merupakan metode yang paling banyak digunakan untuk uji ketahanan korosi (Roberge, 2000). Laju korosi sebenarnya belum dapat dilihat dari perbedaan perbedaan potensial antara katoda dan anoda. Namun juga tergantung dari kerapatan arus yang muncul. Korosi dapat digambarkan dengan kurva tegangan fungsi arus yang selanjutnya disebut dengan polarisasi.

Metode elektrokimia mengukur sifat listrik pada hubungan antar muka logam dengan lingkungan. Metode elektrokimia melibatkan penentuan sifat antar muka yang spesifik dapat dibagi menjadi tiga kategori, yaitu: (a) Perbedaan potensial pada antarmuka. Potensial pada permukaan terkorosi diperoleh dari polarisasi anodik-katodik. Potensial merupakan parameter yang mudah diamati. Nilai potensial ini berhubungan dengan sistem termodinamika, yang memberikan informasi tentang keadaan suatu sistem; (b) Laju reaksi sebagai densitas arus. Densitas arus dapat diketahui melalui polarisasi anodik-katodik logam, sehingga diperoleh densitas arus i_{kor}; (c) Impedansi permukaan. Permukaan logam yang terkorosi dan tidak terkorosi dapat dibedakan melalui karakteristik impedansinya (Roberge, 2000).

Potensial polarisasi, η atau potensial lebih, adalah selisih antara potensial terapan terhadap potensial korosi logam pada keadaan kesetimbangan dengan ionnya dalam larutan (elektrolit).

Parameter ini dapat digunakan untuk menyatakan laju pelarutan atau laju proses korosi logam yang bersangkutan, yang dikenal dengan persamaan Tafel sebagai berikut,

Untuk polarisasi anodik,,

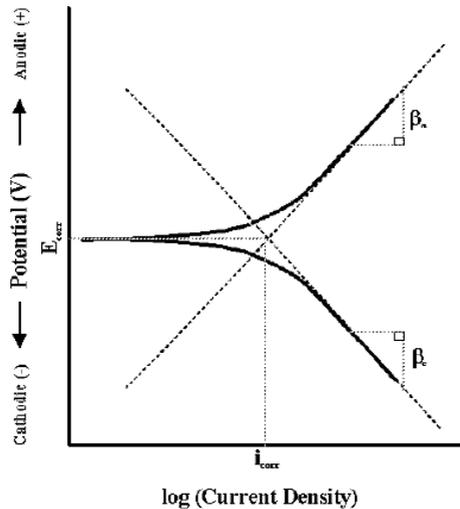
$$\eta_{\alpha} = \beta_{\alpha} \log i_{\alpha} - \beta_{\alpha} \log i_0 \quad (2.19)$$

Untuk polarisasi katodik,

$$\eta_k = \beta_k \log i_k - \beta_k \log i_0 \quad (2.20)$$

Dengan η_a , η_k , i_a , i_k dan i_0 berturut turut adalah potensial polarisasi anodik, potensial polarisasi katodik, rapat arus anodik, rapat arus katodik dan rapat arus korosi pada kesetimbangan. Sedangkan β_a dan β_k disebut sebagai tetapan tetapan Tafel atau beta anodik dan beta katodik. Ungkapan persamaan diatas menunjukkan bahwa aluran η terhadap $\log I$ baik pada proses anodic maupun proses katodik akan berupa suatu garis lurus dengan kemiringan sama dengan tetapan Tafel yang bersangkutan. Pada saat E_{corr} , $\eta = 0$ dan tetapan tetapan Tafel dinyatakan dalam besaran mV/decade. Tetapan ini digunakan untuk menentukan rapat arus korosi yang berbanding langsung dengan laju korosi. Kurva yang diperoleh dari pengukuran ini seperti pada Gambar 2.8

Rapat arus sebanding dengan laju korosi, karena arus yang sama bila terkonsentrasi pada luas permukaan yang lebih kecil akan menghasilkan laju korosi yang lebih besar. Dengan anggapan bahwa korosi berlangsung seragam, atau merata pada seluruh permukaan logam, laju penetrasi korosi persatuan waktu dapat dinyatakan dalam mm/year.



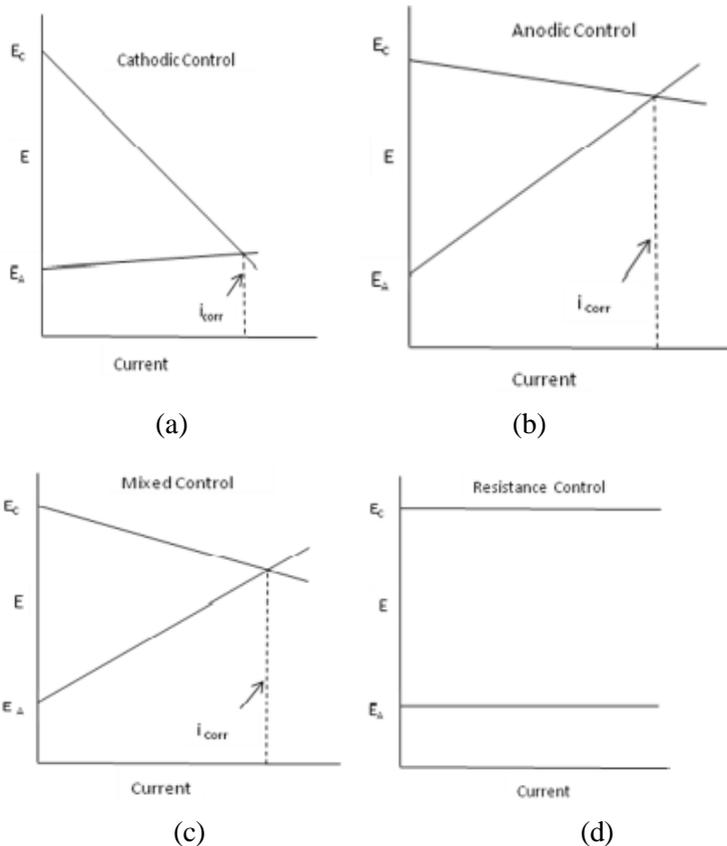
Gambar 2. 8 Contoh Grafik Polarisasi (David,1997)

Ketika reaksi elektroda berlangsung, potensial tidak lagi berada pada kesetimbangan karena aliran arus melalui sel elektrokimia menyebabkan perubahan potensial elektroda. Fenomena elektrokimia ini dinamakan Polarisasi. Sistem korosi bukan merupakan penyimpangan kesetimbangan dari termodinamika. Sebuah sel atau elektroda dikatakan terpolarisasi ketika sedikit atau tidak terjadi perubahan dalam arus dengan perubahan potensial yang lebih besar. Elektroda tidak equilibrium ketika arus mengalir dari atau menuju kepermukaannya (Natarajan,2012).

Ketika polarisasi banyak terjadi pada anoda, reaksi korosi dikendalikan secara anodik. Proses anodik pada elektroda dipercepat dengan menggerakkan potensial kearah positif. Ketika polarisasi banyak terjadi pada katoda, dikendalikan secara katodik. Proses katodik dipercepat dengan menggerakkan potensial kearah negatif. Pengendalian hambatan ketika

hambatan elektrolit/elektroda sangat tinggi sehingga arus tidak cukup untuk mempolarisasi salah satu elektroda. Pengendalian campuran (*Mixed control*) mengacu pada kondisi yang mencangkup polarisasi anodik dankatodik (Natarajan,2012)

Skema ilustrasi dari anodik, katodik , campuran (*mixed*), dan hambatan kontrol terdapat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Anodik, Katodik, Campuran (*mixed*), dan Hambatan Kontrol. (Natarajan,2012)

Laju korosi kemudian dapat dihitung baik dengan perangkat lunak ataupun dengan mekanisme perhitungan manual dengan membuat garis linear pada kurva anodik dan katodik, kemudian dilihat perpotongannya dan didapatkan nilai i_{corr} , kemudian memasukkan nilai tersebut ke dalam persamaan sebagai berikut :

$$mpy = 0.129 \times i_{corr} \times EWD \quad (2.21)$$

D = Berat Jenis Material

I = Rapat Arus Korosi

EW = Berat Ekuivalen Material yang Mengalami Korosi (Octoviawan, 2012).

Pada metode polarisasi potensiodinamik nilai i_{kor} diperoleh melalui ekstrapolasi tafel pada daerah linier katodik dan daerah linier anodik, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.7 (Jones, 1992).

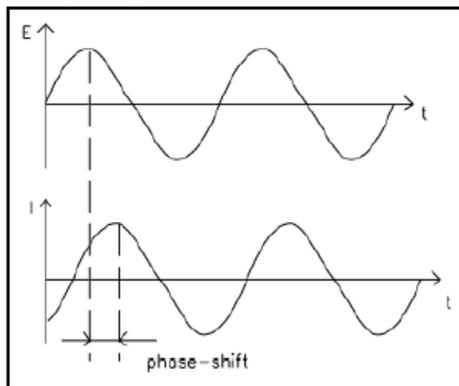
2.10.4 *Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)*

Spektroskopi Impedansi Elektrokimia juga sering dikenal dengan sebutan *Electrochemical Impedance Spectroscopy*, (EIS) merupakan suatu teknik eksperimental elektrokimia yang memiliki peranan khusus dalam kajian korosi karena perilaku korosi merupakan proses elektrokimia. EIS sering digunakan dalam berbagai bidang korosi, seperti *coating*, pembentukan lapisan pasif dan keperluan evaluasi inhibitor, mempelajari kinetika reaksi elektrokimia, sifat listrik antar muka, mekanisme korosi, serta mekanisme inhibisi. Metode ini juga dapat digunakan untuk memprediksi perilaku korosi secara akurat yang direpresentasikan sebagai model rangkaian listrik. Pengujian EIS dikenal sebagai metode yang kuat untuk memberikan informasi mengenai laju korosi, baik mengenai kinetika proteksi dan mekanismenya (Gusmano, 2006), pada penelitian ini digunakan EIS untuk mempelajari pembentukan film pada inhibitor campuran impedansi elektrokimia biasa diukur dengan memberikan potensial AC (*Alternating Current*) pada sel

elektrokimia dan dengan pengukuran melalui sel, asumsi jika diaplikasikan eksitasi potensial sinusoidal. Respon terhadap potensial ini adalah sinyal arus AC. Lalu daya sinyal ini dapat di analisis dengan penjumlahan fungsi sinusoidal (Jenis Fourier)

Spektroskopi impedansi elektrokimia (EIS) merupakan suatu teknik analisis *in situ* yang digunakan untuk menyelidiki proses elektrokimia dan sistem korosi. Pada prinsipnya EIS dapat menentukan sejumlah parameter yang berkaitan dengan kinetika elektrokimia, termasuk di dalamnya tahanan polarisasi (R_p), tahanan larutan (R_s), kapasitansi lapisan rangkap (*double layer*), (C_{DL}).

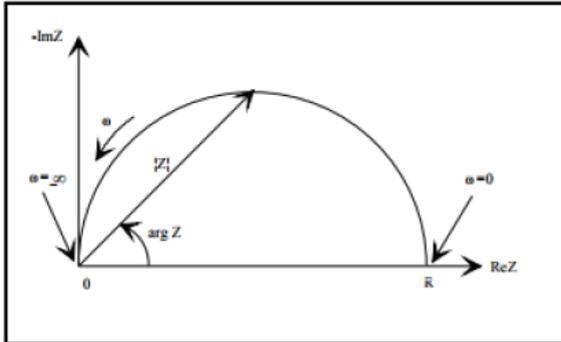
Pada umumnya, impedansi diukur dengan menggunakan sinyal kecil eksitasi. Ini dilakukan agar respon berupa *pseudo-linear*. Dalam sistem linear atau *pseudo-linear*, respon arus menjadi potensial sinusoidal akan menjadi sinusoid dengan frekuensi yang sama, namun di ubah dalam beberapa tahapan yang dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Perubahan Kurva Sinusoidal (Gamry Instruments, 2012)

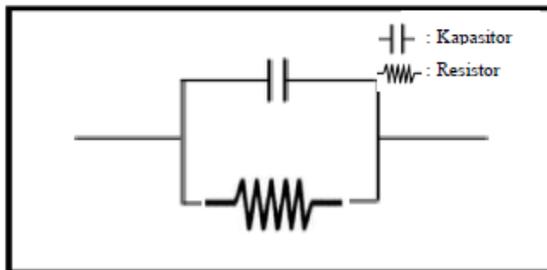
Hasil dari pengujian EIS adalah kurva Nyquist seperti pada Gambar 2.11 yang merepresentasikan sebuah sirkuit atau

rangkaian listrik yang terdiri dari hambatan (R) dan kapasitansi (C) yang biasa disebut sebagai sirkuit RC.



Gambar 2.11 Plot Nyquist dengan Vektor Impedansi (Gamry Instruments, 2012).

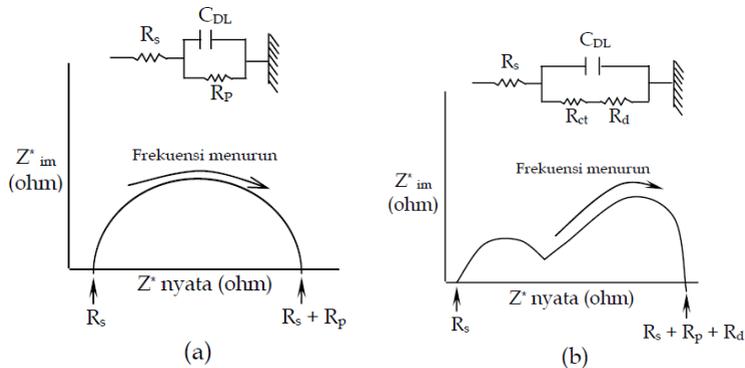
Harus diketahui jika sumbu Y dari grafik adalah negatif dan setiap titik pada plot kurva nyquist adalah impedansi pada satu frekuensi. Data dengan frekuensi lebih rendah ada pada sisi kanan dari plot kurva, sedangkan frekuensi lebih tinggi ada pada sisi kiri, pada plot Nyquist impedansi dapat di representasikan sebagai vektor (panah) dari panjang $|Z|$. Sudut antara vektor ini dan sumbu-X biasa disebut dengan *phase angle*, adalah Θ (Gamry Instruments, 2012).



Gambar 2.12 Rangkaian Listrik Sederhana dengan Satu Model Waktu Konstan (Gamry Instruments, 2012).

Gambar 2.11 merupakan hasil sirkuit listrik dari Gambar 2.12. Hasil tersebut menggambarkan setengah lingkaran yang menunjukkan karakteristik dari sebuah “waktu konstan”. Impedansi elektrokimia biasanya menunjukkan beberapa setengah lingkaran, umumnya beberapa bagian dari setengah lingkaran dapat terlihat, dari hasil pengujian EIS didapatkan nilai tahanan polarisasi (R_p), tahanan larutan (R_s), kapasitansi lapisan rangkap ganda (CDL).

Gambar 2.13 merupakan contoh model sirkuit sistem elektrokimia logam yang tercelup dalam larutan elektrolit (a) menunjukkan pada *interface* logam dengan larutan terdapat tahanan polarisasi (R_p) adalah hambatan transisi antara elektroda dan elektrolit, apabila terjadi peningkatan hambatan polarisasi terhadap aliran pada sel elektrokimia disebabkan oleh reaksi pada elektroda (b) menunjukkan adanya hambatan transfer muatan (R_{ct}), serta hambatan difusi (R_d) paralel dengan lapisan rangkap yang dinyatakan dengan adanya kapasitansi lapis rangkap (CDL) dan secara seri dengan hambatan listrik larutan yang dinyatakan sebagai (R_s). Lalu tergambar spektrum EIS berupa kurva Nyquist di bawah masing – masing sirkuit ekuivalen seperti Gambar 2.12 (Amalia, 2005).



Gambar 2. 13 Aliran Nyquist.

(a) untuk Reaksi Antarmuka yang Dikendalikan oleh Hambatan Perpindahan Muatan Listrik (b) untuk Reaksi Antarmuka yang dikendalikan Proses Difusi Pengaruh Konsentrasi NaCl terhadap Laju Korosi (Amalia, 2015)

Data EIS umumnya dianalisis dengan fitting sesuai bentuk ekivalensi sirkuit elektrisnya. Elemen sirkuit itu sendiri umumnya terdiri dari elemen elektrik seperti resistor, kapasitor, dan induktor. Beberapa pengetahuan tentang impedansi komponen sirkuit standar karenanya cukup berguna. Tabel 2.6 merupakan data elemen sirkuit yang umum, rumus untuk arus vs voltase dan impedansi nya (Gamry, 2012).

Tabel 2.6 Elemen Listrik (Gamry, 2012).

Component	Current vs Voltage	Impedance
resistor	$E = IR$	$Z = R$
inductor	$E = L \frac{di}{dt}$	$Z = j\omega L$
capacitor	$I = C \frac{dE}{dt}$	$Z = 1/ j\omega L$

Data hasil EIS dipresentasikan dalam berbagai cara, sebagai contoh komponen impedansi nyata dan imajiner terploting menjadi satu dalam kurva Nyquist, seperti terlihat pada

Gambar 2.14, yang harus ditafsirkan dengan benar untuk menyimpulkan ketahanan larutan, ketahanan tranfer muatan dan impedansi Warburg serta waktu yang konstan. Dimana pada kurva Bode, impedansi dan *angle phase* telah terplot terhadap frekuensi, yang dapat bermanfaat untuk menemukan efek kapasitasi atau induksi dari sistem elektrokimia.

Impedansi dari sel elektrokimia, Z , ditentukan berdasarkan analogi dari hukum Ohm seperti di bawah ini. Dengan ω adalah frekuensi radial atau kecepatan sudut yang diterapkan ($\text{rad}\cdot\text{sec}^{-1}$).

$$Z(\omega) = \frac{E(t)}{I(t)} = Z'(\omega) + jZ''(\omega) \quad (2.22)$$

$$Y(\omega) = \frac{I(t)}{E(t)} = Y'(\omega) + jY''(\omega) \quad (2.23)$$

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)

$Z'(\omega), Y'(\omega)$ = bagian real

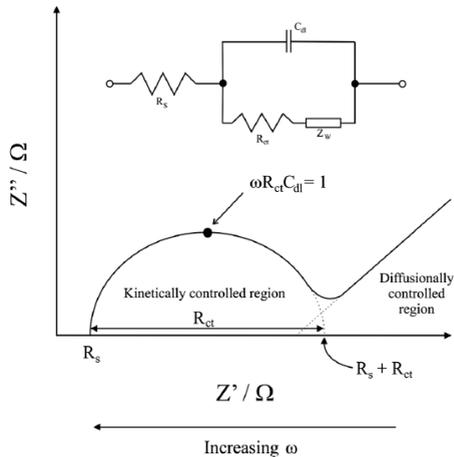
$Z''(\omega), Y''(\omega)$ = bagian imajiner

t = waktu (s)

j = $-1^{1/2}$

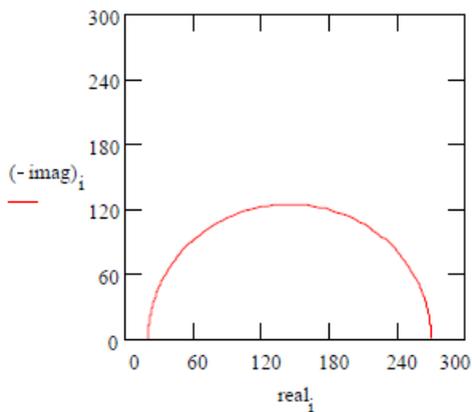
j^2 = -1

Nilai kapasitansi *double layer*, didapatkan dari elemen kapasitansi *double layer* (Cdl) yang dihasilkan dari fitting sirkuit ekuivalen listrik.



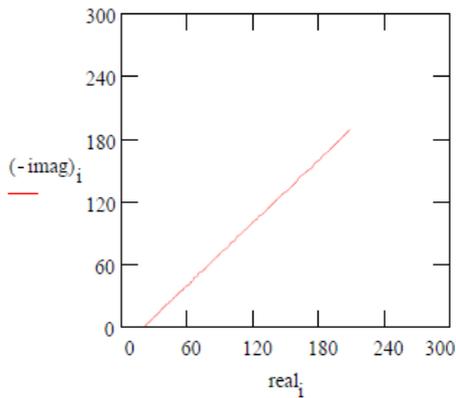
Gambar 2.14 Ekuivalensi Sirkuit Sempel Randles untuk Sel Elektrokimia

Garis lurus tegak sebelah kanan menggambarkan daerah kontrol difusi dari kurva Nyquist (Edward,2013). Sementara garis lurus yang lebih tegak menandakan proses difusi yang lebih cepat (Ji,M 2014).



Gambar 2.15 Nyquist Plot untuk Laju Korosi $Imm/year$

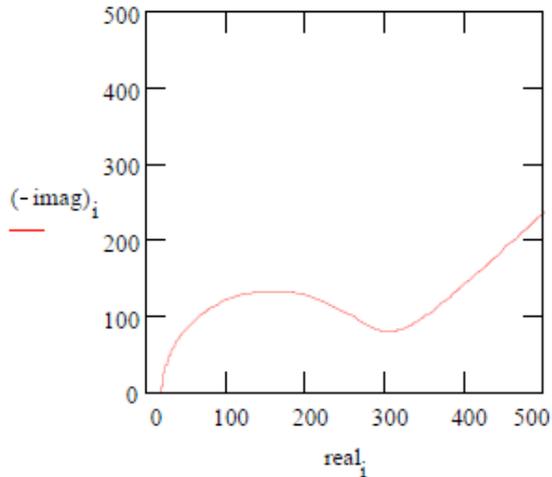
Pada gambar 2.15 merupakan kurva plot nyquist tipe Simplified Randles Cell. Parameter kurva ini mengansumsikan melalui perhitungan elektroda 1 cm^2 korosi uniform pada laju 1 mm/year . Pemilihan asumsi ini dibuat untuk koefisienTafel,densitas logamdan berat ekuivalent. Ketahanan polarisasi dibawah kondisi ini dikalkulasi hingga 250Ω , kapasitansi $40 \mu\text{F}/\text{cm}^2$ dan tahanan larutan 20Ω .



Gambar 2.16 Nyquist Plot untuk Impedansi Warburg

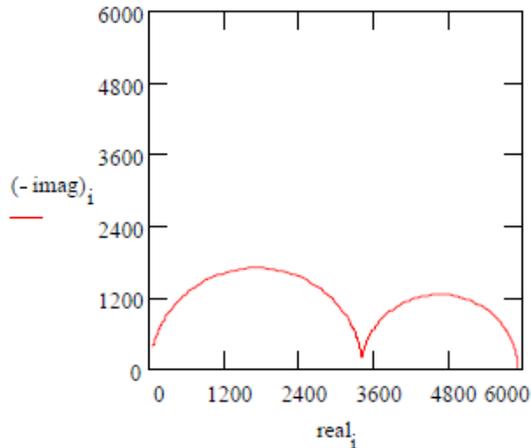
Pertimbangan pertama sebuah sel yang berdifusi semi tak terbatas merupakan langkah penentu laju,dengan ketahanan larutan sebagai satu-satunya impedansi sel.

Plot Nyquist untuk sel tersebut digambarkan pada gambar 2.16 , R_s diasumsikan hingga 20Ω . Koefisien Warburg , σ , terhitung hingga 150 untuk spesies difusi dengan konsentrasi $100\mu\text{M}$ dan tipe koefisien difusi $1.6 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$.



Gambar 2.17 Diagram Nyquist untuk Mixed Control Circuit

Pada gambar 2.17 merupakan bentuk sirkuit sebuah sel dimana Polarisasi karena kombinasi dari proses kinetik dan proses difusi. Akibat dari penambahan kapasitansi double layer dan impedansi transfer muatan, pada sirkuit ekuivalen.



Gambar 2.18 Nyquist Plot untuk failed pelapisan

Saat menggunakan EIS untuk menguji pelapisan, akan menemukan kurva data seperti gambar 2.18. Hal tersebut mengestimasi untuk bentuk parameter, seperti halnya dengan ketahanan poros atau kapasitansi lapisan ganda (cdl). Kemudian menggunakan parameter tersebut untuk mengevaluasi derajat kegagalan coating (Gamry, 2012).

2.10.5 Pengujian AAS

Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) merupakan suatu metode analisis untuk menentukan konsentrasi suatu sampel unsur logam yang memiliki ketelitian, ketepatan dan selektivitas tinggi. Spektrofotometri serapan atom merupakan metode yang sangat tepat untuk analisis zat pada konsentrasi rendah (Khopkar, 1990).

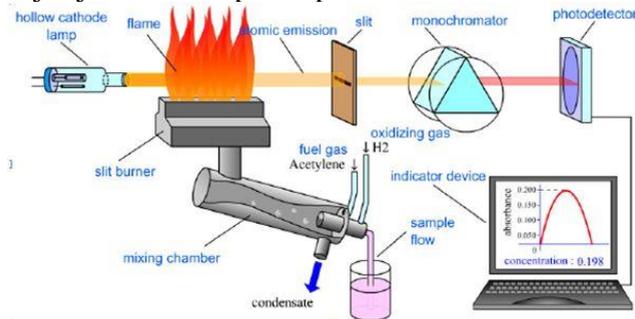
Spektrofotometri serapan atom (AAS) digunakan untuk menentukan unsur-unsur dalam suatu sampel/cuplikan yang berbentuk larutan. Prinsip dari analisis dengan AAS ini didasarkan proses penyerapan energi oleh atom-atom yang berada pada tingkat tenaga dasar (*ground state*). Penyerapan

energi tersebut akan mengakibatkan tereksitasinya elektron dalam kulit atom ke tingkat tenaga yang lebih tinggi (*excited state*). Akibat dari proses penyerapan radiasi tersebut elektron dari atom-atom bebas tereksitasi ini tidak stabil dan akan kembali ke keadaan semula disertai dengan memancarkan energi radiasi dengan panjang gelombang tertentu dan karakteristik untuk setiap unsur (Gunanjar, 1997)

AAS berprinsip pada absorpsi cahaya oleh atom. Atom-atom menyerap cahaya tersebut pada panjang gelombang tertentu, tergantung pada sifat unsurnya Spektrometri Serapan Atom (SSA) meliputi absorpsi sinar oleh atom-atom netral unsur logam yang masih berada dalam keadaan dasarnya (Ground state). Sinar yang diserap biasanya ialah sinar ultra violet dan sinar tampak. Prinsip Spektrometri Serapan Atom (SSA) pada dasarnya sama seperti absorpsi sinar oleh molekul atau ion senyawa dalam larutan (Wiryana, 2011).

Cahaya pada panjang gelombang tertentu mempunyai energi yang cukup untuk mengubah tingkat elektronik suatu atom tertentu. Transisi elektronik suatu unsur bersifat spesifik. Dengan absorpsi energi, suatu atom pada keadaan dasar dinaikan tingkat energinya ke tingkat eksitasi. Panjang gelombang yang dipilih harus menghasilkan garis spektrum yang tajam dan dengan intensitas maksimum. Inilah yang dikenal dengan garis resonansi. Garis-garis lain yang bukan garis resonansi dapat berupa spektrum yang berasosiasi dengan tingkat energi molekul, biasanya berupa pita-pita lebar ataupun garis tidak berasal dari eksitasi tingkat dasar yang disebabkan proses atomisasi, keberhasilan analisis ini tergantung pada proses eksitasi dan cara memperoleh garis resonansi yang tepat. Atom-atom yang menyerap energi radiasi pada AAS adalah atom-atom yang berada pada tingkat energi dasar (*ground state*). Penyerapan energi oleh atom-atom bebas menyebabkan terjadinya elektron tereksitasi. Intensitas sinar yang digunakan untuk eksitasi adalah sebanding dengan jumlah atom pada tingkat dasar yang menyerap tenaga

sinar tersebut. Dengan demikian konsentrasi unsur dalam sampel dapat ditentukan dengan mengukur intensitas sinar yang diserap (absorbansi) atau mengukur intensitas sinar yang diteruskan (transmitansi) (Pecsock, Robert L., dan Shields, L. Donald, 1976). Skema kerja uji AAS ditampilkan pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19 Skema Kerja uji AAS (Oscar, 2015)

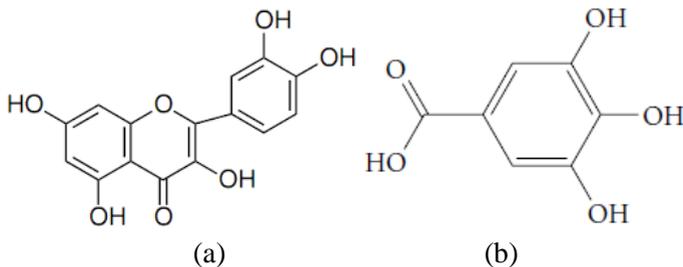
2.11 Tanin

Tanin ($C_{76}H_{52}O_{46}$) adalah biomolekul polifenolik, zat yang memiliki rasa pahit (Brune M, 2014). Tanin merupakan senyawa fenolik dengan berat molekul yang tinggi, senyawa organik kompleks, non-nitrogenus, dan non-crystalline. Senyawa tanin banyak terdapat diberbagai spesies tumbuh-tumbuhan, umumnya ditemukan di tumbuhan biji terbuka (*gymnosperm*) dan tumbuhan biji tertutup (*angiosperm*) (Burda S, 2015). Tannic acid, Gallic acid, Catechins, Chlorogenic acid, dan Phloroglucino adalah bagian tanin yang memainkan peran penting dalam pematangan buah (Funatogawa, 2004).

Tanin merupakan zat organik yang sangat kompleks dan terdiri dari senyawa fenolik. Pada tumbuh-tumbuhan, senyawa tanin terdapat pada kulit kayu, batang, daun, dan buah. Tanin dibagi menjadi dua kelompok yaitu tannin mudah terhidrolisis dan tanin terkondensasi. Tanin yang mudah terhidrolisis merupakan polimer gallic atau ellagic acid yang berikatan ester dengan sebuah molekul gula, sedangkan tanin terkondensasi

merupakan polimer senyawa flavonoid dengan ikatan karbonkarbon (Harbone, 1984).

Pada penelitian Lia Marliyani dkk, Biji Juwet (*Syzgium cumini* (L.) Skeels) menunjukkan kandungan golongan senyawa alkaloid, flavonoid, kuinon, polifenol, tanin, dan steroid/triterpenoid. Ekstrak biji Juwet memiliki aktivitas anti oksidan kuat dengan nilai IC_{50} (*Inhibition Corrosion*) 67,098 bpj dan berpotensi untuk dikembangkan sebagai anti oksidan alami karena nilai IC_{50} (*Inhibition Corrosion*) nya mendekati pembanding Vitamin C (IC_{50} 6,98 bpj). Kadar fenol total ekstrak biji Juwet adalah $119,251 \pm 2,494$ mg/g. Senyawa fenolat diduga sebagai senyawa aktif anti oksidan. Kandungan senyawa dalam biji diantaranya tanin, asam galat, glukosida fitomelin dan alfa-fitosterol (AyyamarM,2012). Menurut Ismail (2011), tanin juga memiliki nama lain seperti *tannic acid*, *gallotanic acid*, memiliki berbagai jenis warna namun juga ada yang tidak berwarna. Gugus fungsi dari senyawa yang terkandung dalam ekstrak biji juwet ditampilkan dalam gambar 2.20.



Gambar 2.20 Gugus Fungsi (a) Quercetin (b)Gallic Acid biji Juwet (Singh,2011)

Secara kimia sifat tanin (Risnasari, 2002) adalah sebagai berikut:

1. Tanin memiliki sifat umum, yaitu memiliki gugus phenol dan bersifat koloid.

2. Semua jenis tanin dapat larut dalam air, metanol, etanol, aseton dan pelarut organik lainnya. Kelarutannya besar, dan akan bertambah besar apabila dilarutkan dalam air panas.
3. Dengan garam besi memberikan reaksi warna. Reaksi ini digunakan untuk menguji klasifikasi tanin, karena tanin dengan garam besi memberikan warna hijau dan biru kehitaman.
4. Tanin akan terurai menjadi pyrogallol, pyrocatechol dan phloroglucinol bila dipanaskan sampai suhu (99 -102 oC).
5. Tanin dapat dihidrolisa oleh asam, basa dan enzim.

Secara fisik sifat tanin (Browning, 1966) adalah sebagai berikut:

1. Umumnya tanin mempunyai berat molekul tinggi dan cenderung mudah dioksidasi menjadi suatu polimer, sebagian besar tanin bentuknya amorf dan tidak mempunyai titik leleh.
2. Tanin berwarna putih kekuning-kuningan sampai coklat terang, tergantung dari sumber tanin tersebut.
3. Tanin berbentuk serbuk atau berlapis-lapis seperti kulit kerang, berbau khas dan mempunyai rasa sepat (astrigent).
4. Warna tanin akan menjadi gelap apabila terkena cahaya langsung atau dibiarkan di udara terbuka.
5. Tanin mempunyai sifat atau daya bakterostatik, fungistatik dan merupakan racun.

Struktur senyawa tannin terdiri dari cincin benzena (C₆) yang berikatan dengan gugus hidroksil (-OH). Tanin memiliki peranan biologis yang besar karena fungsinya sebagai pengendap protein dan penghelat logam. (Shafa Noer,2018)

Menurut Ashari (2013), kegunaan tanin adalah sebagai berikut :

1. Berfungsi melindungi tumbuhan ketika dalam umur pertumbuhan
2. Digunakan dalam proses metabolisme pada tanaman.

3. Sebagai pemberi warna pada industri pembuat tinta serta cat karena mampu memberi warna biru atau hijau.
4. Dimanfaatkan untuk mengendapkan serat organik yang ada pada anggur atau bir pada industri anggur atau bir.
5. Kemampuan tanin untuk bereaksi dengan berbagai protein dimanfaatkan untuk proses penyamakan atau pencegahan pembusukan kulit pada industri yang menggunakan kulit.

Pada penelitian L.M. Ocampo,(2003) formula tannic acid dimanfaatkan sebagai koverter karat yang diaplikasikan dengan cara melapisi (*coating*) pada sampel yang berkarat,yang telah diuji menggunakan metode immerse dan terbukti oleh analisis *spectroscopic*,menghasilkan sampel yang terkorosi mengandung *iron phosphates dan tannates*.

2.12 Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian ini mengacu pada beberapa referensi penelitian terdahulu,yang ditampilkan dalam bentuk Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Penelitian-Penelitian Terdahulu

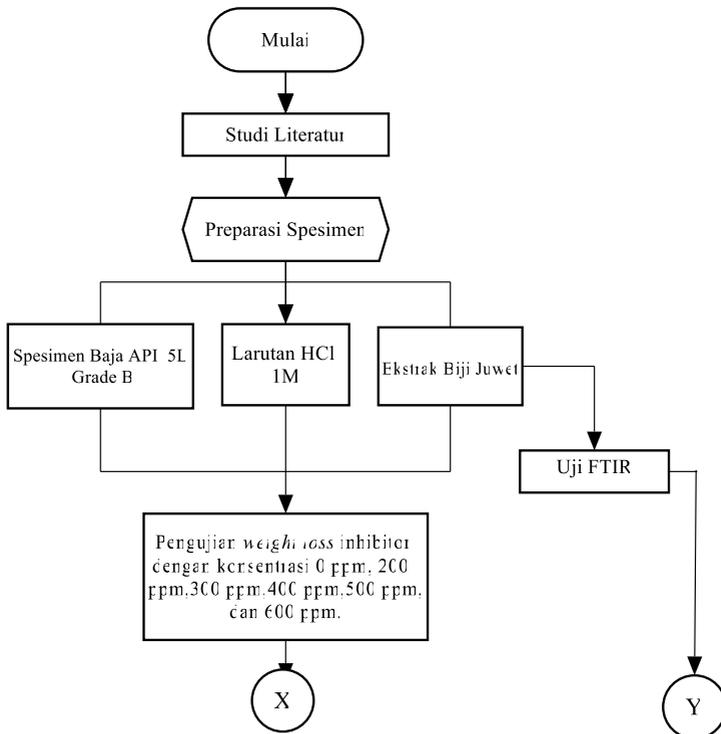
Peneliti	Judul	Uraian
Lia Marliani,dkk	Aktivitas Antioksidan dan Kandungan Senyawa Fenolat Biji Jamblang (<i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels)	Jurnal ini membahas tentang penelitian yang bertujuan untuk mengetahui aktivitas antioksidan dan kandungan senyawa fenolat dari Biji Jamblang. Diperoleh hasil bahwa senyawa fenolat diduga senyawa aktif antioksidan,dengan kadar fenol ekstrak biji adalah $119,251 \pm 2,494$ mg/gr
Ambrish Singh,2013	<i>The extract of</i>	Jurnal ini membahas aplikasi inhibitor ekstrak

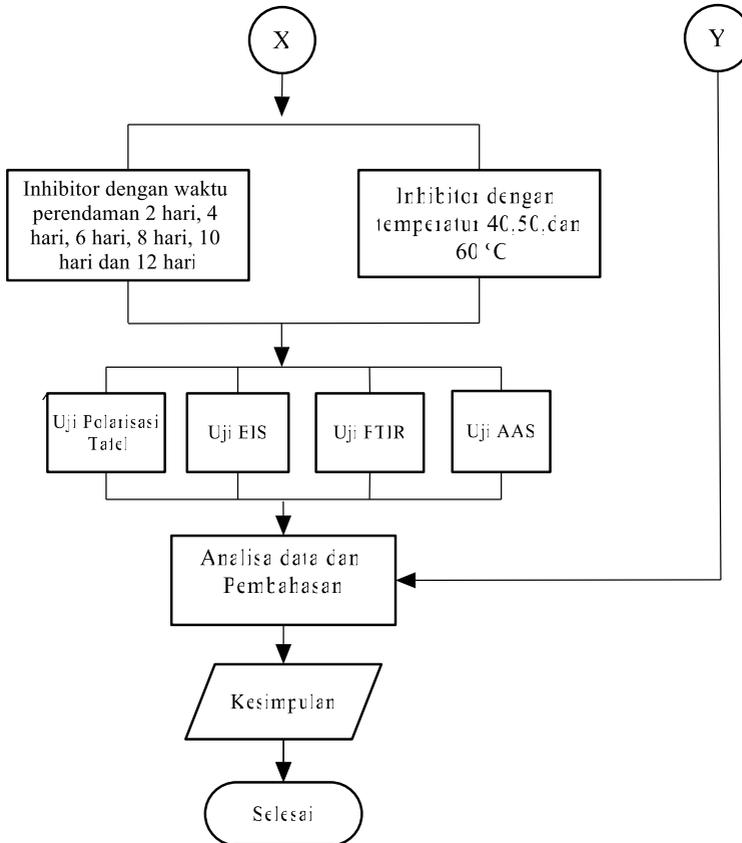
	<i>Jamun (Syzygium cumini) seed as a green corrosion inhibitor for acid media</i>	biji Jamun dalam media asam dalam berbagai variasi konsentrasi inhibitor, <i>immerse time</i> , temperatur, dan konsentrasi asam
C.Mary Anbarasi, et al (2016)	<i>A Green Approach to Corrosion Inhibition of Aluminium in Acid Medium Using Azwain Seed Extract</i>	Jurnal ini membahas tentang perilaku Green inhibitor dari ekstrak Biji Azwain yang digunakan dalam pengendalian korosi pada Aluminium dalam media larutan 0.5 M HCl. Dari uji weight loss didapatkan efisiensi 90%
K.P. Vinod Kumar, et al (2008)	<i>Inhibition of mild steel corrosion in hydrochloric acid by the seed husk extract of Jatropha curcas</i>	Jurnal ini membahas Ekstrak kulit biji jarak (<i>Jatropha curcas</i>) sebagai inhibitor organik dalam pengendalian korosi baja ringan dalam media 5% HCl. efisiensi inhibisi (IE) tertinggi pada konsentrasi 10% dan temperatur 303K
Hossein H, et al (2017)	<i>Sunflower seed hull extract as a novel green corrosion inhibitor for mild steel in HCl</i>	Jurnal ini membahas penghambatan korosi baja ringan dalam larutan 1M HCl oleh ekstrak biji bunga

	<i>solution</i>	matahari, dengan efisiensi inhibisi (IE) mencapai 98,5% pada konsentrasi 400 ppm
Nwosu O.F. et,al (2014)	<i>Acidic Corrosion Inhibition of Piper guineense Seed Extract on Al Alloy</i>	Ekstrak Biji lada digunakan sebagai inhibitor organik dalam pengendalian korosi pada paduan Aluminium dalam media 1.0 M HCl, yang memiliki efisiensi inhibisi (IE) sebesar 95.34%.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Prosedur Penelitian

Dalam melakukan penelitian, harus memiliki tahapan prosedur yang harus diikuti, langkah langkah yang harus dilakukan oleh peneliti secara terstruktur dan runtut, adapun prosedur yang harus dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur merupakan tahapan awal yang harus dilakukan oleh setiap peneliti sebagai dasar acuan yang sudah ada, seperti mempelajari secara singkat dari penelitian yang sudah ada dan mencari sumber yang dapat kita jadikan sebagai pedoman dalam penelitian atau acuan itu sendiri. Tujuan paling mendasar adalah untuk meyakinkan pembaca bahwa penelitian . adapun manfaat yang dapat diperoleh dari studi literatur adalah mengevaluasi penelitian terkait sebelumnya dan untuk pengembangan dengan penelitian kita.

2. Experimental

Pada penelitian ini material yang digunakan adalah Baja API 5L Grade B, pemilihan dari material ini diaplikasikan pada lingkungan korosif yang mana biasanya pipa ini digunakan sebagai pipa penyalur minyak dan gas. Material ini merupakan baja karbon rendah yang rentan terkorosi. Pada dasarnya, baja ini merupakan baja karbon rendah yang rentan terkorosi namun masih banyak digunakan karena harganya yang murah dan memiliki properties yang baik. Oleh karena itu, diperlukan material untuk penelitian pengaruh laju korosi terhadap penambahan konsentrasi dan waktu perendaman oleh karena itu diperlukan material untuk penelitian pengaruh laju korosi terhadap penambahan temperature dilingkungan tertentu.

Selain pemilihan material hal yang lain adalah memilih bahan inhibitor yaitu Biji Juwet (*Syzigium cumini* (L.) Skeels) tumbuhan ini dipilih karena disinyalir memiliki kandungan senyawa flavonoid ataupun antioksidan dan beberapa kandungan lain yang diindikasikan dapat menghambat proses korosi terhadap pipa dalam lingkungan korosif.

Pemilihan elektrolit HCl 1M karena alasan pipa yang digunakan adalah pipa untuk mengalirkan minyak dan gas, yang bersifat Asam. HCl 1M dipilih untuk mewakili sifat asam tinggi pada pipa minyak dan gas di lapangan yang akan disimulasikan pada skala laboratorium.

Pengujian seperti Weightloss, Potensiodinamik, EIS, FTIR, dan AAS dilakukan untuk mendapatkan data pendukung penelitian.

3.3 Peralatan Penelitian

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Evaporator
2. Jeriken 25L
3. Gelas Beker 1000ml
4. Gelas Ukur 100ml
5. Pipet
6. Kertas saring
7. Blender
8. Timbangan digital
9. Penyaring
10. Kertas amplas
11. Isolasi hitam
12. Peralatan uji *Weight Loss*
13. Peralatan uji Polarisasi
14. Peralatan uji EIS
15. Peralatan uji FTIR
16. Peralatan uji AAS

3.4 Bahan Penelitian

1. Material

Adapun material yang digunakan pada penelitian ini adalah baja karbon API 5L Grade B. Untuk ukuran dalam pengujian *Weight Loss* 20x20x4 mm, sedangkan untuk pengujian EIS dan polarisasi dengan baja yang sama berukuran 10x10x4 mm. untuk komposisi baja API 5L Grade B terdapat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Komposisi Kimia Baja API 5L Grade B(Linzhou Fengbao Pipe Industry CO., LTD.)

Unsur	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Al
%	0.23	0.23	0.47	0.013	0.01	0.033	0.18	0.03	0.01	0.001

2. Inhibitor

Inhibitor yang digunakan dalam penelitian ini adalah inhibitor organik yakni ekstrak biji juwet. Inhibitor tersebut divariasikan dengan tanpa inhibitor serta dengan penambahan konsentrasi inhibitor sebesar 200 ppm, 300 ppm, 400 ppm, 500 ppm dan 600 ppm. Yang divariasikan dengan waktu perendaman dalam jangka 2 hari, 4 hari, 6 hari, 8 hari, 10 hari dan 12 hari, dan dalam temperatur 40,50, dan 60 °C.

3. Elektrolit

Larutan elektrolit yang digunakan untuk media korosi pada penelitian ini adalah HCl 37% dengan konsentrasi 1M.

4. Air sabun

5. Aquades

3.5 Preparasi dan Ekstrak Biji Juwet

Biji Juwet (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) mengalami beberapa perlakuan yaitu:

Biji Juwet diproses menjadi serbuk:

- Metode yang dilakukan adalah dengan pemilihan biji juwet yang baik, pencucian biji juwet, pengeringan, pengelupasan biji dan teknik memotong biji juwet.
- Mengelupas biji juwet dilakukan dengan menggunakan pisau karena kulit biji juwet keras dan susah dikelupas.

- Biji juwet dihaluskan menjadi ukuran yang lebih kecil menggunakan blender, hingga terbentuk menjadi serbuk halus yang lolos dengan ukuran 18 mesh, seperti yang terlihat pada Gambar 3.2. Dengan tujuan meningkatkan luas permukaan sehingga mempercepat reaksi senyawa dalam biji keluar (terekstrak) dan bercampur dengan pelarut.



Gambar 3.2 Serbuk Halus Biji Juwet

Untuk mengekstraksi Biji Juwet sebagai inhibitor alami :

- Menyiapkan alat dan bahan yaitu kertas saring, gelas ukur 1000 ml, jerigen 25L, *rotary evaporator*, corong, blender, spatula, ± 1000 gram serbuk Biji Juwet dan larutan methanol
- Melakukan maserasi yaitu perendaman serbuk Biji Juwet dengan pelarut 12.629L methanol dalam jiriken 25L (3x24 jam) dan mengaduk beberapa kali agar serbuk homogen

- Menyaring hasil maserasi dengan kertas saring sehingga dihasilkan ekstrak air dan ampas
- Mengevaporasi ekstrak air hasil maserasi menggunakan *rotary evaporator*
- Hasil dari *rotary evaporator* dijadikan sebagai inhibitor *green corrosion*

3.6 Preparasi Spesimen

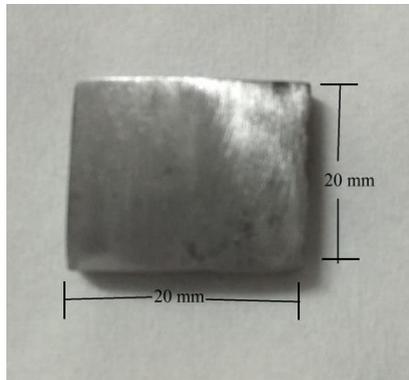
Dalam penelitian ini menggunakan baja API 5L Grade B, ukuran spesimen untuk pengujian weightloss kurang lebih adalah 20x20x4 mm, seperti yang terlihat pada Gambar 3.3 yang memiliki dimensi yang sama untuk semua pengujian yang dilakukan seperti Uji Polarisasi, Uji EIS, Uji FTIR, dan Uji AAS.

Untuk Spesimen Uji weightloss:

1. Memotong baja API 5L Grade B dengan ukuran 20x20x4mm sebanyak 18 buah.
2. Mengamplas/menggrinding pada permukaan spesimen untuk membersihkan kotoran seperti produk korosi dan coating ataupun impuritas dengan kertas ampalas dari grade 80 sampai grade 1200.

Untuk Spesimen uji EIS dan polarisasi

1. Memotong baja API 5L Grade B dengan ukuran 20x20x4mm sebanyak 18 buah.
2. Membungkus spesimen dengan isolasi hitam/resin untuk menutupi permukaan sehingga ukuran menjadi 10x10x4mm.
3. Mengamplas/menggrinding pada permukaan spesimen kertas ampalas dari grade 80 sampai grade 1200.



Gambar 3.3 Dimensi Spesimen Baja API 5L Grade B

3.7 Preparasi Larutan Elektrolit

Pada penelitian ini untuk larutan elektrolit menggunakan larutan asam HCL 37% dengan konsentrasi 1M. Proses pembuatan larutan terdiri yaitu:

1. Mengukur HCl 37% sebanyak 83 ml pada gelas ukur.
2. Mengukur Aquades sebanyak 917 ml pada gelas ukur.
3. Menuangkan terlebih dahulu sedikit aquades kedalam tabung uji *weightloss*
4. Menuangkan HCl kedalam tabung uji *Weightloss*.
5. Menuangkan sisa aquades kedalam tabung uji dan mengaduknya agar homogen.

3.8 Pengujian

Pada penelitian ini, dilakukan beberapa jenis pengujian untuk memberikan data yang diperlukan.

3.8.1 Pengujian FTIR

Pengujian FTIR digunakan untuk mengetahui gugus-gugus fungsi yang terdapat pada inhibitor ekstrak Biji Juwet dan baja API 5L *Grade B* yang telah dilakukan perendaman dengan uji *weight loss*. Pengujian ini dilakukan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS dengan menggunakan alat *Thermo*

Scientific Nicolet IS10, seperti yang terlihat pada Gambar 3.4. Metode spektroskopi yang digunakan dalam pengujian FTIR adalah metoda absorpsi yaitu suatu metoda yang didasarkan atas perbedaan penyerapan radiasi inframerah. Spektrum inframerah tersebut dihasilkan dari transmisi cahaya yang melewati sample, 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. Dengan melakukan pengujian FTIR akan dihasilkan kurva peak atau gelombang dengan intensitas yang berbeda-beda dari perbedaan peak tersebut maka dapat ditentukan gugus fungsinya sehingga diketahui kandungan (tipe senyawa) yang terkandung dalam masing-masing sampel.



Gambar 3.4 Alat Pengujian FTIR

3.8.2 Pengujian *Weightloss*

Pengujian *weightloss* adalah metode pengujian besar laju korosi (mmpy) pada suatu material dengan cara menghitung selisih dari berat awal dan berat akhir dari material tersebut. Adapun proses pengujian *weightloss* berdasarkan standard ASTM G-31 "*Laboratory Corrosion Testing of Metals*":

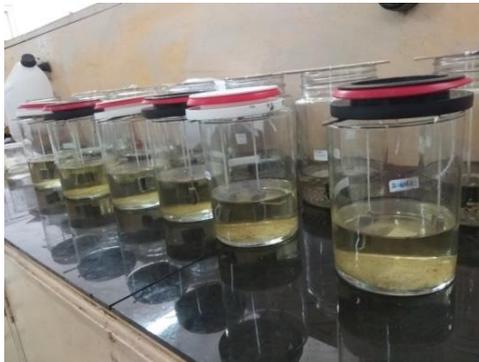
1. Menimbang berat awal masing-masing spesimen uji.
2. Melilitkan spesimen dengan benang nylon.
3. Menggantungkan spesimen uji pada stik es.
4. Merendam spesimen dalam toples kaca yang berisi larutan elektrolit dan sampel inhibitor Biji Juwet dengan konsentrasi 200,300,400,500,600 (mg/l).
5. Mengambil spesimen setelah 3 jam.
6. Mencuci pada air sabun kurang lebih selama 3 menit dan mengerikannya lalu menimbang berat akhir dari spesimen.

Pengujian weightloss terdapat pada Gambar 3.5 , 3.6 , dan

3.7.



Gambar 3.5 Pengujian *Weight Loss* dengan Variasi Konsentrasi



Gambar 3.6 Pengujian *Weight Loss* dengan Variabel Konsentrasi Variasi Waktu Perendaman



Gambar 3.7 Pengujian *Weight Loss* dengan Variabel Konsentrasi dan Variasi Temperatur

3.8.3 Pengujian Polarisasi Tafel

Pengujian polarisasi tafel dilakukan di Laboratorium Korosi dan Kegagalan Material Jurusan Teknik Materil dan Metalurgi FTI ITS Surabaya.

Pengujian ini dengan menggunakan alat uji CorrTest dengan software CS Studio5, seperti pada Gambar 3.8. Yang terdiri dari elektroda acuan, elektroda kerja, dan elektroda bantu yang bertujuan untuk mengetahui laju korosi material pada larutan HCl 1M dengan ekstrak Biji Juwet konsentrasi inhibitor 0,200,300,400,500,600 (mg/l). Sehingga didapatkan kurva

polarisasi potensial material yang digunakan dengan acuan standard ASTM G-5 (*Standard Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurement*).

Fungsi dari masing-masing elektroda adalah sebagai berikut :

1. Elektroda Kerja

Elektroda yang berupa specimen baja API 5L Grade B yang telah dibentuk dengan cara dipotong menjadid dimensi yang telah ditentukan dan telah diukur serta diberi tanda pada luas permukaan yang tercelup.

2. Elektroda Bantu

Elektroda yang dipakai berupa lembaran platina dengan ukuran kurang lebih 2cm x 3cm. Fungsi dari elektroda ini adalah untk menghantarkan arus ke elektroda kerja

3. Elektroda Acuan

Elektroda acuan digunakan sebagai titik acuan dan juga sebagai pembanding dalam pengukuran potensial elektroda kerja. Pada pengujian ini elektroda acuan yang digunakan adalah acuan Ag/AgCl

Prosedur pengujian polarisasi adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan alat dan bahan yaitu specimen, campuran larutan 1M HCl dan ekstrak Biji Juwet pada konsentrasi 0, 200, 300, 400, 500, 600 (mg/l) dan juga *heater* untuk mengatur temperatur (35, 50 dan 65 °C) 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 3.8 Alat Pengujian Polarisasi Tafel

3.8.4 Pengujian EIS

Pengujian polarisasi tafel dilakukan di Laboratorium Korosi dan Kegagalan Material Jurusan Teknik Materil dan Metalurgi FTI ITS Surabaya. Pengujian EIS dilakukan untuk mengetahui 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 amplitude 10mV dengan real nilai part (Z') maupun imaginary part (Z'') diukur pada berbagai frekuensi dalam range 10000 Hz sampai 0.1 Hz. Nilai ketahanan transfer muatan (R_{ct}) diperoleh dari diameter semicircles dari *Nyquist* plot. Prosedur pengujian EIS adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan alat dan bahan yaitu spesimen, campuran larutan 1M HCl dan ekstrak Biji Juwet dengan konsentrasi 0,200,300,400,500,dan 600 (mg/l) gelas ukur 1000ml, heater untuk mengatur temperature (35, 50 dan 65 °C) 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.

Alat yang digunakan untuk pengujian EIS,terdapat pada Gambar 3.9.



Gambar 3. 9 Pengujian EIS

3.8.5 Pengujian AAS

Pemeriksaan kadar Fe dilakukan dengan menggunakan metode AAS (*Atomic Absorption Spectrofotometer*) atau Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Alat ini memiliki kemampuan mendeteksi kandungan logam total dalam senyawa pada kisaran konsentrasi rendah (ppm sampai ppb) suatu larutan,alat Pengujian ini seperti pada Gambar 3.10. Adapun prinsip kerja pada pengujian AAS adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan larutan standar yakni larutan hasil proses immerse tanpa inhibitor dan dengan inhibitor
2. Menyaring kedua larutan menggunakan kertas saring kemudian memasukkan masing-masing larutan ke dalam labu takar 50 mL dan diencerkan dengan aquades hingga tanda batas, dihomogenkan.
3. Menuangkan masing-masing larutan ke dalam masing – masing cuvet hingga tanda terra.

4. Meletakkan semua sampel dalam cuvet ke alat yang bernama ASC.
5. Menyalakan komputer dan instrumen AAS.
6. Mengklik (Connect) pada kotak dialog yang muncul dan tunggu hingga instalasi selesai yang ditandai dengan semua item berwarna hijau kemudian tekan (Ok).
7. Memilih (Next) pada kotak dialog yang muncul, kemudian muncul kotak kosong dan isi dengan elemen yang akan dianalisis. Dipilih (Next) dan program akan berjalan.



Gambar 3.10 Alat Pengujian AAS

3.9 Rancangan Pengambilan Data

Untuk memudahkan dalam mengolah dan menganalisa data yang didapat, berikut ini adalah rancangan pengambilan data yang telah dilakukan:

Tabel 3.2 Data Pengujian Inhibitor Ekstrak Biji Juwet Variable
Variasi Konsentrasi

Sampel	Konsetrasi Ekstrak (ppm)	Weight loss (mmpy)	FTIR	Polari sasi Tafel	EIS	AAS
Ekstrak Biji Juwet			✓			
Baja API 5L Grade B	0	✓		✓	✓	✓
	200	✓		✓	✓	
	300	✓		✓	✓	
	400	✓		✓	✓	
	500	✓	✓	✓	✓	✓
	600	✓		✓	✓	

Tabel 3.3 Data Pengujian Inhibitor Ekstrak Biji Juwet Variable
Konsentrasi dan Temperatur

Sampel	Waktu (Jam)	Konsentrasi Ekstrak (ppm)	Temperatur (°C)	Weight loss (mmpy)
Baja API 5L Grade B	3	500	40	✓
			50	✓
			60	✓

Tabel 3.4 Data Pengujian Inhibitor Ekstrak Biji Juwet Variable Konsentrasi dan Waktu Perendaman

Sampel	Temperatur (°C)	Konsentrasi Ekstrak (ppm)	Waktu Perendaman (hari)	Weight loss (mmpy)
Baja API 5L Grade B	25	500	2	✓
			4	✓
			6	✓
			8	✓
			10	✓
			12	✓

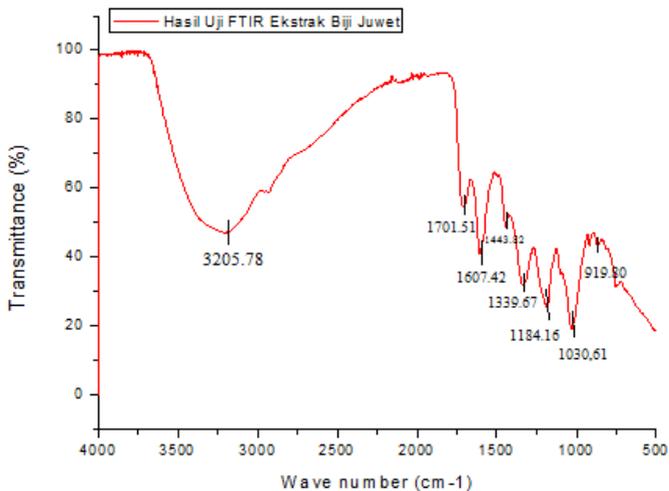
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data dan Pembahasan

4.1.1 Pengujian FTIR

Setelah pengujian didapatkan kurva FTIR dan dibandingkan antara ekstrak biji juwet dan Baja API 5L yang telah di-*immerse* dengan inhibitor untuk mengetahui gugus fungsi senyawa yang berperan dalam penghambatan laju korosi dengan beracuan pada “*A Handbook of Spectroscopic Data Chemistry*” oleh B.D. Mistry (2009). Berikut adalah gambar kurva FTIR 4.1 dan 4.2 berturut-turut yaitu FTIR ekstrak Biji Juwet dan kurva FTIR adsorpsi molekul inhibitor Biji Juwet pada baja setelah *immerse*.



Gambar 4.1 FTIR Ekstrak Biji Juwet

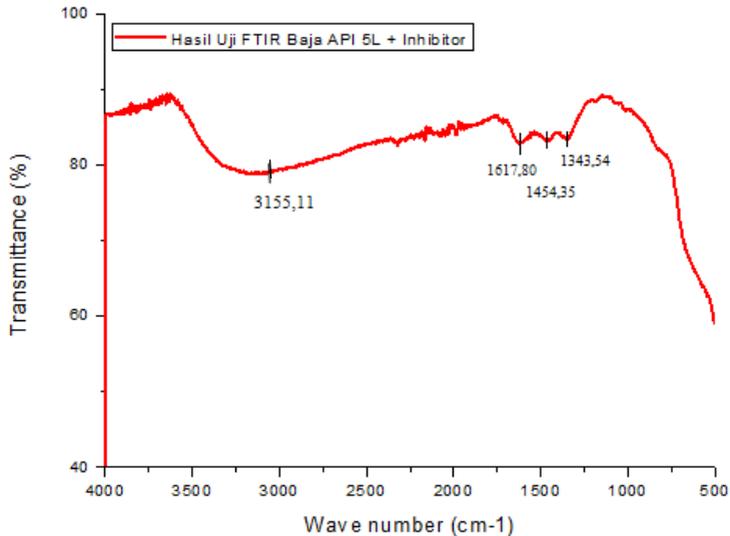
Pada gambar FTIR terdapat gugus fungsi dari komponen ekstrak yang diindikasikan dapat menjadi inhibitor korosi. Pada Gambar kurva FTIR ekstrak biji Juwet 4.1 terdapat beberapa

gugus fungsi seperti N-H str ,NH₂ dan O-H stretching pada daerah 3205.78(cm⁻¹) yang mengindikasikan adanya grup polifenolik OH. Terindikasi adanya grup karboksil C=O pada daerah 1701.51(cm⁻¹),terdapat gugus aromatik C=C str ,C=N str,N-H def ,N=N pada daerah 1607.42 (cm⁻¹). Terdapat pula gugus amides N-H def dan N=O str pada daerah 1443.82 (cm⁻¹), beberapa gugus fungsi Nitro aromatik C-NO₂ str dan S=O str pada daerah 1339.67 (cm⁻¹);gugus S=O str,P-O str dan C-O str pada daerah 1184.16 (cm⁻¹); gugus alkohol C-OH str dan vibrasi C-N str alifatik amines atau alkohol atau fenol, dan P=O str,dimana yang mempresentasikan adanya polifenol pada daerah 1030,61 (cm⁻¹) ;dan C-H def pada daerah 919.80 (cm⁻¹). Dari gambar FTIR diatas tersaji dalam Tabel 4.1

Tabel 4.1 Gugus Fungsi FTIR Inhibitor Ekstrak Biji Juwet

Inhibitor	Wave Number (cm ⁻¹)	Functions Group
Ekstrak biji juwet	3205.78	N-H str ,NH ₂ dan O-H str
	1701.51	C=O
	1607.42	C=C str ,C=N str,N-H def ,N=N
	1443.82	N-H def dan N=O str
	1339.67	C-NO ₂ str dan S=O str
	1184.16	S=O str,P-O str dan C-O str
	1030,61	P=O str ,C-OH str, dan C-N str
	919.80	C-H def

Berikut adalah kurva FTIR baja API 5 L *Grade B* setelah direndam pada larutan HCl 1 M dengan penambahan inhibitor ekstrak biji juwet 0,5 gr/L.



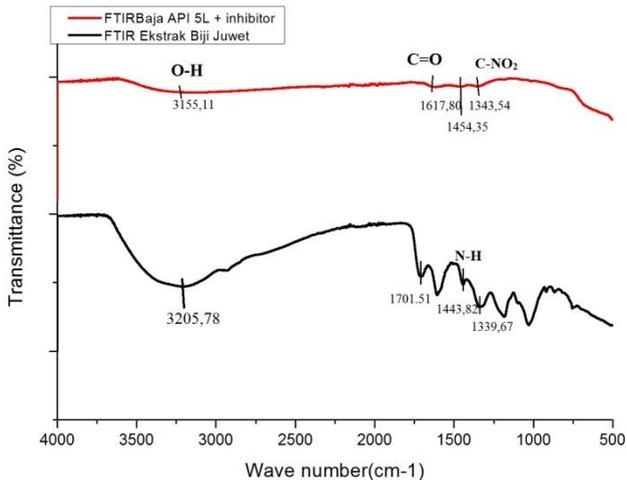
Gambar 4.2 Kurva FTIR Adsorpsi Molekul Inhibitor Ekstrak Biji Juwet pada Baja Setelah Immerse

Berikut ini adalah hasil plottingan frekuensi *peak* yang didapat dengan daerah *range* nya, terdapat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Gugus Fungsi FTIR Baja API 5 L *Grade B* setelah
Immerse

Sampel	Wave Number (cm^{-1})	Functions Group
Baja API 5L Grade B setelah immerse	3155,11	N-H str dan O-H str
	1617,80	N=O str,C=O str,C=C str ,dan C=N str
	1454,35	C-H def,N=O str dan N-H def
	1343,54	S=O str,C-N vib dan C-NO ₂ str.

Pada Gambar 4.2 grafik FTIR baja setelah immersion pada inhibitor dengan konsentrasi 0,5 gr/L terlihat beberapa gugus fungsi yang terbentuk pada permukaan metal akibat dari adsorpsi molekul inhibitor pada permukaan metal seperti terbentuknya gugus grup polifenolik N-H str dan O-H str pada daerah $3155,11 \text{ cm}^{-1}$. Terdapat gugus grup karboksil N=O str,C=O str,C=C str ,dan C=N str,pada daerah $1617,80 \text{ cm}^{-1}$. Gugus amides C-H def,N=O str dan N-H def pada $1454,35 \text{ cm}^{-1}$. Dan gugus Nitro aromatik S=O str,C-N vib dan C-NO₂ str pada daerah $1343,54 \text{ cm}^{-1}$.



Gambar 4.3 Gabungan Spektrum FTIR Inhibitor Ekstrak Biji Juwet dan Baja API 5L *Grade B* setelah Immerse

Pada Gambar 4.3 grafik FTIR baja setelah immerse pada konsentrasil 0,5 gr/L dan grafik FTIR ekstrak Biji Juwet, terlihat memiliki gugus fungsi yang terbentuk pada permukaan baja akibat dari absorpsi inhibitor pada permukaan baja, seperti terbentuknya gugus fungsi O-H, C=O, dan N-H, pada daerah 3155.11 cm^{-1} , 1617.80 cm^{-1} , dan 1454.35 cm^{-1} .

Dari hasil uji FTIR pada inhibitor ekstrak biji juwet pada tabel 4.1, memperlihatkan terdapat beberapa gugus seperti N, O, P, S yang terkandung dalam ekstrak. Gugus-gugus tersebut mengindikasikan, bahwa ekstrak biji juwet berperan sebagai inhibitor korosi. Umumnya inhibitor korosi bahan alam tersusun atas P, N, S, O. Atom-atom tersebut akan berkoordinasi dengan ion logam untuk membentuk lapisan pelindung (*protective films*), yang terbentuk pada permukaan logam untuk menghambat proses korosi. (Sangeetha, 2011). Dalam penelitian Rohadi, dkk menunjukkan terdapat kandungan senyawa polifenolik dari

ekstrak biji juwet yang diekspresikan dengan tiga cara, yaitu ekuivalensi asam galat (*gallic acid* Equivalen-GAE) untuk fenolik total dengan nilai sebesar $45,99 \pm 0,25\%$ g GAE/100g EBD.

Pada Tabel 4.2 menyatakan bahwa penambahan inhibitor ekstrak juwet dalam larutan HCl 1M pada Baja API 5L membentuk senyawa tertentu, seperti Amides (*primary*), aromatic sec.amines, dan phenols. Senyawa fenolik O-H ini, senyawa utama yang berperan dalam inhibitor korosi. Senyawa heterosiklik, seperti fenolik dapat memberikan penghambatan (inhibisi) yang sangat baik (Khaled, 2003). Seperti yang ditunjukkan pada penelitian Rohadi, dkk bahwa ekstrak Biji Juwet memiliki kandungan senyawa polifenolik, khususnya Asam Galat (*gallic acid*), senyawa flavonoid khususnya quersetin, dan senyawa tanin (*tannic acid*). Gugus fungsi senyawa tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.20.

Dalam uji FTIR pada baja yang telah di immerse dalam larutan elektrolit yang mengandung inhibitor mengindikasikan bahwa inhibitor telah terabsorpsi pada permukaan baja, yang kemudian membentuk lapisan barrier sehingga dapat menurunkan laju korosi.

4.1.2 Hasil Pengujian *Weightloss*

Pengujian *Weightloss* dilakukan untuk mengetahui laju korosi pada baja API 5L Grade B pada larutan asam HCl 1 M yang berdasarkan pada pengurangan berat. Setelah dilakukan proses perendaman atau immersion didapatkan laju korosi berdasarkan formula (2.17). Proses pengujian *Weightloss* dilakukan sebanyak tiga kali pada tiap variable, formula (2.13) digunakan untuk mencari efisiensi dari inhibitor.

4.1.2a Uji Weight Loss Variasi Konsentrasi

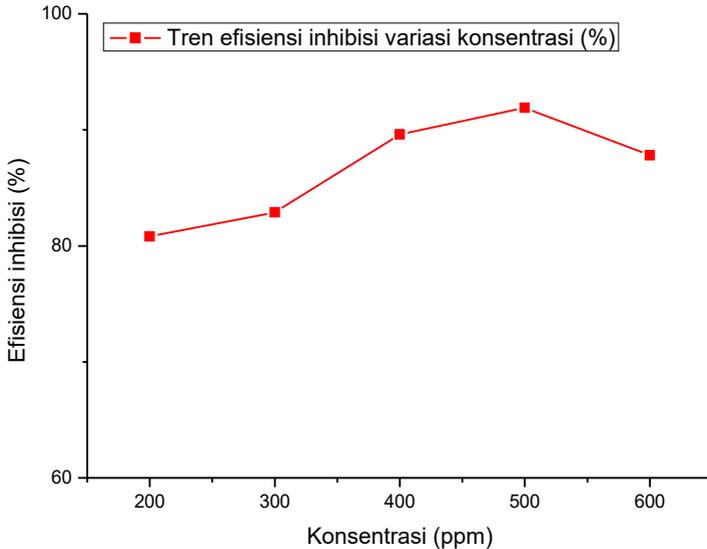
Setelah proses pengujian dilakukan, terjadi pengurangan berat pada sampel dengan inhibitor. Pada pengujian *weightloss* dilakukan dengan cara menambahkan inhibitor ekstrak biji juwet masing-masing sebanyak 0,200,300,400,500, dan 600 ppm, dengan waktu perendaman selama 3 jam. Maka diperoleh grafik

laju korosi dan efisiensi inhibisi hasil dari pengujian weightloss dari inhibitor ekstrak juwet (*Syzygium cumini*).

Tabel 4.3 Laju Korosi dan Efisiensi Inhibisi Masing-masing Inhibitor

Konsentrasi Inhibitor (ppm)	Laju Korosi (mmpy)	Efisiensi Inhibisi (%)
0	1,9507	-
200	0,3744	80,8
300	0,3318	82,9
400	0,2020	89,6
500	0,1580	91,9
600	0,2370	87,8

Pada Tabel 4.3 diatas menunjukkan nilai laju korosi dan efisiensi inhibisi dari inhibitor biji juwet, terlihat bahwa penambahan inhibitor dapat menurunkan laju korosi dan meningkatkan efisiensi inhibisi. Saat dalam kondisi blank (tanpa inhibitor),laju korosi sebesar 1,95 mmpy. Pada penambahan 0,2 gr/L terjadi penurunan laju korosi,menjadi 0,37 mmpy,sehingga terjadi kenaikan efisiensi inhibisi sebesar 80,8% dibandingkan dengan tanpa inhibitor. Penambahan 0,3 gr/L mengalami penurunan laju korosi menjadi 0,33 mmpy,dan terjadi kenaikan efisiensi inhibisi sebesar 82,9%. Penambahan selanjutnya 0,4 gr/L ,laju korosi mengalamipenurunan menjadi 0,20 mmpy sehingga terjadi kenaikan efisiensi sebesar 89,9 %. Dan efisiensi inhibisi tertinggi sebesar 91,9 %,terjadi setelah penambahan 0,5 gr/L dengan laju korosi yang paling rendah,yaitu sebesar 0,16 mmpy. Selanjutnya setelah penambahan 0,6 gr/L mengalami kenaikan laju korosi menjadi 0,23 mmpy ,sehingga terjadi penurunan efisiensi inhibisi ,menjadi 87,8%. Tren efisiensi inhibisi variasi konsentrasi ditunjukkan pada Gambar 4.4. Konsentrasi dengan efisiensi inhibisi tertinggi akan digunakan untuk pengujian selanjutnya.



Gambar 4.4 Efisiensi Inhibitor Biji Juwet Uji *Weight Loss*

Berdasarkan pengujian weightloss pertama dengan variasi konsentrasi, dengan adanya penambahan inhibitor pada media terjadi penurunan laju korosi. Penurunan ini dikarenakan adanya senyawa fenolik yang ada dalam ekstrak dapat membentuk senyawa kompleks organometallic (Fe-Inh) dengan permukaan logam (baja), sehingga menghalangi beberapa unsur seperti hydrogen (H^+) dan chloride (Cl^-) untuk teradsorpsi kepermukaan metal. Didapatkan efisiensi tertinggi pada konsentrasi 0,5 gr/L sebesar 91,9%. Pada konsentrasi 0,5 gr/L tersebut menunjukkan efisiensi yang paling optimum, dimana pada konsentrasi ini senyawa kompleks yang terbentuk telah sempurna (banyak), sehingga lapisan kompleks yang melindungi logam dari proses oksidasi yang terbentuk juga meningkat. Setelah mencapai penambahan inhibitor dengan konsentrasi 600 ppm, terjadi kenaikan laju korosi dan penurunan efisiensi inhibisi. Penurunan efisiensi tersebut terjadi karena pada konsentrasi

optimum, inhibitor mengalami kejenuhan sehingga pada konsentrasi tersebut tidak lagi meningkatkan efisiensi dari inhibitor. Pada konsentrasi ini selanjutnya digunakan sebagai acuan pengujian selanjutnya. Dengan asumsi konsentrasi optimum memberikan dampak yang paling besar untuk proses penghambatan laju korosi. Hal tersebut menandakan bahwa Inhibitor ekstrak biji juwet telah terabsorpsi pada permukaan baja, membentuk lapisan barrier. Seiring dengan adanya penambahan konsentrasi inhibitor, terdapat peningkatan adsorpsi jumlah dan wilayah dari inhibitor pada permukaan logam (Farida, 2014).

4.1.2b Uji *Weight Loss* Variasi Waktu Perendaman dan Konsentrasi

Pengujian weightloss selanjutnya adalah pada variabel waktu perendaman, dimana konsentrasi yang digunakan adalah yang memiliki efisiensi inhibisi tertinggi, yaitu 0,5 gr/L. Pengujian dilakukan perendaman pada larutan HCl 1M dengan inhibitor 0,5 gr/L, dengan variasi waktu perendaman 2 hari, 4 hari, 6 hari, 8 hari, 10 hari, dan 12 hari. Maka diperoleh grafik laju korosi dan efisiensi inhibisi hasil dari pengujian weightloss dari inhibitor ekstrak juwet (*Syzygium cumini*)

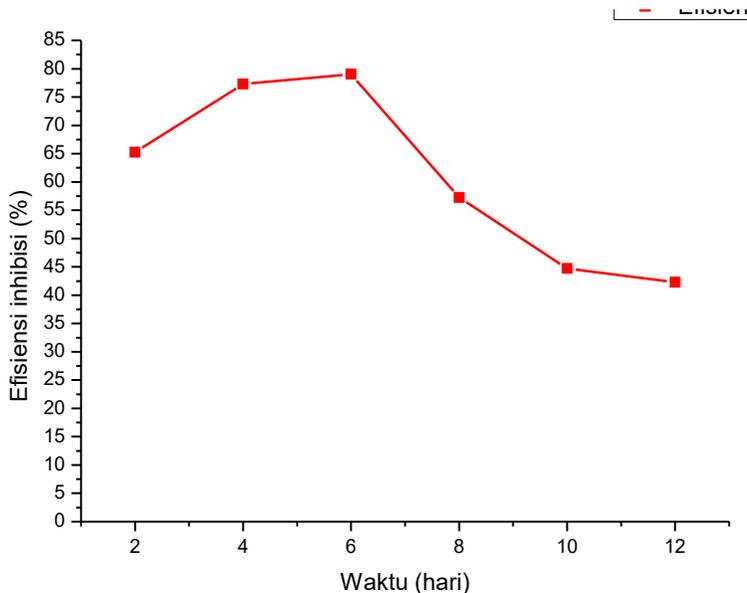
Tabel 4.3 Laju Korosi dan Efisiensi Inhibisi Masing-masing Waktu Perendaman

Waktu perendaman (Hari)	Laju Korosi (mmpy)		Efisiensi Inhibisi (%)
	0 ppm	500 ppm	
2	0,847	0,294	65,23
4	0,627	0,143	77,28
6	0,652	0,137	79,01
8	0,580	0,248	57,24
10	0,559	0,309	44,69
12	0,536	0,310	42,27

Pada Tabel 4.3 diatas menunjukkan nilai laju korosi dan efisiensi inhibisi pada masing-masing waktu perendaman dalam larutan HCl 1M dengan penambahan inhibitor 0,5 gr/L, terlihat pada laju korosi turun setelah ditambahkan inhibitor. Setelah perendaman selama 2 hari, terjadi penurunan laju korosi saat 0 ppm nilai laju korosi sebesar 0,847 mmpy, dan saat 500 ppm nilai laju korosi sebesar 0,294 mmpy. Sedangkan nilai efisiensi inhibisi nya sebesar 65,23%. Sedangkan waktu perendaman selama 4 hari, terjadi penurunan laju korosi saat 0 ppm nilai laju korosi sebesar 0,627 mmpy, dan saat 500 ppm nilai laju korosi sebesar 0,143 mmpy. Dan nilai efisiensi inhibisi nya sebesar 77,28%. Setelah itu waktu perendaman selama 6 hari, terjadi penurunan laju korosi saat 0 ppm nilai laju korosi sebesar 0,652 mmpy, dan saat 500 ppm nilai laju korosi sebesar 0,137 mmpy, dengan nilai efisiensi inhibisi nya sebesar 79,01%. Berikutnya perendaman selama 8 hari, terjadi penurunan laju korosi saat 0 ppm nilai laju korosi sebesar 0,580 mmpy, dan saat 500 ppm nilai laju korosi sebesar 0,248 mmpy, dan nilai efisiensi inhibisi nya sebesar 57,24%. Dengan perendaman 10 hari, juga terjadi penurunan laju korosi yaitu saat 0 ppm nilai laju korosi sebesar 0,559 mmpy, dan saat 500 ppm nilai laju korosi sebesar 0,309 mmpy, dengan nilai efisiensi inhibisi nya sebesar 44,69%. Dihari terakhir, yaitu 12

hari, terjadi penurunan laju korosi saat 0 ppm nilai laju korosi sebesar 0,536 mmpy, dan saat 500 ppm nilai laju korosi sebesar 0,310 mmpy. Dan untuk nilai efisiensi inhibisi nya sebesar 42,27%.

Tren dari nilai efisiensi inhibisi waktu perendaman, dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Efisiensi Inhibitor Uji *Weight Loss* pada Waktu Perendaman Tertentu

Berdasarkan pada Gambar 4.5, efisiensi inhibisi pada hari ke 2 hingga hari ke-6 mengalami kenaikan, hal tersebut karena semakin lama waktu perendaman, maka semakin banyak senyawa kompleks yang terbentuk antara senyawa fenolik yang terdapat dalam biji juwet dan ion Fe^{3+} semakin banyak, sehingga lapisan pelindung yang terbentuk juga semakin banyak. Selain itu, semakin banyak terbentuk lapisan $Fe(OH)_2$ yang menghalangi difusi H_2O/O_2 ke permukaan sampel sehingga kehilangan beratnya

semakin lama semakin turun. Akan tetapi saat waktu perendaman mencapai hari ke-8 hingga hari ke-12 efisiensi inhibisi mengalami penurunan, hal ini disebabkan karena inhibitor mulai terdegradasi (Rangga, 2011). Dengan semakin lamanya waktu perendaman adsorpsi inhibitor semakin banyak. Hal ini menyebabkan terjadinya penurunan laju korosi hingga pada suatu titik tertentu dimana adsorpsi sudah mencapai titik jenuh, hingga laju korosi cenderung menjadi konstan. Suatu sistem yang terinhibisi ataupun yang tidak terinhibisi akan cenderung menurun dengan adanya bertambahnya waktu, penyebab hal ini bisa dari kontaminasi media yang digunakan (Farida, Ali 2014).

4.1.2c Uji *Weight Loss* Variasi Temperatur dan Konsentrasi

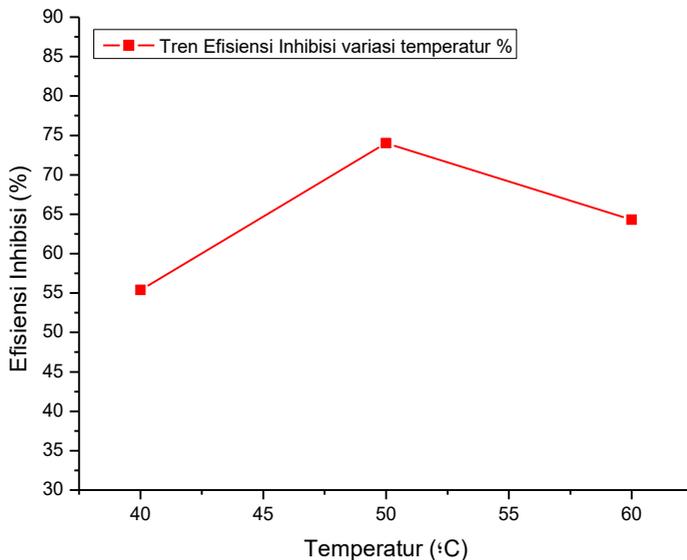
Pengujian *weightloss* selanjutnya adalah pada variabel temperatur, dimana konsentrasi yang digunakan adalah yang memiliki efisiensi inhibisi tertinggi, yaitu 0,5 gr/L. Pengujian ini dilakukan dengan perendaman baja API 5L Grade B dalam larutan HCl 1M dengan inhibitor, selama 3 jam, larutan dipanaskan dengan variasi temperatur 40 °C, 50 °C, dan 60 °C. Maka diperoleh grafik laju korosi dan efisiensi inhibisi hasil dari pengujian *weightloss* dari inhibitor ekstrak juwet (*Syzygium cumini*).

Tabel 4.4 Laju Korosi dan Efisiensi Inhibisi Masing-masing Waktu Perendaman

Temperatur (°C)	Laju Korosi (mmpy)		Efisiensi Inhibisi (%)
	0 ppm	500 ppm	
40	1,30	0,58	55,37
50	1,67	0,43	74,01
60	1,52	0,54	64,3

Pada Tabel 4.4 diatas menunjukkan nilai laju korosi dan efisiensi inhibisi pada masing-masing temperatur dalam larutan HCl 1M dengan waktu perendaman selama 3 jam, terlihat dengan adanya inhibitor laju korosi lebih rendah dibandingkan dengan tanpa inhibitor di temperatur yang sama.

Pada temperatur 40 °C ,nilai laju korosi sebesar 0,58 mmpy Sedangkan laju korosi pada temperatur 50 °C, yaitu sebesar 0,43 mmpy. Pada temperatur 60 °C nilai laju korosi naik menjadi 0,54 mmpy.



Gambar 4.6 Effisiensi Inhibitor Uji *Weight Loss* pada Temperatur Tertentu

Pada Gambar 4.6 menunjukkan efisiensi inhibitor pada waktu perendaman tertentu. Terlihat efisiensi tertinggi terjadi pada temperatur 50 °C, yaitu sebesar 74,01%. Pada temperatur 40 °C, memiliki efisiensi terendah , yaitu sebesar 55,37%. Sedangkan pada temperatur 60 °C, memiliki efisiensi sebesar 64,3%.

Pada pengujian weightloss dengan variasi temperatur,

yaitu 40 °C, 50 °C, dan 60 °C memiliki nilai laju korosi dan efisiensi inhibisi yang berbeda. Efisiensi inhibisi tertinggi terjadi saat temperatur 50 °C, yaitu sebesar 74,01%. Dan pada temperatur 60 °C, efisiensi inhibisi mengalami penurunan. Penurunan efisiensi inhibisi akan terus terjadi seiring dengan meningkatnya temperatur. Hal ini disebabkan karena inhibitor yang telah teradsorpsi sebelumnya mengalami desorpsi dari permukaan logam saat berada pada lingkungan temperatur tinggi. Perilaku tersebut menunjukkan bahwa *additive* teradsorpsi secara fisik pada permukaan logam. (Oguzie, 2007). Menurut Asri, 2010 peningkatan temperatur menyebabkan tingkat energi molekul pada permukaan logam mengalami persaingan antara gaya adsorpsi dengan gaya desorpsi dari logam, yang pada akhirnya interaksi molekul inhibitor dengan permukaan logam pada sisi anoda terlepas sehingga memungkinkan teradsorpsinya ion klorin pada permukaan logam dan hampir tidak terdapat molekul inhibitor yang teradsorpsi pada sisi katoda sehingga kenaikan temperatur menyebabkan reaksi evolusi hidrogen meningkat (Alvan, 2018).

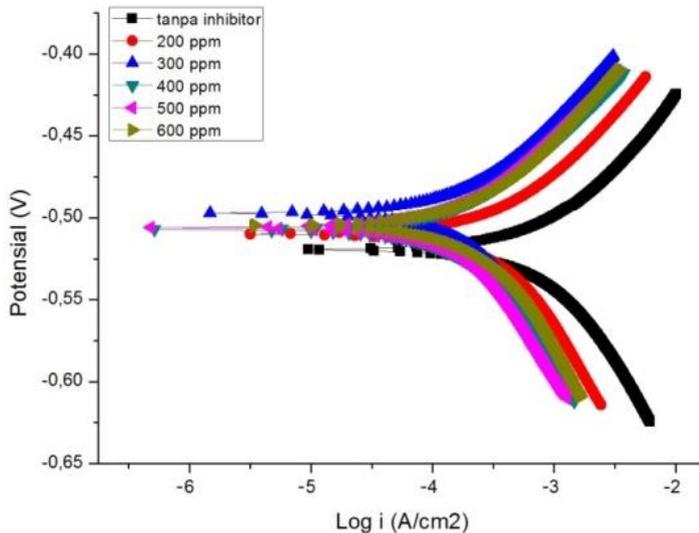
4.1.3 Hasil Uji Polarisasi Tafel

Pada pengujian polarisasi tafel ini dilakukan untuk mengetahui laju korosi baja API 5L Grade B pada larutan HCl 1M. Sebanyak 6 sampel digunakan untuk percobaan ini, dengan waktu perendaman selama 30 menit. Sampel yang pertama yaitu baja pada larutan HCl 1M tanpa inhibitor dan baja pada larutan HCl 1M dengan inhibitor konsentrasi 200 ppm, 300 ppm, 400 ppm, 500 ppm, dan 600 ppm. Penelitian ini menggunakan alat Wuhan Corrtest Instrumen yang diolah menggunakan software Corrtest v5.5. Hasil pengujian ini diperoleh kurva potensial tafel yang disajikan dalam kurva E (potensial) berbanding dengan log (i). Selain itu juga perlu dilakukan uji tafel pada spesimen dengan tanpa inhibitor, yang digunakan sebagai pembanding.

Parameter yang digunakan pada pengujian ini tersaji pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Parameter Pengujian Potensiodinamik

Elektroda Kerja	Baja API 5 L <i>Grade B</i>
Elektroda Bantu	Grafit
Elektroda Acuan	Hg/HgCl
Densitas(gr/cm ³)	7.86
Luasan Terekspose(cm ²)	1
Scan Rate	10



Gambar 4.7 Kurva Tafel sampel tanpa inhibitor dan dengan inhibitor

Pada Gambar 4.7 menunjukkan beberapa parameter ,seperti E_{corr} , I_{corr} , dan $Corrosion\ rate$ pada masing-masing sampel tanpa inhibitor dan setelah penambahan inhibitor. Dengan adanya penambahan inhibitor, E_{corr} akan bergeser ke arah yang lebih positif dan terjadi penurunan nilai I_{corr} ,yang berbanding

lurus dengan penurunan laju korosi dan berbanding terbalik dengan efisiensi inhibitor, hal ini sesuai dengan formula persamaan (2.18). Pada sampel tanpa inhibitor memiliki nilai E_{corr} (potensial korosi) $-0,51927V$, setelah penambahan inhibitor menjadi $-0,49707V$. Sedangkan nilai densitas arus korosi, pada sampel tanpa inhibitor sebesar $9,508 \times 10^{-6} (Am/cm^2)$ setelah penambahan inhibitor menjadi $3,168 \times 10^{-6} (Am/cm^2)$. Selain itu terjadi penurunan nilai Laju korosi, pada sampel tanpa inhibitor memiliki nilai CR sebesar $0,11054 \text{ mmpy}$, setelah penambahan inhibitor memiliki nilai CR menjadi $0,0368 \text{ mmpy}$. Data parameter hasil uji polarisasi tafel tersaji dalam Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Parameter Hasil Uji Polarisasi Tafel

No.	Konsentrasi (ppm)	E_{corr} (V)	I_{corr} ($\times 10^{-6}$ A/cm ²)	CR (mmpy)	EI (%)
1.	0	-0,51927	9,508	0,110	-
2.	200	-0,50997	3,168	0,036	66,7
3.	300	-0,49707	1,473	0,017	84,5
4.	400	-0,50723	0,507	0,006	94,6
5.	500	-0,50602	0,482	0,0056	94,9
6.	600	-0,50501	3,373	0,0392	64,5

Berdasarkan parameter hasil uji polarisasi tafel pada tabel 4.6, terlihat dengan penambahan inhibitor dapat menurunkan laju korosi pada Baja API 5L Grade B. Seiring dengan penambahan konsentrasi inhibitor, terjadi pula peningkatan efisiensi inhibisinya. Efisiensi inhibisi tertinggi terjadi pada konsentrasi 500 ppm, yaitu sebesar 94,9%. Selain itu terjadi pergeseran nilai potensial korosi (E_{corr}), ke arah yang lebih positif kemudian ke arah negatif, yaitu berturut-turut $-0,51927$; $-0,50997$; $-0,49707$; -

0,50723; -0,50602; dan -0,50501.

Pergeseran nilai potensial tersebut disebabkan oleh adanya salah satu reaksi setengah sel diinhibisi dengan adanya aktifitas inhibitor. Jika dilihat dari kecenderungan potensial korosi yang bergerak ke arah positif lalu kearah negatif, maka reaksi yang dihambat adalah reaksi oksidasi besi pada situs katodik, akibatnya arus korosi dari permukaan baja karbon kedalam larutan elektron makin kecil yang berdampak menurunnya reaksi reduksi ion-ion H^+ pada proses katodik. (Asri, 2010). Nilai potensial korosi dengan penambahan inhibitor terjadi perubahan, dimana jika;

$$E_{corr} = E_{corr_{uninhibited}} - E_{corr_{inhibited}} \quad (4.1)$$

lebih dari 85mV inhibitor dapat diklasifikasikan katodik atau anodic inhibitor, sedangkan jika nilainya kurang dari 85mV diklasifikasikan mixing inhibitor (Sulistijono, 2014). Pada inhibitor ekstrak biji juwet merupakan tipe mixing inhibitor, karena selisih potensial korosi (E_{corr}) nya memiliki nilai kurang 85 mV. Pada gambar 4.6 menunjukkan reaksi dominan pada mixing hibitor, dimana kurva tafel bergeser kearah potensial yang lebih positif yang berarti bahwa inhibitor tersebut bertipe mixing lebih dominan pada reaksi anodik (Atria, 2014).

4.1.4 Hasil Uji EIS (*Electrochemical Impedance Spectrometry*)

Pengujian EIS dilakukan untuk mengetahui mekanisme inhibisi pada baja API 5L grade B dalam media HCl dengan tanpa inhibitor dan penambahan inhibitor dengan konsentrasi efisiensi tertinggi. Alat yang digunakan pada pengujian EIS sama dengan pengujian polarisasi yaitu Wuhan Corrtest Instrumen dengan software Zview vol 5.5. Hasil dari pengujian EIS berupa kurva nyquist dengan bentuk setengah lingkaran dimana sumbu absisnya menyatakan (Z') impedansi nyata, sumbu koordinatnya (Z'') menyatakan impedansi imajiner.

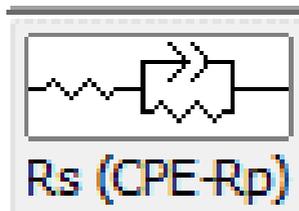
Pada pengujian EIS digunakan parameter ,yang tersaji

dalam Tabel 4.7 berikut ini:

Tabel 4.7 Parameter Uji EIS

Elektroda Kerja	API 5L Grade B
Elektroda Bantu	Grafit
Elektroda Acuan	Hg/HgCl
Densitas(gr/cm^3)	7,85
Luasan Terekspos(cm^2)	1
Frekuensi mulai(Hz)	10000
Frekuensi selesai(Hz)	0.1

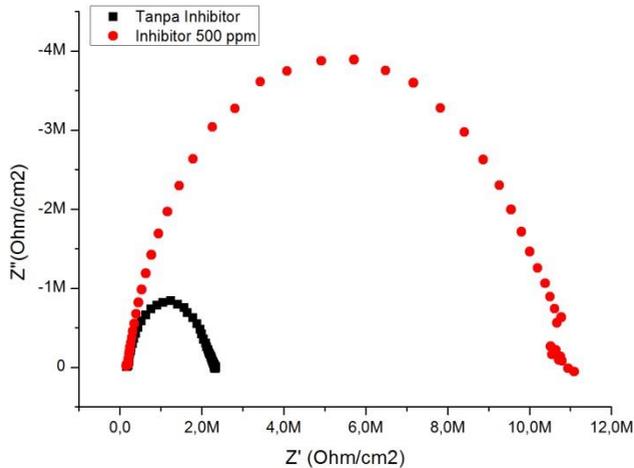
Parameter diatas yang diinput pada software Zview Corrttest v5.5 sebelum memulai pengujian. Sifat listrik pada baja API 5L Grade B yang terekspos pada elektrolit dapat dianalisa dengan metode fitting pada software Zview Corrttest v5.5 dan menghasilkan kurva Nyquist. Hasil kurva Nyquist pada konsentrasi tanpa inhibitor dengan hasil pada sampel dengan inhibitor dapat dibandingkan pada titik yang sama. Adapun equivalent circuit yang cocok pada kurva Nyquist hasil pengujian adalah sebagai berikut:



Gambar 4.8 Sirkuit Equivalent pada Pengujian EIS (Zview Corrttest v5.5)

Pada Gambar 4.8 terlihat parameter sirkuit yang didapatkan pada Tabel 4.7, R_s merupakan tahanan larutan, R_p merupakan tahanan logam. CPE adalah konstanta phase element atau biasanya sebanding dengan permukaan double layer dan

kurva nyquist setengah lingkaran terbentuk akibat dari tidak homogen permukaan logam, impuritas dan tegangan sisa dll (Souza, 2009).



Gambar 4.9 Kurva Nyquist Hasil EIS Kedua Sampel

Pada Gambar 4.9 merupakan kurva hasil dari pengukuran EIS yang ditampilkan dalam aluran Nyquist. Aluran Nyquist berupa diagram berbentuk setengah lingkaran yang mengalurkan impedansi nyata (*real*) terhadap impedansi imajiner. Pada umumnya, aluran Nyquist yang dihasilkan tidak memperlihatkan setengah lingkaran, melainkan semi-lingkar, perilaku ini dihubungkan dengan dispersi frekuensi akibat dari kekasaran permukaan elektroda. (Asri, 2010). Bentuk semicircle yang tidak sempurna terjadi akibat penyebaran frekuensi pada permukaan metal yang heterogeny saat *adsorption process*. Keadaan ini biasanya terjadi akibat kekasaran permukaan, impuritas, dislokasi, adsorption inhibitor dan prousslayer (De Souza, 2009). Terlihat sampel tanpa inhibitor memiliki diameter kurva jauh lebih kecil dibandingkan dengan kurva Nyquist sampel dengan inhibitor.

Tabel 4.8 Parameter Hasil Uji EIS pada Sampel tanpa Inhibitor dan dengan Inhibitor

Sampel	R_s (Ω/cm^2)	R_p (Ω/cm^2)	Efisiensi (%)
Tanpa Inhibitor	1.881	20.89	-
Dengan inhibitor	1.742	105.3	80.16

Pada Tabel 4.8 tersaji informasi R_s , R_p , dan efisiensi. Selain terjadi kenaikan R_p , dengan adanya inhibitor mengakibatkan kenaikan efisiensi menjadi 80.16 %.

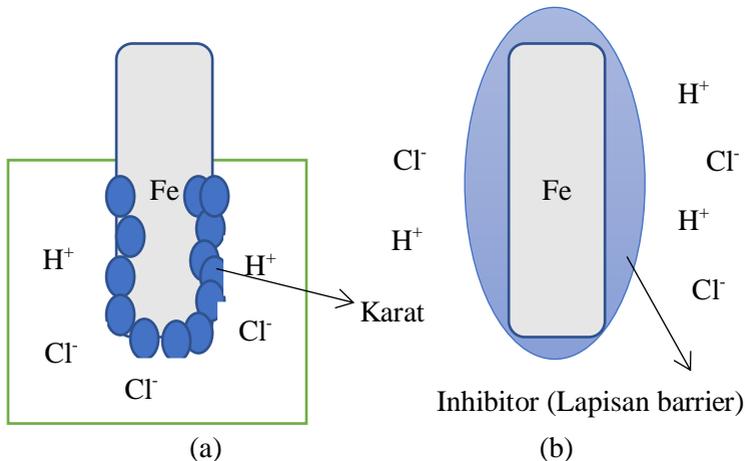
Dengan penambahan inhibitor, diameter kurva Nyquist menjadi lebih besar, hal tersebut berhubungan dengan kenaikan nilai R_p , dibandingkan dengan larutan tanpa inhibitor dari 20.89 Ω/cm^2 menjadi 105,3 Ω/cm^2 . Sedangkan nilai R_s (tahanan larutan) tidak begitu mengalami perubahan, yaitu dari 1.881 Ω/cm^2 menjadi 1.742 Ω/cm^2 , hal ini disebabkan karena larutan yang digunakan dalam pengujian EIS memiliki jenis larutan yang sama, yaitu HCl 1M. Besaran R_p diperoleh dari perbedaan impedansi pada frekuensi rendah dan frekuensi tinggi (diameter semi-lingkar kurva). Nilai R_p merupakan ukuran transfer elektron pada permukaan logam yang secara proporsional kebalikan dari arus korosi (I_o) melalui persamaan:

$$R_p = \frac{RT}{nF I_o} \quad (4.2)$$

Dari persamaan (4.2) nilai R_p berhubungan dengan laju korosi, makin besar nilai R_p maka makin kecil nilai laju korosi (Asri, 2010).

Dengan adanya kenaikan nilai R_p ini, menunjukkan bahwa penambahan inhibitor menghambat transfer muatan atau elektron dari permukaan logam ke media larutan sehingga reaksi ion dalam larutan menurun. (Maman, 2018). Dengan

meningkatnya nilai Rp menunjukkan adanya lapisan proteksi pada permukaan logam (Ghali,2013). Gambar 4.10 dibawah mengilustrasikan mekanisme inhibisi dari baja dengan media HCl tanpa inhibitor (a), dan baja dengan media HCl menggunakan inhibitor biji juwet (b).



Gambar 4.10 Prediksi Mekanisme Inhibisi (a) Tanpa Inhibitor (b) dengan Inhibitor Biji Juwet

4.1.5 Adsorpsi Isoterm

Adsorpsi isoterm menggambarkan interaksi inhibitor korosi dengan permukaan logam, dalam pembentukan proteksi. Melalui perhitungan adsorpsi isothermal Langmuir, akan didapatkan mekanisme kerja inhibitor. Mekanisme adsorpsi inhibitor terdapat 2 jenis sifat, yaitu bersifat fisik (physisorption) atau bersifat kimia (chemisorption). Sifat adsorpsi dari masing-masing inhibitor didapatkan dari hasil perhitungan persamaan adsorpsi isothermal Langmuir yang telah dijelaskan pada bab 2.

Hasil dari perhitungan energi bebas adsorpsi terdapat

pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.9 Nilai Energi Bebas Adsorpsi pada Uji Weightloss

Temperatur (K)	ΔG_{ads} (kJ/mol)
313	-25,88
323	-27,54
333	-27,90

Nilai negatif pada ΔG_{ads} memperlihatkan bahwa molekul inhibitor telah teradsorpsi secara spontan pada permukaan logam. Jenis mekanisme inhibisi dapat ditentukan berdasarkan nilai dari energi bebas adsorpsi.

Pada hasil perhitungan thermodynamic ditunjukkan pada Tabel 4.9 ,dari nilai energi bebas (Gibbs) dapat ditentukan jenis mekanisme inhibisi. Dimana jika nilai $\Delta G_{ads} \leq -20$ kJ/mol, terdapat interaksi elektrostatik antara muatan molekul inhibitor dan muatan permukaan logam, mekanisme adsorpsi ini terjadi secara fisik (*physical adsorption*). Ketika $\Delta G_{ads} \geq -40$ kJ/mol, terjadi transfer elektron dari molekul organik ke permukaan logam untuk membentuk koordinat ikatan kovalen, mekanisme adsorpsi ini terjadi secara kimia (*chemical adsorption*), dan mekanisme adsorpsi campuran (*mixed adsorption*) terjadi ketika $-20 \geq \Delta G_{ads} \geq -40$ kJ/mol (Ekemini,2016). Pada tabel 4.9 menunjukkan nilai energi bebas adsorpsi terendah pada temperatur 333K, sebesar -27,90 kJ/mol dan nilai tertinggi pada temperatur 313 ,sebesar -25,88 kJ/mol. Ini menunjukkan proses adsorpsi yang terjadi adalah secara fisik (*physical adsorption*), karena nilai energi bebas ≤ -20 kJ/mol.

4.1.6 Pengujian AAS

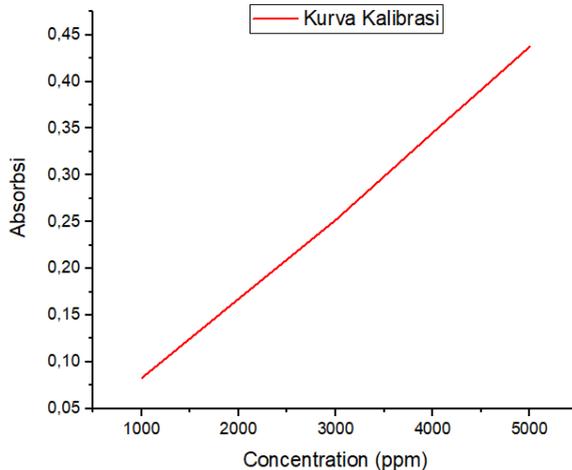
Pengujian AAS dilakukan untuk mengetahui banyaknya Fe terlarut pada larutan HCl 1M yang telah dilakukan untuk uji weightloss dengan perendaman/immerse. Terdapat dua sampel yang digunakan untuk pengujian ini,yaitu larutan HCl 1M Tanpa Inhibitor dan larutan HCl 1M dengan konsentrasi maksimum yaitu 500 ppm atau 0,5 gram/L. Pengujian ini akan mendapatkan input berupa banyak nya Fe terlarut (ppm). Proses penentuan banyaknya Fe terlarut akan dijelaskan oleh grafik yang ada dibawah ini.

Tabel 4.10 Metode Kalibrasi untuk Mendapatkan Konsentrasi Fe

Concentration (ppm)	Absorpsi
1.000	0.0828
2.000	0.1676
3.000	0.2519
4.000	0.3452
5.000	0.4374

Tabel 4.10 menunjukkan nilai absorpsi yang didapatkan pada konsentrasi tertentu ,sebagai standar dari pengujian ini. Dari nilai yang ada,maka nilai fungsi dapat dicaridari kurva seperti dibawah ini,yaitu:

$$Abs = 0.08868conc - 0.00906 \dots \dots \dots (4.3)$$



Gambar 4.11 Kurva Kalibrasi Antara Absorbansi dan Konsentrasi

Dari kurva Gambar 4.11 ini, maka dapat ditentukan konsentrasinya. Berdasarkan nilai absorbansi yang didapat melalui pengujian AAS. Perhitungan dilakukan berdasarkan fungsi yang telah didapatkan pada formula (4.2). Berikut adalah nilai konsentrasi Fe dalam ppm pada 2 larutan sampel berikut.

Tabel 4.11 Konsentrasi Fe Sampel

Sampel	Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
Tanpa Inhibitor	34,27	3,03
Dengan Inhibitor	13,80	1,21

Pada tabel 4.11, untuk sampel larutan HCl 1M tanpa inhibitor didapatkan konsentrasi Fe terlarut sebesar 34,27 ppm. Untuk sampel larutan HCl 1M dengan inhibitor didapatkan konsentrasi Fe terlarut sebesar 13,80 ppm.

Pada hasil uji AAS menunjukkan Fe terlarut pada tiap sampel, yaitu sampel larutan tanpa inhibitor dan sampel larutan dengan inhibitor. Sampel larutan tanpa inhibitor menunjukkan Fe terlarut lebih tinggi dibandingkan dengan larutan sampel dengan inhibitor. Berdasarkan Tabel 4.11 konsentrasi Fe terlarut telah mengalami penurunan sebesar 59.73 %, setelah penambahan inhibitor. Hal ini menunjukkan bahwa adanya penambahan inhibitor, menurunkan laju korosi sehingga Fe yang terlarut menjadi lebih sedikit.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan hasil kesimpulan:

1. Penambahan inhibitor ekstrak biji juwet dapat menurunkan laju korosi baja API 5L Grade B pada lingkungan asam. Didapatkan efisiensi tertinggi pada konsentrasi 500 ppm, yaitu sebesar 91,9%.,dengan laju korosi terendah sebesar 0,158 mmpy. Temperatur mempengaruhi laju korosi pada inhibitor ekstrak biji juwet,dimana pada temperatur 50°C memiliki efisiensi tertinggi yaitu sebesar 74,01%,dengan laju korosi sebesar 0,43 mmpy.
2. Waktu perendaman memengaruhi laju korosi pada inhibitor ekstrak biji juwet. Dimana waktu perendaman pada hari ke-6 memiliki efisiensi tertinggi, yaitu sebesar 79,01%, dengan laju korosi terendah sebesar 0,137 mmpy.
3. Mekanisme inhibisi pada inhibitor ekstrak biji juwet terabsorpsi secara fisik (*physical adsorption*) pada permukaan logam,karena memiliki energi Gibbs ≤ -20 kJ/mol.

5.2 Saran

Saran dari penulis untuk penelitian ini kedepannya adalah:

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk memperoleh titik maksimum konsentrasi inhibitor dapat bekerja.
2. Diperlukan karakterisasi lebih lanjut untuk melihat produk korosi yang terbentuk pada permukaan logam yang telah diberi inhibitor maupun yang tidak diberi inhibitor.
3. Perlu adanya variasi agitasi,media larutan ,percampuran inhibitordan lain-lain pada pengujian selanjutnya untuk melihat kinerja inhibitor pada aplikasi yang sebenarnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

Abiola, O.K., Tobun, Y., 2010 . “Cocos nucifera L. water as green corrosion inhibitor for acid corrosion of aluminium in HCl solution”. **Chinese Chemical Letters**, 21, 1449- 1452.

Adamson, A.W., dan Gast, A.P. 1997. **Physical Chemistry of Surfaces: Six. Edition New York: John Willey & Son Inc** Ali, Adi,Rangga.2011.**Pengaruh Waktu Perendaman dengan Penambahan Ekstrak Ubi Ungu sebagai Inhibitor Organik pada Baja Karbon Rendah di Lingkungan HCl 1M.** Depok:Universitas Indonesia.

Ahmad,N.,Sharma,S.2012.Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Extracts of Ananas comosus.**Green and Sustainable Chemistry 2.**141-147.

Ali,Farida dkk. 2014. **Pengaruh Waktu Perendaman dan Konsentrasi Ekstrak Daun Jambu Biji (Psidium guajava,Linn) sebagai Inhibitor terhadap Laju Korosi Baja 304 dalam larutan Garam dan Asam.** Palembang.

Ambrish Singh,et al .2013.The extract of Jamun (Syzygium Cumini) seed as green corrsion inhibitor for acid media. **Department of Applied Chemistry, Indian Institute of Technology, Banaras Hindu University,Varanasi 221005, UP, India**

Anam, Choirul. Sirojudin dkk. April 2007. Analisis Gugus Fungsi Pada Sampel Uji, Bensin Dan Spiritus Menggunakan Metode Spektroskopi FT-IR. **Berkala Fisika. Vol 10 no.1.** 79 – 85

Anonim. 1973. **NACE International “Corrosion Inhibitor”.** Texas: Nathan, C. C

Anonim. 2003. **ASM Handbook Volume 13A. Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection.** USA: ASM International.

Ashari, S., 2013. **Hortikultura: Aspek Budidaya.** Edisi revisi. Jakarta: UI-Press.

ASM Handbook. 2005. **Corrosion Materials volume 13B**.
USA : ASTM International. Nutraceuticals. IJPBS.2: 46-53.

Ayyanar, M., Babu, P. S. 2012. *Syzygium cumini* (L) Skleek: A review of Phytochemical Constituent and Traditional uses. **Asian Pacific Jurnal of Tropical Biomedicine**. p. 240 – 246.

Callister, William D. **Materials science and Engineering, an introduction. 7th Edition**. Wiley and Sons Publishing

Chaudhary B., Mukhopadhyay K. 2012. *Syzygium cumini* (L.) Skeels a Potential Source of Nutraceuticals. **Department of Biotechnology, Birla Institute of Technology, Mesra, Ranchi-835215, Jharkhand, India**.

C. Mary Anbarasi, et al. 2016. A Green Approach to Corrosion Inhibition of Aluminium in Acid Medium Using Azwain Seed Extract. **6th International Conference of Materials Processing and Characterization (ICMPC 2016)**

Dalimarta, S. 2003. **Atlas Tumbuhan Obat Indonesia Jilid 3**. Puspa Swara. Jakarta, hal. 19 – 23.

David, G. W. 2005. **Analisis Farmasi, Edisi kedua**, EGC, Jakarta

Drozd, J., 1985. Chemical Derivatization in Gas Chromatography. **Journal of Chromatography Library**. 19

Ituen, Ekemini, et al. 2016. Evaluation of Performance of Corrosion Inhibitors Using Adsorption Isotherm Models: An Overview. **Chemical Science International Journal**. Nigeria.

Edward, P dan Craig E. 2013. Electrochemical Impedance Spectroscopy; An overview of Bioanalytical Applications. **Manchester Metropolitan University**.

Enos, G David. 1997. The Potentiodynamic Polarization Scan. **Universitu of Virginia: Charlottesville, VA**.

Firmasnyah, Dede. 2011. **Studi Inhibisi Korosi Baja Karbon Dalam Larutan Asam 1M HCl oleh Ekstrak Daun**

Sirsak (*Annona muricata*). Depok: Teknik Metalurgi Universitas Indonesia

Fontana, M.G. 1986. **Corrosion Engineering, Third Edition.** McGraw Hill Book Company. Singapura.

Fouda, A.S., dkk. 2013. **New Eco-Friendly Corrosion Inhibitors Based on Phenolic Derivatives for Protection Mild Steel Corrosion.** Egypt.

Ghames, Amel. dkk. 2017. **Theoretical and Experimental Studies of Adsorption Characteristics of Newly Synthesized Schiff Bases and their Evaluation as Corrosion Inhibitors for Mild Steel in 1M HCl.** Algeria.

Gunaatmaja, Andhi. 2011. **Pengaruh Waktu Perendaman Terhadap Laju Korosi Pada Baja Karbon Rendah Dengan Penambahan Ekstrak Ubi Ungu Sebagai Inhibitor Organik Di Lingkungan NaCl 3,5 %.** Depok: Teknik Metalurgi Universitas Indonesia

Gunanjar. 1997. "Spektrofotometri Serapan Atom". **Diktat Keahlian Analisis Kimia Bahan Bakar Nuklir.** Batan.

Hakim, Alfin Al. 2011. **Pengaruh Inhibitor Korosi Berbasis Senyawa Fenolik Untuk Proteksi Pipa Baja**

Harborne, J.B. 1984. **Phytochemical Methods: A Guide to Modern Technique of Plant Analysis. (2nd edn).** Chapman

Hossein H, et al. 2017. Sunflower seed hull extract as a novel green corrosion inhibitor for mild steel in HCl solution. **Department of Metallurgy and Materials Engineering, Faculty of Engineering, Arak University, Postal Code: 38156-8-8349 Arak, Iran**

Jayanegara, A., N. Togtokhbayar, H. P. S. Makkar and K. Becker. 2007. Tannins determined by various methods as predictors of methane production reduction potential of plants by an in vitro rumen fermentation system. **Anim. Feed Sci. and Tech.,** 150: 230-237

Jones Denny A., 1992, **Principles and Prevention of Corrosion.** Macmillan Publishing company, New York

-
- K.F Khaleed.2003.**Electrochim.**Acta 48
- Khopkar, S.M., 1990. **Konsep Dasar Kimia Analitik Edisi Kedua**. UI Press, Jakarta.
- Kumar,A.,Padmanabhan,N.,Krishnan,M.R.V.(2007).**Central Nervous Sistem Activity of Syzygium cumini Seed**.Pakistan Journal of Nutrition 6 (6) : 698-700.
- K.P. Vinod Kumar,et al 2008 **.Inhibition of mild steel corrosion in hydrochloric acid by the seed husk extract of Jatropha curcas**. J. Mater. Environ. Sci. 1 (2) (2010) 119-128
- Lia Marliani,dkk.2014. Aktivitas Antioksidan dan Kandungan Senyawa Fenolat Biji Jamblang (*Syzygium cumini* (L.) Skeels).**Jurnal Farmasi Galenika Volume 01 No.02**.Bandung.
- Lowell, S., Shields, J.E. 1984. **Powder Surface and Porosity 2nd Edition**. New York: Chapman and Hall Ltd
- Maman,Kartaman dkk. 2018. **Analisis Korosi Pipa Pendingin Sekunder RSG-Gas dengan Teknik Electrochemical Impedance Spectroscopy**.Banten
- Masel, Richard I. 1996. **Principles of Adsorption and Reaction on Solid Surfaces**. USA: Wiley-Interscience
- Marcott,C, 1986. **Material Characterization Hand Book Vol.1 Infrared Spectroscopy**. ASM International. USA
- McCash, Elaine M. 2001. **Surface Chaemistry**. London: Oxford University Press
- Morton, J. 1987. **Fruits of warm climates**. Miami: FL, pp.281-286.
- Nasution, F.S., 2011, Pelapisan Krom pada Baja Karbon Rendah dengan Metode Elektroplating sebagai Anti Korosi. **Skripsi. FMIPA USU, Medan.Y.**
- Nwosu O.F. et,al 2014 **.Acidic Corrosion Inhibition of Piper guineense Seed Extract on Al Alloy**. **American Journal of Materials Science 2014**. 4(4): 178-183
-

Oguzie, E. E. 2007. Corrosion Inhibition of Aluminium in Acidic and Alkaline Media by **Sansevieria Trifas-Ciata Extract**. **Corrosion science**. Vol. 49. P. 402-417.

Osvatori A., S.M. Hoseinieh, M. Peikar, S.R. Shadizadeh, S.J. Hashemi. 2009. **Corrosion inhibition of mild steel in 1M HCl solution by henna extract: A comparative study of the inhibition by henna and its constituents (Lawson, Gallic acid, α -d-Glucose and Tannic acid)** *Corros. Sci.*, 51 1935 1949.

Pecsok, Robert L., dan Shields, L. Donald. (1976). **Modern Methods of Chemical Analysis, edisi kedua**. New York: John Wiley and Sons Inc.

Prince, P.S., Kamalakkannan, M.N., Menon V.P. 2004. Antidiabetic and Antihyperlipidaemic Effect of Alcoholic *Syzygium cumini* seeds in alloxan Induced diabetic Albino Rats. **Journal of Ethnopharmacology**, 91(2-3):209-213.

Raja, P. Bothi, M.G. Sethuraman, 2008. Natural products as corrosion inhibitor for metals in corrosive media – **A review**. **Materials Letters**. 62. 113-116.

Rani, Amitha B.E & Basu, Bharathi. 2012. Green Inhibitors for Corrosion Protection of Metals and Alloys: An Overview. India: **Hindawi Publishing Corporation**

Roberge, P.R., (2000). **Handbook of Corrosion Engineering**. New York: McGraw Hill.

Rohadi, dkk. 2017. **Determination of Antioxidant Activity and Phenolic Compounds of Methanolic Extract of Java Plum (*Syzygium cumini* Linn.) Seed**. Yogyakarta: UGM.

Sangeetha M, dkk. 2011. **Green Corrosion Inhibitors-An Overview**. India: Departement of Chemistry.

Sazha. 2014. **Aplikasi Sarang Semut (*Myrmecodia Pendans*) sebagai Inhibitor Korosi pada Baja API 5L Grade B dan AISI 1010 dalam Media NaCl 3.5%**. Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS: Surabaya

Sparkman. O.D. Penton, Z., Fulton, G. 2011. **Gas chromatography and mass spectrometry : a practical**

Trethewey, K., & Chamberlain, J. 1991. **Korosi (Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan)**. Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Utama

Umoren,S.A,dkk. Corrosion inhibition by Leaves and Stem Extracts of *Sida acuta* for Mild Steel in 1M H₂SO₄ Solution Investigated by **Chemical and Spectroscopic Techniques**. Nigeria: Universitas Uyo.

Verheij, E.W.M. dan R.E Coronel, 1997.**Sumberdaya Nabati Asia Tenggara 2.Penerjemah S. Danimihardja; H. Sutarno; N.W Utami Dan D.S.H. Hopsen**. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

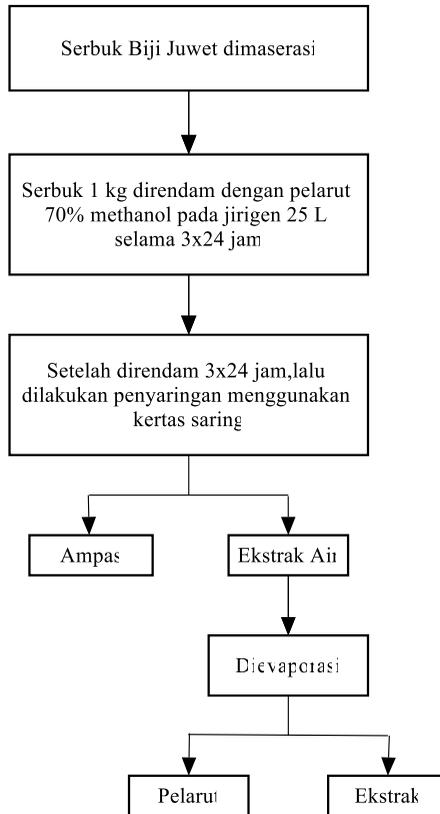
Withoukcas G. Woensel E. ; 2010.Levels of health, second volume of the science of homeopathy. 1st ed. Alonissos: **International Academy of Classical Homeopathy**.

Wahyuningsih,Asri dkk. 2010.**Metamina sebagai Inhibitor Korosi Baja Karbon dalam Lingkungan sesuai Kondisi Pertambangan Minyak Bumi**.Bandung:Universitas Pendidikan Indonesia.

Warrier, P.K., Nambiar, V.P.K., Ramankutty, C. (1996). **Indian medicinal plants: a compendium of 500 species Jilid 3**.Orient Longman Ltd, Cina.

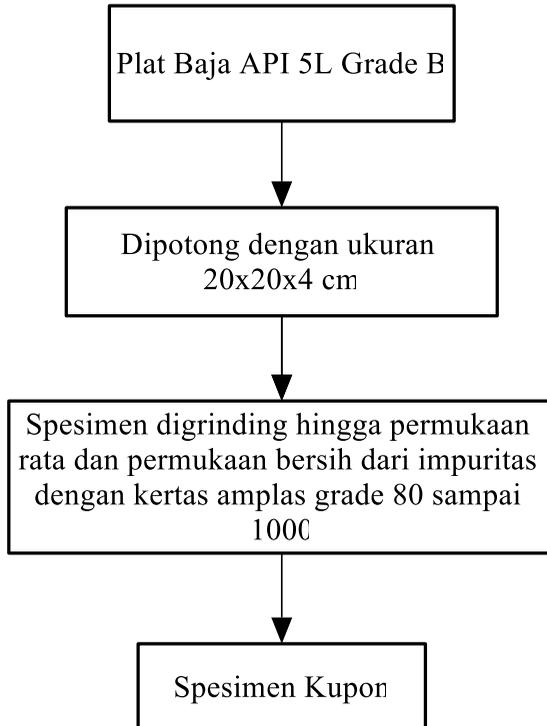
LAMPIRAN A SKEMA PENELITIAN

1. Pembuatan Ekstrak Biji Juwet



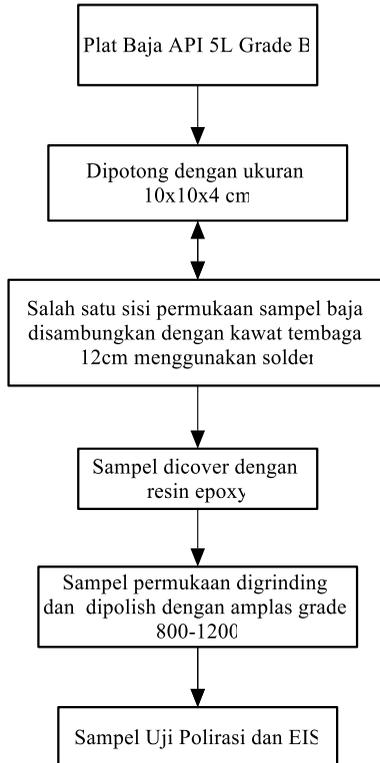
Gambar A.1 Pembuatan ekstrak biji juwet

2. Pembuatan Spesimen Kupon



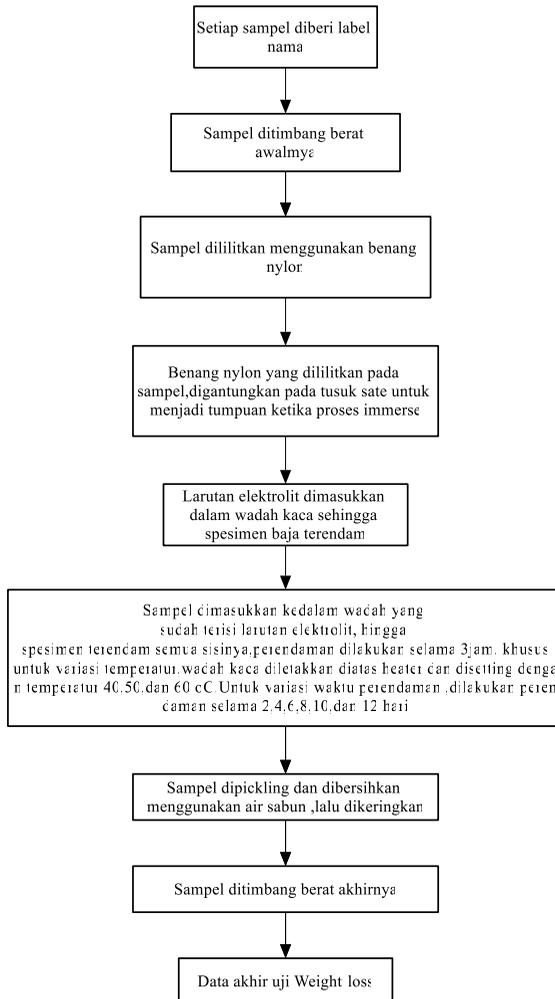
Gambar A.2 Pembuatan spesimen kupon

3. Pembuatan sampel Uji Electrochemical



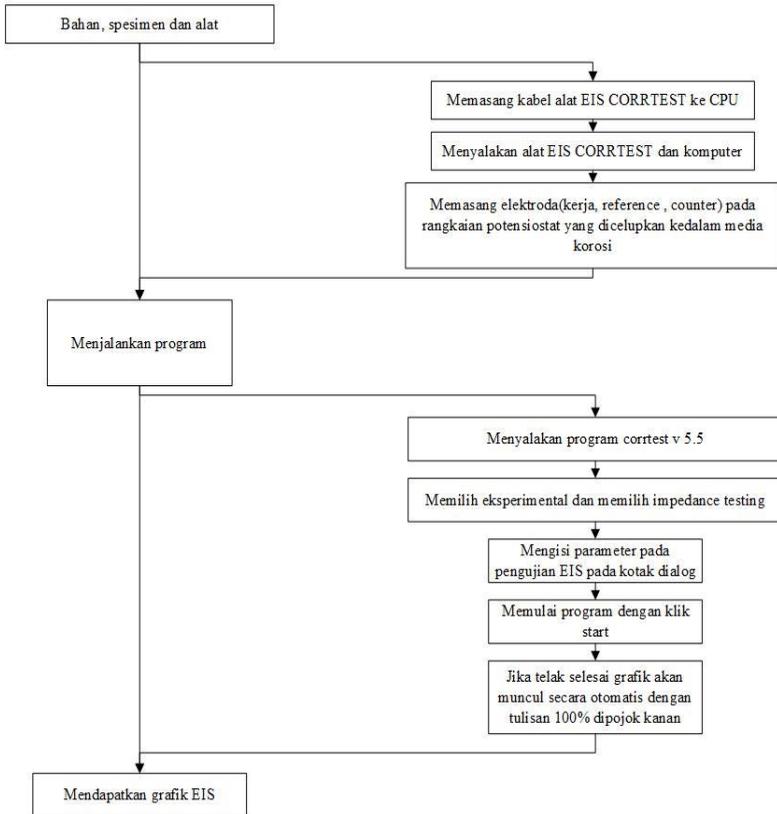
Gambar A.3 Pembuatan sampel EIS dan polarisasi

4. Prosedur uji Weightloss



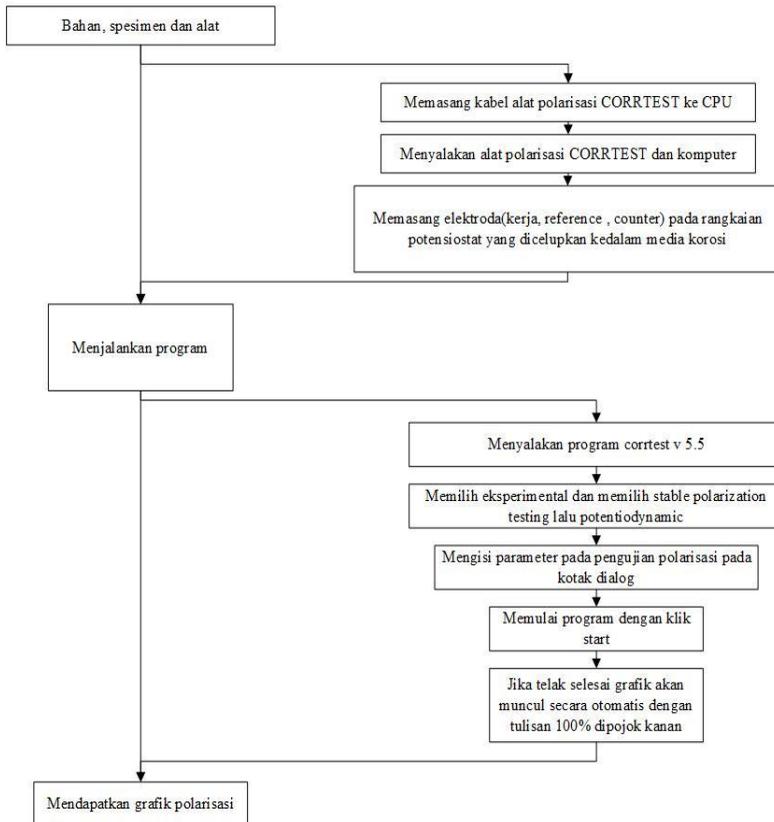
Gambar A.4 Prosedur uji weightloss

5. Prosedur Uji EIS



Gambar A.5 Prosedur uji EIS

6. Prosedur Uji Polarisasi



Gambar A.6 Prosedur uji polarisasi

LAMPIRAN B

PEMBUATAN MEDIA 1M HCl

Pembuatan Larutan HCl 1M

Diketahui :
Berat Jenis HCl : 1,19 g/ml
Mr HCl : 36,5 g/mol
%HCl : 37%

Ditanya: Molaritas?

Jawab:

$$M = \frac{\% \times 10 \times BJ}{Mr}$$
$$M = \frac{37 \times 10 \times 1,19}{36,5}$$
$$M = 12,06 M$$

Dengan asumsi bahwa menggunakan 1000ml HCl 1M maka dilakukan pengenceran dengan rumus:

$$V_1 M_1 = V_2 M_2$$
$$V_1 \times 12,06 = 1000 \times 1$$
$$V_1 = 83ml$$

Maka untuk membuat 1L larutan 1M HCl dibutuhkan 83ml HCl 37% kemudian ditambahkan dengan aquades hingga volume total 1 L

LAMPIRAN C PENGUJIAN WEIGHTLOSS

Tabel C.1 Weightloss Variasi Konsentrasi

Konse ntrasi (gr)	Wo(gr)	Wt(gr)	ΔW (gr)	CR(mm py)	%EI
0	11,1078	10,9054	0,2024	1,95072 1	-
0,2	10,2033	10,1806	0,0227	0,37449 1	80,8
0,3	9,3584	9,342	0,0164	0,33184 4	82,9
0,4	10,9784	10,9661	0,0123	0,20200 8	89,6
0,5	12,4433	12,4332	0,0101	0,15807 9	91,9
0,6	9,4183	9,4060	0,0123	0,23709 4	87,8

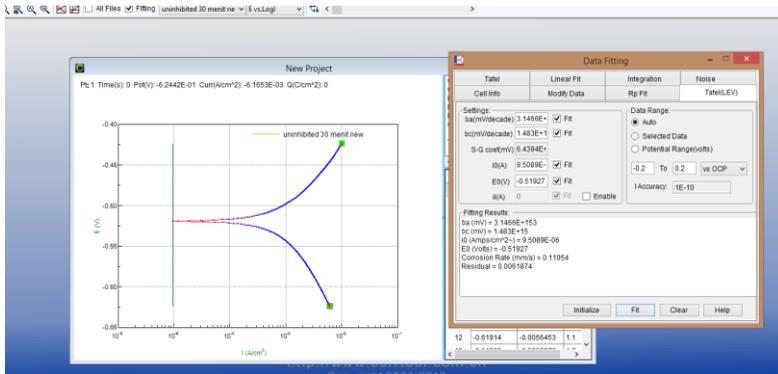
Tabel C.2 Weightloss Konsentrasi dan Variasi Temperatur

Tmp (°C)	Konsentra si (ppm)	ΔW (gr)	CR(mm py)	%EI
40	0	0,0753	1,30	55,37
	500	0,0336	0,58	
50	0	0,0785	1,67	74,01
	500	0,0338	0,43	
60	0	0,0861	1,52	64,3
	500	0,0362	0,54	

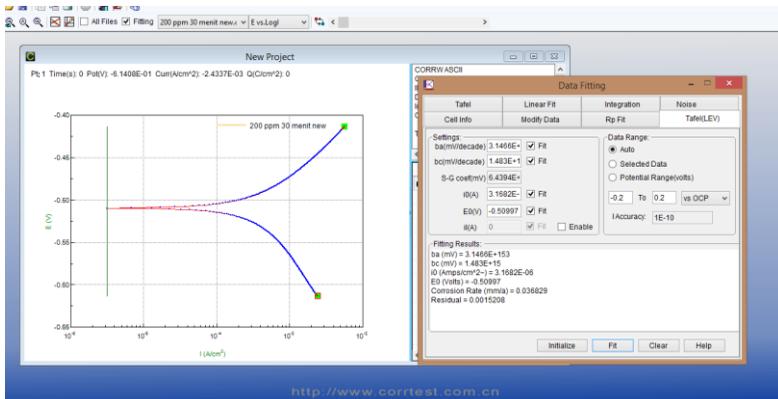
Tabel C.3 Weightloss Konsentrasi dan Variasi Waktu
Perendaman

Waktu Perendaman (hari)	Konsentrasi (ppm)	ΔW (gr)	CR(mmp y)	%EI
2	0	1,0364	0,847	65,23
	500	0,1312	0,294	
4	0	1,1072	0,627	77,28
	500	0,2385	0,143	
6	0	1,8127	0,652	79,01
	500	0,4594	0,137	
8	0	2,2607	0,580	57,24
	500	1,06215	0,248	
10	0	2,7238	0,559	44,69
	500	1,4323	0,309	
12	0	3,1356	0,536	42,27
	500	1,9808	0,310	

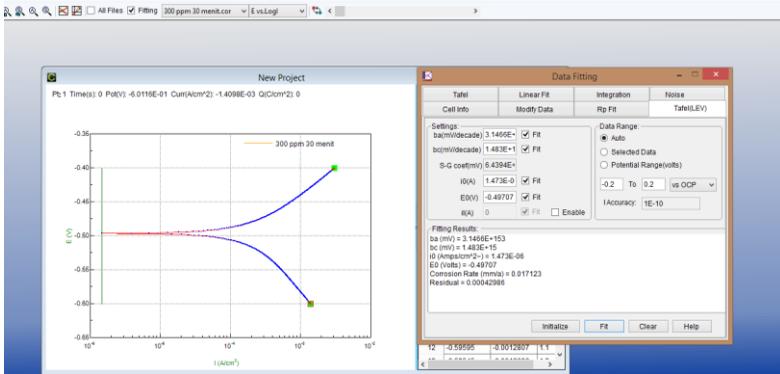
LAMPIRAN D HASIL FITTING POLARISASI



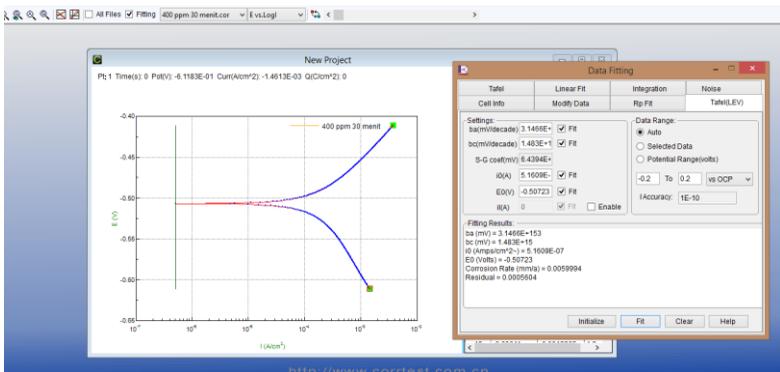
Gambar D.1 Fitting tafel tanpa inhibitor



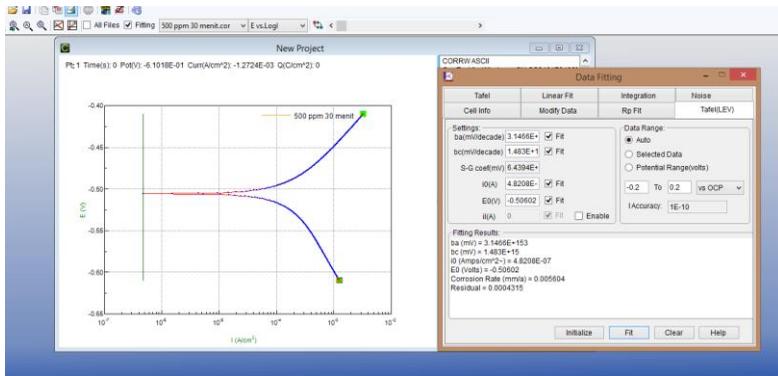
Gambar D.2 Fitting tafel 200 ppm



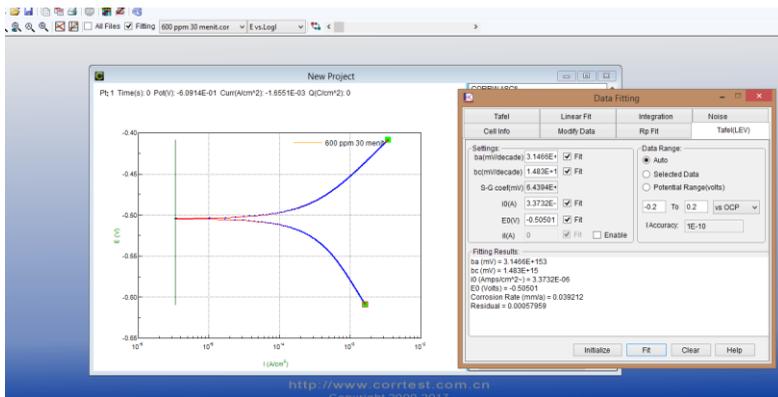
Gambar D.3 Fitting tafel 300 ppm



Gambar D.4 Fitting tafel 400 ppm



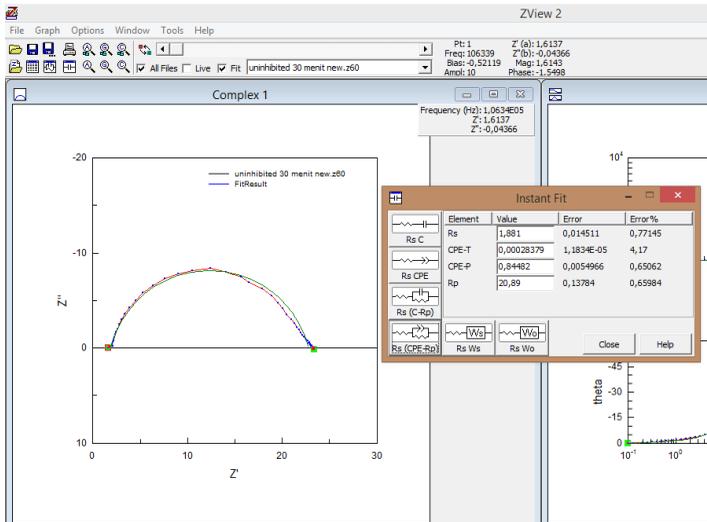
Gambar D.5 Fitting tafel 500 ppm



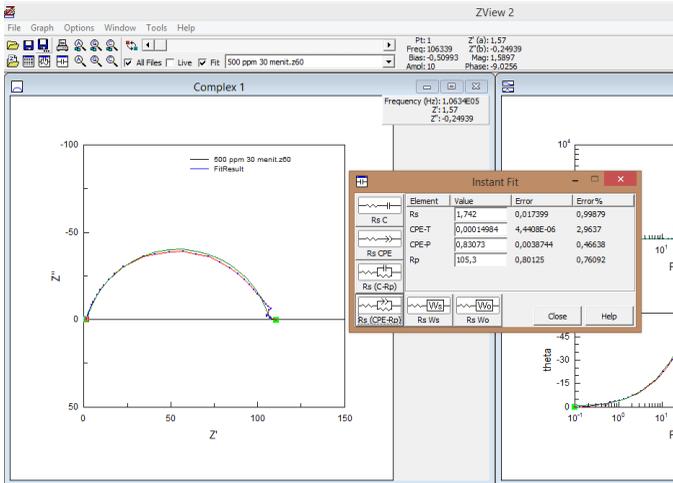
Gambar D.6 Fitting tafel 600 ppm

LAMPIRAN E

HASIL FITTING EIS

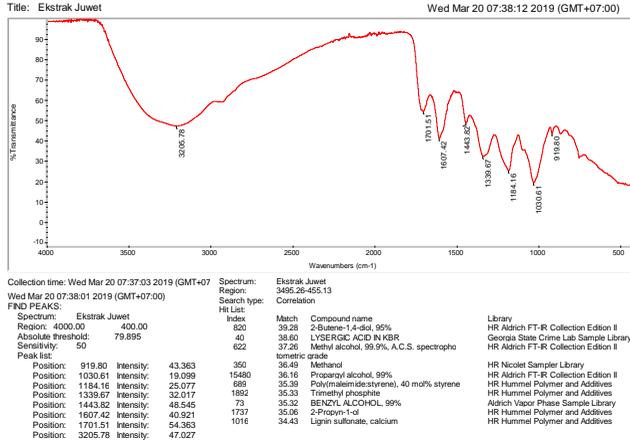


Gambar E.1 Fitting EIS Tanpa inhibitor

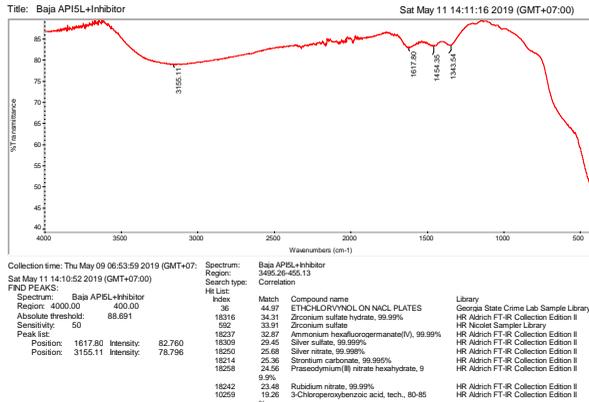


Gambar E.2 Fitting EIS dengan inhibitor

LAMPIRAN F TABEL PENGUJIAN FTIR



Gambar F.1 KurvaFTIR inhibitor biji juwet



Gambar F.2 Kurva FTIR Baja API 5L + inhibitor biji juwet

LAMPIRAN G

PERHITUNGAN ADSORPSI ISOTHERM

c	R	teta	1-teta	Kads	c1-teta	Kads*C	T	RT
0,0005	0,082	0,55385	0,44615	2482,76	0,00022	1,24138	313	-25,666
0,0005	0,082	0,74251	0,25749	5767,44	0,00013	2,88372	323	-26,486
0,0005	0,082	0,64474	0,35526	3629,63	0,00018	1,81481	333	-27,306

Gambar G.1 Perhitungan Adsor

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Retno Ambarwasih. Dilahirkan di Ngawi pada tanggal 03 Maret 1997 dari pasangan Suradi dan Suwarti. Penulis merupakan anak tunggal. Penulis pernah menempuh pendidikan formal di SDN Jatipuro 1 Ngawi, SMP Negeri 1 Karangjati dan SMA Negeri 1 Ngawi. Penulis merupakan mahasiswa aktif Departemen Teknik Material FTI-ITS tahun masuk 2015.

Selama menjalankan pendidikan di kampus ITS Surabaya, penulis berpartisipasi aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri ITS (HMMT FTI-ITS) sebagai Staf Departemen Media dan Informasi kepengurusan 2016/2017, dan sebagai Sekretaris Departemen Media dan Informasi kepengurusan 2017/2018. Selain itu, penulis juga aktif di Lembaga Dakwah Jurusan Ash-haabul Kahfi Teknik Material FTI-ITS Sebagai staff Departemen Syiar kepengurusan 2016/2017 dan Koordinator Putri Departemen Syiar kepengurusan 2017/2018.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT Industri Kereta Api (Persero) yang melakukan pembelajaran di bidang Painting (Pengecatan). Tugas Akhir ini sebagai kontribusi penulis dalam dunia riset dan memilih topik Korosi (Inhibitor Organik). Alamat email retnoambarwasih24@gmail.com dan nomor handphone 0895632676994.