



TUGAS AKHIR- TL 091584

**PEMANFAATAN BUAH MAHKOTA DEWA (PHALERIA
MACROCARPA) SEBAGAI GREEN CORROSION INHIBITOR
PADA BAJA API 5L GRADE B DI LINGKUNGAN 3,5% NACL
DAN H_2SO_4 1M**

Fiki Maizal Candra

2711 100 024

Dosen Pembimbing

Prof.Dr.Ir.Sulistijono,DEA

**JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER
SURABAYA 2015**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT- TL 091584

THE USAGE OF MAHKOTA DEWA FRUIT (*PHALERIA MACROCARPA*) AS GREEN CORROSION INHIBITOR ON API 5L GRADE B STEEL IN THE 3,5% NaCl AND H₂SO₄ 1M

Fiki Maizal Candra

2711 100 024

Lecturer

Prof.Dr.Ir.Sulistijono,DEA

Department of Material and Metallurgical Engineering

Faculty of Industrial Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 2014

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PEMANFAATAN BUAH MAHKOTA DEWA (*PHALERIA
MACROCARPA*) SEBAGAI GREEN CORROSION
INHIBITOR PADA BAJA API 5L GRADE B DI
LINGKUNGAN 3,5% NaCl DAN H₂SO₄ 1M**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Material dan Metalurgi
pada
Bidang Studi Korosi dan Kegagalan Material
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknik Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

FIKI MAIZAL CANDRA
NRP. 2711 100 024

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA  (Pembimbing)



**PEMANFAATAN BUAH MAHKOTA DEWA (PHALERIA
MACROCARPHA) SEBAGAI GREEN CORROSION
INHIBITOR PADA BAJA API 5L GRADE B DI
LINGKUNGAN 3,5% NaCl DAN H₂SO₄ 1M**

Nama Mahasiswa : Fiki Maizal Candra
NRP : 2711 100 024
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing : Prof.Dr.Ir. Sulistijono,DEA

Abstrak

Buah mahkota dewa merupakan salah satu tanaman yang memiliki kandungan antioksidan tinggi yang bisa digunakan sebagai inhibitor korosi pada baja API 5L grade B di lingkungan NaCl 3,5% dan H₂SO₄ 1M. Buah mahkota dewa di ekstrak dengan metode refluks kemudian di karakterisasi menggunakan spektrofotometri UV-Vis untuk menentukan kandungan flavonoid total yang terdapat pada ekstrak buah mahkota dewa. Untuk pengujian laju korosi, efisiensi inhibitor serta mekanisme inhibisi menggunakan pengujian *weight loss*, polarisasi potenciodinamik, EIS dan uji FTIR. Dari pengujian yang telah dilakukan di ketahui efisiensi tertinggi inhibitor ekstrak buah mahkota dewa di lingkungan NaCl 3,5% adalah 79,15 pada penambahan inhibitor 2000 ppm pada waktu 288 jam dengan efisiensi rata rata 77,24%. Pada larutan elektrolit H₂SO₄ 1M efisiensi tertinggi inhibitor ekstrak buah mahkota dewa adalah 87,672% pada penambahan inhibitor sebanyak 4000 ppm pada waktu 6 jam dengan rata rata efisiensi di 4000 ppm adalah 81,06%. Ekstrak buah mahkota dewa merupakan tipe *mixed inhibitor* untuk media elektrolit NaCl 3,5% dan H₂SO₄ 1M. Dengan mekanisme inhibisi adsorpsi fisisorpsi.

Kata kunci: *inhibitor, mixed inhibitor, adsorpsi fisisorpsi*



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**THE USAGE OF MAHKOTA DEWA FRUIT (*PHALERIA
MACROCARPA*) AS GREEN CORROSION INHIBITOR ON
API 5L GRADE B STEEL IN THE 3,5% NaCl AND H₂SO₄ 1M**

Name: Fiki Maizal Candra

NRP: 2711 100 024

Department: Materials and Metallurgical Engineering

Lecturer: Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA

Abstract

Mahkota dewa fruit, one of the plants which has high antioxidant content, can be used as a corrosion inhibitor on the API 5L grade B steel in the NaCl 3.5% and 1M H₂SO₄. This inhibitor is extracted with reflux method then characterized using UV-Vis spectrophotometry to determine the content of total flavonoids which found in fruit extracts. To calculate the corrosion rate, the efficiency of inhibitor and inhibition mechanism using a weight loss, potentiodynamic polarization, EIS and FTIR examinations. From the done examinations at the highest efficiency inhibitor known that in NaCl 3.5% is 79.15% on the addition of 2000 ppm inhibitor at 288 hours with an average efficiency of 77.24%. At 1M H₂SO₄ solution, the highest efficiency of this inhibitor is 87.672% on the addition of 4000 ppm at 6 hours with an average efficiency of 81.06%. Mahkota dewa extract is a type of mixed-inhibitor in the NaCl 3.5% and 1M H₂SO₄ media electrolytes. With the inhibition mechanism of adsorption fisisorpsi.

Keywords: inhibitor, mixed inhibitors, adsorption fisisorpsi



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat, anugerah serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir penulis dengan judul “*PEMANFAATAN BUAH MAHKOTA DEWA (PHALERIA MACROCARPHA) SEBAGAI GREEN CORROSION INHIBITOR PADA BAJA API 5L GRADE B DI LINGKUNGAN 3,5% NaCl DAN H₂SO₄ 1M*”. Laporan tugas akhir ini dibuat untuk melengkapi syarat kelulusan mahasiswa di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi 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 semua pihak yang telah memberi dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga laporan kerja praktik ini dapat diselesaikan.

1. Tuhan Yang Maha Esa karena dengan rahmat dan kuasanya penulis dapat menyelesaikan laporan kerja praktik ini dengan baik dan tepat waktu.
2. Orang tua dan adik penulis, Bapak Syafril dan Ibu Hertaleni serta Fika Oktavia, Fitra Satria dan Fanisha



- Ramadhani yang selalu memberi dukungan, semangat, doa, perhatian kepada penulis
3. Bapak Dr. Sungging Pintowantoro, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS
 4. Bapak Prof. Dr.Ir Sulistyjono DEA selaku dosen pembimbing Tugas Akhir penulis yang selalu memberikan arahan dan bimbingan.
 5. Bapak Dr. Lukman Noerochim ST., M. Sc. selaku Dosen Wali penulis di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS
 6. Ibu Yuli Setyorini ST, MSc. Phd selaku koordinator tugas akhir
 7. Dosen Dosen dan Karyawan jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
 8. Sheby Sara Sandy sang kekasih yang juga merupakan partner Tugas Akhir dan juga partner KP yang selalu menemani penulis, yang selalu menyemangati dan sabar menghadapi penulis.
 9. Teman Teman Laboratorium Korosi dan Analisa Kegagalan, Yusli, Jimmy, Faris Putra, Faris Hijrian, Trendy, Nouval, Kikin, Dzaky
 10. Teman-teman MT 13 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi 2011.



11. Pihak lain yang belum penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu kelancaran Tugas Akhir penulis. Terima kasih banyak atas bantuan dan dukungannya. Semoga jasa kalian di balas Tuhan YME.

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

Surabaya 19 Januari 2015

Penulis,

Fiki Maizal Candra

2711 100 024

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembaran Pengesahan	v
Abstrak	vii
Kata Pengantar	xi
Daftar Isi	xv
Daftar Gambar	xix
Daftar Tabel	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pengertian Korosi	7
2.2 Jenis Jenis Korosi yang Terjadi pada Pipa Industri Minyak dan Gas	10
2.3 Perhitungan Laju Korosi	13
2.4 Pengujian Korosi	15
2.5 Pengendalian Korosi	25
2.5.1 Proteksi Katodik	25
2.5.2 Proteksi Anodik	27



2.5.3 Coating	28
2.5.4 Inhibitor Korosi.....	28
2.6 Efisiensi Inhibitor	39
2.7 Ekstraksi Metode Refluks	39
2.8 Antioksidan	40
2.9 Baja API 5L grade B.....	42
2.10 Mahkota Dewa.....	44
2.11 Penelitian Mengenai Green Corrosion Inhibitor	46
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian	51
3.2 Prosedur Penelitian	52
3.2.1 Study Literature	53
3.2.2 Pemilihan Material, Buah Mahkota Dewa dan Larutan Elektrolit.....	53
3.2.3 Preparasi	55
3.2.3.1 Preparasi Tananam Buah Mahkota Dewa.....	55
3.2.3.2 Preparasi Spesimen Baja API 5L grade B	59
3.2.3.3 Preparasi Larutan Elektrolit	62
3.2.4 Pengujian	63
3.2.4.1 Pengujian Spektrometer.....	63
3.2.4.2 Pengujian Spektrofotometri UV-Vis	64
3.2.4.3 Pengujian Weight Loss.....	66
3.2.4.4 Pengujian Fourier Transform Infrared Spectroscopy	68
3.2.4.5 Pengujian Polarisasi Linear	70



3.2.4.6 Pengujian Electrochemical Impedansi Spectroscopy	72
3.2.5 Data	73
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil	79
4.1.1 Hasil Pengujian Spektrometri	79
4.1.2 Hasil Pengujian Spektrometer Uv-Vis	81
4.1.3 Hasil Pengujian Weight Loss	85
4.1.4 Hasil Pengujian Polarisasi Linear	103
4.1.5 Hasil Pengujian EIS	119
4.1.6 Hasil Pengujian FTIR	136
4.1.4 Pengaruh pH	145
4.2 Pembahasan	148
BAB V KESIMPULAN DAN KESIMPULAN	
5.1 Kesimpulan	157
5.2 Saran	157
Daftar Pustaka	xxvii
Lampiran A	xxxiii
Lampiran B	xxxix
Lampiran C	xli



Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Reaksi evolusi hidrogen pada asam	9
Gambar 2.2 Reaksi reduksi oksigen pada netral.....	9
Gambar 2.3 Produk korosi berupa <i>ferrous hydroxide</i>	10
Gambar 2.4 Skema Kurva Polarisasi yang Menunjukkan Ekstrapolasi Tafel	21
Gambar 2.5 Sacrificial Anode	26
Gambar 2.6 Coating.....	28
Gambar 2.7 Laju korosi dan Efisiensi Inhibitor sebagai Fungsi Konsentrasi Inhibitor	29
Gambar 2.8 Mekanisme perlindungan terhadap peningkatan konsentrasi inhibitor katodik.....	36
Gambar 2.9 Mekanisme Kerja Inhibitor Korosi pada Pipa Baja ...	37
Gambar 2.10 Buah Mahkota Dewa	45
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	52
Gambar 3.2 Proses pengolahan buah mahkota dewa.....	56
Gambar 3.3 Rangkaian alat metode refluks	58
Gambar 3.4 Spesimen uji <i>Weight loss</i>	60
Gambar 3.5 Spesimen Uji Polarisasi	61
Gambar 3.6 Spesimen Uji EIS.....	62
Gambar 3.7 Dispersi panjang gelombang optik spektroskopi emisi	64
Gamabr 3.8 Skema pengujian spektrofotometer UV-Vis untuk uji flavonoid total	66



Gambar 3.9 Skema pengujian <i>weight loss</i>	68
Gambar 3.10 Skema Uji FTIR.....	70
Gambar 3.11 <i>Basic diagram of a potentiostat</i>	72
Gambar 3.12 Alat Uji EIS	73
Gambar 4.1 Kurva Spektro Uv-Vis ekstrak buah mahkota dewa ..	82
Gambar 4.2 Struktur kimia auron	83
Gambar 4.3 Hubungan konsentrasi inhibitor dengan laju korosi pada lingkungan NaCl 3,5%	88
Gambar 4.4 Spesimen Hasil Perendaman NaCl 3,5%	90
Gambar 4.5 Hubungan konsentrasi inhibitor terhadap efisiensi inhibitor pada lingkungan NaCl 3,5%	92
Gambar 4.6 Derajat <i>survace coverage</i> pada penambahan inhibitor di lingkungan NaCl 3,5%	94
Gambar 4.7 Hubungan konsentrasi inhibitor dengan laju korosi di lingkungan H ₂ SO ₄ 1M.....	99
Gambar 4.8 Spesimen hasil perendaman di media elektrolit H ₂ SO ₄ 1M selama 36 jam	101
Gambar 4.9 Hubungan konsentrasi inhibitor dengan efisiensi di lingkungan H ₂ SO ₄ 1M	103
Gambar 4.10 Kurva polarisasi spesimen di lingkungan NaCL 3,5% tanpa inhibitor	105
Gambar 4.11 Kurva polarisasi spesimen di lingkungan NaCL 3,5% 2000 ppm inhibitor	108
Gambar 4.12 Kurva Polarisasi E dan log I pada NaCl 3,5 %.....	111



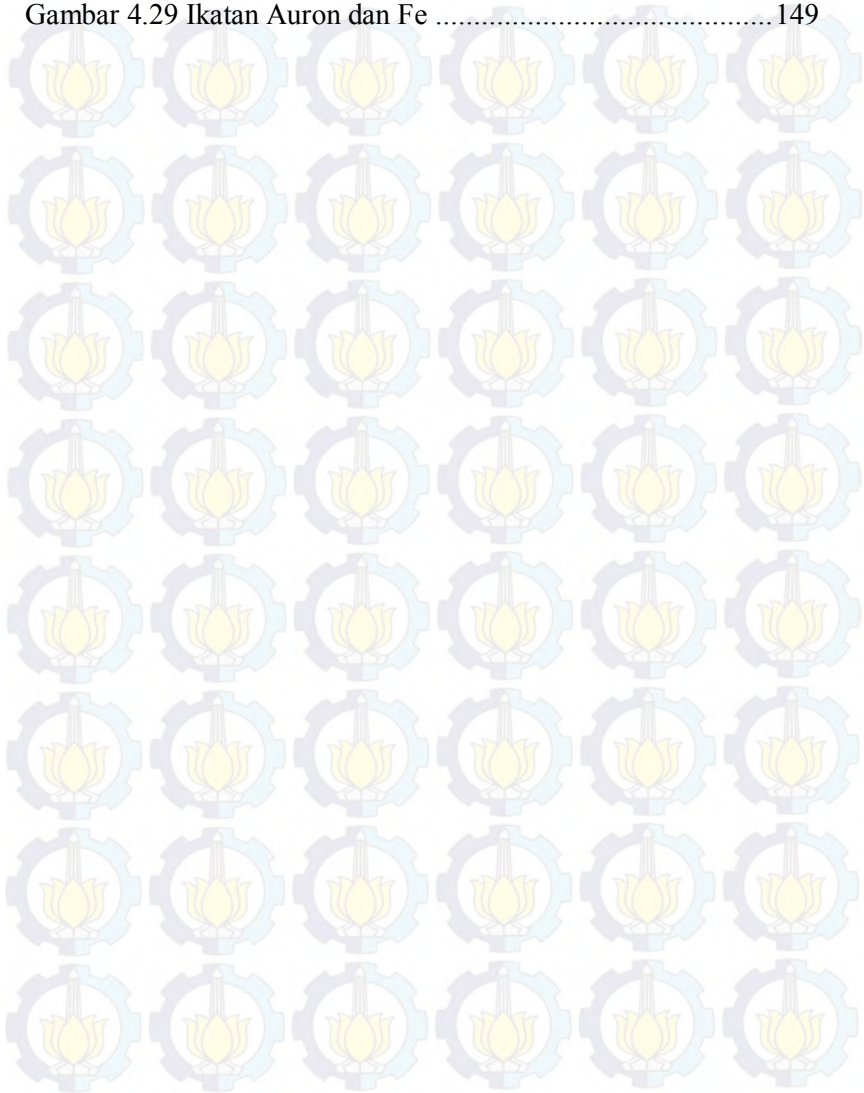
Gambar 4.13 Kurva polarisasi penambahan 0 ppm inhibitor	
media elektrolit H_2SO_4 1M.....	113
Gambar 4.14 Kurva polarisasi 4000 ppm inhibitor di media	
H_2SO_4 1M.....	115
Gambar 4.15 Kurva polarisasi 0 dan 4000 ppm di media	
H_2SO_4 1M.....	117
Gambar 4.16 Kurva Nyquist Baja API 5L grade B di	
lingkungan NaCl 3,5%	120
Gambar 4.17 Fitting <i>electrochemical circle fit</i> di lingkungan	
NaCl 3,5%	122
Gambar 4.18 Kurva Fit and simulation di media NaCl 3,5%.....	126
Gambar 4.19 Ekuivalen sirkuit NaCl 3,5%.....	128
Gambar 4.20 Kurva Nyquist H_2SO_4 1M	130
Gambar 4.21 <i>Fitting analysis electrochemical circle fit</i> di	
media H_2SO_4 1M.....	131
Gambar 4.22 Hasil fitting analisis <i>fit and simulation</i> di media	
H_2SO_4 1M.....	133
Gambar 4.23 Ekuivalent sirkuit di media elektrolit H_2SO_4 1M ..	135
Gambar 4.24 Spektra FTIR ekstrak buah mahkota dewa.....	138
Gambar 4.25 Spektra FTIR NaCl 3,5 %	140
Gambar 4.26 Spektra FTIR H_2SO_4	141
Gambar 4.27 Perbandingan Spektra FTIR buah mahkota dewa	
dan spesimen NaCl.....	142
Gambar 4.28 Perbandingan spektra FTIR ekstrak buah	



Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

mahkota dewa dengan H_2SO_4 1M..... 144

Gambar 4.29 Ikatan Auran dan Fe 149



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Tingkat Ketahanan Material Berdasarkan Laju Korosi	14
Tabel 2.2 Frekuensi gugus untuk gugus fungsi organik	25
Tabel 2.3 Komposisi kimia Baja API 5L grade B	43
Tabel 3.1 Komposisi kimia baja API 5L grade B	59
Tabel 3.2 Pengujian <i>Weight Loss</i> dengan ekstrak buah mahkota dewa media elektrolit NaCl 3,5%	74
Tabel 3.3 Pengujian <i>Weight Loss</i> dengan ekstrak buah mahkota dewa media elektrolit H ₂ SO ₄ 1M	75
Tabel 3.4 Pengujian <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> media elektrolit NaCl 3,5%	77
Tabel 3.5 Pengujian <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> media elektrolit H ₂ SO ₄ 1M	78
Tabel 4.1 Komposisi kimia baja API 5L grade B	79
Tabel 4.2 Pita absorpsi UV dari flavonoid	82
Tabel 4.3 Persentase kandungan flavonoid buah mahkota dewa ...	84
Tabel 4.4 Hubungan waktu, laju korosi dan efisiensi inhibitor pada larutan NaCl 3,5%	89
Tabel 4.5 Nilai tingkat ketahanan material berdasarkan laju korosi	93
Tabel 4.6 Derajat <i>Surface Coverage</i> pada API 5 L Grade B dengan penambahan inhibitor pada lingkungan NaCl 3,5%	96



Tabel 4.7 Nilai Energi Bebas Adsorpsi Akibat Penambahan Ekstrak buah mahkota dewa pada media elektrolit NaCl 3,5%.....	99
Tabel 4.8 Hubungan waktu, Laju korosi, dan Efisiensi inhibitor di lingkungan H ₂ SO ₄ 1M	101
Tabel 4.9 Nilai tingkat ketahanan material berdasarkan laju korosi	106
Tabel 4.10 Derajat <i>Surface Coverage</i> dengan penambahan inhibitor pada lingkungan H ₂ SO ₄ 1M.....	108
Tabel 4.11 Nilai Energi Bebas Adsorpsi Akibat Penambahan Ekstrak buah mahkota dewa di lingkungan elektrolit H ₂ SO ₄ 1M	110
Tabel 4.12 Perbandingan laju korosi pengujian polarisasi dan <i>weight loss</i>	119
Tabel 4.13 Hasil Perhitungan dari kurva polarisasi	121
Tabel 4.14 Perbandingan laju korosi pengujian polarisasi dan <i>weight loss</i>	126
Tabel 4.15 Hasil Perhitungan kurva polarisasi media elektrolit H ₂ SO ₄ 1M	129
Tabel 4.16 Parameter Elektrokimia uji EIS penambahan inhibitor ekstrak buah mahkota dewa di lingkungan NaCl 3,5%	133
Tabel 4.17 Parameter parameter elektrokimia hasil <i>fit and simulation analysis</i>	137
Tabel 4.18 Parameter elektrokimia inhibitor ekstrak buah mahkota dewa di lingkungan H ₂ SO ₄ 1M	141



Tabel 4.19 Parameter elektrokimia analisa <i>fit and simulation</i> di media H_2SO_4 1M	143
Tabel 4.20 Gugus fungsi masing masing uji FTIR	149
Tabel 4.21 pH penambahan inhibitor di lingkungan NaCl 3,5%. 156	
Tabel 4.22 pH penambahan inhibitor di lingkungan H_2SO_4 1M .157	

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baja merupakan bahan yang sangat vital dalam setiap industri, baik itu industri manufaktur, maupun di pengolahan minyak dan gas. Peran baja bisa ditemukan diberbagai bidang, baik itu untuk konstruksi, instalasi, maupun sarana transportasi. Jenis baja yang sering digunakan adalah baja karbon, hal ini dikarenakan baja karbon mudah dalam proses pembentukan, ekonomis serta memiliki sifat mekanik yang cukup bisa diandalkan, namun baja karbon memiliki kelemahan yang sangat mendasar yaitu sangat rentan terhadap serangan korosi, hampir semua instalasi di industri yang terdiri dari baja karbon mengalami korosi.

korosi adalah suatu proses degradasi material dan penurunan kualitas suatu material akibat pengaruh reaksi kimia dan elektrokimia dengan keadaan lingkungannya^[1]. Untuk mencegah atau meminimalisasi terjadinya kerusakan akibat korosi tersebut dapat diatasi dengan berbagai macam metode seperti proteksi katodik, anoda tumbal, arus tanding dan inhibitor. Dari beberapa cara tersebut, untuk melindungi logam dari internal corrosion penggunaan inhibitor korosi merupakan salah satu metode yang paling praktis^[2]. Inhibitor adalah suatu zat



yang ditambahkan pada media yang bersifat korosif dengan tujuan dapat menghambat laju korosi.

Dewasa ini para peneliti semakin gencar meneliti tentang bio inhibitor dikarenakan memiliki sifat yang sangat ramah terhadap lingkungan karena bersifat *biodegradable*, mudah didapat karena keberlimpahannya di alam. Pada dasarnya tanaman yang bisa dijadikan sebagai inhibitor organik adalah tanaman yang memiliki sifat antioksidan, seperti mengandung senyawa flavonoid, tanin, asam askorbat, fenolik, dan lain lain. *Green inhibitor* mengandung atom N, O, P, S, dan atom atom yang mempunyai pasangan elektron bebas. Unsur yang mengandung pasangan elektron bebas akan membentuk senyawa kompleks dengan logam^[3].

Mahkota dewa (*Phaleria macrocarpa*) adalah tanaman tropis yang berasal dari Pulau Papua dan banyak digunakan sebagai bahan obat untuk menyembuhkan kanker dan diabetes melitus^[4]. Di dalam kulit buah mahkota dewa terkandung senyawa alkaloid, saponin, dan flavonoid, sementara dalam daunnya terkandung alkaloid, saponin, serta polifenol. Senyawa saponin diklasifikasikan berdasarkan struktur aglikon ke dalam triterpenoid dan steroid saponin. Kedua senyawa tersebut mempunyai efek anti inflamasi, analgesik, dan sitotoksik^[5].

Oleh karena itu dalam penelitian kali ini peneliti akan memanfaatkan buah mahkota dewa (*Phaleria macrocarpa*) yang



mengandung senyawa antioksidan seperti alkaloid, saponin, dan flavonoid sebagai inhibitor korosi. Media yang digunakan pada penelitian ini adalah lingkungan 3,5% NaCl dan H_2SO_4 1 M. Material yang digunakan adalah API 5L Grade B dengan variasi konsentrasi inhibitor 0 mg/L, 1000 mg/L (1000 ppm), 2000 mg/L (2000 ppm), 3000 mg/L (3000 ppm), 4000 mg/L (4000 ppm), dan 5000 mg/L (5000 ppm).

1.2 Perumusan Masalah

Korosi dapat dikendalikan dengan inhibitor, secara garis besar terdapat dua jenis inhibitor yaitu inhibitor anorganik dan inhibitor organik, namun dalam pemakaiannya inhibitor anorganik memiliki permasalahan terhadap lingkungan sekitar karena sifatnya yang susah terurai, karena itu di pilih inhibitor organik karena sifatnya yang ramah lingkungan karena bersifat *bio degradable*. Tanaman yang bisa dijadikan sebagai bio inhibitor adalah tanaman yang mengandung senyawa antioksidan, salah satu tanaman antioksidan yang khasiatnya begitu tinggi adalah buah mahkota dewa, berdasarkan hal tersebut maka permasalahan permasalahan yang akan dikaji pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana efisiensi dari inhibitor buah mahkota dewa (*Phaleria macrocarpa*) pada baja API 5L Grade B dilingkungan NaCl 3.5%, H_2SO_4 1M.



2. Bagaimana mekanisme inhibisi dari inhibitor buah mahkota dewa (*Phaleria macrocarpa*) yang diaplikasikan pada baja karbon rendah API 5 L Grade B dalam media korosif 3.5% NaCl dan 1 M H_2SO_4 .

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini membatasi permasalahan sebagai ruang lingkup dalam penelitian buah mahkota dewa sebagai bioinhibitor adalah:

1. Komposisi kimia, dan kehalusan permukaan tiap spesimen baja karbon API 5L Grade B dianggap homogen.
2. Dimensi pada tiap material dianggap homogen
3. Perubahan terhadap temperatur dan volume larutan, sepanjang penelitian dianggap tidak mengalami perubahan

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisa pengaruh penambahan inhibitor terhadap efisiensi inhibitor buah mahkota dewa (*Phaleria macrocarpa*) pada baja karbon rendah API 5L Grade B dengan dengan variasi konsentrasi



inhibitor 0 ppm, 1000 ppm, 2000 ppm, 3000 ppm, 4000 ppm, dan 5000 ppm di lingkungan elektrolit NaCl 3,5% dan H₂SO₄ 1M

2. Menganalisa mekanisme inhibisi dari inhibitor buah mahkota dewa (*Phaleria macrocarpa*) yang diaplikasikan pada baja karbon rendah API 5L Grade B di lingkungan elektrolit NaCl 3,5% dan H₂SO₄ 1M

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memanfaatkan buah mahkota dewa sebagai alternatif inhibitor yang digunakan pada baja karbon yang digunakan pada industri minyak dan gas.
2. Memberikan pengetahuan mengenai potensi inhibisi yang diperoleh dari ekstrak buah mahkota dewa (*Phaleria macrocarpa*) berdasarkan kandungan gugus fungsi ikatan serta mekanisme proteksi melalui pengujian elektrokimia dan karakterisasinya.
3. Memberikan motivasi kepada para peneliti Indonesia agar terus menggali potensi senyawa organik sebagai inhibitor korosi karena indonesia memiliki beraneka ragam jenis tanaman yang bersifat antioksidan



1.6 SistematikaPenulisan

Sistematika dalam penyusunan tugas akhir ini terbagi dalam lima bab, yaitu :

1. **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisikan tentang latar belakang penelitian, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

2. **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi tentang teori-teori dari literatur yang berhubungan dan menunjang analisa permasalahan dalam penelitian ini.

3. **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini berisi rancangan penelitian, prosedur pelaksanaan, spesifikasi peralatan dan material uji,

4. **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisi tentang data data yang didapatkan ketika penelitian, dilengkapi dengan analisa serta pembahasannya.

5. **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi tentang kesimpulan yang didapatkan setelah melakukan penelitian, serta saran saran yang perlu diberikan untuk kemajuan penelitian kedepannya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Korosi

Korosi didefinisikan sebagai degradasi dari material yang diakibatkan oleh reaksi kimia dengan material lainnya dan lingkungan. Akibat adanya reaksi korosi, suatu material akan mengalami perubahan sifat ke arah yang lebih rendah atau dapat dikatakan kemampuan dari material tersebut akan berkurang. Atom logam di alam berada di dalam senyawa kimia yaitu mineral. Korosi sebenarnya mengembalikan logam untuk kembali menjadi berada dalam keadaan bergabung di dalam senyawa kimianya dimana senyawa tersebut akan sama atau bahkan identik terhadap mineral ketika logam diekstraksi^[1]. Ada beberapa elemen yang harus ada dalam sebuah mekanisme korosi, hal-hal tersebut adalah sebagai berikut^[6].

1. Terdapat anoda sebagai tempat terjadinya oksidasi, yang merupakan proses korosi terjadi
2. Terdapat katoda sebagai daerah dimana terjadinya reaksi reduksi dengan menerima electron hasil proses oksidasi
3. Terdapat elektrolit sebagai tempat electron bergerak, yang menghubungkan Antara katoda dan anoda
4. Terdapatnya arus



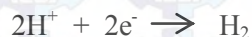
Anoda dalam sel elektrokimia, adalah tempat dimana *metal loss* terjadi dimana elektron akan terlepas dari logam kemudian logam akan menjadi ion. Logam yang sudah kehilangan elektron ini kemudian bermigrasi dari permukaan logam ke lingkungan. Katoda adalah tempat dimana elektron yang dilepas oleh logam dipakai untuk sebuah proses yang disebut dengan proses reduksi. Reaksi yang terjadi pada anoda adalah reaksi oksidasi dimana reaksi pelepasan elektron sehingga terjadi peningkatan nilai valensi dan perubahan logam menjadi ionnya. Reaksi suatu logam M dinyatakan dalam persamaan berikut



Reaksi yang terjadi pada anoda adalah reaksi reduksi dengan menggunakan elektron yang dilepaskan oleh anoda. Pada lingkungan air alam, proses yang sering terjadi adalah pelepasan H_2 dan reduksi O_2 .

- a. Pelepasan H_2 dalam larutan asam dan netral

Evolusi hidrogen / larutan asam:

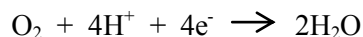


Reduksi air / larutan netral/basa:



- b. Reduksi oksigen terlarut dalam larutan asam dan netral

Reduksi oksigen / asam :

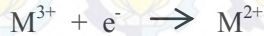




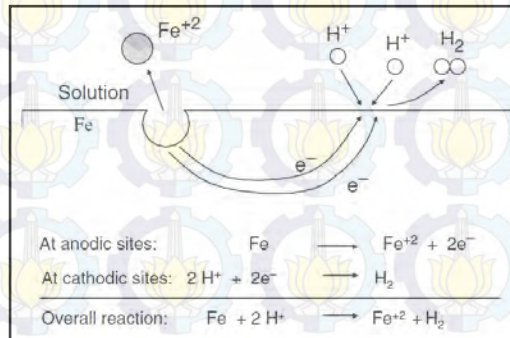
Reduksi oksigen / netral/basa:



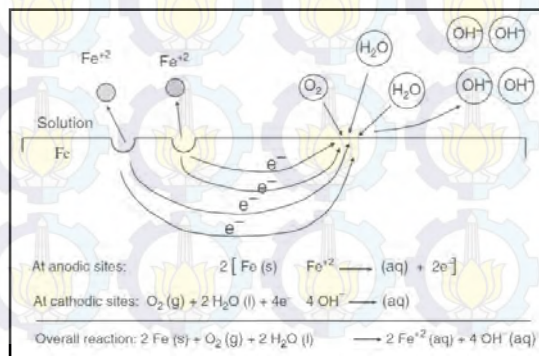
c. Reduksi ion logam yang lebih elektronegatif



Dari persamaan di atas dapat dilihat skema reaksi evolusi hidrogen dalam asam pada gambar 2.1 dan skema reaksi reduksi oksigen dalam netral pada gambar 2.2.



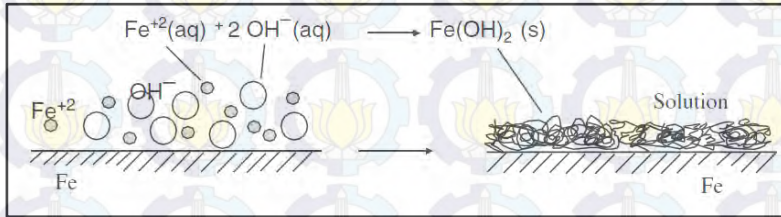
Gambar 2.1 Reaksi evolusi hidrogen pada asam^[7]



Gambar 2.2 Reaksi reduksi oksigen pada netral^[7]



Pada gambar 2.2 hasil reaksi yang terjadi dapat menyebabkan terjadinya korosi apabila ion-ionnya saling mengikat dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Produk korosi berupa *ferrous hydroxide*^[7]

2.2 Jenis-Jenis Korosi yang terjadi pada Pipa Industri Minyak dan Gas

Penurunan kualitas suatu material akibat adanya reaksi dengan lingkungan sering terjadi pada industri minyak dan gas khususnya dibagian perpipaannya. Hal ini disebabkan pipa minyak bumi membawa produk minyak, gas atau minyak bumi yang mudah terkorosi. Selain itu di dalam pipa industri minyak dan gas terdapat air, garam CO_2 , H_2S atau bahkan bahan abrasif (pasir) yang berpotensi untuk korosi internal^[6].

Berbagai macam jenis korosi tersebut diklasifikasikan berdasarkan mekanisme terjadinya korosi, yaitu: korosi seragam (*Unifrom Corrosion*), korosi galvanik (*Galvanic Corrosion*), korosi celah (*Crevice Corrosion*), korosi sumuran (*Pitting Corrosion*), *Stress Corrosion Cracking* (SCC), *Hydrogen*



damage, korosi integranular (*Intergranular Corrosion*), korosi erosi (*Erosion Corrosion*)^[1].

1. Korosi seragam (*Unifrom Corrosion*)

Korosi ini ditandai dengan proses korosi yang terjadi atau berlangsung di seluruh bagian logam atau luas permukaan logam. Permukaan logam yang mengalami korosi ini lama kelamaan akan terkikis dan logam menjadi tipis^[8].

2. Korosi galvanik (*Galvanic Corrosion*)

Korosi galvanic adalah korosi yang timbul apabila dua logam atau lebih yang memiliki potensial reduksi berbeda berada dalam suatu lingkungan dan saling berhubungan. Logam dengan potensial yang lebih tinggi akan bersifat katodik sedangkan yang potensialnya lebih rendah bersifat anodik.^[8]

3. Korosi celah (*Crevice Corrosion*)

Korosi celah biasanya juga disebut sebagai sel terkonsentrasi, karena perbedaan lingkungan Antara bagian dalam dan bagian luar celah. Bagian dalam celah, konsentrasi oksigennya rendah atau kurang sehingga bersifat anodik, sedangkan bagian luar celah, konsentrasi oksigennya lebih tinggi sehingga logam bersifat katodik^[1].

4. Korosi sumuran (*Pitting Corrosion*)



korosi yang terjadi akibat rusaknya lapisan pasif di satu titik karena pengaruh dari lingkungan korosif. Contoh lingkungan korosif tersebut seperti pada air laut. Air laut yang mengandung ion Cl^- akan menyerang lapisan pasif dari logam. Ketika terjadi permulaan pitting pada satu titik di permukaan lapisan pasif, maka ion Cl^- akan terkonsentrasi menyerang pada permukaan lapisan pasif yang terjadi pitting terlebih dahulu sehingga pitting akan menjadi dalam. Pecahnya lapisan pasif mengakibatkan gas hidrogen dan oksigen mudah masuk dan mengakibatkan korosi pada material tersebut^[1].

5. *Stress Corrosion Cracking (SCC)*

Korosi terjadi karena adanya tegangan beban tarik pada suatu material di lingkungan korosif. Pertama kali logam akan terkena korosi pada suatu titik, dan kemudian akan terbentuk retakan. Retakan ini akan menjalar dan dapat menyebabkan kegagalan pada komponen tersebut. Sifat yang khas dari korosi ini adalah crack yang berbentuk akar serabut^[1].

6. *Hydrogen damage*

Merupakan korosi yang terjadi akibat difusi atom hidrogen ke batas butir logam dan dapat mengakibatkan hydrogen blistering, hydrogen induce cracking, dan akan mengurangi keuletan jika ditinjau dari aspek metalurgi^[1].



7. Korosi integranular (*Intergranular Corrosion*)

Umumnya terjadi karena adanya pengaruh sensitasi, dimana pada batas butir paduan kromium akan tertarik membentuk kromium karbida. Dengan berkurangnya kandungan krom disekitar batas butir akan mengakibatkan bagian tersebut menjadi lebih rentan terhadap korosi dan terjadilah korosi disepanjang batas butir^[1].

8. Korosi erosi (*Erosion Corrosion*)

Korosi yang terjadi karena adanya fluida korosif yang mengalir pada permukaan material. Fluida tersebut dapat berupa fluida liquid maupun gas dengan kecepatan tinggi. Karena kecepatan tinggi dari fluida korosif yang mengalir, terjadi efek keausan mekanis atau abrasi.^[1]

2.3 Perhitungan Laju Korosi

Laju korosi didefinisikan sebagai banyaknya logam yang dilepas tiap satuan waktu pada permukaan tertentu. Pengukuran laju korosi merupakan salah satu upaya untuk memonitor korosi yang digunakan untuk mengetahui kecepatan material yang terkorosi, sehingga waktu ketika material tersebut mulai terkorosi dapat diprediksi^[1]. Laju korosi adalah peristiwa merambatnya proses korosi yang terjadi pada suatu material. Pada beberapa pengujian korosi sebagian besar yang dilakukan adalah laju



korosi. Hal ini disebabkan laju korosi berkaitan erat dengan nilai ekonomis dan teknis material. Laju korosi merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur ketahanan terhadap korosi pada material sehingga nanti dapat dinyatakan berapa *lifetime* dari material tersebut layak digunakan. nilai tingkat ketahanan material berdasarkan laju korosi dapat dilihat pada tabel dibawah ini ^[9].

Tabel 2.1 Nilai Tingkat Ketahanan Material Berdasarkan Laju Korosi

Relative Corrosion Resistance	Approximate Metric Equivalent				
	Mpy	mm/year	µm/yr	nm/yr	pm/sec
Outstanding	< 1	< 0.02	< 25	< 2	< 1
Excellent	1 – 5	0.02 – 0.1	25- 100	2 – 10	1 – 5
Good	5 – 20	0.1 – 0.5	100 – 500	10 – 50	5 – 20
Fair	20 – 50	0.5 – 1	500 – 1000	50 – 100	20 – 50
Poor	50 – 200	1 – 5	1000 – 5000	150 – 500	50 – 200
Unacceptable	200+	5+	5000+	500+	200+



Untuk mengukur laju korosi terdapat beberapa metode, yaitu dengan metode *weight loss* dan juga dengan cara elektrokimia (diagram polarisasi, *Electrochemical Impedance Spectroscopy*).

2.4 Pengujian Korosi

❖ Metode Pengurangan Berat

Metode pengurangan berat atau yang disebut juga dengan *weight loss* merupakan salah satu metoda yang digunakan untuk menentukan laju korosi. Spesimen merupakan lempengan logam yang ditempatkan di dalam sistem dan dibiarkan untuk terkorosi. Spesimen digunakan untuk mengetahui laju korosi melalui *weight loss*.

Prinsip dasar pengujian ini mengacu pada standar ASTM G 31-72 yaitu dengan menghitung massa logam yang telah dibersihkan dari oksida dan massa tersebut dinyatakan sebagai massa awal, lalu logam direndam pada larutan elektrolit selama selang waktu yang telah ditentukan. Setelah itu, dilakukan pembersihan untuk membersihkan produk korosinya yang telah terbentuk setelah perendaman. Kemudian, massa logam dihitung kembali dari suatu logam yang telah dibersihkan dan massa tersebut dinyatakan sebagai massa akhir. Sehingga didapatkan data berat sebelum dan sesudah perendaman. Kehilangan berat yang terjadi kemudian dikonversikan menjadi suatu laju korosi



dengan memperhitungkan kehilangan berat, luas permukaan yang terendam, waktu perendaman dan masa jenis^[1]. Untuk pembersihan produk korosinya (*Pickling*) mengacu pada standar ASTM G1 pada tabel A1.1. *Pickling* dilakukan dengan mencampurkan 500 mL HCl dengan 3,5 g Hexamethylene tetramine kemudian mencampurkan dengan aquades mejadi 1 iter larutan. Setelah itu mencelupkan spesimen kedalam larutan tersebut selama kurang leih 10 menit.

Laju korosi umumnya dinyatakan dengan satuan *mils per year* (mpy) ^[9]. Satu *mils* setara dengan 0,001 inch. Laju korosi dapat dirumuskan sebagai berikut^[1].

$$MPY = 3,45 \times 10^6 \frac{W}{DAT} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

W : berat yang hilang (mg)

D : densitas dari sampel uji yang digunakan (g/cm³)

A : luas area dari sampel uji yang digunakan (cm²)

T : waktu ekspos (jam)

Dari laju korosi tersebut kemudian didapatkan efisiensi inhibitor buah mahkota dewa. dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$IE = \frac{CR_0 - CR_n}{CR_0} \times 100\% \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

CR₀ = Laju korosi pada 0 PPM



CR_n = Laju korosi pada penambahan n inhibitor

Efisiensi inhibitor sangat erat hubungannya dengan fraksi dari permukaan yang ditutupi oleh adsorpsi dari molekul inhibitor (Θ) yang nantinya akan digunakan untuk menentukan nilai konstanta Gibbs sehingga dapat diketahui tipe inhibisi dari inhibitor tersebut. Derajat dari *surface coverage* Θ dihitung menggunakan persamaan seperti berikut :

$$\Theta = IE\% / 100 \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

Θ = *Surface coverage*

IE = Efisiensi inhibitor

Untuk menentukan adsorpsi yang terjadi pada inhibitor dapat dihitung melalui persamaan *Langmuir adsorption isotherm* yaitu sebagai berikut :

$$\frac{C}{\theta} = \frac{1}{k} + C \dots\dots\dots (2.4)$$

$$k = \frac{1}{55.5} \exp \left(\frac{-\Delta G^0_{ads}}{RT} \right) \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

C = Konsentrasi Inhibitor (g/l)

k = Konstanta Adsorpsi

T = Temperatur (K)

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

ΔG^0_{ads} = Standart Energi Bebas Adsorpsi (kJ/mol)



❖ **Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)**

Spektroskopi impedansi elektrokimia adalah suatu metode yang digunakan untuk mengetahui perilaku korosi pada suatu elektroda dengan mengamati karakterisasinya. Karakterisasi elektroda yang dimaksud adalah untuk menentukan ketahanan polarisasi (R_p), laju korosi (CR) dan mekanisme elektrokimia. Penggunaan metode ini berdasarkan model dari proses korosi oleh sirkuit elektrik.

EIS bekerja berdasarkan respon terhadap sirkuit yang setara untuk *interface* elektroda/larutan. EIS digunakan untuk menentukan parameter kinetika elektrokimia berkaitan dengan unsur-unsur listrik seperti tahanan, R , kapasitansi, C , dan induktansi, L . Tahanan listrik dalam EIS dinyatakan dengan impedansi (Z). Impedansi adalah ukuran kemampuan suatu rangkaian dalam menahan arus listrik. Dalam impedansi, sinyal potensial dan arus AC berada dalam fasa yang berbeda, dan nilainya dipengaruhi oleh frekuensi. Impedansi elektrokimia diukur melalui potensial AC yang diterapkan pada sel elektrokimia untuk mengukur arus dengan asumsi bahwa potensial yang dibangkitkan sinusoidal.

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 (rad sec^{-1}).



$$Z(\omega) = \frac{E(t)}{I(t)} = Z'(\omega) + jZ''(\omega) \dots \dots \dots (2.6)$$

$$Y(\omega) = \frac{I(t)}{E(t)} = Y'(\omega) + jY''(\omega) \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana :

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

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

ω = $2\pi f$ = 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

Dari pengujian EIS bisa diketahui efisiensi inhibitor dengan menggunakan persamaan berikut

$$EI = \frac{Rp(\text{penamaba han inhibitor}) - Rp(\text{tanpa inhibitor})}{Rp(\text{tanpa inhibitor})} \times 100\% \dots (2.8)$$

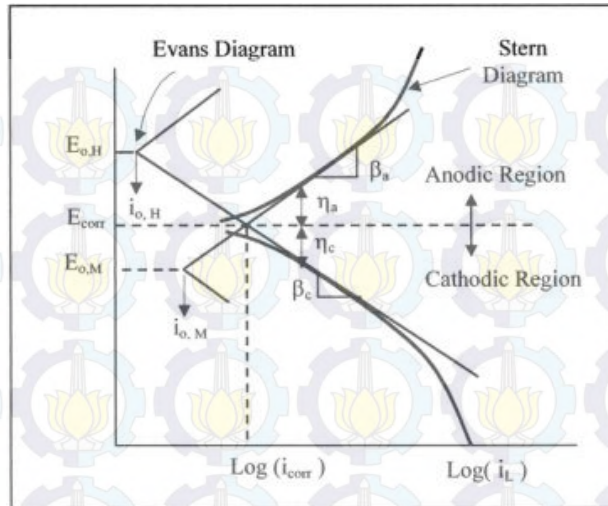
❖ Pengujian Polarisasi

Polarisasi merupakan suatu fenomena dimana terjadi penyimpangan potensial dari kondisi kesetimbangannya. Dengan metoda polarisasi, laju korosi dapat ditentukan oleh kerapatan arus yang timbul (*current density*) untuk menghasilkan suatu kurva polarisasi (tingkat perubahan potensial sebagai fungsi dari besarnya



arus yang digunakan) untuk permukaan yang laju korosinya sedang ditentukan. Semakin tinggi kerapatan arus yang timbul, maka korosi akan semakin hebat begitupula sebaliknya^[10].

Tingkat polarisasi adalah ukuran dari bagaimana laju dari reaksi pada anoda dan katoda dihambat oleh bermacam lingkungan (konsentrasi dari ion logam, oksigen terlarut) atau disebut juga polarisasi aktivasi. Variasi dari potensial sebagai fungsi dari arus (kurva polarisasi) memungkinkan untuk mengetahui pengaruh dari proses konsentrasi dan aktivasi pada tingkat dimana reaksi anoda maupun katoda dapat memberi atau menerima elektron. Karenanya, pengukuran polarisasi dapat menentukan laju reaksi yang terlibat dalam proses korosi^[11]. Polarisasi logam dalam larutan akan mencapai potensial kesetimbangan yang tergantung pada pertukaran elektron oleh reaksi katodik dan anodik. Suatu logam tidak berada dalam kesetimbangan dengan larutan yang mengandung ion-ionnya, sehingga potensial elektroda akan berbeda dari potensial korosinya dan selisih keduanya disebut over potensial atau polarisasi^[1].



Gambar 2.4 Skema Kurva Polarisasi yang Menunjukkan Ekstrapolasi Tafel^[12]

Pada gambar diatas menjelaskan bahwa $E_{o,M}$ dan $E_{o,H}$ adalah open sirkuit potensial untuk logam dan hidrogen. Kemudian nilai $i_{o,H}$ dan $i_{o,M}$ adalah perubahan kerapatan arus dan i_L adalah kerapatan arus terbatas. Untuk elektroda yang *reversible*, Evans diagram dapat digunakan untuk menentukan titik korosi dimana garis antara katodik hidrogen dan anodik logam berpotongan. Disisi lain, perilaku elektrokimia yang tidak *reversible* ditunjukkan oleh katodik dan anodik dari Stern Diagram yang juga digunakan untuk menentukan titik korosi dengan ekstrapolasi sisi linear kedua kurva hingga berpotongan.

Pada umumnya evaluasi mengenai perilaku korosi merupakan fungsi yang bergantung kepada parameter kinetik.



Fungsi kerapatan arus untuk polarisasi elektroda *irreversible* dari potensial korosi ditunjukkan oleh persamaan berikut ini :

$$i_{\text{reaction}} = i_0 \left\{ \exp \left(\alpha \frac{nF}{RT} \eta_{\text{reaction}} \right) - \exp \left(-(1-\alpha) \frac{nF}{RT} \eta_{\text{reaction}} \right) \right\} \dots \dots (2.9)$$

Dimana :

i_{reaction} = arus anodik atau katodik

α = penghalang (barrier) terjadinya perpindahan muatan untuk reaksi anodik atau katodik

n = jumlah elektron yang berpartisipasi

R = Konstanta Gas (8,314 J/mol K)

T = Temperatur absolute (K)

F = 96485 C/mol elektron

Pengujian polarisasi secara umum diatur pad ASTM G 102 – 89 *Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurement* ^[13]. Pada ASTM G 102 ini bisa diketahui nilai i_{corr} jika terlebih dahulu diketahui nilai b_a (*slope of the anodic Tafel reaction V/dec*) dan b_c (*slope of the cathodic Tafel reaction V/dec*) dari kurva polarisasi yang didapatkan ketika pengujian. Dimana persamaan i_{corr} adalah

$$i_{\text{corr}} = \frac{B}{R_p} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana : i_{corr} = corrosion current density, ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

B = Stern Geary Constant (V)

R_p = Polarization Resistance (Ω/cm^2)

Dengan nilai B didapatkan dari persamaan:



$$B = \frac{baxbc}{2,303 (ba+bc)} \dots\dots\dots (2.11)$$

Setelah mendapatkan nilai i_{corr} nya maka dapat menentukan laju korosinya dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$CR = Ki \frac{i_{corr}}{\rho} EW \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana : CR = Corrosion Rate (mm/yr)
 Ki = $3.273 \cdot 10^{-3}$, (mm g/ μ A cm yr)
 ρ = Density (g/cm³)
 EW = Equivalent Weight (g/mol)

Selain mendapatkan laju korosi juga bisa diketahui *mass loss rate* dengan menggunakan persamaan

$$MR = K_2 \times i_{corr} \times EW \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana : MR : Mass loss Rate (g/m²d)
 K₂ : $8.954 \cdot 10^{-3}$, (g cm²/ μ A m² d)

❖ **Fourier Transform Infra Red (FTIR)**

FTIR merupakan metode analisis material dengan menggunakan spektroskopi sinar infra merah. Sinar infra merah memiliki rentang panjang gelombang dari 2.5 μ m sampai 25 μ m. Radiasi infrared (IR) pada dasarnya mengacu pada bagian spektrum elektromagnetik antara daerah yang tampak dengan daerah microwave. Penggunaan IR yang paling banyak adalah pada kimia organik dengan pembatasan spektrum antara 4000



sampai 400 cm^{-1} . Spektrum yang dihasilkan oleh radiasi IR dapat digunakan untuk mengetahui identitas dari suatu kimia organik, hal ini didasarkan pada molekul dapat memberikan suatu spektrum yang sangat kompleks meskipun merupakan molekul yang sederhana.. Spektrum IR merupakan karakteristik dari seluruh molekul, disebabkan oleh suatu gugus atom dapat menimbulkan band di atau dekat dengan frekuensi yang sama tanpa memperhatikan struktur dari keseluruhan molekul. Radiasi IR akan diabsorpsi dan dirubah oleh molekul organik menjadi energi getaran molekul (molecular vibration) pada frekuensi 4000 dan 400 cm^{-1} . Spektra dari getaran muncul dalam bentuk band karena satu perubahan energi getaran disertai dengan sejumlah perubahan energi rotasi (rotational energy change).

Sedangkan untuk perkiraan frekuensi dimana gugus fungsi organik yang dapat diserap oleh radiasi IR disebut sebagai frekuensi gugus. Frekuensi gugus jarang sekali memiliki nilai sama disebabkan frekuensi gugus tersebut terjadi sebagai interaksi dengan getaran lain yang terkait dengan satu atau dua atom yang menyusun gugus. Oleh karena itu serapan maksimum untuk gugus fungsi dapat ditentukan^[14]



Tabel 2.2 Frekuensi gugus untuk gugus fungsi organik^[15]

Ikatan	Tipe Senyawa	Daerah frekuensi (cm ⁻¹)	Intensitas
C - H	Alkana	2850 - 2970 1340 - 1470	Kuat Kuat
C - H	Alkena 	3010 - 3095 675 - 995	Sedang Kuat
C - H	Alkuna 	3300	Kuat
C - H	Cincin Aromatik	3010 - 3100 690 - 900	Sedang Kuat
O - H	Fenol, monomer alkohol, alkohol ikatan hidrogen, fenol	3590 - 3650 3200 - 3600	Berubah-ubah Berubah-ubah, terkadang melebar
	monomer asam karboksilat, ikatan hidrogen asam karboksilat	3500 - 3650 2500 - 2700	Sedang Melebar
N - H	Amina, Amida	3300 - 3500	Sedang
C=C	Alkena	1610 - 1680	Berubah-ubah
C=C	Cincin Aromatik	1500 - 1600	Berubah-ubah
C≡C	Alkuna	2100 - 2260	Berubah-ubah
C - N	Amina, Amida	1180 - 1360	Kuat
C≡N	Nitril	2210 - 2280	Kuat
C - O	Alkohol, Eter, Asam Karboksilat, Ester	1050 - 1300	Kuat
C=O	Aldehid, Keton, Asam Karboksilat, Ester	1690 - 1760	Kuat
NO ₂	Senyawa Nitro	1500 - 1570 1300 - 1370	Kuat Kuat

Sumber : *Principle of Instrumental Analysis*, Skoog, Holler, Nieman, 1998.

2.5 Pengendalian Korosi

Korosi tidak dapat dicegah ataupun dihentikan, namun laju korosi dapat dikendalikan. Dibawah ini adalah metode metode pengendalian korosi

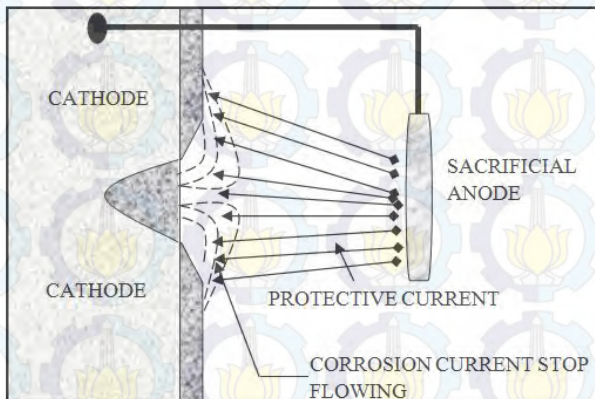
2.5.1 Proteksi Katodik

Proteksi katodik dibagi atas dua Metode sebagai berikut :



1. Anoda korban (*sacrifice anode*)

Metode ini menggunakan prinsip sistem galvanik, dimana logam yang akan dilindungi dihubungkan secara elektrik dengan logam yang bersifat lebih anodik (potensial standarnya lebih kecil) sesuai dengan deret galvanik. Dengan demikian logam yang akan dilindungi bersifat sebagai katoda dan logam lainnya akan menjadi anoda. Anoda korban akan terus-menerus termakan oleh korosi sehingga harus diganti secara berkala^[6]. Pada sistem proteksi katodik dengan anoda karbon, tidak diperlukan daya. Paduan yang dijadikan anoda korban akan membangkitkan arus yang diperlukan sebagai akibat adanya perbedaan potensial dengan struktur yang dilindunginya.



Gambar 2.5. *Sacrificial Anode*



2. Arus tanding (*impressed current*)

Sistem proteksi katodik arus tanding memanfaatkan arus searah yang berasal dari suatu sumber daya dimana kutub positif dari sumber daya dihubungkan dengan anoda sedangkan kutub negatifnya dihubungkan dengan sistem yang akan diproteksi. Proteksi katodik ini dilakukan untuk mengurangi atau menghentikan laju korosi pada logam dengan cara arus tanding (*impressed current*). Dimana proses proteksi katodik ini dilakukan dengan memanfaatkan sumber arus luar DC (arus searah) yang dihasilkan *rectifier*^[1]. Pengalihan arus dari *rectifier* ini berfungsi untuk menghantarkan elektron menuju katoda sehingga dapat memberikan suplai elektron ke katoda, sehingga mencegah terlarutnya logam katoda menjadi ionnya. Perlindungan katoda ini biasanya terdapat di lingkungan alkali/alkali tanah atau air laut.

2.5.2 Proteksi Anodik

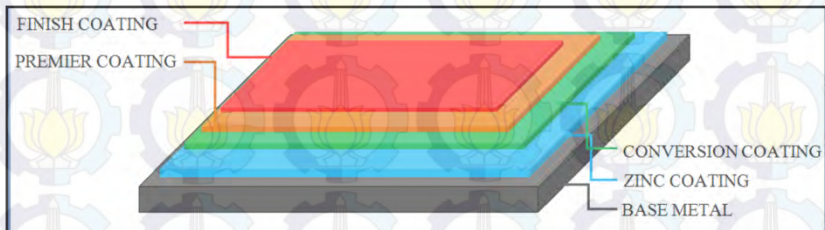
Pada perlindungan secara anodik (proteksi anodik), tegangan sistem yang dilindungi dinaikkan sehingga memasuki daerah anodiknya. Pada kondisi ini sistem terlindungi karena terbentuknya lapisan pasif. Syarat yang harus dipenuhi agar sistem ini berjalan dengan baik adalah bahwa karakteristik lingkungannya harus stabil. Pada jenis lingkungan yang tidak



stabil (berfluktuasi) penerapan sistem proteksi anodic tidak dianjurkan

2.5.3 Coating

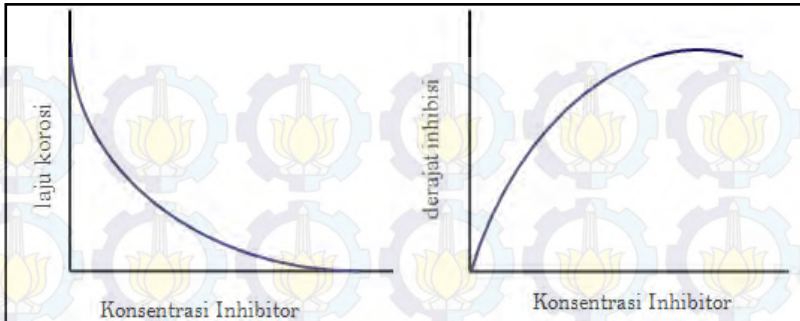
Coating atau bisa disebut pelapisan adalah suatu teknik perlakuan permukaan (surface treatment) yang digunakan untuk memperbaiki sifat base-materialnya seperti meningkatkan ketahanan aus, ketahanan korosi, *fatigue life* dll. Coating adalah produk yang paling banyak digunakan untuk perlindungan korosi. Coating digunakan untuk perlindungan jangka panjang diberbagai kondisi lingkungan yang korosif^[16].



Gambar 2.6 Coating

2.5.4 Inhibitor Korosi

Inhibitor korosi adalah substansi kimia yang ditambahkan pada lingkungan korosif dapat menghasilkan pengurangan laju korosi dengan tingkat yang sesuai (*acceptable level*)^[17].



Gambar 2.7 (a) Laju korosi sebagai Fungsi Konsentrasi Inhibitor
(b) Efisiensi Inhibitor sebagai Fungsi Konsentrasi Inhibitor^[17]

Pada umumnya inhibitor korosi digunakan dalam konsentrasi tertentu. Inhibitor korosi sebaiknya tidak hanya menghambat korosi tetapi juga dapat kompatibel dengan lingkungan. Biasanya inhibitor korosi mempunyai ukuran keberhasilan daya inhibisi terhadap penurunan laju korosi yang disebut dengan efisiensi inhibitor.

Inhibitor adalah senyawa organik atau pun anorganik yang ditambahkan dalam jumlah sedikit kedalam lingkungannya dapat memperlambat laju korosi logam. Berikut merupakan beberapa jenis berdasarkan mekanisme proteksi dan bahan dasarnya:

a. Berdasarkan bahan dasarnya:

- Inhibitor *Organic*



Inhibitor organik memiliki keunikan karena mampu memberikan efek terhadap anodik dan katodik secara bersamaan. Inhibitor jenis ini melindungi logam dengan membentuk lapisan tipis (*film*) yang bersifat *hidrofobik* sebagai adsorpsi ion inhibitor oleh permukaan logam. Lapisan ini memisahkan permukaan logam dengan elektrolitnya, sehingga reaksi reduksi dan oksidasi pada logam dapat terhambat. Contoh inhibitor organik yang biasa digunakan di pasaran adalah gugus kimia yang biasa membentuk ikatan koordinat dengan logam seperti *amino* ($-\text{NH}_2$), *carboxyl* ($-\text{COOH}$), dan *phosphonate* ($-\text{PO}_3\text{H}_2$)^[6].

Inhibitor organik akan teradsorpsi pada permukaan tergantung dari muatan inhibitor dan muatan logam untuk membentuk ikatan dari senyawa kompleks tersebut. Kation inhibitor seperti amin atau anion inhibitor seperti sulfonat akan teradsorpsi tergantung muatan logam tersebut negatif atau positif. Efektivitas perlindungan inhibitor ini dipengaruhi komposisi kimia, struktur molekul dan gugus fungsinya, ukuran dan berat molekul, dan afinitas logam tersebut terhadap logamnya^[19].

Reaksi adsorpsi pada pembentukan lapisan pelindung dipengaruhi oleh panas dan tekanan. Inhibitor organik



akan teradsorpsi sesuai muatan ion-ion inhibitor dan muatan permukaan. Kekuatan dari ikatan adsorpsi merupakan faktor penting bagi inhibitor dalam menghambat korosi.

Pada jenis inhibitor organik, terjadi proses adsorpsi logam untuk membentuk senyawa kompleks. Mekanisme adsorpsi terbagi menjadi 3, yaitu^[20] :

a. Physical adsorption

Mekanisme adsorpsi yang membentuk hasil dari interaksi elektrostatik antara inhibitor dengan permukaan logam. Logam yang diberi muatan positif akan mengikat inhibitor yang bermuatan negative, begitu juga sebaliknya. Ikatan ini terbentuk dengan cepat dan bersifat bolak-balik namun mudah hilang dari permukaan logam.

b. Chemisorption

Mekanisme ini terbentuk akibat adanya transfer atau membagi muatan antara molekul dari inhibitor dengan permukaan logam. Jenis adsorpsi ini sangat efektif karena sifatnya tidak bolak-balik namun pembentukannya relatif lebih lambat.

c. Film Forming

Mekanisme jenis ini dipengaruhi oleh struktur inhibitor, komposisi larutan sebagai media elektrolit,



sifat logam, dan potensial elektrokimia pada lapisan antar muka larutan-logam. Adsorpsi inhibitor organik biasanya melibatkan minimal dua jenis adsorpsi di atas yang berjalan simultan. Contohnya pada adsorpsi inhibitor organik pada logam di lingkungan HCl adalah kombinasi *chemisorptions-physical adsorption* yang memberikan perlindungan fisik dan kimiawi^[6].

- *Inhibitor anorganik*

Inhibitor anorganik merupakan inhibitor yang diperoleh dari mineral-mineral yang tidak mengandung unsure karbon dalam senyawanya. Inhibitor anorganik yang saat ini biasa digunakan adalah sodium nitrit, kromat, fosfat, dan garam seng^[21].

b. Berdasarkan mekanisme proteksi :

- *Inhibitor Anodik*

Mekanisme inhibitor ini yaitu dengan meningkatkan polarisasi anoda melalui reaksi dengan ion-ion logam yang terkorosi untuk menghasilkan selaput-selaput pasif tipis, atau lapisan-lapisan garam yang kemudian menyelimuti anoda. Inhibitor anodik mempunyai dua jenis karakteristik, yaitu yang satu membutuhkan oksigen terlarut untuk menjadi efektif, misal molibdat, silikat, fosfat, dan borat, sedang yang lain merupakan agen



pengoksidasi^[10]. Untuk besi dan baja, dua jenis inhibitor ini penting, karena masing-masing karakteristiknya saling mendukung.

Inhibitor anodik dianggap berbahaya, karena penambahan inhibitor yang terlalu sedikit tidak akan berhasil menghilangkan bagian-bagian yang bersifat katoda dan justru meningkatkan laju korosi. Serangan yang paling hebat terjadi tepat sebelum inhibisi terjadi secara lengkap dicapai. Sistem yang dilindungi secara anodik dapat berubah dari keadaan tanpa serangan ke keadaan dengan serangan sumuran lokal yang hebat. Hal ini akibat konsentrasi di bawah efek inhibisi total mempunyai luasan anoda yang relatif sangat kecil dibanding luasan katoda.

Salah satu senyawa inhibitor yang memasifkan anoda adalah senyawa-senyawa kromat, misalnya Na_2CrO_4 . Salah satu reaksi redoks yang terjadi dengan logam besi adalah :



Padatan atau endapan Fe_2O_3 dan Cr_2O_3 inilah yang bertindak sebagai pelindung bagi logamnya.

Lapisan endapan tipis saja, namun cukup efektif untuk



melindungi permukaan logam yang lemah dari serangan zat-zat yang agresif. Untuk ini diperlukan kontinuitas pembentukan lapisan endapan mengingat lapisan tersebut bisa lepas yang disebabkan oleh adanya arus larutan. Contoh senyawa lain dari inhibitor pasivasi anodik adalah phospat, tungstat, dan molibdat, yang oleh karena tidak bersifat oksidator maka reaksinya dengan logamnya memerlukan kehadiran oksigen.

- *Inhibitor Katodik*

Reaksi utama yang umum terjadi pada katoda di dalam medium air, yaitu reaksi pembentukan hydrogen dari proton :



Dan reaksi reduksi gas oksigen dalam suasana asam

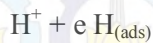


Karena bagi suatu sel korosi, reaksi reduksi oksidasi terbentuk oleh pasangan reaksi reduksi dan reaksi oksidasi dengan kecepatan yang sama, maka apabila reaksi reduksi (pada katoda) dihambat akan menghambat pula reaksi oksidasi (pada anoda). Inilah yang menjadi pedoman pertama di dalam usaha menghambat korosi logam dalam medium air atau medium asam^[22].



Hal yang kedua adalah melalui penutupan permukaan katoda oleh suatu senyawa kimia tertentu baik yang dihasilkan oleh suatu reaksi kimia atau melalui pengaturan kondisi larutan, misalnya, pH.

Secara umum terdapat 3 jenis inhibitor yang mempasifkan katoda, jenis inhibitor mengendap pada katoda, yaitu jenis racun katoda pada dasarnya berperan mengganggu reaksi pada katoda. Pada kasus pembentukan gas hidrogen, reaksi diawali yang teradsorbsi pada permukaan katoda.



Atau

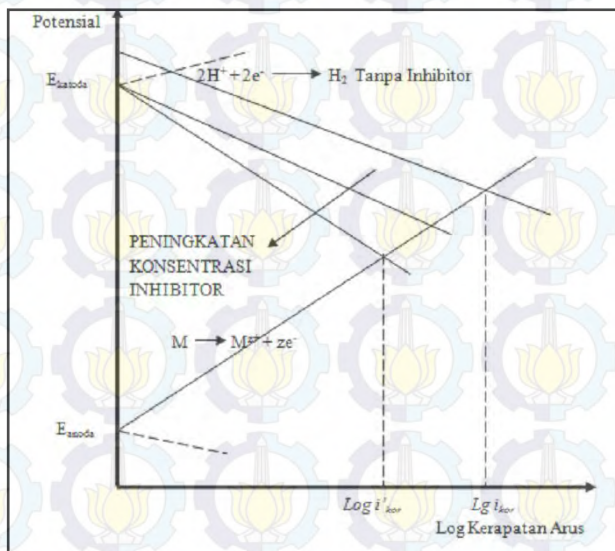


Inhibitor harus berperan menghambat kedua tahap reaksi di atas terutama reaksi yang pertama, misalnya berdasarkan diagram arus potensial (voltaqram) reaksi pembentukan hidrogen dari asamnya, maka untuk memperkecil arus katodik dapat dengan menurunkan tegangan lebih katodiknya. Yang patut dipertimbangkan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



kerapuhan akibat hidrogen. Pembentukan hidrogen dikendalikan melalui peningkatan polarisasi sistem.

Untuk mempercepat reaksi, diperlukan katalisator, misalnya garam-garam dari Co(II), Mn(II), atau Cu(II), dan pada akhir-akhir ini banyak digunakan senyawa-senyawa organologam. Organologam dihasilkan akibat reaksi pembentukan senyawa khelat antara ion logam dengan suatu ligan tertentu, misalnya Co (3,4-toluen diamine) 2Cl_2



Gambar 2.8 Mekanisme perlindungan terhadap peningkatan konsentrasi inhibitor katodik

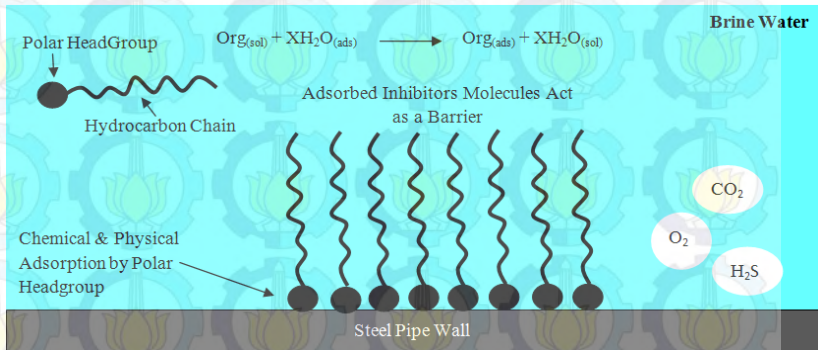


Inhibitor katodik dianggap aman meskipun jumlah inhibitor yang ditambahkan terlalu sedikit. Hal ini karena seberapapun bagian dari katoda yang terselimuti oleh lapisan garam tetap akan menurunkan laju korosi.

Disamping hidrasin masih banyak lagi senyawa-senyawa yang dapat digunakan sebagai oxygen scavenger, misalnya Na_2SO_3 , hidroksil amin HCl, N,N-diethyl hydroxylamine, gas SO_2 , dan sebagainya.

- *Inhibitor Adsorpsi*

Inhibitor teradsorpsi pada permukaan logam dan membentuk suatu lapisan tipis dengan ketebalan beberapa molekul inhibitor. Lapisan ini tidak dapat dilihat oleh mata biasa, namun dapat menghambat penyerangan lingkungan terhadap logamnya seperti yang terlihat pada Gambar 2.9



Gambar 2.9 Mekanisme Kerja Inhibitor Korosi pada Pipa Baja



Dari Gambar 2.9 terlihat bahwa kelompok polar dari molekul menyediakan fungsionalitas yang menggantikan molekul air dari permukaan. Adsorpsi inhibitor korosi dari larutan ke permukaan logam didorong oleh kelompok kepala kutub dan kelompok ekor hidrokarbon. Konsentrasi inhibitor memiliki efek besar pada inhibisi korosi.

Inhibitor ini terdiri dari molekul-molekul organik panjang dengan rantai samping yang teradsorpsi ke permukaan logam. Molekul-molekul berukuran besar ini dapat membatasi difusi oksigen maupun hidrogen atau menjebak ion-ion logam di permukaan logam tersebut dan membentuk lapisan ganda. Inhibitor korosi yang sering digunakan dalam pengendalian korosi logam dalam larutan asam adalah inhibitor tipe organik. Mekanisme perlindungan inhibitor organik dalam pengendalian korosi logam terhadap larutan asam melalui pembentukan suatu lapisan teradsorpsi pada seluruh permukaan logam yang diproteksi dengan ketebalan tidak lebih dari suatu nanolayer^[23]. Lapisan film teradsorpsi yang terbentuk secara merata pada seluruh permukaan logam menutupi daerah katoda dan anoda, sehingga dapat menghambat secara simultan reaksi elektron dengan hidrogen dan oksigen, serta menghambat pelarutan ion



logam. Penambahan inhibitor organik ke lingkungan asam relatif tidak merubah potensial korosi logam baja, meskipun laju korosi dapat diturunkan cukup besar.

Senyawa organik yang dapat berfungsi sebagai inhibitor korosi harus mempunyai group hidrokarbon yang bersifat hidrofob pada salah satu ujung rantai ikatannya yang bersifat hidrofilik, yaitu antara lain gugus N, NH, NH₂, organik, OH, S, SH.

2.6 Efisiensi Inhibitor

Efisiensi Inhibitor menunjukkan presentase penurunan laju korosi akibat penambahan inhibitor. Persamaannya adalah sebagai berikut^[6] :

$$Efisiensi = \frac{CR \text{ tanpa inhibitor} - CR \text{ dengan inhibitor}}{CR \text{ tanpa inhibitor}} \times 100\%$$

2.7 Ekstraksi Metode Refluks

Ekstraksi adalah suatu proses pemisahan substansi dari campurannya dengan menggunakan pelarut yang sesuai, kemudian semua atau hampir semua pelarut diuapkan dan massa atau serbuk yang tersisa diperlukan sedemikian hingga memenuhi baku yang telah ditetapkan^[24].

Ekstraksi Refluks adalah salah satu metode ekstraksi dengan cara panas. Pada dasarnya mekanisme dari ekstraksinya



adalah dengan memasukkan simplisia kedalam labu kemudian ditambahkan dengan larutan penyari, larutan penyari bisa berupa metanol. Etanol atau lain lain, sesuai kebutuhan dan hasil yang diinginkan. Kemudian labu ini dihubungkan dengan kondensor vertikal. Ketika terjadi proses pemanasan larutan penyari akan menguap, namun ketika melewati kodensor akan mencair lagi begitu seterusnya. Ekstraksi refluks bisa dilakukan sampai 3 kali terhadap simplisia yang sama atau sampai warna larutan penyari jernih.

2.8 Antioksidan

Antioksidan adalah komponen yang mampu menghambat proses oksidasi, yaitu proses yang dapat menyebabkan kerusakan^[25]. Aktivitas penghambatan antioksidan dalam reaksi oksidasi berdasarkan keseimbangan reaksi oksidasi dan reduksi dan membentuk molekul yang tidak reaktif dengan demikian reaksi berantai yang disebabkan oleh radikal bebas dapat dihambat.

Radikal bebas didefinisikan sebagai suatu atom atau molekul atau senyawa yang mengandung satu atau lebih elektron yang tidak berpasangan. Contohnya superoksida (O_2^*), hidroksil (OH^*) thiol (RS^*), dan nitrit oksida (NO^*). Adanya satu atau lebih electron yang tidak berpasangan mengakibatkan radikal bebas



menjadi sangat reaktif sehingga dapat mempercepat laju korosi jika terjadi reaksi pada logam.

Sesuai mekanisme kerjanya, antioksidan memiliki dua fungsi. Fungsi pertama merupakan fungsi utama dari antioksidan yaitu sebagai pemberi atom hidrogen. Antioksidan (AH^*) yang mempunyai fungsi utama tersebut sering disebut sebagai antioksidan primer. Senyawa ini dapat memberikan atom hidrogen secara cepat ke radikal lipida (R^* , ROO^*) atau mengubahnya ke bentuk lebih stabil, sementara turunan radikalantioksidan tersebut memiliki keadaan lebih stabil dibanding radikal lipida. Fungsi kedua merupakan fungsi sekunder antioksidan, yaitu memperlambat laju autooksidasi dengan berbagai mekanisme diluar mekanisme pemutusan rantai autooksidasi dengan pengubahan radikal lipida ke bentuk lebih stabil^[26].

Berdasarkan mekanisme kerjanya, antioksidan dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok, yaitu^[27] :

1. Antioksidan primer, yaitu antioksidan yang dapat menghalangi pembentukan radikal bebas baru. Contohnya adalah senyawa fenol dan flavanoid.
2. Antioksidan sekunder, yaitu antioksidan oksigen atau antioksidan non enzimatis yang dikenal sebagai penangkap radikal bebas (*scavenger free radical*) yang kemudian



mencegah amplifikasi radikal. Contohnya adalah vitamin E, vitamin C, karoten dan isoflavon.

3. Antioksidan tersier, yaitu antioksidan yang memperbaiki kerusakan-kerusakan yang telah terjadi. Senyawa yang termasuk golongan ini adalah enzim yang memperbaiki DNA dan metionin sulfoksida reduktase.

2.9 Baja API 5L grade B

Pemilihan bahan untuk tujuan pemipaan khususnya pipa minyak dan gas adalah suatu proses yang memerlukan pertimbangan yang tepat untuk pelayanan yang diperlukan. Bahan yang dipilih harus benar-benar aman dan tahan terhadap kondisi operasi, suhu, dan tekanan selama umur perancangan yang diinginkan. Kekuatan mekanik harus memadai untuk pelayanan jangka panjang dan mampu menahan perubahan operasi, misalnya siklus panas atau mekanis. Selain itu lingkungan sekitar sistem pemipaan dan komponennya beroperasi juga harus dipertimbangkan. Perubahan sifat-sifat bahan atau hilangnya beban efektif yang merubah luas penampang dapat terjadi melalui korosi, erosi atau kombinasi keduanya. Kemampuan bahan yang dipilih untuk dibengkokkan atau dibentuk, kecocokan untuk pengelasan atau metoda penyambungan lainnya, kemudahan perlakuan panas, keseragaman atau homogenitas dan kestabilan



dari struktur mikro dan sifat-sifat bahan memberikan andil pada kelayakan ekonomis dari pipa yang dipilih^[28].

Baja API 5L grade B adalah baja karbon rendah yang digunakan sebagai pipa penyalur minyak dan air di industri migas. Baja API 5 L memiliki komposisi kimia sebagai berikut^[29]:

Tabel 2.3 Komposisi kimia Baja API 5L grade B

Unsur	Kandungan
	(%)
C	0,09%
Mn	0,49%
P	0,014%
S	0,007%
Si	0,011%
Sn	0,002%
Cr	0,026%
Cu	0,018%
Ni	0,011%
Mo	0,016%
Fe	99.27%

Dari tabel diatas dapat dilihat kandungan masing masing unsur yang terdapat pada baja API 5L grade B. Dari kandungan carbonnya yang hanya 0,009% dapat diketahui



bahwa baja ini adalah baja karbon rendah dimana syarat untuk baja karbon rendah harus memiliki kandungan karbon kurang 2,5%.

2.10 Mahkota Dewa

Mahkota dewa tergolong tanaman perdu yang tumbuh dari dataran rendah hingga ketinggian 1200 meter di atas permukaan laut. *Phaleria macrocarpa* ini adalah tanaman tropis yang berasal dari Pulau Papua dan banyak digunakan sebagai bahan obat untuk menyembuhkan kanker dan diabetes melitus. Di kota-kota besar seperti Jakarta, Bandung, dan Yogyakarta, mahkota dewa telah menjadi populer dan banyak dijual secara komersial di toko-toko obat, apotik dan di rumah sakit. Mahkota dewa bahkan telah menjadi tanaman primadona sebagai obat serba guna. Akhir-akhir ini, tumbuhan mahkota dewa banyak digunakan sebagai obat tradisional, baik secara tunggal maupun dicampur dengan obat-obatan tradisional lainnya. Hal tersebut disebabkan karena tumbuhan mahkota dewa mengandung senyawa-senyawa alkaloid, saponin, flavonoid, resin, tanin, dan sebagainya yang berkhasiat untuk antihistamin, antioksidan, obat asam urat, liver, rematik, kencing manis, ginjal, tekanan darah tinggi sampai kanker.



Gambar 2.10 Buah mahkota dewa^[30]

Didalam kulit buah mahkota dewa terkandung senyawa alkaloid, saponin, dan flavonoid, sementara dalam daunnya terkandung alkaloid, saponin, serta polifenol. Mereka juga melaporkan bahwa senyawa saponin diklasifikasikan berdasarkan struktur aglikon ke dalam triterpenoid dan steroid saponin. Kedua senyawa tersebut mempunyai efek anti inflamasi, analgesik, dan sitotoksik. Penelitian terhadap kandungan kimia menunjukkan bahwa dari ekstrak heksan, etil asetat dan metanol cangkang biji dan daging buah mahkota dewa diperoleh senyawa flavonoid, fenol, tannin, saponin dan sterol/terpen. Isolasi yang dilakukan memperoleh suatu golongan polifenol yang telah diketahui strukturnya, yaitu lignan yang dianggap bersifat sitotoksik^[5]. Pemeriksaan kandungan ekstrak etanol, dari fraksi heksan ditemukan adanya saponin dan dalam fraksi etil asetat ditemukan flavonoid dan tanin. Sementara ini, untuk standar kandungan kimia, telah dilakukan penetapan kadar saponin total dari ekstrak, dan ditetapkan kadar nya 20,40 %^[31]. Didalam ekstrak etanol paling sedikit mengandung 2 jenis senyawa alkaloid, namun



belum diketahui jenisnya^[32]. Buah mahkota dewa mengandung alkaloid, saponin, flavonoid, dan polifenol dan ekstrak daunnya dapat memberikan efek antihistamin^[30]. Daging buah mahkota dewa mempunyai efek hipoglikemik (dapat menurunkan kadar gula dalam darah). Berdasarkan hasil penelitian dapat ditunjukkan bahwa daging buah mahkota dewa menghasilkan efek antihipoglikemik dengan dosis 241,35 mg/kg berat badan^[33].

2.11 Penelitian Mengenai *Green Corrosion Inhibitor*

Inhibitor alami (green inhibitor) beberapa tahun belakangan ini sangat gencar diteliti oleh para peneliti, baik dalam maupun luar negeri, hal ini didasari oleh dampak pemakaian inhibitor sintesis yang bersifat merusak lingkungan, dan harga yang cukup mahal. Oleh karena itu maka ditelitilah kemampuan dari berbagai jenis tanaman yang digunakan untuk inhibitor korosi, tanaman yang diambil mulai dari daun, buah, batang maupun akarnya. Dibawah ini adalah penelitian penelitian mengenai bio inhibitor:

1. Rakhmad Indra Pradana dengan tesisnya yang berjudul "*Study ekstrak daun beluntas (Pluchea indica less) sebagai inhibitor korosi ramah lingkungan terhadap baja karbon rendah dilingkungan 3,5% NaCl*" dengan metode pengujian berupa *weight loss* dan polarisasi memberikan kesimpulan bahwa ekstrak daun beluntas dapat



menghambur proses korosi pada baja karbon rendah di lingkungan NaCl 3,5% dengan cara adsorpsi dan efisiensi maksimal 75,97%.^[34]

2. Michael O. Nwankwo pada jurnalnya yang berjudul "*Amaranthus cordatus as a Green Corrosion Inhibitor for Mild Steel in H₂SO₄ and NaCl*" dengan metode *weight loss* berkesimpulan bahwa *amarathus cordatus* bisa berperan sebagai *green corrosion* inhibitor dengan efisiensi maksimum sebesar 47.80% pada 0.5 M H₂SO₄ and 99.51% pada 0.5 M NaCl^[35].
3. V. G. Vasudha , dan K. Shanmuga Priya dengan jurnalnya yang berjudul "*Corrosion Inhibition of Mild Steel in H₂SO₄ Media using Polyalthia Longifolia Leaves*" dengan pengujian *weight loss* didapatkan kesimpulan bahwa *Polyalthia Longifolia* dapat berperan sebagai inhibitor korosi dengan efisiensi maksimum sebesar 92% dengan penambahan inhibitor sebanyak 1,5% dari total lingkungan elektrolitnya^[36].
4. Andita Nataria F.G, Purnami dan Femiana Gapsari M. F. Pada jurnal yang berjudul "Ekstrak daun jambu biji sebagai inhibitor korosi baja SS 304 dalam asam sulfat dengan metode pengujian polarisasi mengatakan bahwa ekstrak daun jambu biji bisa memproteksi maksimal 98,42% dalam asam sulfat 75% dan 92,92% didalam



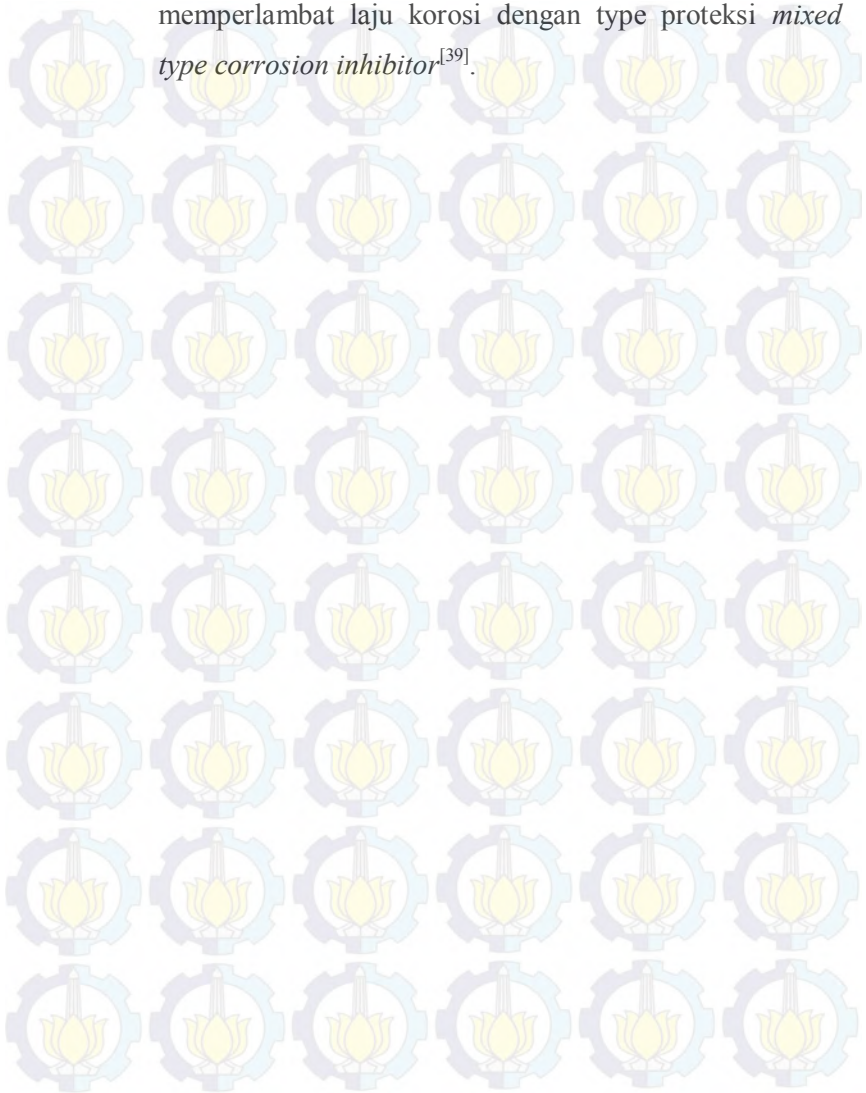
asam sulfat 85% serta 93,73% didalam asam sulfat 955.

Mekanisme inhibisinya adalah adsorpsi fisisorpsi dengan tipe inhibitor campuran^[37].

5. Beatriq Nidia Nurdin, Yeni Stiadi, dan Emriadi dengan jurnalnya yang berjudul "*Inhibisi korosi baja oleh ekstrak kulit buah rambutan (Nephelium Lappaceum linn) dalam medium asam sulfat*" dengan metode *weight loss* dan polarisasi mengatakan bahwa ekstrak kulit buah rambutan mampu menghambat laju korosi di media asam sulfat dengan efisiensi inhibisi sebesar 85,25% dengan metode *weight loss* dan 89,75% dengan metode polarisasi^[38].
6. Adhi Nugroho pada tugas akhirnya yang berjudul "*pengaruh penambahan inhibitor organik ekstrak ubi ungu terhadap laju korosi pada material baja karbon low carbon di lingkungan NaCl 3,5%*". Dengan metode pengujian polarisasi mengatakan bahwa ekstrak ubi ungu mampu mereduksi laju korosi sampai 2,1 Mpy dan inhibitor ubi ungu merupakan jenis inhibitor organik dengan mekanisme inhibisinya adalah *oxygen scavenger*^[11].
7. Oki Darmawan dengan thesisnya yang berjudul "*Study green corrosion inhibitor ekstrak daun bayam merah (amaranthus gangeticus) pada baja karbon rendah dalam larutan 1M HCl dengan metode polarisasi dan EIS,*



dia menyimpulkan bahwa daun bayam merah mampu memperlambat laju korosi dengan type proteksi *mixed type corrosion inhibitor*.^[39]



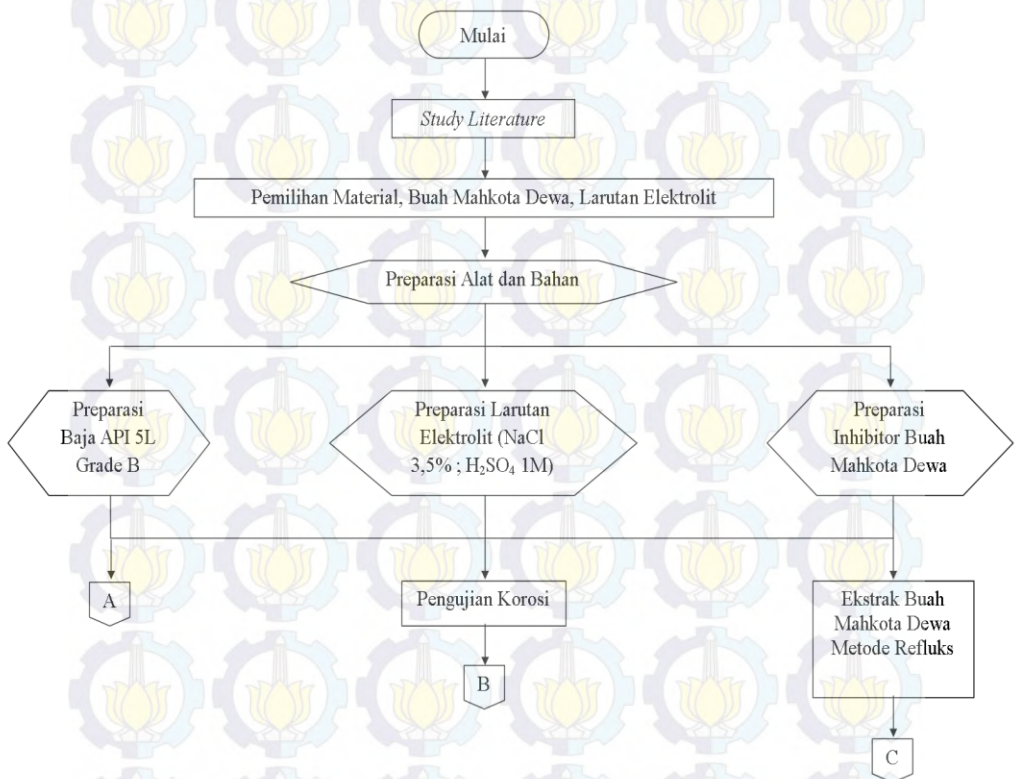


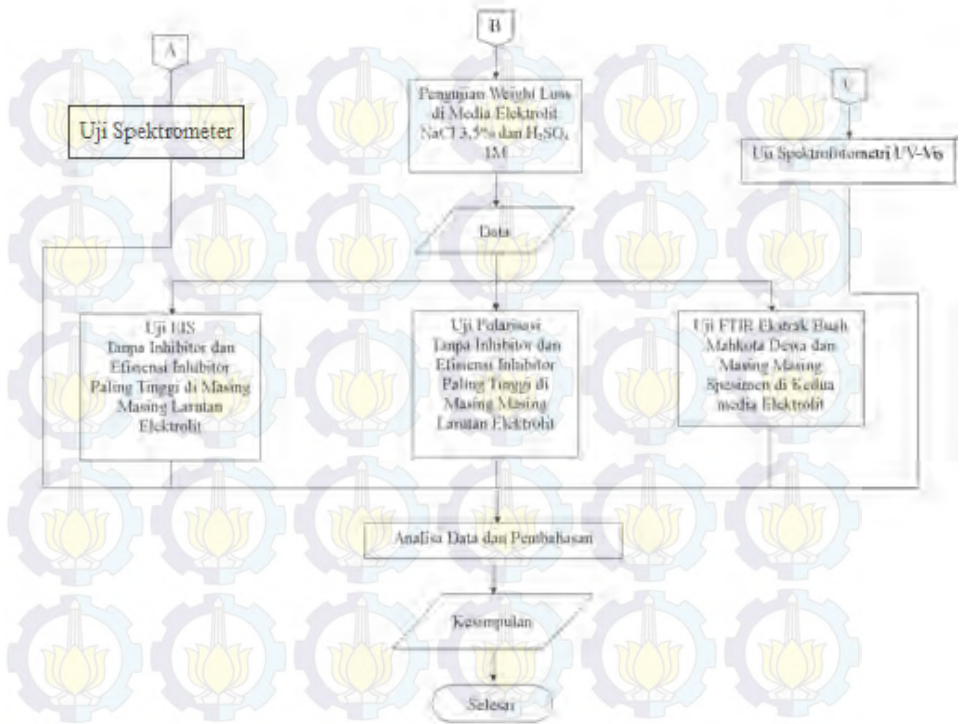
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Peneltian





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Prosedur Penelitian

Dalam melakukan suatu penelitian, pasti memiliki langkah langkah atau prosedur yang harus dilakukan oleh seorang peneliti secara runtut dan sistematis, berikut langkah lamgkah atau prosedur yang harus dilakukan atau di lalui dalam suatu penelitian



3.2.1. Studi Literatur

Studi literatur merupakan tahap pembelajaran awal dalam memulai sebuah penelitian, studi literatur merupakan gambaran singkat yang telah dipelajari, dan disusun secara sistematis, studi literatur bisa dari buku buku penunjang, maupun jurnal jurnal terkait yang memiliki kesamaan dengan penelitian yang akan dikerjakan, salah satu manfaat dari studi literatur ini adalah bisa mengevaluasi penelitian penelitian terkait sebelumnya dan disempurnakan pada penelitian yang akan dilakukan, selain itu tujuan lainnya adalah bisa menyakinkan pembaca bahwa penelitian yang akan dilakukan adalah benar benar penting dan layak untuk dijadikan objek penelitian.

3.2.2. Pemilihan Material, Buah Mahkota Dewa, dan Larutan Elektrolit

Pada penelitian ini material yang digunakan adalah baja API 5L grade B, pemilihan dari material ini dikarenakan *service* dari material tersebut yang bekerja pada lingkungan yang korosif, dimana baja API 5L grade B ini biasanya digunakan sebagai pipa penyalur minyak pada industri minyak dan gas, sebagaimana yang diketahui baja API 5Lgrade B ini adalah *low carbon stell*, sangat rentan terhadap serangan korosi. Sehingga dipilih material ini dengan tujuan untuk mempelajari perilaku inhibitor yang diberikan sebagai proteksi baja API 5L grade B ini.



Selain pemilihan material logam, hal lain yang perlu dilakukan adalah pemilihan inhibitor yang akan diteliti, pada penelitian ini tanaman yang digunakan adalah buah mahkota dewa (*phaleria Macrocharpa*). Buah mahkota dewa adalah tanaman endemik Indonesia yang berasal dari bumi Papua. Alasan dari pemilihan buah mahkota dewa adalah karena khasiatnya yang cukup ampuh sebagai obat kanker dan memiliki kandungan antioksidan yang sangat tinggi, dimana untuk proses perlindungan logam terhadap korosi diperlukan senyawa senyawa antioksidan yang terdapat didalam buah mahkota dewa.

Pemilihan larutan elektrolit yang digunakan dalam penelitian adalah larutan NaCl 3,5% dan H₂SO₄ 1M. Hal ini dikarenakan kadar 3,5% NaCl merupakan suatu kadar yang dapat mewakili kandungan air laut dan memiliki konduktivitas tertinggi. Dengan konduktivitas yang tinggi, maka 3,5% NaCl dapat dikatakan memiliki tingkat korosivitas yang tinggi. Didalam aplikasinya sebagai service minyak mentah dari perut bumi, baja API 5L grade B bekerja dilingkungan air laut dimana 75% dari alirannya adalah air laut. Untuk H₂SO₄ 1M adalah lebih dikarenakan oleh fungsi dari H₂SO₄, H₂SO₄ digunakan sebagai bahan pickling, dimana dalam pembersihannya tentu masih ada sisa sisa dari H₂SO₄ yang terdapat pada pipa, sehingga digunakannlah inhibitor sebagai penghambat laju korosi pada material pipa yang digunakan.



3.2.3. Preparasi

3.2.3.1. Preparasi Tanaman Buah Mahkota Dewa

Buah mahkota dewa (phaleria Macrocharpa) merupakan tumbuhan yang bersifat antioksidan (pemberi elektron) sehingga dapat dijadikan alternatif untuk mengendalikan korosi pada suatu logam. Dalam rangka penggunaannya sebagai produk pengendali korosi (inhibitor) maka buah mahkota dewa perlu di lakukan beberapa perlakuan seperti berikut:

1. Buah mahkota dewa diproses menjadi serbuk

Untuk memproses buah mahkota dewa menjadi serbuk memiliki langkah langkah sebagai berikut:

- Memotong buah mahkota dewa yang sudah matang dan masih segar menjadi kecil keci dan bijinya dibuang
- Mengeringkan buah mahkota dewa dengan cara diangin anginkan di tempat terbuka dan tidak boleh terkena cahaya matahari langsung selama 5 hari
- Setelah kandungan air dari buah mahkota dewa hilang, kemudian dicrusher sampai halus.



	
Buah mahkota dewa segar	Buah mahkota dewa yang sudah dipotong kecil kecil
	
Buah mahkota dewa yang sudah kering	Serbuk buah mahkota dewa

Gambar 3.2 Proses pengolahan buah mahkota dewa

2. Ekstraksi buah mahkota dewa

Metode ekstraksi untuk mengekstrak buah mahkota dewa adalah dengan metode refluks, atau disebut juga dengan metode panas. Peralatan peralatan yang digunakan pada metode ini antara lain:

1. Labu leher 2

1 buah



2. Kondensor (jenis bulb)	1 buah
3. Magnetik strirer	1 set
4. Pompa aquarium	1 buah
5. Panci aluminium	1 buah
6. Kertas saring grade kasar	1 buah
7. Wadah plastik	1 buah
8. Selang air $\varnothing$ 0,5 mm	1 meter
9. Termometer	1 buah
10. Statip	1 set

Sedangkan bahan bahan yang digunakan adalah:

1. Metanol 80%	7,5 liter
2. Serbuk mahkota dewa	650 gram
3. Air pendingin	secukupnya
4. Plastisin	secukupnya

Setelah semua bahan bahan dan peralatan tersedia langkah langkah ekstraksi buah mahkota dewa dengan metode refluks adalah:

1. Memasukkan serbuk buah mahkota dewa ke dalam labu leher dua sebanyak 65 gram
2. Memasukkan metanol 80% sebanyak 750 ml kedalam labu leher dua sambil diaduk merata
3. Memasang selang air ke bulb kondensor dan menghubungkannya dengan pompa aquarium



4. Memasang bulb kondensor dan termometer pada masing masing leher labu
5. Meletakkan labu leher dua kedalam wadah air yang telah di set temperaturnya pada magnetik stirer, temperatur ekstrak dijaga pada temperatur 70°C dan diekstrak selama 90 menit



Gambar 3.3 Rangkaian alat metode refluks

6. Setelah 90 menit ekstrak buah mahkota dewa kemudian disaring menggunakan kertas saring, setelah itu kemudian dipekatkan menggunakan wadah aluminium dengan temperatur 70°C , pemanasan ini dilakukan sampai ekstraknya pekat



3.2.3.2. Preparasi Spesimen Baja API 5L grade B

Dalam penelitian ini material yang digunakan adalah Baja API 5L grade B, baja ini adalah material low karbon stell, dimana komposisi kimia baja API 5L grade B adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1 komposisi kimia baja API 5L grade B^[29].

Unsur	% Kandungan
C	0,09%
Mn	0,49%
P	0,014%
S	0,007%
Si	0,011%
Sn	0,002%
Cr	0,026%
Cu	0,018%
Ni	0,011%
Nb	0,0026%
Mo	0,016%
N	0,0037%
Ti	0,00031%

Langkah-langkah preparasi spesimen baja API 5L grade B pada penelitian ini adalah:

A. Spesimen Uji Weight Loss

1. Memotong spesimen menjadi 198 buah, dimana 108 spesimen untuk media elektrolit H_2SO_4 1M dan 90



spesimen untuk media elektrolit NaCl 3,5%, ukuran dari spesimen nya adalah 20 x 20 x 3 mm

2. Menggerinding spesimen untuk menghilangkan *coating* dan produk produk korosi lainnya
3. Membor spesimen baja API 5L grade B pada bagian atas salah satu sisinya dengan diameter bor 3 mm



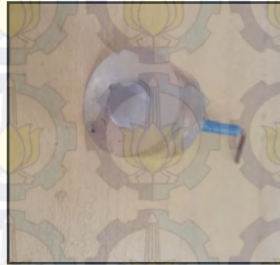
Gambar 3.4 Spesimen uji *Weight loss*

B. Spesimen Uji Polarisasi Linear

1. Memotong spesimen sebanyak 4 buah dengan ukuran diameter 1cm (dibubut)
2. Menyambung spesimen dengan kawat tembaga menggunakan timah
3. Memounting spesimen dengan campuran resin dan katalis dalam cetakan PVC dengan diameter setengah inchi



4. Setelah kering, spesimen dilepas dari cetakan sehingga terdapat salah satu sisi spesimen yang terkespos oleh lingkungan.
5. Menggrinding spesimen dengan kertas amplas grade 80, 200, 400, 800, dan 1000.



Gambar 3.5 Spesimen Uji Polarisasi

C. Spesimen Uji EIS

1. Memotong spesimen dan dibubut dengan diameter 1cm
2. Menyambung spesimen dengan kawat tembaga menggunakan timah
3. Memounting spesimen dengan campuran resin dan katalis dalam cetakan PVC dengan diameter setengah inchi
4. Setelah kering, spesimen dilepas dari cetakan sehingga terdapat salah satu sisi spesimen yang terkespos oleh lingkungan



5. Menggrinding spesimen dengan kertas amplas grade 80, 200, 400, 800, dan 1000.



Gambar 3.6 Spesimen Uji EIS

3.2.3.3. Preparasi Larutan Elektrolit

Pada penelitian ini larutan elektrolit yang digunakan adalah larutan elektrolit NaCl 3,5% dan H₂SO₄ 1M.

A. Pembuatan larutan elektrolit NaCl 3,5% untuk membuat larutan NaCl 3,5% dapat dilakukan langkah langkah sebagai berikut:

1. Timbang kristal NaCl sebanyak 35,24 gram
2. Larutkan kristal NaCl tadi kedalam labu ukur 1000 ml dengan menggunakan aquades hingga tepat batas
3. Maka akan didapat konsentrasi larutan garam 3.5%
4. Letakkan larutan tersebut di atas *magnetic stirrer* untuk mendapatkan larutan yang lebih homogen hingga seluruh kristal terlarut sempurna.



5. Setelah garam terlarut sempurna, larutan siap digunakan untuk pengujian selanjutnya.

B. Pembuatan larutan elektrolit H_2SO_4 1M

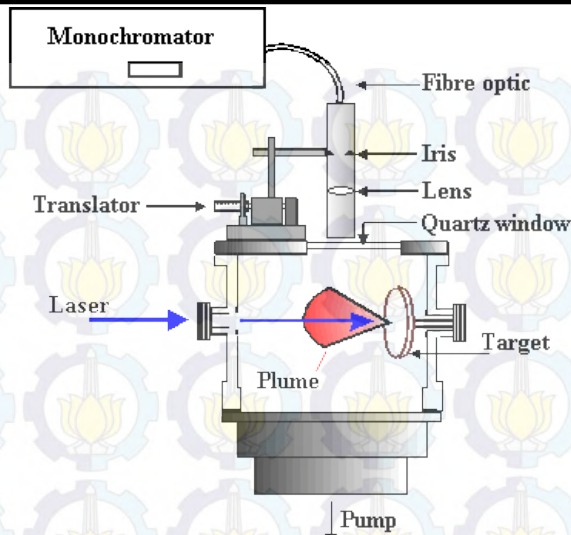
Untuk membuat larutan H_2SO_4 1M dapat dilakukan langkah langkah sebagai berikut:

1. Siapkan 54,34 mL larutan H_2SO_4 98%
2. Larutkan H_2SO_4 tadi ke dalam labu ukur 1000 ml dengan menggunakan aquades hingga tepat batas
3. Maka akan didapat konsentrasi larutan H_2SO_4 1 M
4. Larutan H_2SO_4 1 M siap digunakan untuk pengujian selanjutnya.

3.2.4 Pengujian

3.2.4.1 Pengujian Spektrometer

Pengujian ini bertujuan menentukan komposisi kimia unsur penyusun baja API 5L grade B. Standar yang digunakan pada pengujian ini adalah JIS G 1253 : 2002. Pada dasarnya prinsip pengujian ini adalah dengan menggunakan panjang gelombang dan intensitas sinar yang terpancar. Sinar yang terpancar memiliki panjang gelombang tertentu sesuai dengan jenis atom unsurnya dan intensitas sinar yang terpancar sebanding dengan kadar konsentrasi unsurnya.



Gambar 3.7 Dispersi panjang gelombang optik spektroskopi emisi

3.2.4.2 Pengujian Spektrofotometri UV-Vis

Bertujuan untuk menentukan kadar flavonoid total didalam ekstrak buah mahkota dewa. Langkah langkah penujian Spektrofotometri UV-Vis adalah sebagai berikut:

A. Preparasi sampel

1. Timbang seksama 1g bahan baku, masukkan ke dalam labu alas bulat.
2. Tambahkan 1,0 mL larutan 0,5% (b/v) hexamethylenetetramine, 20 mL aseton dan 2,0 ml HQ 25% (b/v), refluks selama 2 jam sejak mendidih.



3. Saring campuran menggunakan kapas ke dalam labu ukur 100 mL

4. Bilas kapas dengan aseton, tambahkan aseton sampai 100 mL, kocok homogen.

5. Masukkan 20.0 mL filtrat ke dalam corong pisah, tambahkan 20 mL air

6. Tambahkan 15 mL etil asetat, kocok 10 menit, biarkan memisah. ambil fase etil asetat

7. Lanjutkan ekstraksi (3x) masing-masing dengan 10 mL etil asetat.

8. Gabung fase etil asetat, cuci 2x masing-masing dengan 50 mL air.

9. Masukkan hasil ekstraksi ke dalam labu ukur 50 mL

10. Tambahkan etil asetat sampai garis tanda, kocok homogen.

B. Prosedur penetapan kadar :

1. Masukkan 10,0 mL fraksi etil asetat ke dalam labu ukur 25 mL

2. Tambahkan 1 mL larutan AlCl_3 (2 g dalam 100 mL asamasetat glasial - metanol (5+95))

3. Tambahkan asamasetat glasial-metanol (5+95) sampai tanda batas volume.

C. Larutan blanko:



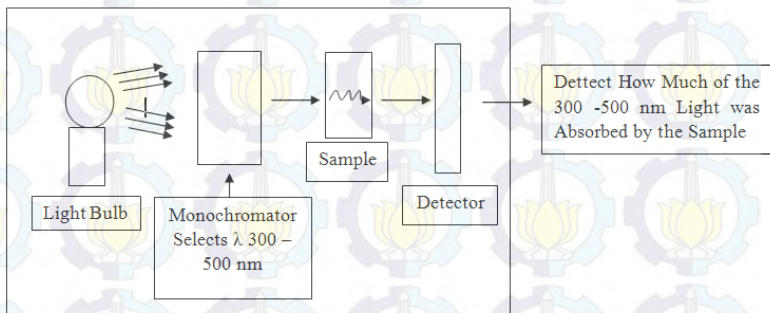
1. 10 mL larutan fraksi etil asetat masukkan ke dalam labu ukur 25 ml

2. Tambahkan larutan asam asetat glasial-metanol (5+95) sampai tanda batas volume.

D. Pengukuran :

Diamkan larutan sampel selama 30 menit, scan antara 300-500 nm

Ukur absorbansi larutan pada λ maksimum (± 425 nm)



Gambar 3.8 Skema pengujian spektrofotometer UV-Vis untuk uji flavonoid total

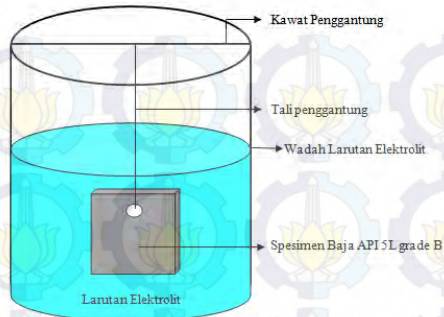
3.2.4.3 Pengujian *Weight Loss*

Uji *weight loss* atau dalam bahasa Indonesia lebih dikenal dengan metode pengurangan berat adalah sebuah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui laju korosi (mpy) suatu benda kerja dengan menggunakan cara menimbang berat awal dan berat akhir



setelah dilakukan pengujian *weight loss* ini. Pengujian *weight loss* ini dilakukan dengan mencelupkan benda kerja kedalam larutan atau lingkungan dengan konsentrasi inhibitor yang berbeda. Konsentrasi inhibitor yang dimasukkan kedalam larutan NaCl 3,5% dan H₂SO₄ 1M yaitu 0 ppm, 1000 ppm, 2000 ppm, 3000 ppm, 4000 ppm, 5000 ppm. Langkah langkah pengujian *weight loss* dapat dijelaskan sebagai berikut yang mengacu pada standar ASTM (*American Standard and Testing Material*) G-31 “Laboratory Corrosion Testing of Metals.”

1. Berat awal masing-masing spesimen ditimbang.
2. Mengikat spesimen dengan benang *nylon* dan mengikatnya pada batang kawat yang telah terpasang pada botol plastik tempat larutan elektrolit.
3. Merendam spesimen kedalam larutan elektrolit yang terdapat pada botol plastik yang berisi campuran larutan elektrolit NaCl 3,5% dengan ekstrak buah mahkota dewa pada konsentrasi 0 ppm, 1000 ppm, 2000 ppm, 3000 ppm, 4000 ppm, dan 5000 ppm
4. Mengambil spesimen pada hari ke-6, setelah itu di *pickling*, dikeringkan dan kemudian ditimbang untuk mendapatkan berat akhir spesimen
5. Melakukan hal yang sama pada langkah (5) pada pengambilan spesimen hari ke-12, ke-18, ke-24, dan ke-30



Gambar 3.9 Skema pengujian *weight loss*

Mekanisme pencucian spesimen pengujian *weight loss* mengarah pada standar ASTM G1-02 “*Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimen*”:

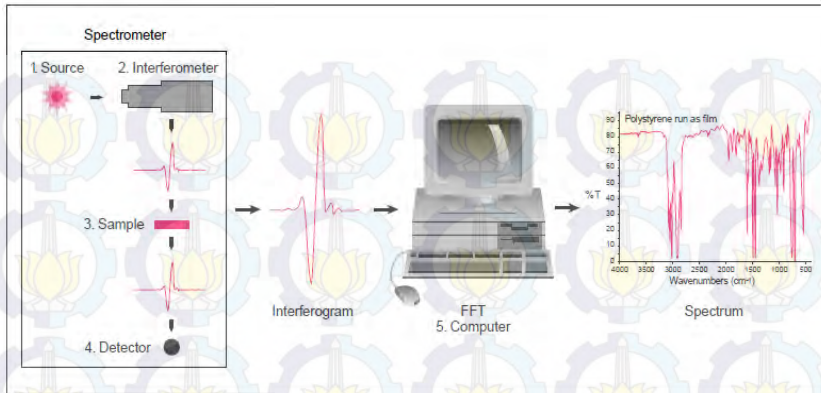
- Mencuci spesimen dengan asam klorida (HCl) 500 ml.
- Merendam spesimen ke dalam larutan dengan komposisi 3,5 gram *hexamethylene tetramine* yang dilarutkan dengan air destilasi sampai 1000 ml.
- Setelah itu dikeringkan menggunakan *hair dryer*

3.2.4.4 Uji *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus gugus fungsi yang terbentuk pada inhibitor ekstrak buah mahkota dewa dan baja API 5L *Grade B* yang telah dilakukan perendaman dengan uji *weight loss*. Langkah langkah nya adalah merendam spesimen ke dalam larutan elektrolit yang telah ditambahkan konsentrasi 5000 ppm



inhibitor ekstrak buah mahkota dewa. Untuk NaCl 3,5% lama waktu perendamannya adalah 30 hari dengan tujuan supaya pada waktu 30 hari tersebut diharapkan kinerja dari inhibitor sudah stabil, sedangkan untuk larutan elektrolit H_2SO_4 1M perendaman dilakukan selama dua hari. 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 pentransmisiian 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 sampel, yaitu ekstrak buah mahkota dewa (*phaleria macrocharpa*), spesimen baja setelah perendaman NaCl 3,5% dan spesimen baja setelah perendaman H_2SO_4 1M. 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 3.10 Skema Uji FTIR

3.2.4.5 Pengujian Polarisasi Linear

Pada prinsipnya polarisasi adalah suatu instrumen yang digunakan untuk mengatur beda potensial antara spesimen (elektroda kerja) dengan elektroda acuan (*reference electrode*) dan menggunakan variabel arus antara elektroda kerja dengan elektroda bantu (*auxiliary electrode*). Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM G 5 (*Standart Reference Method for Making Potensiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurement*). Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui laju korosi material pada larutan elektrolit NaCl 3,5% dan H₂SO₄ 1M dengan konsentrasi inhibitor yaitu 0 ppm, dan 2000 ppm untuk lautan elektrolit NaCl 3,5%. 0 dan 4000 ppm untuk larutan H₂SO₄ 1M . Dari laju korosi material tersebut juga bisa didapatkan efisien dari inhibitor yang digunakan.



Pada dasarnya, peralatan pengujian polarisasi potensiodinamik memiliki tiga komponen penting, yaitu :

a. Elektroda Kerja

Yaitu spesimen baja API 5L grade B yang telah dibentuk dengan cara dipotong menjadi dimensi yang telah ditentukan, menyambung dengan kawat tembaga (panjang ± 200 mm), setelah itu di *mounting*.

b. Elektroda Bantu

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

c. Elektroda Acuan

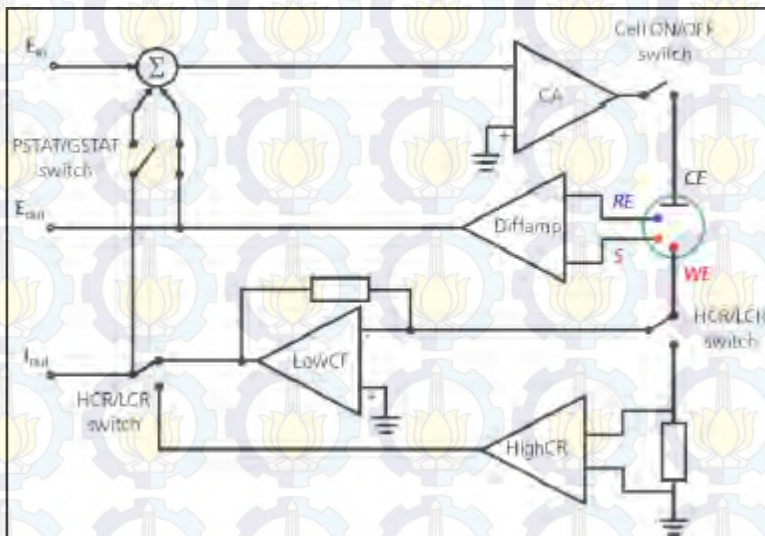
Elektroda acuan digunakan sebagai titik acuan dan juga sebagai pembanding dalam pengukuran-pengukuran potensial elektroda kerja. Pada pengujian ini elektroda acuan yang digunakan adalah elektroda acuan Ag/AgCl.

Prosedur pengujian polarisasi potensiodinamik adalah sebagai berikut:

- a. Mempersiapkan alat dan bahan yaitu spesimen baja API 5L grade B dengan *surface* kontak sebesar 1x1 cm dan larutan elektrolit NaCl 3,5% dan H₂SO₄ 1M dan penambahan inhibitor 2000 ppm untuk media elektrolit NaCl 3,5% dan penambahan 4000 ppm untuk H₂SO₄ 1M



- b. Memasukkan cairan elektrolit kedalam wadah reaktor kurang lebih 150 ml
- c. Memasang elektroda kerja pada rangkaian alat polarisasi
- d. Menjalankan pengujian polarisasi dengan bantuan software AUTOLAB PGSTAT



Gambar 3.11 *Basic diagram of a potentiostat*

3.2.4.6 Pengujian Electrochemical Impedansi Spectroscopy

Pengujian EIS dilakukan dengan menggunakan software AUTOLABPGSTAT128N yang terdiri dari elektroda kerja, elektroda acuan dan elektroda bantu. Electrochemical Impedance Spectroscopy adalah suatu metode untuk menganalisis respon suatu electrode yang



terkorosi terhadap sinyal potensial AC sebagai fungsi frekuensi. Metode EIS dimaksudkan untuk mengetahui inhibisi pada logam dengan inhibitor apakah secara kinetika dikontrol oleh transfer muatan ataukah transfer massa. Pada prinsipnya EIS digunakan untuk menentukan parameter kinetika elektrokimia berkaitan dengan elemen-elemen listrik seperti tahanan, R , kapasitansi, C , dan induktansi, L . Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian EIS dengan variasi media korosif NaCl 3.5% dan H_2SO_4 1 M serta konsentrasi inhibitor buah mahkota dewa pada 0 ppm dan konsentrasi yang memiliki nilai efisiensi tertinggi yang didapatkan dari metode *weight loss* yaitu 2000 ppm untuk larutan elektrolit NaCl 3,5% dan 4000 ppm untuk H_2SO_4 1 M.



Gambar 3.12 Alat uji EIS

3.2.5 Data

Setelah melakukan penelitian diperoleh suatu data dalam bentuk tabel, grafik, maupun gambar. Tujuannya adalah untuk



memberikan kemudahan dalam pengolahan data, kemudahan menentukan laju korosi, efisiensi, jenis ikatan, ataupun data data lain yang dibutuhkan dalam penelitian ini. Adapun pembuatan tabel yang dilakukan adalah sebagai berikut:

Tabel 3.2 Pengujian *Weight Loss* dengan ekstrak buah mahkota dewa media elektrolit NaCl 3,5%

Konsentrasi Inhibitor (ppm)	Waktu (jam)	W ₀ (gram)	W ₁ (gram)	ΔW (gram)	Laju Korosi (mpy)	Efisiensi Inhibitor (%)
0	144	√	√	√	√	√
	288	√	√	√	√	√
	432	√	√	√	√	√
	576	√	√	√	√	√
	720	√	√	√	√	√
1000	144	√	√	√	√	√
	288	√	√	√	√	√
	432	√	√	√	√	√
	576	√	√	√	√	√
	720	√	√	√	√	√
2000	144	√	√	√	√	√
	288	√	√	√	√	√
	432	√	√	√	√	√
	576	√	√	√	√	√
	720	√	√	√	√	√



3000	144	√	√	√	√	√
	288	√	√	√	√	√
	432	√	√	√	√	√
	576	√	√	√	√	√
	720	√	√	√	√	√
4000	144	√	√	√	√	√
	288	√	√	√	√	√
	432	√	√	√	√	√
	576	√	√	√	√	√
	720	√	√	√	√	√
5000	144	√	√	√	√	√
	288	√	√	√	√	√
	432	√	√	√	√	√
	576	√	√	√	√	√
	720	√	√	√	√	√

Tabel 3.3 Pengujian *Weight loss* dengan ekstrak buah mahkota
dewa dengan media elektrolit H_2SO_4 1M

Konsentrasi Inhibitor (ppm)	Waktu (jam)	W_o (gram)	W_1 (gram)	ΔW (gram)	Laju Korosi (mpy)	Efisiensi Inhibitor (%)
0	6	√	√	√	√	√
	12	√	√	√	√	√



Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

	18	√	√	√	√	√
	24	√	√	√	√	√
	30	√	√	√	√	√
	36	√	√	√	√	√
1000	6	√	√	√	√	√
	12	√	√	√	√	√
	18	√	√	√	√	√
	24	√	√	√	√	√
	30	√	√	√	√	√
	36	√	√	√	√	√
2000	6	√	√	√	√	√
	12	√	√	√	√	√
	18	√	√	√	√	√
	24	√	√	√	√	√
	30	√	√	√	√	√
	36	√	√	√	√	√
3000	6	√	√	√	√	√
	12	√	√	√	√	√
	18	√	√	√	√	√
	24	√	√	√	√	√
	30	√	√	√	√	√
	36	√	√	√	√	√
4000	6	√	√	√	√	√



	12	√	√	√	√	√
	18	√	√	√	√	√
	24	√	√	√	√	√
	30	√	√	√	√	√
	36	√	√	√	√	√
	6	√	√	√	√	√
5000	12	√	√	√	√	√
	18	√	√	√	√	√
	24	√	√	√	√	√
	30	√	√	√	√	√
	36	√	√	√	√	√
	6	√	√	√	√	√

Tabel 3.4 Pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy*
media elektrolit NaCl 3,5%

Konsentrasi Inhibitor	R_p (ohm.cm ²)	R_s (ohm.cm ²)	CPE (μF/cm ²)
0 ppm	√	√	√
	√	√	√
	√	√	√
2000 ppm	√	√	√
	√	√	√
	√	√	√



Tabel 3.5 Pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy*
media elektrolit H_2SO_4 1M

Konsentrasi Inhibitor	$R_p(\text{ohm.cm}^2)$	R_s (ohm.cm^2)	CPE ($\mu\text{F/cm}^2$)
0 ppm	√	√	√
	√	√	√
	√	√	√
4000 ppm	√	√	√
	√	√	√
	√	√	√

* R_s = tahanan larutan

* R_{ct} = tahanan transfer muatan

* C_{dl} = kapasitansi double layer

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Hasil Pengujian Spektrometer

Uji spektrometri bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia yang terdapat pada baja API 5L grade B. Komposisi kimia memegang peranan yang sangat penting dalam menentukan sifat mekanik dari suatu material. Ketahanan terhadap korosi juga ditentukan dari unsur unsur penyusun dari suatu material. Baja API 5L grade B tergolong kedalam baja karbon rendah, dimana komposisi unsur kimia penyusunya dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 4.1 Komposisi kimia baja API 5L grade B

Komposisi Kimia	Persentase (%)
C	0,19526
Si	0,18809
Mn	0,37488
P	0,01538
S	0,01252
Cu	0,01259
Ni	0,02316
Cr	0,04622
Mo	0,00913
Al	0,00122
Fe	99,122



Dari tabel 4.1 diatas diketahui unsur unsur yang berpengaruh terhadap ketahanan korosi baja API 5L grade B. Kandungan karbon sebesar 0,19526 % menyatakan bahwa baja API 5L grade B ini adalah baja karbon rendah. Baja karbon rendah adalah baja yang memiliki kandungan karbon kurang dari 0,3%.

Bila dibandingkan dengan hasil pengujian spektrometer yang dilakukan oleh sasza 2014 ^[29] terhadap material yang sama, yaitu baja API 5 L grade B, terdapat beberapa perbedaan yang cukup besar namun masih berada pada rentang yang ditentukan. hasil pengujian yang telah dilakukannya terdapat pada tabel 2.3. kandungan karbon hasil pengujiannya Baja ini mengandung unsur karbon sebesar 0,09%. Sedikit lebih rendah dari hasil pengujian diatas, mangan sebesar 0,49%, Silikon sebesar 0,011%. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan standar pengujian, alat pengujian dan juga perbedaan dari sampel uji yang dilakukan, walaupun berasal dari jenis baja yang sama, yaitu baja API 5L grade B. Pada hasil pengujian yang dilakukan kandungan mangan yang cukup tinggi sebesar 0,37488%, adanya kandungan mangan ini dapat meningkatkan ketahanan korosi material. Selain itu mangan ini memiliki keistimewaan terhadap sifat mekanik yang tahan terhadap abrasi dan memiliki ketahanan terhadap beban impact. Adanya unsur silikon yang merupakan ferit stabilisizer sebesar 0,18809% dapat menaikkan ketangguhan dan kekuatan



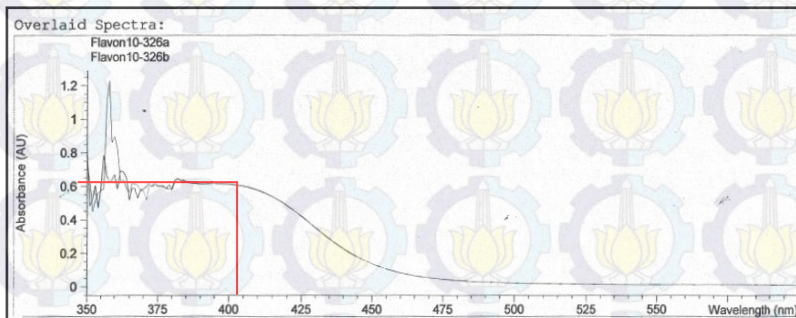
baja. Kandungan krom sebesar 0,04622% memiliki persentase yang sangat kecil sehingga ketahanan terhadap korosi baja ini rendah. Krom memiliki ketahanan terhadap korosi sangat baik ketika kandungannya lebih dari 5%. Persentase dari unsur unsur kimia penyusun yang rendah tidak memberikan dampak yang sangat signifikan terhadap ketahanan korosi baja ini. Sehingga baja API 5L grade B adalah baja karbon rendah dengan ketahanan terhadap korosi yang sangat rendah.

4.1.2 Hasil Pengujian Spektrofotometer UV-Vis.

Pengujian spektrofotometer UV-Vis ini bertujuan untuk mengidentifikasi kandungan flavonoid yang terdapat pada ekstrak buah mahkota dewa. Flavonoid adalah senyawa fenol alam yang terdapat di hampir semua jenis tanaman, flavonoid biasanya terdapat pada tanaman yang memiliki warna warna cerah dan menarik, seperti merah, kuning, dan lain lain. Flavonoid adalah group terbesar dari golongan antioksidan, flavonoid memiliki banyak jenis turunan seperti flavon, isoflavon, flavonol dan lain lain, hal yang membedakan dari masing masingnya adalah nilai dari serapan absorbansinya. Untuk pengujian spektrofotometer UV-Vis ini, pertama kali buah mahkota dewa yang sudah matang ditandai dengan warna yang merah ranum, diekstrak dengan metode refluks, pertama tama buah mahkota dewa yang matang tadi di iris halus, kemudian dikeringkan sampai kandungan air



kurang dari $<10\%$ dengan pengeringan tanpa terkena matahari, dengan tujuan supaya kandungan antioksidan yang terdapat pada buah mahkota dewa tidak rusak, setelah kering buah mahkota dewa ini dihaluskan menggunakan *crusher* sampai membentuk serbuk, setelah itu kemudian diekstraksi dengan metode refluks dengan pelarut metanol 80%, kemudian di pekatkan, sehingga didapatkan ekstrak buah mahkota dewa pekat, ekstrak ini kemudian dilakukan uji spektrometer UV-Vis. Hal pertama yang dilakukan adalah melakukan proses hidrolisis untuk memisahkan aglikon. Pembentukan kompleks aglikon- $AlCl_3$, dan melakukan pengukuran dengan spektrofotometer, hasil dari pengujian ini didasarkan pada pajang gelombang yang terabsorpsi oleh ekstrak buah mahkota dewa, dimana kurva hasil pengujiannya dapat kita lihat pada gambar dibawah ini

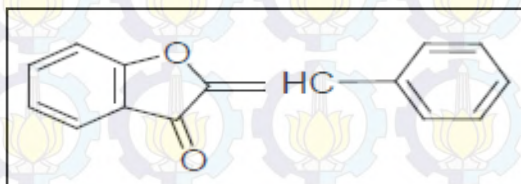


Gambar 4.1 Kurva Spektro Uv-Vis ekstrak buah mahkota dewa



Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa nilai absorbansi ekstrak buah mahkota dewa pada dua kali pengulangan terdapat pada panjang gelombang yang sama yaitu pada panjang gelombang 403 nm dengan nilai absorbansi masing masing sebesar 0,60577 dan 0,60709. Flavonoid merupakan keluarga besar dari salah satu jenis antioksidan. Flavonoid ini juga terdiri dari bermacam macam jenis, seperti antosianin, auron, flavonol, biflavonil, flavonon dan lain lain. Dari pengujian spektrofotometri UV-Vis bisa diketahui jenis flavonoid yang terdapat dalam buah mahkota dewa. Dari gambar diatas nilai absorbansi tertinggi terdapat pada pajang gelombang 403 nm, menurut markham (1988) jenis flavonoid yang memiliki nilai panjang gelombang 403 termasuk kedalam falvonoid berjenis auron,

Pada tabel 4.2 dapat dilihat bahwa auron memiliki panjang gelombang antara 390-430 nm, dan data hasil pengujian spektrofotometri menunjukkan nilai panjang gelombang dengan absorbansi tertinggi ada pada panjang gelombang 403, sehingga jenis flavonoidnya adalah auron. Struktur kimia auron dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.2: Struktur kimia auron^[37]



Jenis jenis flavonoid berdasarkan panjang gelombangnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.2 : Pita absorpsi UV dari flavonoid^[36]

λ Maksimum Utama (nm)	λ Maksimum Tambahan (nm) (dengan intensitas nisbi)	Jenis Flavonoid
475 – 560	± 275 (55%)	Antosianin
390 – 430	240 – 270 (32%)	Auron
365 – 390	240 – 260 (30%)	Kalkon
350 – 390	± 300 (40%)	Flavonol
250 – 270	± 300 (40%)	Flavonol
330 – 350	Tidak ada	Flavon dan biflavonil
300 – 350	Tidak ada	Flavon dan biflavonil
275 – 295	310 – 330 (30%)	Flavanon dan flavonol
± 225	310 – 330 (30%)	Flavanon dan flavonon
310-330	310 – 330 (25%)	Isoflavon

Selain untuk mengetahui kandungan flavonoid yang terdapat pada ekstrak buah mahkota dewa, spektrofotometri UV-Vis juga bisa menentukan persentasi kandungan flavonoid yang terdapat didalam ekstrak buah mahkota dewa dengan menggunakan persamaan

$$\% \text{ flavonoid} = \text{Absorbansi sampel} \times 1,25/\text{g sampel}$$

Dari persamaan 3.1 diatas maka didapatkan lah persentase kandungan flavonoid buah mahkota dewa sebesar :



Tabel 4.3 : Persentase kandungan flavonoid buah mahkota dewa

No	Sample (g)	Absorbansi	% Flavonoid
1	1.0321	0.60577	0.734
2	1.0405	0.60709	0.729

4.1.3 Hasil Pengujian *Weight loss*

Salah satu pengujian untuk mengetahui laju korosi pada suatu material adalah metode *weight loss*, pada dasarnya prinsip pengujian *weight loss* adalah mengukur berat dari masing masing spesimen sebelum dilakukan perendaman kemedi elektrolit tertentu kemudian dikurangi dengan berat masing masing spesimen setelah dilakukan perendaman, dari selisih berat ini lah akan didapat laju korosi material tersebut, dan juga efisiensi inhibitor. pada penelitian ini menggunakan material API 5L grade B dengan lingkungan elektrolit NaCl 3,5% dan H₂SO₄ IM. Masing masing sistem terdiri atas tiga buah spesimen yang dimasukkan kedalam media eletrolit yang diwadahi tabung plastik bening, tujuan menggunakan masing masing tiga spesimen adalah untuk mengurangi adanya *error* pada sistem, sehingga didapatkan hasil yang benar benar sesuai dengan yang diharapkan . Pada pengujian *weight loss* didapatkan data berupa selisih berat pada material yang diteliti dengan melakukan perendaman pada larutan elektrolit NaCl 3,5% dan H₂SO₄ IM dengan waktu tertentu. Dari pengujian *weight loss* ini akan didapatkan laju korosi dan efisiensi inhibitor buah mahkota dewa yang telah ditambahkan kedalam



larutan elektrolit dengan konsentrasi tertentu kedalam masing masing larutan. Pada larutan elektrolit NaCl 3,5 % pengujian dilakukan selama 30 hari dengan interval pengambilan sampel setiap 144 jam dengan variasi konsentrasi ekstrak buah mahkota dewa pekat sebanyak 0 ppm, 1000 ppm, 2000 ppm, 3000 ppm, 4000 ppm, dan 5000 ppm. Sedangkan untuk larutan elektrolit H_2SO_4 IM dilakukan perendaman selama 36 jam dengan interval pengambilan sampel setiap 6 jam dengan konsentrasi inhibitor sebanyak 0 ppm, 1000 ppm, 2000 ppm, 3000 ppm, 4000 ppm, dan 5000. Data yang didapatkan berupa pengurangan berat masing masing spesimen didunakan untuk menentukan laju korosi. Dari laju korosi tersebut kemudian didapatkan efisiensi inhibitor buah mahkota dewa

. Dengan menggunakan persamaan 2.1 diketahui laju korosi spesimen, dari laju korosi tersebut dengan menggunakan persamaan 2.2 dapat diketahui efisiensi dari inhibitor ekstrak buah mahkota dewa (*Phaleria Macrocharpa*) yang digunakan. Laju korosi dan efisiensi inhibitor dapat di lihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.4 Hubungan waktu, laju korosi dan efisiensi inhibitor pada larutan NaCl 3,5%

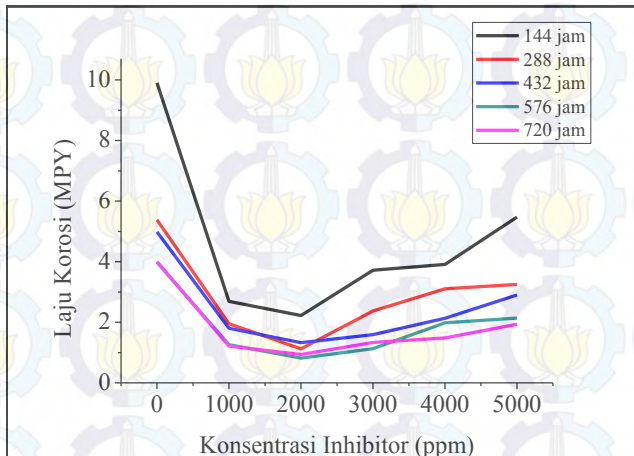
Konsentrasi	waktu (jam)	Laju Korosi (Mpy)	Efisiensi (%)
0	144	9,905	*
	288	5,383	*
	432	4,987	*



	576	3,983	*
	720	3,99	*
1000	144	2,691	72,827
	288	1,95	63,765
	432	1,801	63,475
	576	1,259	68,399
	720	1,214	69,646
2000	144	2,223	77,558
	288	1,122	79,15
	432	1,329	73,343
	576	0,814	79,549
	720	0,935	76,621
3000	144	3,716	62,486
	288	2,37	55,792
	432	1,594	68,026
	576	1,13	71,614
	720	1,336	66,594
4000	144	3,912	60,506
	288	3,105	42,308
	432	2,132	57,247
	576	1,983	50,205
	720	1,482	62,943
5000	144	5,47	44,774
	288	3,252	39,575
	432	2,902	41,806
	576	2,141	46,238
	720	1,935	51,608



Dari tabel diketahui bahwa laju korosi tertinggi terdapat pada penambahan 0 ppm ekstrak mahkota dewa dengan waktu 144 jam yaitu sebesar 9,905 Mpy, sedangkan laju korosi terendah terdapat pada penambahan 2000 ppm ekstrak buah mahkota dewa dengan lama waktu perendaman 576 jam yaitu sebesar 0,814 Mpy, dimana ini juga merupakan efisiensi tertinggi dari ekstrak buah mahkota dewa yaitu sebesar 79,549 %. Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa pengaruh waktu serta konsentrasi inhibitor yang ditambahkan (0-5000 ppm) kedalam sistem menghasilkan penurunan laju korosi yang fluktuatif. Hubungan antara penambahan inhibitor dengan laju korosi dapat dilihat pada grafik dibawah ini:



Gambar 4.3 Hubungan konsentrasi inhibitor dengan laju korosi pada lingkungan NaCl 3,5%

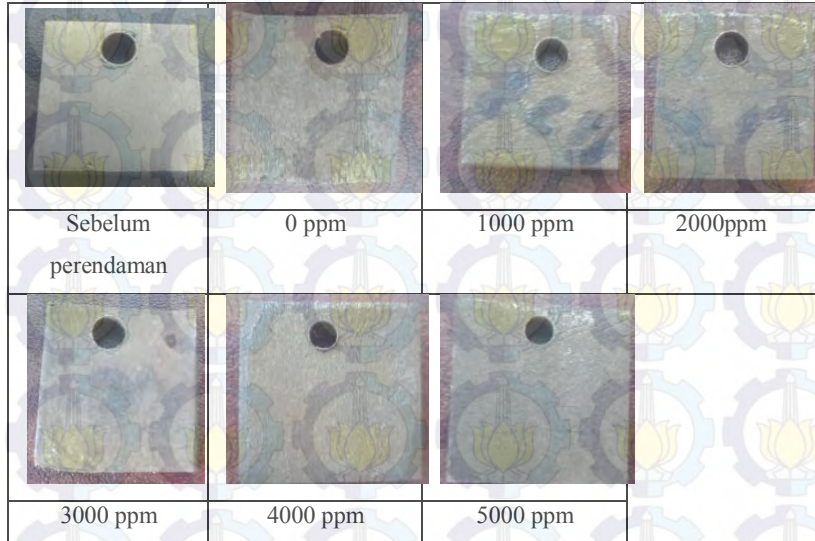


Penambahan inhibitor ekstrak buah mahkota dewa pada setiap konsentrasi ppm (0, 1000, 2000, 3000, 4000, dan 5000 ppm) menghasilkan kurva yang fluktuatif, pada konsentrasi inhibitor dari 0 ppm sampai 2000 ppm terjadi penurunan laju korosi yang cukup signifikan, dari 2000 ppm sampai 5000 ppm terjadi kenaikan laju korosi dilihat dari bentuk kurva yang naik, namun kenaikan laju korosi ini tidak begitu signifikan. Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa laju korosi terendah inhibitor buah mahkota dewa terdapat pada 2000 ppm untuk setiap rentang waktu (144, 288, 432, 576 dan 720 jam), sedangkan laju korosi tertinggi pada konsentrasi 0 ppm untuk setiap rentang waktu. Dari grafik dilihat bahwa laju korosi tertinggi untuk setiap konsentrasi ppm terdapat pada 144 jam, dapat dilihat pada interval kurva yang jauh antara waktu 144 jam dengan rentang waktu 288-720 jam hal ini disebabkan karena inhibitor buah mahkota dewa membutuhkan waktu untuk melakukan proses proteksi, pada rentang waktu 144 jam proses proteksi yang terbentuk belum maksimal sehingga laju korosinya masih cukup tinggi, ketika 288 jam proses proteksi mulai stabil sampai 720 jam, hal ini dapat dilihat pada grafik dimana kurvanya memiliki interval yang sangat kecil dan laju korosi rata rata lebih kecil dari 144 jam.

Laju korosi tergantung pada banyaknya berat spesimen yang hilang. Berdasarkan data visual kehilangan berat spesimen baja API 5L grade B sebelum dan sesudah dilakukan perendaman



tidak memperlihatkan perubahan yang berarti. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.4 dibawah ini.



Gambar 4.4 Spesimen Hasil Perendaman NaCl 3,5%

Dari gambar 4.4 diatas dapat dilihat bahwa perendaman di lingkungan elektrolit NaCl 3,5% tidak menyebabkan pengurangan berat yang signifikan, terlihat dari bentuk permukaan spesimen baja API 5L grade B yang hampir sama pada setiap konsentrasi penambahan inhibitor

Berdasarkan tabel 2.1 nilai tingkat ketahanan material berdasarkan laju korosi maka dapat dilihat bahwa laju korosi pada media NaCl 3,5% dengan penambahan konsentrasi inhibitor dalam jumlah tertentu dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

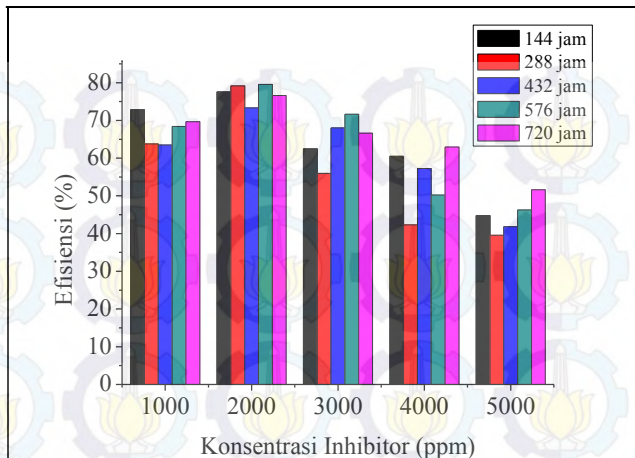


Tabel 4.5 Nilai tingkat ketahanan material berdasarkan laju korosi pada lingkungan NaCl 3,5%

Konsentrasi inhibitor (ppm)	Corrosion Rate (Mpy)	Relative Corrosion Resistance
0	5,6514	Good
1000	1,783	Excellent
2000	1,2846	Excellent
3000	2,0292	Excellent
4000	2,5228	Excellent
5000	3,14	Excellent

Dari tabel diatas terlihat bahwa penambahan inhbitor ekstrak buah mahkota dewa denga konsentrasi inhibitor 1000 samapai 2000 ppm memiliki kategori excellent dalam hal proteksi baja API 5L grade B di tunjukkan dengan nilai laju korosi kurang dari 5 Mpy. Oleh karena itu inhibitor ekstrak buah mahkota dewa cocok digunakan sebagai inhibitor pada media NaCl 3,5%.

Dari laju korosi bisa didapatkan efisiensi dari inhibitor buah mahkota dewa, dimana kolerasi semakin rendah laju korosi makasemakin tinggi efisiensi dari inhibitor tersebut, begitu juga sebaliknya, semakin tinggi laju korosi maka efisiensi akan semakin rendah, pada diagram dibawah ini dapat dilihat hubungan antara efisiensi buah mahkota dewa dengan konsentrasi inhibitor yang ditambahkan kedalam sistem.



Gambar 4.5 Hubungan konsentrasi inhibitor terhadap efisiensi inhibitor pada lingkungan NaCl 3,5%

Pada diagram diatas dapat dilihat pada rentang 1000 ppm sampai 5000 ppm terjadi fluktuasi efisiensi inhibitor buah mahkota dewa, pada konsentrasi 1000 sampai 2000 terjadi kenaikan efisiensi disetiap rentang waktu pengujian, dari konsentrasi inhibitor 3000 ppm sampai 5000 ppm terjadi penurunan efisiensi pada setiap rentang waktu pengujian. Efisiensi tertinggi terdapat pada konsentrasi inhibitor buah mahkota dewa 2000 ppm dimana efisiensinya mencapai 79,5%, keadaan ini sesuai dengan kurva laju korosi diatas, dimana pada konsentrasi inhibitor 2000 ppm merupakan laju korosi paling rendah.

Efisiensi inhibitor sangat erat hubungannya dengan fraksi



dari permukaan yang ditutupi oleh adsorpsi dari molekul inhibitor (Θ) yang nantinya akan digunakan untuk menentukan nilai konstanta Gibbs sehingga dapat diketahui tipe inhibisi dari inhibitor tersebut.

Dengan menggunakan persamaan 2.3 serta efisiensi dari masing masing penambahan konsentrasi inhibitor yang terdapat pada gambar 4.6 dapat diketahui nilai Θ (Derajat *surface coverage*) untuk masing-masing konsentrasi inhibitor ekstrak buah mahkota dewa seperti yang terdapat pada tabel dibawah ini:

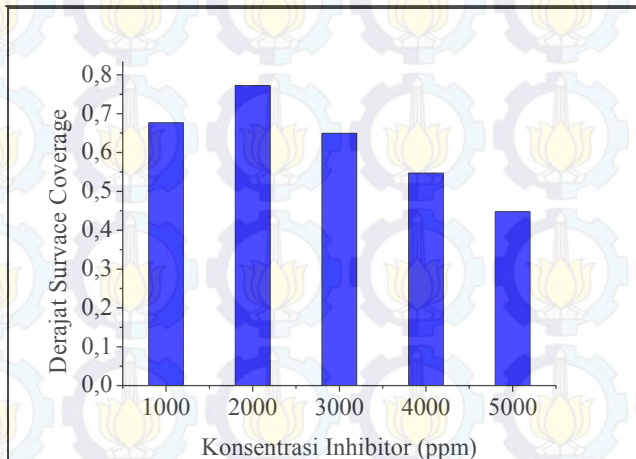
Tabel 4.6 Derajat *Surface Coverage* pada API 5 L Grade B dengan penambahan inhibitor pada lingkungan NaCl 3,5%

Konsentrasi Inhibitor (ppm)	Efisiensi Inhibitor (%)	Surface Coverage (Θ)
1000	67,6224	0,676224
2000	77,2442	0,772442
3000	64,9384	0,649384
4000	54,6418	0,546418
5000	44,8002	0,448002

Pada tabel diatas menunjukkan hubungan antara derajat *surface coverage* dengan efisiensi inhibitor, dimana pada tabel 4.6 dapat dilihat bahwa derajat *surface coverage* berbanding lurus dengan nilai dari efisiensi. Nilai derajat *surface coverage* tertinggi berada pada konsentrasi inhibitor 2000 ppm yaitu



sebesar 0,772442, pada penambahan konsentrasi inhibitor 1000 ppm derajat *survace coveragenya* sebesar 0,676224, pada penambahan inhibitor lebih dari 2000 ppm menyebabkan penurunan derajat *survace coverage* dimana untuk konsentrasi inhibitor 3000, 4000, 5000 ppm nilai masing masing derajat *survace coveragenya* adalah 0,649384, 0,546418 0,448002. untuk melihat lebih jelas dari perbandingan nilai derajat *survace coveragenya* dapat dilihat pada diagram dibawah ini:



Gambar 4.6 Derajat *survace coverage* pada penambahan inhibitor di lingkungan NaCl 3,5%

Dari gambar diatas terlihat bahwa ada kenaikan nilai derajat *survace coverage* sampai penambahan inhibitor 2000 ppm, setelah itu terjadi penurunan sampai penambahan 5000 ppm konsentrasi inhibitor. Hal ini membuktikan bahwa pada



konsentrasi inhibitor 2000 ppm jumlah molekul inhibitor yang terdapat pada permukaan logam semakin banyak sehingga mempengaruhi nilai dari derajat *surface coverage* pada permukaan logam. Semakin tinggi derajat *surface coverage* maka efisiensi inhibitor buah mahkota dewa akan semakin tinggi dan laju korosi akan semakin rendah.

Dengan menggunakan persamaan 2.4 dan 2.5 maka didapatkan nilai k dan nilai ΔG^0_{ads} . Nilai nilai ini nanti akan menentukan jenis atau tipe adsorpsi yang terjadi pada permukaan baja API 5L grade B, apakah bersifat fisis atau kimiawi. nilai k dan nilai ΔG^0_{ads} untuk masing masing penambahan inhibitor seperti yang terdapat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.7 Nilai Energi Bebas Adsorpsi Akibat Penambahan Ekstrak buah mahkota dewa pada media elektrolit NaCl 3,5%

Konsentrasi Inhibitor (ppm)	Surface Coverage (Θ)	Konstanta Adsorpsi	ΔG^0_{ads} (kJ/mol)
1000	0,676224	0,002089	-5,33892
2000	0,772442	0,001697	-5,85294
3000	0,649384	0,000617	-8,35847
4000	0,546418	0,000301	-10,1369
5000	0,448002	0,000162	-11,6683

Berdasarkan tabel diatas, nilai energi bebas adsorpsi berada pada rentang nilai -5,33892 Kj/mol sampai -11,6683 Kj/mol.



Menurut Taleb Ibrahim, dkk, nilai energi bebas adsorpsi yang kurang dari -20 kJ/ mol mengindikasikan terjadi adsorpsi fisik pada permukaan logam. Sedangkan apabila nilainya lebih dari -40 kJ/mol, proses adsorpsinya melibatkan transfer atau *sharing* dari molekul inhibitor kepada permukaan logam untuk membentuk ikatan koordinat. Artinya proses adsorpsi yang terjadi berjalan secara kimiawi. Berdasarkan hasil perhitungan nilai energi bebas adsorpsi yang terdapat pada tabel diatas nilai energi bebasnya berada dalam range kurang -20 kJ/mol sehingga dapat disimpulkan bahwa adsorpsi yang terjadi pada permukaan logam melibatkan adsorpsi secara fisik. Adsorpsi ini bersifat lemah karena proses adsorpsi yang terjadi dapat bersifat *reversible*. Namun hal ini memiliki keuntungan yaitu ketika proses adsorpsi terjadi tidak membutuhkan waktu yang cukup lama jika dibandingkan dengan proses adsorpsi yang terjadi secara kimia. Nilai energi bebas adsorpsi yang bertanda negatif menandakan bahwa reaksi tersebut berlangsung secara spontan.

Hasil pengujian weight loss pada media elektrolit H_2SO_4 1M dengan penambahan inhibitor didapatkan data berat spesimen yang hilang, kemudian didapatkan laju korosi dari material tersebut, dan juga efisiensi inhibitor buah mahkota dewa, seperti yang terdapat pada tabel dibawah ini:



Tabel 4.8 Hubungan waktu, Laju korosi, dan Efisiensi inhibitor
di lingkungan H_2SO_4 1M

Konsentrasi	Waktu (jam)	Laju Korosi (Mpy)	Efisiensi (%)
0	6	2382,063	*
	12	2192,732	*
	18	2132,586	*
	24	2099,636	*
	30	2577,827	*
	36	2436,282	*
1000	6	799,687	66,429
	12	932,009	57,496
	18	1223,502	42,628
	24	984,115	53,129
	30	1259,939	51,124
	36	1344,754	44,803
2000	6	1186,717	50,181
	12	772,229	64,782
	18	668,411	68,657
	24	670,634	68,06
	30	1232,271	52,197
	36	1216,223	50,079
3000	6	415,272	82,567
	12	568,254	74,085
	18	673,815	68,404
	24	556,878	73,477
	30	824,321	68,023
	36	803,479	67,02
4000	6	293,672	87,672



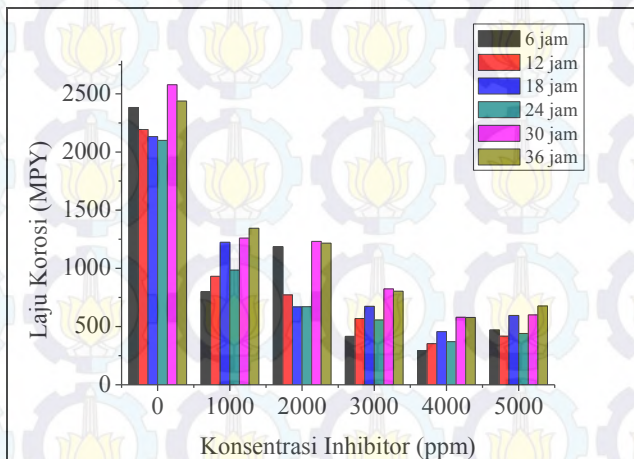
Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

	12	352,642	83,918
	18	455,98	78,618
	24	369,901	82,383
	30	580,022	77,5
	36	577,712	76,287
5000	6	471,235	80,217
	12	416,841	80,99
	18	595,276	72,087
	24	440,769	79,007
	30	600,21	76,716
	36	677,258	72,201

Pada tabel diatas dapat dilihat bahwa penambahan inhibitor sangat mempengaruhi laju korosi spesimen pada larutan elektrolit H_2SO_4 1M, laju korosi turun sangat drastis jika ditambahkan inhibitor, pada penambahan inhibitor 0 ppm laju korosi bisa mencapai maksimum 2577,827 Mpy pada waktu 30 jam, kemudian ketika ditambahkan inhibitor 1000 ppm laju korosi maksimumnya sebesar 1232,71 Mpy pada waktu 30 jam, pada penambahan inhibitor 2000 ppm laju korosi turun lagi dengan laju korosi maksimum sebesar 1232,271 Mpy pada rentang waktu yang sama, dengan penambahan inhibitor sebanyak 3000 ppm berhasil menurunkan laju korosi dengan laju maksimum sebesar 824,321 Mpy dengan lama waktu perendaman 30 jam, pada penambahan inhibitor 4000 ppm dimana ini adalah puncak minimum dari penurunan berat yang terjadi dimana berat



maksimum spesimen yang hilang adalah sebesar 580,022 Mpy masih pada rentang waktu yang sama 30 jam, sedangkan pada penambahan inhibitor ekstrak buah mahkota dewa sebesar 5000 ppm menaikkan laju korosi pada setiap rentang waktu perendaman, dimana laju korosi maksimum yang didapatkan pada konsentrasi inhibitor 5000 ppm ini adalah sebesar 677,258 Mpy dengan lama waktu perendaman 36 jam. Diagram hubungan antara laju korosi dengan konsentrasi inhibitor yang ditambahkan pada rentang waktu tertentu bisa dilihat pada diagram dibawah ini:



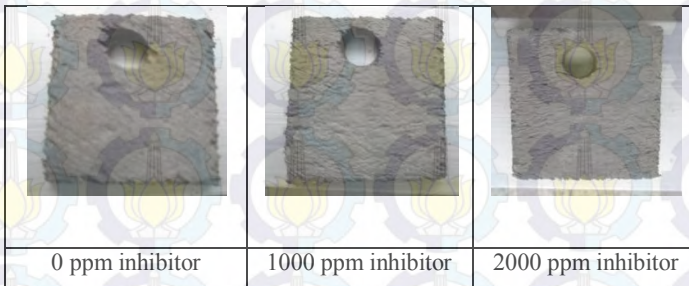
Gambar 4.7 Hubungan konsentrasi inhibitor dengan laju korosi di lingkungan H_2SO_4 1M

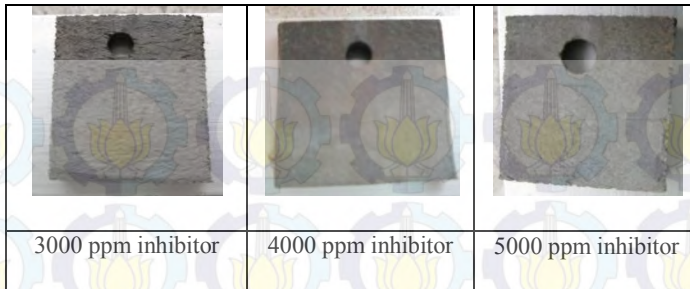
Dari diagram diatas dengan jelas terlihat pengaruh penambahan inhibitor terhadap laju korosi spesimen dalam



elektrolit H_2SO_4 . Pada spesimen yang tidak ditambahkan inhibitor buah mahkota dewa (0 ppm) laju korosinya sangat tinggi, ketika ditambahkan ekstrak buah mahkota dewa sebesar 1000 ppm sudah bisa mereduksi laju korosi lebih dari setengahnya, untuk setiap rentang waktu pengujian. Semakin banyak ditambahkan inhibitor semakin rendah laju korosinya, namun pada penambahan inhibitor 5000 ppm laju korosinya kembali naik. Sehingga didapatkan laju korosi terendah adalah 4000 ppm.

Kehilangan berat dan laju korosi mempengaruhi bentuk fisik dari spesimen uji, semakin banyak berat yang hilang, berarti laju korosi juga semakin tinggi sehingga spesimen yang tergerus juga semakin banyak, secara visual dapat dilihat perbedaan masing masing spesimen, pada gambar dibawah ini adalah spesimen hasil perendaman selama 36 jam pada konsentrasi inhibitor 0 sampai 5000 ppm





Gambar 4.8 Spesimen hasil perendaman di lingkungan H_2SO_4 1M selama 36 jam

Dari gambar diatas dapat kita lihat bahwa spesimen yang tidak diberi tambahan inhibitor (0 ppm) tergerus cukup banyak dengan adanya rongga rongga halus dan dalam di pinggir pinggir spesimen yang hampir rata di setiap sisi, dengan penambahan inhibitor, rongga rongga tersebut berkurang cukup signifikan, seperti pada sampel dengan penambahan 4000 ppm spesimen uji kelihatan halus dan tidak terdapat rongga rongga halus seperti yang terdapat pada spesimen spesimen lain, hal ini membuktikan bahwa inhibitor buah mahkota dewa dapat menghambat mekanisme korosi dari baja API 5L grade B.

Berdasarkan tabel 2.1 nilai tingkat ketahanan material berdasarkan laju korosi maka dapat dilihat bahwa laju korosi pada media H_2SO_4 1M dengan penambahan konsentrasi inhibitor dalam jumlah tertentu dapat dilihat pada tabel di bawah ini:



Tabel 4.9 Nilai tingkat ketahanan material berdasarkan laju korosi di lingkungan H_2SO_4 1M

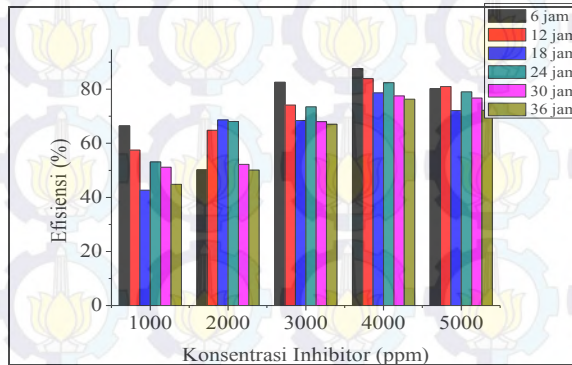
Konsentrasi inhibitor (ppm)	Corrosion Rate (Mpy)	Relative Corrosion Resistance
0	2303,52	Unacceptable
1000	1090,67	Unacceptable
2000	957,748	Unacceptable
3000	640,337	Unacceptable
4000	438,322	Unacceptable
5000	533,598	Unacceptable

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa walaupun nilai laju korosi dapat direduksi dengan sangat signifikan hampir bisa mereduksi hingga seperlima dari konsentrasi 0 ppm pada penambahan ekstrak buah mahkota dewa 4000 ppm namun dalam hal nilai tingkat ketahanan material masih bernilai *Unacceptable*. Hal ini disebabkan oleh laju korosi yang sangat tinggi dimedia H_2SO_4 yang bersifat sangat asam.

Efisiensi inhibitor buah mahkota juga sangat tergantung terhadap laju korosi. Semakin kecil laju korosi maka efisiensi inhibitor juga semakin besar, pada tabel diatas efisiensi maksimum inhibitor buah mahkota dewa adalah 4000 ppm, hal ini dikarenakan adanya perbandingan terbalik antara laju korosi dengan efisiensi inhibitor, untuk mengetahui lebih lanjut efisiensi



dari ekstrak buah mahkota dewa dapat dilihat pada diagram dibawah ini;



Gambar 4.9 Hubungan konsentrasi inhibitor dengan efisiensi di lingkungan H_2SO_4 1M

Pada diagram diatas terlihat bahwa efisiensi inhibitor pada setiap konsentrasi inhibitor dan waktu perendaman bersifat fluktuatif, namun secara garis besar dapat disimpulkan bahwa efisiensi maksimum dari inhibitor buah mahkota dewa disetiap rentang waktu pencelupan adalah 4000 ppm dilihat dari tingginya batang diagram disetiap waktu pada konsentrasi tersebut lebih tinggi dari pada batang diagram pada konsentrasi inhibitor lain dengan lama waktu pencelupan yang sama.

4.1.4 Hasil Pengujian Polarisasi Linear

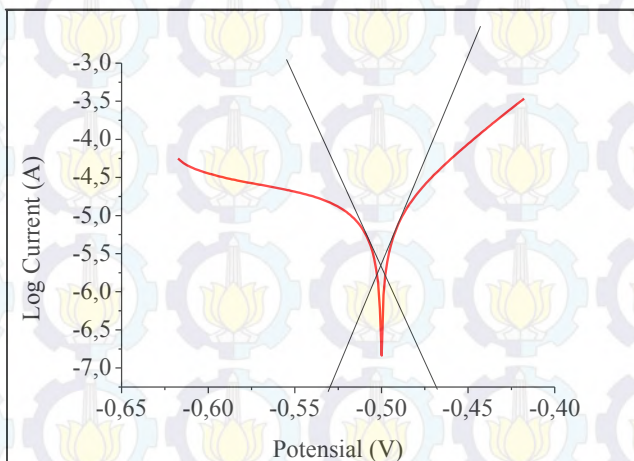
Setekah dilakukan uji weigh loss sehingga didapatkan nilai efisiensi maksimum dari masing masing medium elektrolit,



kemudian dilanjutkan dengan pengujian polarisasi linear untuk membandingkan hasil laju korosi antara kedua pengujian tersebut. Sebenarnya untuk penentuan laju korosi dan efisiensi inhibitor pengujian dengan menggunakan metode *weight loss* itu saja sudah cukup untuk menganalogikan sebagai keadaan sebenarnya, mulai dari penambahan inhibitor, inhibitor mencapai stabil sehingga mencapai kestabilan dalam proteksi baja, namun hal ini saja masih belum cukup sehingga perlu dilakukan pengujian polarisasi linear (*tafle*) untuk mengetahui *performance* proteksi dari inhibitor ekstrak buah mahkota dewa sesaat setelah dilakukan pencampuran dengan media elektrolit. Pada uji polarisasi linear konsentrasi inhibitor yang digunakan pada masing masing medium elektrolit (NaCl 3,5% dan H_2SO_4 1M) adalah konsentrasi inhibitor yang memiliki efisiensi paling tinggi pada masing masing larutan yaitu pada 2000 ppm untuk media NaCl 3,5% dan 4000 ppm untuk media elektrolit H_2SO_4 1M. dan juga dengan penambahan konsentrasi inhibitor buah mahkota dewa 0 ppm. Penelitian polarisasi linear ini menggunakan program AUTOLAB PGSTAT yang menampilkan diagram nilai arus untuk setiap perubahan potensial. Untuk spesimennya sendiri pada pengujian ini menggunakan baja API 5L grade B atau yang disebut juga sebagai elektroda kerja, dengan elektroda *reference* Ag/AgCl dan elektroda bantu platina. Spesimen dari pengujian ini polarisasi linear ini memiliki diameter 1 cm. spesimen tersebut



kemudian diampelas untuk memperhalus permukaan spesimen, pengamplasan dilakukan sampai grade 1000. Setelah itu dilakukan pengujian polarisasi linear, yang pertama di lakukan adalah memasukkan data spesimen seperti densitas baja API 5L grade B sebesar $7,86\text{g/cm}^3$, untuk range potensial sendiri tidak ditentukan, namun di *running* dahulu sama alat secara otomatis, sehingga nanti di ketahui potensial maksimum dan minimum yang digunakan, setelah itu kemudian di *running*. Dengan menggunakan software AUTOLAB PGSTAT maka didapatkan kurva *potensial applied* (V) terhadap *current* (A). Dibawah ini adalah kurva polarisasi pada baja API 5 L grade B pada penambahan 0 ppm ekstrak buah mahkota dewa dengan lingkungan NaCl 3,5%



Gambar 4.10 Kurva polarisasi spesimen di lingkungan NaCL 3,5% tanpa inhibitor



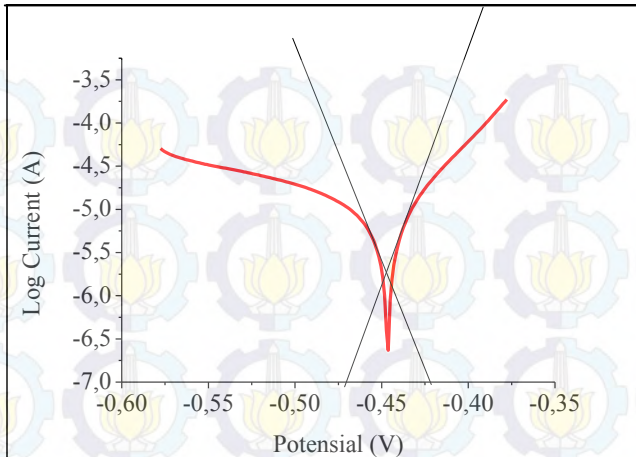
Pada software AUTOLAB PGSTAT bisa didapatkan secara otomatis nilai i_{corr} dengan menggunakan tafel fit, dimana dengan menarik dua garis linear pada kedua sisi kurva, sehingga akan di dapatkan perpotongan dari kedua garis linear tersebut, selain nilai pada software AUTOLAB PGSTAT juga di ketahui nilai b_a (*slope of the anodic Tafel reaction*,) dan juga b_c (*slope of the cathodic Tafel reaction*) dimana untuk kurva diatas masing masing nilainya adalah 0,26419V/dec dan 0,070271 V/dec, selain itu juga dapat diketahui nilai *Polarization Resistance* sebesar 1,44240 k Ω .

Berdasarkan data data yang terdapat pada kurva diatas maka kita dapat menentukan laju korosi dan juga laju masa yang hilang dengan menggunakan persamaan persamaan yang terdapat pada ASTM G102-89 *Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements*. Untuk mengetahui laju korosinya maka kita harus mengetahui dahulu nilai B (Stern Geary Constant) (persamaan 2.11) Dengan menggunakan persamaan tersebut maka didapatkan nilai B untuk baja API 5L grade B dilingkungan NaCl 3,5% tanpa inhibitor sebesar 0,02410 dari nilai B maka kita akan mendapatkan nilai i_{corr} (Persamaan 2.10) Dari kurva diatas diketahui nilai R_p sebesar 1,44240 k Ω/cm^2 oleh karena itu maka didapatkan nilai i_{corr} nya sebesar 16,7095 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$. Setelah mendapatkan nilai i_{corr} nya maka kita dapat menentukan laju



korosinya dengan menggunakan persamaan 2.12, dimana laju korosinya sebesar 7,646 MPy. Nilai laju korosi ini memiliki perbedaan yang cukup signifikan antara laju korosi dengan metode *weight loss* dan polarisasi linear, pada pengujian *weight loss* laju korosi pada penambahan 0 ppm ekstrak buah mahkota dewa adalah sebesar 5,6514 MPy. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan proses pengujian, pada metode *weight loss* laju korosi adalah laju korosi aktual yang terjadi selama pengujian, memerlukan waktu proses pengurangan (pengaruh waktu), sedangkan pada pengujian polarisasi linear, laju korosi yang dari material baja API 5L grade B bukan merupakan dari laju korosi aktual, laju korosi didapatkan dari persamaan I_{corr} yang dipengaruhi oleh perbedaan potensial arus korosinya. Dari hasil i_{corr} juga bisa didapatkan laju masa yang hilang dengan menggunakan persamaan 2.13.

Dari persamaan 2.13 maka didapatkan nilai mass loss rate dari penambahan 0 ppm inhibitor ekstrak buah mahkota dewa pada lingkungan NaCl 3,5% adalah sebesar 4,17819 (g/m²d). Dibawah ini adalah kurva polarisasi pada baja API 5 L grade B pada penambahan 2000 ppm (efisiensi tertinggi) ekstrak buah mahkota dewa dengan lingkungan NaCl 3,5%.



Gambar 4.11 Kurva polarisasi spesimen di lingkungan NaCL 3,5% dengan 2000 ppm inhibitor

Pada software AUTOLAB PGSTAT di ketahui nilai b_a (*slope of the anodic Tafel reaction*,) dan juga b_c (*slope of the cathodic Tafel reaction*) dimana untuk kurva diatas masing masing nilainya adalah 0,278580 V dan 0,0660580 V, selain itu juga dapat diketahui nilai *Polarization Resistance* sebesar 1,67940k Ω .

Berdasarkan data data yang terdapat pada kurva diatas maka kita dapat menentukan laju korosi dan juga laju masa yang hilang dengan menggunakan persamaan persamaan yang terdapat pada ASTM G102-89 *Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements*. Untuk mengetahui laju korosinya maka kita harus mengetahui dahulu nilai B (Stern Geary Constant), dengan



menggunakan persamaan 2.11 dimana nilai B nya adalah sebesar 0,0231855 V. Setelah diketahui nilai B nya maka dengan menggunakan persamaan 2.10 didapatkan nilai i_{corr} sebesar 13,80588 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$. Setelah didapatkan nilai i_{corr} maka dapat diketahui laju korosi sebesar 6,3175 Mpy dan mass loss ratenya sebesar 3,452144 $\text{g}/\text{m}^2\text{d}$. Laju korosi pada penambahan inhibitor dengan menggunakan metode *weight loss* jauh berbeda dengan dari pada hasil polarisasi linear, dimana untuk hasil *weight loss* laju korosinya sebesar 1,2846 Mpy. Hal ini disebabkan oleh perbedaan mekanisme pengujian, waktu dan kestabilan inhibitor ketika teradsorpsi pada permukaan baja API 5 L grade B.

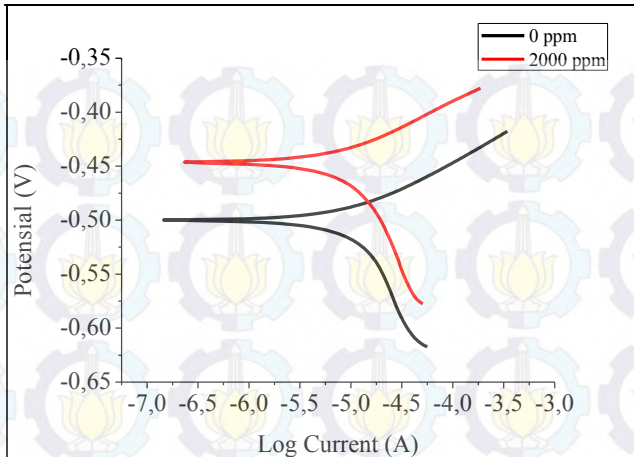
Pada penambahan 0 ppm inhibitor laju korosi dengan metode *weight loss* lebih rendah dibandingkan dengan pengujian polarisasi, hal ini dikarenakan pada pengujian polarisasi fungsi waktu tidak berpengaruh pada pengujian. Sedangkan pada pengujian *weight loss* pengaruh waktu sangat berperan dalam menentukan laju korosi.

Pada penambahan 2000 ppm inhibitor ekstrak buah mahkota menunjukkan hasil laju korosi dengan pengujian polarisasi lebih tinggi dari pada metode *weight loss*. Dari laju korosi tersebut maka diketahui efisiensi inhibitor buah mahkota dewa dengan metode polarisasi. Dengan menggunakan persamaan 2.2 di dapatkan efisiensi inhibitor pada penambahan inhibitor buah mahkota dewa 2000 ppm sebesar 17,37%. Hasil yang sangat



jauh berbeda dimana dengan menggunakan pengujian *weight loss* rata rata laju korosi pada penambahan inhibitor 2000 ppm adalah sebesar 77,2442% dengan efisiensi maksimum sebesar 79,549% dengan lama waktu perendaman 576 jam.

Perbedaan ini disebabkan ini oleh perbedaan perilaku kerja inhibitor pada masing masing pengujian. Pada metode *weight loss* terdapat waktu yang cukup lama untuk inhibitor buah mahkota dewa teradsorpsi pada permukaan spesimen, sehingga proses adsorpsinya berlangsung sempurna dan proteksinya juga berlangsung sempurna, sedangkan pada metode polarisasi tidak terdapat cukup waktu untuk membentuk lapisan pengendali korosi (teradsorpsi dipermukaan spesimen). Perilaku inhibitor yang terbaca pada alat polarisasi adalah perilaku sesaat setelah inhibitor dicampurkan dengan larutan elektrolit NaCl 3,5% tanpa ada pengaruh waktu. Dari gambar 4.12 dapat dilihat bahwa penambahan inhibitor buah mahkota dewa dengan konsentrasi 2000 ppm dapat menurunkan kerapatan arus (A) dan menaikkan potensial (V) sehingga dapat menurunkan laju korosi pada material baja API 5L grade B.



Gambar 4.12 Kurva Polarisasi E dan log I pada NaCl 3,5 %

Pada tabel dibawah ini adalah perbandingan nilai ba, bcdan laju korosi pada baja API 5L grade B dalam lingkungan elektrolit NaCl 3,5% dengan penambahan inhibitor 2000 ppm

Tabel 4.13 Hasil perhitungan dari kurva polarisasi di lingkungan NaCl 3,5%

Konsentrasi (PPM)	CR (Mpy)	E corr (V)	i-corr ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	bheta-katodik (V)	bheta-anodik (V)	%EI
0	7,646	-0,49908	16,7095	0,070271	0,26419	0
2000	6,3175	-0,44688	13,80588	0,066058	0,27858	17,37

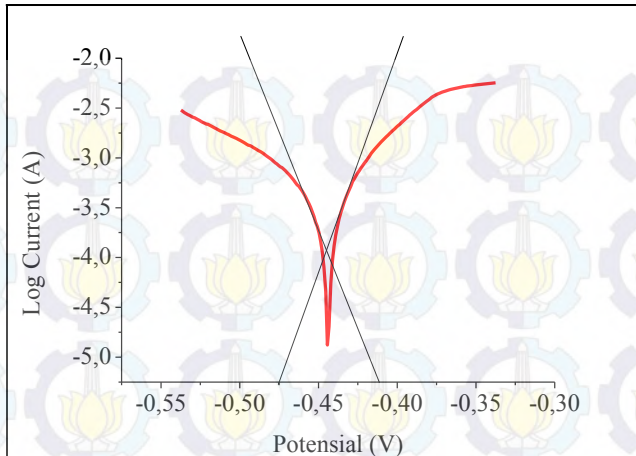
Dari tabel diketahui bahwa nilai E_{corr} dengan penambahan inhibitor ekstrak buah mahkota dewa sebanyak 2000 ppm lebih positif bila dibandingkan dengan tanpa inhibitor. Dengan demikian inhibitor ini cenderung mengarah kepolarisasi katodik



Inhibitor dapat dikategorikan sebagai anodik atau katodik jika potensial korosi bergeser lebih dari 85mV terhadap potensial korosi tanpa inhibitor^[39]. Dari tabel diatas diketahui nilai potensial E_{corr} pada penambahan 0 ppm ekstrak buah mahkota dewa adalah sebesar 0,44908 V dan nilai potensial E_{corr} pada penambahan 2000 ppm ekstrak buah mahkota dewa adalah - 0,44688 V. Nilai potensialnya bergeser sejauh 53 mV, sehingga tidak memenuhi persyaratan sebagai inhibitor anodik atau katodik. Maka dapat disimpulkan bahwa inhibitor ini adalah *mixed inhibitor*. Selain dari perbedaan nilai potensial tersebut, juga dapat dilihat dari bentuk kurva polarisasi yang mempengaruhi area anodik dan area katodik.

Sama halnya dengan media elektrolit NaCl 3,5%, larutan media elektrolit H_2SO_4 1M juga dilakukan uji polarisasi dengan penambahan inhibitor 0 ppm dan 4000 ppm ekstrak buah mahkota dewa. 4000 ppm adalah efisiensi tertinggi dari inhibitor buah mahkota dewa pada media elektrolit H_2SO_4 1M. Untuk standar pengujian, alat, proses pengujiannya sama dengan dengan media NaCl 3,5%. Perbedaannya terletak pada media elektrolitnya inhibitor yang ditambahkan.

Dibawah ini adalah kurva polarisasi untuk penambahan 0 ppm ekstrak buah mahkota dewa di lingkungan elektrolit H_2SO_4 1M.



Gambar 4.13 Kurva polarisasi penambahan 0 ppm inhibitor media elektrolit H_2SO_4 1M.

Dari kurva polarisasi diatas dapat diketahui nilai b_a dan b_c nya masing masing sebesar 0,50194 V/dec dan 0,10339 V/dec, serta diketahui juga resistansi polarisasi sebesar 31,385 Ω . Dari nilai nilai tersebut maka dapat diketahui nilai B dengan menggunakan persamaan 2.11 sebesar 0,0372258 V dan dengan menggunakan persamaan 2.10 diketahui nilai i_{corr} sebesar 1186,2154 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$. Dengan mengetahui nilai i_{corr} maka dapat dihitung laju korosi dengan menggunakan persamaan 2.12. sebesar 542,8128 MPy. Dengan nilai i_{corr} juga diketahui nilai *mass loss rate* dengan menggunakan persamaan 2.13. nilai *mass loss ratenya* adalah sebesar 296,61176 $\text{g}/\text{m}^2\text{d}$. Laju korosi dengan pengujian tafel berbeda jauh dengan hasil laju korosi dengan

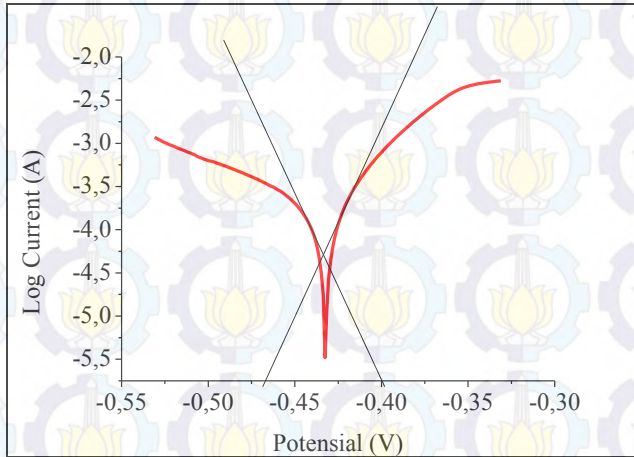


pengujian *weight loss*. Pada pengujian *weight loss* rata rata laju korosi pada 0 ppm inhibitor buah mahkota dewa adalah 2303,521 Mpy. Lebih besar dari pengujian polarisasi. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan metode dan lama waktu pengujian. Pada metode *weight loss* ada interval waktu yang cukup panjang yang menyebabkan reaksi korosi berjalan sempurna, sehingga menyebabkan masa yang hilang besar dan laju korosi tinggi. Metode *weight loss* menggambarkan kejadian aktual yang terjadi dilapangan. sedangkan pada pengujian polarisasi tidak punya waktu yang cukup lama untuk terjadi proses korosi.

Untuk penambahan inhibitor 4000 ppm diketahui nilai b_a dan b_c nya masing masing sebesar 0,15834 V/dec dan 0,054964 V/dec, serta diketahui juga resistansi polarisasi sebesar 71,447 Ω . Dari nilai nilai tersebut maka dapat diketahui nilai B dengan menggunakan persamaan 2.11 sebesar 0,01771 V dan dengan menggunakan persamaan 2.10 diketahui nilai i_{corr} sebesar 247,9659 $\mu A/cm^2$. Dengan mengetahui nilai i_{corr} maka dapat dihitung laju korosi dengan menggunakan persamaan 2.12. dari persamaan 2.12 diketahui bahwa laju korosi material baja API 5L grade B dilingkungan H_2SO_4 1M dengan penambahan inhibitor ekstrak buah mahkota dewa 4000 ppm sebesar 113,4693 MPy. Dengan nilai i_{corr} juga diketahui nilai *mass loss rate* dengan menggunakan persamaan 2.13. nilai *mass loss ratenya* adalah



sebesar 62,00358 g/m²d. Kurva polarisasinya dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.14 Kurva polarisasi 4000 ppm inhibitor di media H₂SO₄ 1M

Terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara laju korosi dari hasil pengujian polarisasi dibandingkan dengan laju korosi dari pengujian *weight loss*. Laju korosi pada pengujian *weight loss* dengan penambahan inhibitor ekstrak buah mahkota dewa 4000 ppm sebesar 438,3215 Mpy, sedangkan pada pengujian polarisasi laju korosinya sebesar 113,4693 MPy, jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan metode *weight loss*. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan mekanisme pengujian dan lama waktu masing masing pengujian serta kestabilan



inhibitor buah mahkota dewa dalam hal proteksi baja API 5L grade B.

Pada penambahan 0 ppm inhibitor laju korosi dengan metode *weight loss* lebih tinggi dibandingkan dengan pengujian polarisasi, hal ini dikarenakan pada pengujian polarisasi fungsi waktu tidak berpengaruh pada pengujian. Sedangkan pada pengujian *weight loss* pengaruh waktu sangat berperan dalam menentukan laju korosi. Tidak jauh berbeda dari hasil penambahan 0 ppm inhibitor ekstrak buah mahkota dewa, pada penambahan 4000 ppm inhibitor ekstrak buah mahkota menunjukkan hasil laju korosi dengan pengujian *weight loss* lebih tinggi dari pada metode polarisasi.

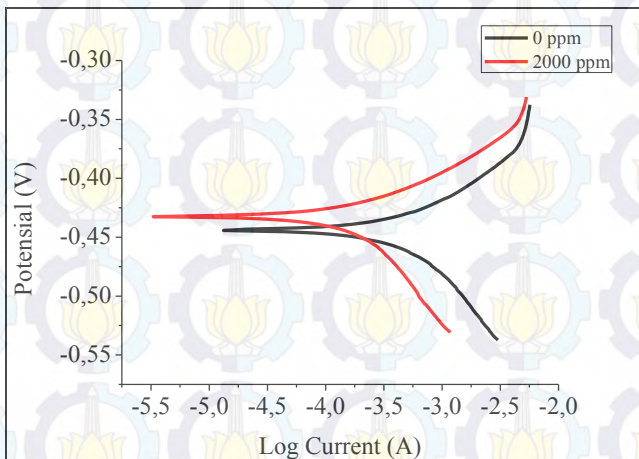
Dari laju korosi tersebut maka diketahui efisiensi inhibitor buah mahkota dewa dengan metode polarisasi. Dengan menggunakan persamaan 2.2 di dapatkan efisiensi inhibitor pada penambahan inhibitor buah mahkota dewa 4000 ppm sebesar 79,09%. Hasil yang tidak jauh berbeda dimana dengan menggunakan pengujian *weight loss* rata rata laju korosi pada penambahan inhibitor 4000 ppm adalah sebesar 81,063 % dengan efisiensi maksimum sebesar 87,672% dengan lama waktu perendaman 6 jam.

Perbedaan ini disebabkan ini oleh perbedaan perilaku kerja inhibitor pada masing masing pengujian. Pada metode *weight loss* terdapat waktu yang cukup lama untuk inhibitor buah mahkota



dewa teradsopsi pada permukaan spesimen baja API 5L grde B sehingga proses adsorpsinya berlangsung sempurna dan proteksinya juga berlangsung sempurna, sedangkan pada metode polarisasi tidak terdapat cukup waktu untuk membentuk lapisan pengendali korosi (teradsorpsi dipermukaan spesimen). Perilaku inhibitor yang terbaca pada alat polarisasi adalah perilaku sesaat setelah inhibitor dicampurkan dengan larutan elektrolit H_2SO_4 1M tanpa ada pengaruh waktu.

Perbandingan kurva polarisasi antara penambahan inhibitor 0 ppm dengan 4000 ppm dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.15 Kurva polarisasi 0 dan 4000 ppm di media H_2SO_4 1M

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa penambahan inhibitor buah mahkota dewa dengan konsentrasi 4000 ppm di



lingkungan H_2SO_4 1M dapat menurunkan kerapatan arus (A) dan menaikkan potensial korosi, sehingga baja API 5L grade B tanpa penambahan inhibitor lebih negatif dari pada dengan penambahan 4000 ppm inhibitor ekstrak buah mahkota dewa. Dengan demikian dapat diketahui bahwa ekstrak buah mahkota dewa mampu mengurangi laju korosi pada baja API 5L grade B di lingkungan H_2SO_4 1M.

Pada tabel dibawah ini adalah perbandingan nilai i_{corr} , E_{corr} dan laju korosi pada baja API 5L grade B dalam lingkungan elektrolit H_2SO_4 1M dengan penambahan inhibitor ekstrak buah mahkota dewa 4000 ppm

Tabel 4.15 Hasil Perhitungan kurva polarisasi media elektrolit H_2SO_4 1M

Konsentrasi (PPM)	CR (Mpy)	E corr (V)	i-corr ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	bheta-katodik (V)	bheta-anodik (V)	%EI
0	542,8128	-0,44392	1186,2154	0,10339	0,5019	0
4000	113,4693	-0,43236	247,9659	0,05496	0,1583	79,09

Berdasarkan tabel 4.15 diatas diketahui nilai potensial E_{corr} dengan penambahan ekstrak buah mahkota dewa sebanyak 4000 ppm lebih positif dibandingkan dengan tanpa penambahan inhibitor. Sehingga polarisasi yang terjadi adalah polarisasi katodik. Perubahan nilai potensial E_{corr} tidak memenuhi syarat sebagai inhibitor anodik ataupun katodik hal ini disebabkan pergeseran potensialnya hanya sebesar 11,56 mV sehingga



disimpulkan bahwa inhibitor ini adalah tipe *mixed Inhibitor*. Dilihat dari bentuk kurva polarisasi penambahan inhibitor juga mempengaruhi area anodik dan area katodik.

4.1.5 Hasil Pengujian EIS

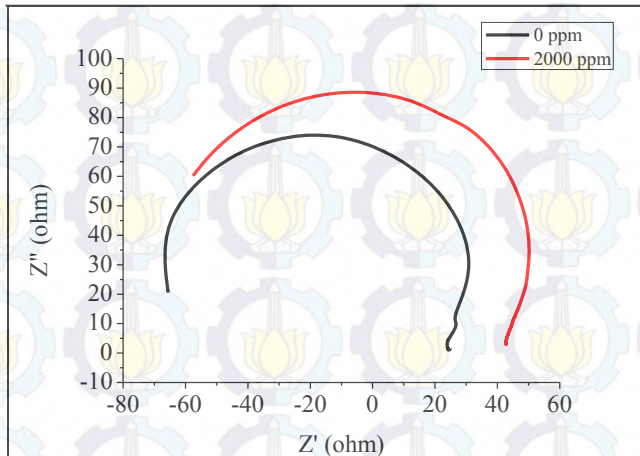
Pengujian EIS adalah salah satu metode untuk menentukan perilaku korosi dengan menentukan karakterisasinya menggunakan prinsip polarisasi. Pada dasarnya prinsip pengujian EIS ini hampir sama dengan pengujian polarisasi potensiodinamik. Uji EIS ini menggunakan elektroda kerja baja API 5L grade B, elektroda bantu platina dan elektroda referencenya adalah Ag/AgCl. Diameter permukaan elektroda kerja adalah 1 cm. Larutan elektrolit yang digunakan pada pengujian EIS ini adalah NaCl 3,5%, dengan penambahan 0 , dan 2000 ppm ekstrak buah mahkota dewa dan larutan H₂SO₄ 1M dengan penambahan ekstrak 0 dan 4000 ppm. 2000 dan 4000 ppm adalah konsentrasi inhibitor yang memiliki nilai efisiensi tertinggi di masing masing larutan elektrolit dengan pengujian *weight loss*.

Pengujian EIS ini dilakukan dengan cara memasukkan ketika elektroda (elektroda bantu, elektroda kerja, elektroda *reference*) kedalam wadah yang terdapat larutan elektrolit sebagai lingkungan reaksi. Masing masing dari elektroda ini terhubung pada alat PGSTAT. Dengan bantuan sofeware Nova 1.7 maka



diketahui kurva Nyquistnya serta parameter parameter lain yang ingin diketahui dengan memasukkan *command analysis* tertentu.

Pada prinsipnya metode EIS dapat digunakan untuk menentukan sejumlah parameter berkaitan dengan besaran elektrokimia seperti tahanan polarisasi (R_p), tahanan larutan (R_s), dan *constant phase element* (CPE) atau disimbolkan juga dengan Q . Hasil pengukuran EIS diperoleh dalam bentuk kurva Nyquist berupa diagram setengah lingkaran yang diploting antara impedansi nyata (*real*) terhadap impedansi imajiner. Gambar dibawah ini adalah kurva Nyquist untuk spesimen baja API 5L grade B di lingkungan elektrolit NaCl 3,5% dengan penambahan 0 dan 2000 ppm ekstrak buah mahkota dewa.

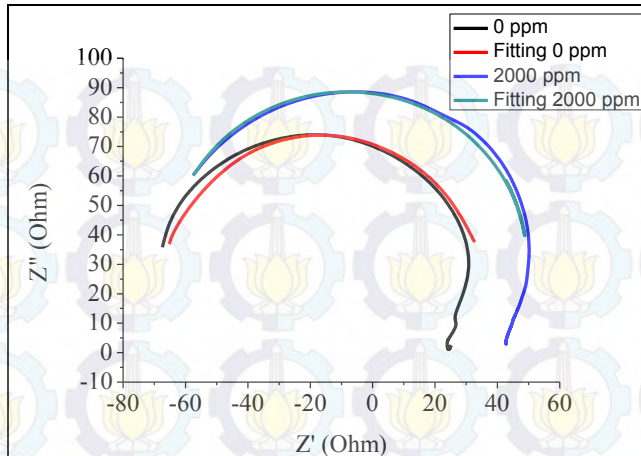


Gambar 4.16 Kurva Nyquist Baja API 5L grade B di lingkungan NaCl 3,5%.



Dari gambar diatas diketahui terjadi pergeseran kurva Nyquist penambahan 2000 ppm inhibitor ekstrak buah mahkota dewa terhadap penambahan 0 ppm inhibitor. Pergeseran terjadi terhadap impedansi *real* (Z') dan juga terhadap impedansi imajiner (Z'') dimana diameter Nyquist penambahan inhibitor sebanyak 2000 ppm lebih besar dari pada tanpa penambahan inhibitor (0 ppm). Hambatan yang terbentuk akibat penambahan inhibitor 2000 ppm lebih besar dari pada tanpa penambahan inhibitor. Hal ini menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan inhibitor dapat menghambat laju korosi pada baja API 5L grade B.

Dari kurva Nyquist bisa diketahui nilai nilai parameter elektrokimia seperti tahanan polarisasi (R_p), tahanan larutan (R_s), dan *constant phase element* (CPE) dengan cara analisis *electrochemical circle fit*, dimana kurva Nyquist yang terbentuk di lakukan *fitting* pada 3 atau lebih titik tertentu, kemudian akan muncul nilai nilai parameter elektrokimia yang dibutuhkan. Kurva fitting menggunakan *electrochemical circle fit* dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.17 Fitting *electrochemical circle fit* di lingkungan NaCl 3,5%

Dari hasil fitting tersebut maka diketahui parameter parameter elektrokimia yang disebabkan anantara interaksi lingkungan elektrolit, inhibitor, serta elektroda. Pada tabel dibawah ini terdapat parameter parameter elektrokimia untuk baja baja API 5L grade B di lingkungan elektrolit NaCl 3,5% dengan penambahan 0 dan 2000 ppm ekstrak buah mahkota dewa:



Tabel 4.16 Parameter Elektrokimia uji EIS penambahan inhibitor ekstrak buah mahkota dewa di lingkungan NaCl 3,5%

Parameter Elektrokimia	Konsentrasi Inhibitor (ppm)	
	0	2000
Tahanan polarisasi (Ω)	82,71	95,662
Tahanan larutan (Ω)	-57,547	-55,755
Constant phase element (nF)	6,7327	5,7898

Dari tabel diatas diketahui nilai tahanan polarisasi (R_p) pada penambahan inhibitor ekstrak buah mahkota dewa sebanyak 2000 ppm lebih tinggi dari pada tanpa penambahan inhibitor. Tahanan polarisasi ini diperoleh dari perbedaan impedansi pada frekuensi rendah dan frekuensi tinggi (diameter semi lingkaran kurva). Tahanan polarisasi berkaitan dengan perpindahan elektron, semakin cepat elektron berpindah maka tahanan akan semakin kecil, dan laju korosi akan meningkat begitu juga sebaliknya, semakin lambat elektron berpindah, maka tahanan akan semakin besar sehingga laju korosi akan lambat^[40]. Nilai tahanan polarisasi tergantung pada lapisan pasif yang terbentuk pada permukaan logam. Pada uji FTIR diketahui senyawa senyawa organik yang berperan dalam pembentukan lapisan pasif ini. Senyawa fenol dengan gugus fungsi O – H yang dimiliki ekstrak buah mahkota dewa yang teradsorpsi pada permukaan baja API 5 L grade B memiliki sifat hidrofilik yang akan



berikatan dengan ion ion negatif dari larutan sehingga Fe aman dari serangan ion ion negatif. Begitu juga dengan senyawa alkana dan alkena yang memiliki ikatan $C - H$ dan $C = C$ merupakan senyawa hidrofobik yang akan berikatan dengan Fe sehingga ion ion negatif sebagai *agen corrosion* tidak dapat berikatan dengan Fe. Gugus fungsi $C - O$ merupakan senyawa alkohol, eter, asam karboksilat yang terdapat pada ekstrak buah mahkota dewa akan membentuk lapisan adsorpsi di permukaan logam sehingga akan melindungi logam itu sendiri. semua senyawa senyawa ini berperan dalam membentuk lapisan dipermukaan baja API 5L grade B. Semakin tebal lapisan lapisan yang terbentuk maka nilai tahanan polarisasinya akan semakin besar juga. Dari tabel diatas diketahui nilai tahanannya penambahan 2000 ppm inhibitor ekstrak buah mahkota dewa lebih besar dari pada tanpa penambahan inhbitor, dengan demikian lapisan lapisan pelindung yang terbentuk cukup untuk mengurangi laju korosi.

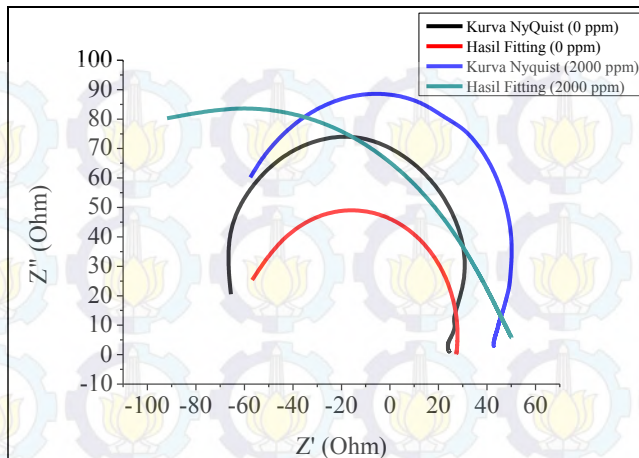
Nilai tahanan larutan ini tergantung pada konsentrasi ion, jenis ion, temperatur dan geometri area penghantar arus. Pada penambahan inhbitor ekstrak buah mahkota dewa sebanyak 2000 ppm tahanan larutannya lebih tinggi dari pada tanpa inhbitor. Hal ini disebabkan oleh bertambahnya konsentrasi ion karena berikatan dengan senyawa senyawa organik yang bersifat antioksidan yang terdapat pada ekstrak buah mahkota dewa selain



itu juga terbentuk senyawa senyawa baru pada larutan akibat adanya interaksi tersebut.

Nilai *Constant phase element* (Q) merupakan kebalikan dari nilai tahanan polarisasi, semakin besar nilai tahanan larutannya maka nilai *Constant phase element* (Q) akan semakin berkurang. Hal ini disebabkan oleh adanya reduksi dari konstanta dielektrik lokal dan atau peningkatan ketebalan dari lapisan rangkap elektrik. Adanya penambahan inhibitor ekstrak buah mahkota dewa akan memodifikasi struktur lapisan rangkap elektrik dengan mengadsorpsi molekul dari inhibitor pada *interface* logam dengan larutan. Adsorpsi inhibitor pada permukaan logam mengakibatkan pengurangan pada daerah luas permukaan yang aktif, sehingga menjadi penghalang (*barrier*) untuk mencegah transfer masa dan muatan. Sehingga nilai Q pada penambahan inhibitor 2000 ppm lebih kecil yaitu sebesar 5,7898 nF dibandingkan tanpa penambahan inhibitor sebesar 6,7327 nF.

Nilai nilai parameter elektrokimia hasil fitting dengan *electrochemical circle fit* diatas hanya untuk menentukan nilai parameter pada frekuensi tinggi. Untuk menentukan kapasitansi dan induktansi bisa didapatkan bila di *fitting* dari frekuensi rendah sampai frekuensi tinggi yang dapat dilakukan dengan analisa *fit and simulation*. Gambar hasil fitting dengan analisa *fit and simulation* dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.18 Kurva Fit and simulation di media NaCl 3,5%

Terdapat perbedaan bentuk kurva antara kurva pengujian dengan kurva hasil analisa menggunakan *fit and simulation*. Hal ini disebabkan oleh elemen parameter parameter elektrokimia yang dimasukkan kedalam analisis selain itu jenis rangkaian seri atau paralel juga sangat mempengaruhi hasil fitting. Hasil *fitting* pada gambar diatas adalah *fitting* dengan nilai *error* terkecil yang didapatkan. Setelah dilakukan *fitting* maka akan diketahui nilai parameter parameter elektrokimia seperti yang terdapat pada tabel dibawah ini



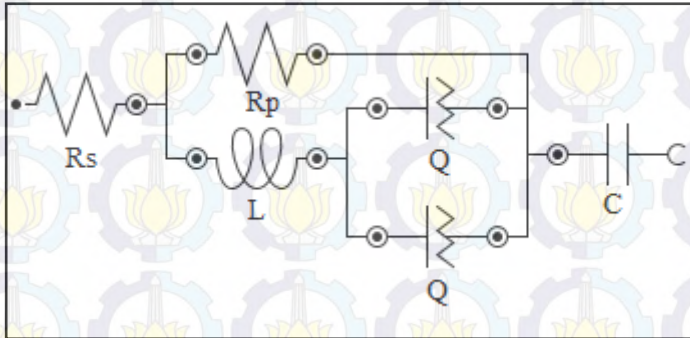
Tabel 4.17 Parameter parameter elektrokimia hasil *fit and simulation analysis* di lingkungan NaCl 3,5%

Parameter Elektrokima	Konsentrasi Inhibitor	
	0 ppm	2000 ppm
Rs (Ohm)	-58,167	-937,7
Rp (Ohm)	85,491	991,38
Q (Mho)	$3,173 \times 10^{-9}$	$4,4699 \times 10^{-9}$
L (H)	$2,0319 \times 10^{-6}$	0,0020095
C (F)	0,0091864	110000

Dari tabel diatas diketahui nilai nilai elektrokimia dimana nilai Rp pada penambahan inhibitor 2000 ppm lebih besar dibandingkan dengan tanpa penambahan inhibitor. Hal ini mengindikasikan terjadinya transfer muatan pada permukaan logam baja API 5L grade B. Dengan adanya penambahan inhibitor ekstrak buah mahkota dewa akan membentuk lapisan pasif pada permukaan baja, lapisan pasif ini akan menghalangi ion ion negatif larutan untuk bereaksi dengan spesimen, sehingga nilai hambatannya menjadi semakin besar. Nilai Rs berkaitan dengan konsentrasi ion, jenis ion, temperatur dan geometri area penghantar arus. Setiap larutan memiliki nilai hambatan larutan berbeda dengan yang lainnya. Nilai Q adalah kebalikan dari nilai tahanan polarisasi (Rp). Jika nilai Rp besar maka nilai Qnya akan kecil hal ini disebabkan oleh adanya reduksi dari konstanta dielektrik lokal dan atau peningkatan ketebalan dari lapisan



rangkap elektrik. Dari *fit and simulation analysis* juga diketahui ekuivalent sirkuit dari penambahan inhibitor ekstrak buah mahkota dewa pada media elektrolit NaCl 3,5% seperti pada gambar dibawah ini



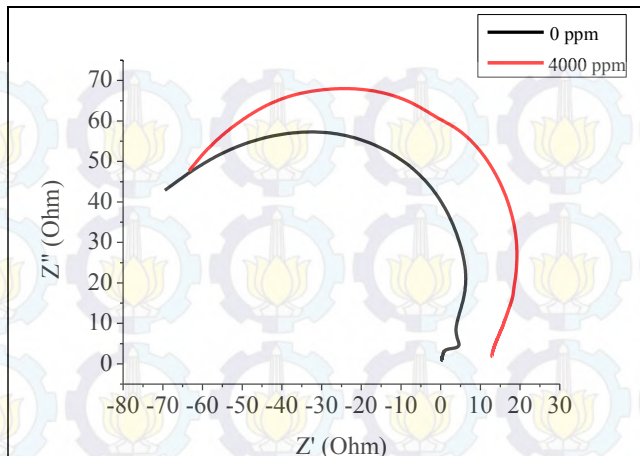
Gambar 4.19 Ekuivalen sirkuit NaCl 3,5%

Dari ekuivalen sirkuit pada gambar diatas diketahui pada mulanya terbentuk tahanan larutan (R_s), ketika arus melewati larutan NaCl 3,5% menuju permukaan baja, pada permukaan baja API 5L grade B terbentuk tahanan sebesar R_p yang disebabkan oleh adanya adsorpsi senyawa antioksidan pada permukaan baja. Kemudian terbentuk induktansi pada sistem kerja di lingkungan NaCl 3,5% dan juga adanya *constant phase element* yang seri terhadap induktansi, dan tercipta kapasitansi diakhir rangkaian, mengindikasikan adanya *capasitor* pada permukaan baja API 5L grade B akibat adanya transfer muatan pada permukaan baja.



Dari pengujian EIS bisa diketahui efisiensi inhibitor dengan menggunakan persamaan 2.8 diketahui efisiensi inhibitor pada konsentrasi 2000 ppm di media elektrolit NaCl 3,5% adalah sebesar 15,66% dengan menggunakan analisis *electrochemical circle fit*. Dengan analisis *fit and simulation* diketahui efisiensi inhibitor sebesar 91,37%. Perbedaan ini disebabkan oleh proses *fitting* yang dilakukan. Dengan analisis *electrochemical circle fit* tahanan polarisasi yang terbentuk adalah pada frekuensi tinggi, sedangkan pada *fit and simulation* pada semua frekuensi, namun hasil *fit and simulation analysis* memiliki nilai *error* yang cukup besar dilihat dari hasil *fitting* yang melenceng dari kurva pengujian.

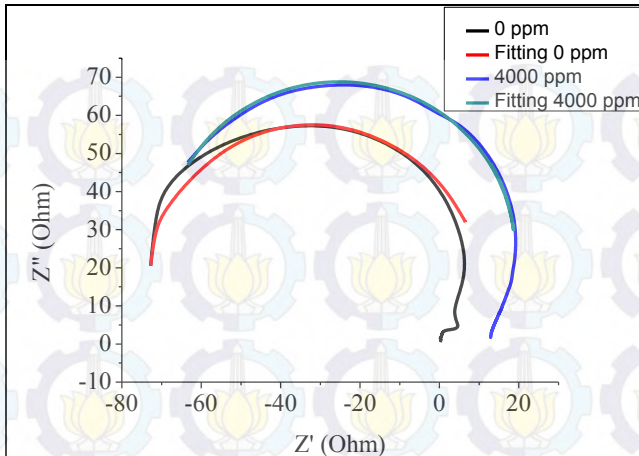
Pada media elektrolit H₂SO₄ 1M bentuk kurva Nyquist antara penambahan inhibitor 0 ppm dengan 4000 ppm inhibitor ekstrak buah mahkota dewa menunjukkan terjadinya penambahan diameter kurva Nyquist seperti yang terdapat pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.20 Kurva Nyquist H_2SO_4 1M

Dari kurva diatas diketahui bahwa terjadi pergeseran kurva kearah luar baik terhadap impedansi nyata maupun terhadap impedansi imajiner sehingga menyebabkan diameter setengah lingkaran antara penambahan inhbitor 4000 ppm lebih besar dari pada tanpa penambahan inhibitor, dan hambatannya juga lebih. Dengan demikian adanya penambahan inhibitor dapat menghambat laju korosi pada baja API 5L grade B pada media larutan H_2SO_4 1M.

Dengan menggunakan *electrochemical circle fit* bisa diketahui parameter parameter elektrokimia seperti tahanan polarisasi (R_p), tahanan larutan (R_s) serta *constant phase element* (CPE). Gambar hasil fitting dengan *analysis electrochemical circle fit* dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.21. *Fitting analysis electrochemical circle fit di media H_2SO_4 1M*

Dari *analysis electrochemical circle fit* bisa diketahui parameter parametrik elektroda seperti R_p , R_s dan Q seperti yang terdapat pada tabel dibawah ini

Tabel 4.18 Parameter elektrokimia inhibitor ekstrak buah mahkota dewa dilingkungan H_2SO_4 1M

Parameter Elektrokimia	Konsentrasi Inhibitor (ppm)	
	0	4000
Tahanan polarisasi (Ω)	70,6270	78,98
Tahanan larutan (Ω)	-67,488	-64,145
Constant phase element (nF)	1,0057	1,0058

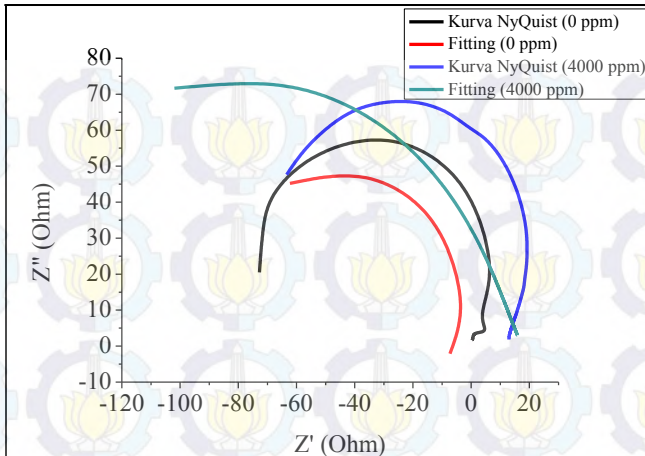
Dari tabel diatas diketahui nilai tahanan polarisasi pada penambahan inhibitor ekstrak buah mahkota dewa sebanyak 4000



ppm lebih besar dari pada tanpa penambahan inhibitor, dimana masing masing nilainya adalah sebesar $78,98 \Omega$ dan $70,6270 \Omega$. Perubahan ini disebabkan karena terbentuknya lapisan pelindung pasif pada permukaan logam antara ion ion senyawa antioksidan yang terdapat pada ekstrak buah mahkota dewa dengan ion ion yang terdapat pada larutan H_2SO_4 1M. Pada uji FTIR diketahui terdapat senyawa senyawa antioksidan yang bersifat hidrofilik, hidrofobikm serta yang teradsorpsi pada permukaan logam. Hal ini lah yang menyebabkan kenaikan nilai tahanan polarisasi.

Tahanan larutan pada penambahan inhbitor 4000 ppm lebih besar dengan nilai sebesar $-64,145 \Omega$ dibandingkan dengan tanpa penambahan inhibitor sebesar $-67,488 \Omega$. Hal ini disebabkan oleh adanya kenaikan konsentrasi ion akibat interaksi antara ion negatif pada larutan elektrolit H_2SO_4 1M dengan ion ion dari senyawa antioksidan yang terdapat pada ekstrak buah mahkota dewa.

Analisis menggunakan *electrochemical circle fit* hanya bisa digunakan untuk memfitting pada frekuensi tinggi, sehingga parameter parameter yang didapatkan merupakan parameter elektrokimia pada temperatur tinggi, untuk mengetahui parameter elektrokimia pada frekuensi rendah digunakan analisis *fit and simulation*. Hasil kurva fitting menggunakan analisis *fit and simulation* dapat dilihat pada gambar dibawah ini



Gambar 4.22 Hasil fitting analisis *fit and simulation* dimedia H_2SO_4 1M

Dari fitting diketahui nilai parameter elektrokimia yang terdapat pada H_2SO_4 1M dengan penambahan inhibitor ekstrak buah mahkota dewa, hasilnya dapat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.19 Parameter elektrokimia analisa *fit and simulation* di media H_2SO_4 1M

Parameter elektrokima	Konsentrasi Inhibitor	
	0 ppm	4000 ppm
R_s (Ohm)	-138,14	-342,25
R_p (Ohm)	140,37	359,67
Q (Mho)	$2,15 \times 10^{-6}$	$1,3 \times 10^{-8}$
C (F)	3,8674	$1,1 \times 10^5$
L (H)		0,000511

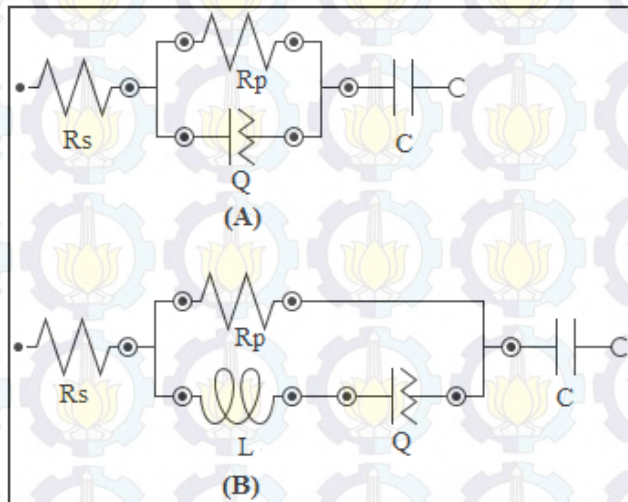


Berdasarkan tabel 4.19 diketahui nilai R_p dengan penambahan inhibitor 4000 ppm lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa penambahan inhibitor. Hal ini mengindikasikan terbentuknya lapisan pasif pada permukaan baja API 5L grade B sehingga menghambat ion-ion negatif larutan berinteraksi dengan spesimen. Adanya lapisan pasif ini akan memperbesar nilai hambatan. Nilai Q yang merupakan kebalikan dari nilai R_p . Nilai Q pada penambahan inhibitor semakin kecil hal ini disebabkan oleh adanya reduksi dari konstanta dielektrik lokal dan atau peningkatan ketebalan dari lapisan rangkap elektrik. Nilai tahanan larutan memiliki karakteristik masing-masing yang didasarkan pada konsentrasi ion, temperatur dan faktor-faktor lain.

Dari analisis *fit and simulation* bisa diketahui ekuivalen sirkuit untuk penambahan inhibitor ekstrak buah mahkota dewa pada larutan elektrolit H_2SO_4 1M. Terdapat perbedaan ekuivalen sirkuit antara tanpa penambahan inhibitor dengan penambahan inhibitor sebanyak 4000ppm. Dimana pada penambahan inhibitor 0 ppm tidak memiliki nilai induktansi. Nilai induktansi terjadi karena adanya fenomena transfer muatan. Kemungkinan pada lingkungan elektrolit H_2SO_4 1M tanpa penambahan inhibitor lapisan pasif tidak terbentuk, sehingga transfer muatan terjadi sangat cepat (hambatan kecil) sehingga korosi yang terjadi sangat dahsyat. Pada penambahan inhibitor 0 ppm, pertama-tama



tahanan larutan terbentuk, kemudian terjadi tahanan polarisasi yang paralel dengan nilai *constant phase element* dan diakhiri dengan terbentuknya kapasitansi diakhir rangkaian. Pada penambahan inhibitor 4000 ppm diawali dengan terbentuknya tahanan larutan, kemudian terbentuk tahanan polarisasi, tahanan polarisasi ini menghalangi transfer muatan dengan nilai hambatan yang lebih besar, karena adanya ini maka terjadi induktansi. selain induktansi juga terdapat *constant phase element*, diakhir rangkaian terbentuk kapasitansi pada permukaan terluar baja API 5L grade B, dibawah ini adalah ekuivalen sirkuit untuk H_2SO_4 1M



Gambar 4.23 Ekuivalent sirkuit di media elektrolit H_2SO_4 1M.
(A) tanpa inhibitor. (B) penambahan inhibitor
4000 ppm



Dengan menggunakan persamaan 4.10 diketahui efisiensi inhibitor pada media elektrolit H_2SO_4 1M adalah sebesar 11,82% dengan analisa *electrochemical circle fit*, dan 60,97 dengan analisa *fit and simulation*. Terdapat perbedaan besar nilai efisiensi antara kedua analisa tersebut, hal ini disebabkan oleh rentang pengambilan nilai yang berbeda, untuk analisis *electrochemical circle fit* adalah nilai pada frekuensi tinggi, sedangkan analisa *fit and simulation* untuk semua frekuensi, namun hasil *fit and simulation* memiliki nilai error yang cukup besar dilihat dari *fitting* yang tidak pas dengan kurva hasil pengujian.

4.1.6 Hasil Pengujian FTIR (Fourier Transform Infra Red)

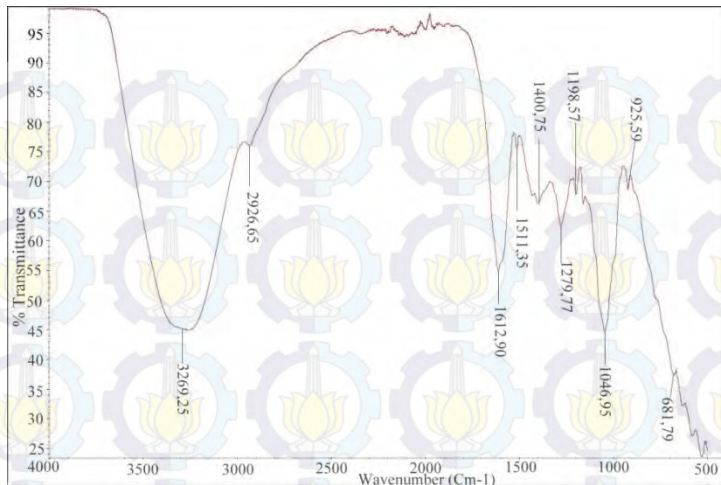
Pengujian FTIR ini untuk mengetahui gugus gugus fungsi yang terdapat pada ekstrak buah mahkota dewa, dan gugus fungsi yang terdapat spesimen spesimen uji pada elektrolit NaCl 3,5% dan H_2SO_4 1M. Pada dasarnya uji FTIR adalah didasarkan pada perbedaan penyerapan radiasi infra merah (panjang gelombang) yang diterima oleh sampel uji yang ditransmisikan oleh alat instrumentasi.

Spektrum inframerah tersebut dihasilkan oleh penransmisian cahaya yang melewati *sample* dan pengukuran intensitas cahaya dengan detektor, lalu dibandingkan dengan intensitas cahaya tanpa *sample* sebagai fungsi dari panjang



gelombang. Dari panjang gelombang tersebut, dapat ditentukan senyawa organik atau anorganik yang bersesuaian dengan sample. Inhibitor yang digunakan pada pengujian ini adalah ekstrak buah mahkota dewa, dimana tanaman ini adalah tergolong tanaman yang memiliki sifat antioksidan yang cukup tinggi, salah satunya adalah senyawa flavonoid. Berdasarkan pengujian spektrometri UV-Vis kandungan antioksidan jenis flavonoid nya mencapai 73% dari 1 gram sampelnya. Ketika senyawa organik ini (flavonoid) digunakan sebagai inhibitor korosi, diharapkan terjadi adsorpsi pada permukaan logam yang akan dilindungi, dengan demikian material logam tersebut terlindungi terhadap serangan korosi. Oleh karena itu spektrometer FTIR digunakan untuk mengidentifikasi apakah terjadi proses adsorpsi pada spesimen baja API 5L grade B pada media elektrolit NaCl 3,5% dan H₂SO₄ 1M, dengan penambahan inhibitor masing masing 5000 ppm kedalam larutan elektrolitnya. Adanya indikasi adsorpsi diindikasikan oleh terbentuknya gugus fungsi yang sama yang terdapat pada ekstrak buah mahkota dewa dengan gugus fungsi yang terdapat pada spesimen uji.

Hasil uji FTIR terhadap sampel ekstrak buah mahkota dewa dapat kita lihat pada grafik dibawah ini



Gambar 4.24 Spektra FTIR ekstrak buah mahkota dewa

Dari gambar diatas dapat kita lihat panjang gelombang masing masing peka pada spektra infra red diatas, masing masing peak tersebut mengindikasikan adanya kandungan gugus fungsi tertentu. Berdasarkan tabel 4.20 ekstrak buah mahkota dewa memiliki Gugus fungsi C – H alkana dan alkena, O – H fenol, C = C alkena, C = C cincin aromatik, C – O asam karboksilat.gugus gugus fungsi ini merupakan senyawa senyawa antioksidan yang terdapat pada ekstrak buah mahkota dewa yang berfungsi sebagai pengendali korosi pada baja API 5 L grade B, diantaranya adalah senyawa fenol, Cincin aromatik adalah senyawa turunan dari flavonoid, serta adanya kandungan asam karboksilat yang juga merupakan antioksidan sehingga juga berperan dalam



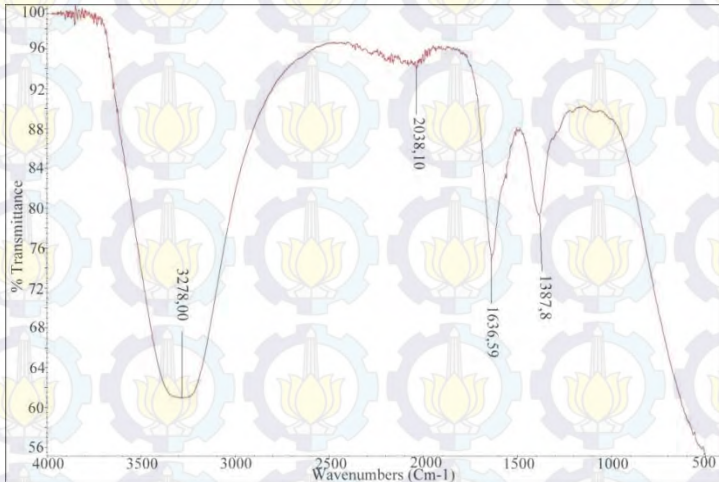
pengendalian korosi. Gugus fungsi untuk masing masing sampel dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 4.20 Gugus fungsi masing masing uji FTIR

Ikatan	Tipe senyawa	Daerah frekuensi (cm ⁻¹)	Intensitas	Mahkota Mewa	NaCl 3,5%	H ₂ SO ₄
C – H	Alkana	2850 – 2970 1340 - 1470	Kuat kuat	2926,65 1400,75	1387,8	
C – H	Alkana	3010 - 3095 675 - 995	Sedang kuat	925,59 & 681,79		
C – H C – H	Alkana Cincin aromatik	3300 3010 - 3100 690 - 900	Kuat Sedang kuat			
O – H	Fenol, monomer alkohol ikatan hidrogen, fenol	3590 – 3650 3200 – 3600	Berubah ubah Berubah ubah, terkadang melebar	3269,35	3278	3648,94 3239,30
	Monomer asam karboksilat, ikatan hidrogen asam karboksilat	3500-3650 2500-2700	Sedang melebar			
N – H	Amina, Amida	3300 - 3500	sedang			
C = C	Alkena	1610 - 1680	Berubah ubah	1612,9	1636,59	1629,79
C = C	Cincin aromatik	1500 - 1600	Berubah ubah	1511,35		
C ≡ C	alkuna	2100 - 2260	Berubah ubah			2160,13
C – N	Amina, amida	1180-1360	Kuat			
C ≡ N	nitril	2210 – 2280	kuat			
C – O	Alkohol, eter, asam karboksilat, ester	1050 - 1300	kuat	1279,77 1198,57		1085,29
C = O	Aldehid, keton, asam karboksilat, ester	1690 - 1760	Kuat			
NO ₂	Senyawa nitro	1500 – 1570 1300 - 1370	Kuat kuat			



Untuk spesimen hasil perendaman dengan media elektrolit NaCl 3,5% memiliki spektra FTIR seperti grafik dibawah ini:

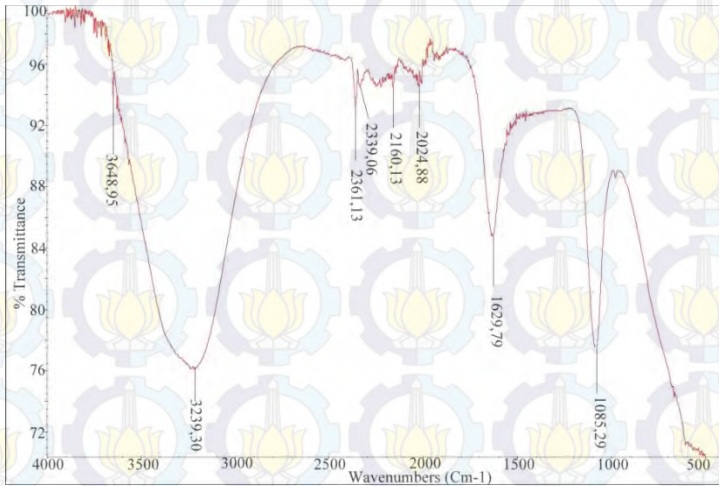


Gambar 4.28 Spektra FTIR NaCl 3,5 %

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa bentuk topografi dari spesimen hasil perendaman dengan media elektrolit NaCl 3,5% dengan penambahan konsentrasi inhibitor buah mahkota dewa memiliki kesamaan bentuk dengan spektra FTIR dari buah mahkota dewa. Pada spesimen ini mengandung gugus gugus fungsi C - H alkana, O - H fenol, C = C alkena. Senyawa senyawa ini merupakan senyawa senyawa antioksidan yang berasal dari ekstrak buah mahkota yang teradsorpsi pada spesimen baja API 5L grade B.



Untuk spesimen H_2SO_4 1M memiliki spektra FTIR seperti gambar dibawah ini



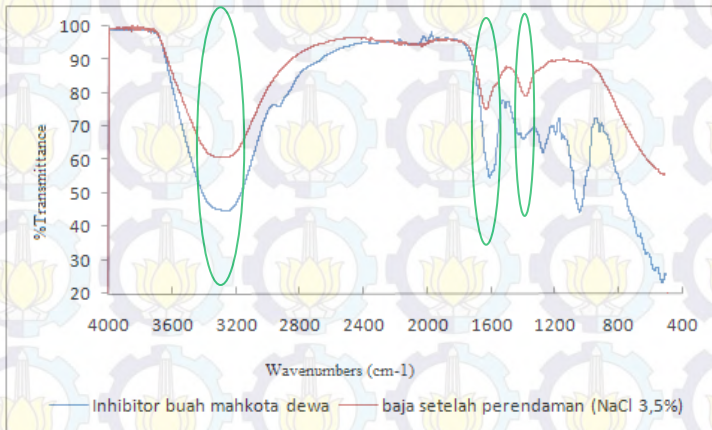
Gambar 4.26 Spektra FTIR H_2SO_4

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa bentuk topografi dari spesimen hasil perendaman dengan media elektrolit H_2SO_4 1M dengan penambahan konsentrasi inhibitor buah mahkota dewa juga memiliki kesamaan bentuk dengan spektra FTIR dari buah mahkota dewa. Pada spesimen ini mengandung gugus gugus fungsi O – H fenol, C = C alkena, C = C alkuna, C – O asam karboksilat. Pada spesimen H_2SO_4 1M memiliki senyawa senyawa antioksidan yang berasal dari ekstrak buah mahkota dewa yang teradsorpsi pada permukaan sampel baja API 5L grade, senyawa senyawa antioksidan tersebut diantaranya adalah,



fenol yang merupakan turunan dari flavonoid dan asam karboksilat.

Jika dibandingkan ketiga spektra FTIR diatas memiliki kesamaan bentuk dan memiliki bentuk peak yang hampir sama, yang ini menandakan bahwa ekstrak buah mahkota dewa teradsorpsi secara merata pada masing sampel di setiap media elektrolit. Pada grafik dibawah ini dapat dilihat perbandingan masing masing spektra FTIR.



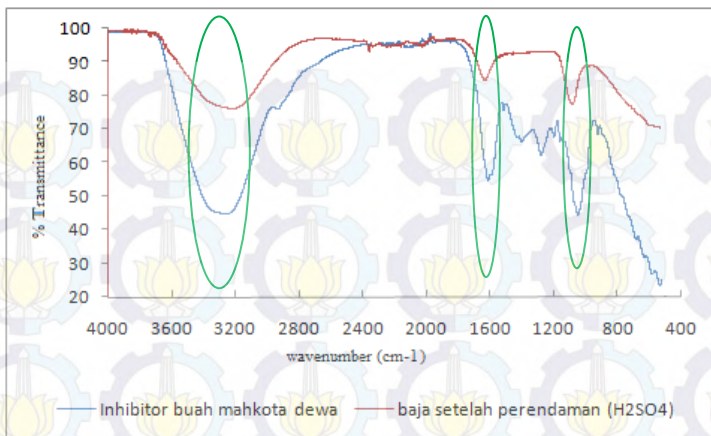
Gambar 4.27 Perbandingan Spektra FTIR buah mahkota dewa dan spesimen NaCl

Pada gambar diatas terlihat bahwa ada kesamaan bentuk topografi antara ekstrak buah mahkota dewa dengan spesimen perendaman NaCl 3,5%. Pada spektra FTIR buah mahkota dewa banyak terdapat peak peak yang mengindikasikan kandungan



yang terdapat pada ekstrak buah mahkota tersebut, sedangkan pada spesimen di lingkungan NaCl 3,5% banyak peak peak yang hilang walaupun secara keseluruhan topografinya hampir mirip, peak peak yang memiliki kesamaan diantaranya adalah pada rentang peak 3200 – 3600 yang merupakan jenis ikatan O – H dengan tipe senyawa fenol, monomer alkohol ikatan hidrogen dengan intensitas yang berubah ubah. Kemudian memiliki kesamaan juga pada rentang peak 1340 – 1470 yang merupakan jenis ikatan C – H dengan tipe senyawa alkana dengan intensitas kuat, dan terakhir yang memiliki kesamaan peak pada rentang nilai 1610 – 1680 yang merupakan ikatan rangkap dua C (C = C) memiliki tipe senyawa alkena dengan intensitas yang berubah, berdasarkan hasil dari peak peak FTIR tersebut maka dapat ditarik kesimpulan bahwa ekstrak buah mahkota dewa teradsorpsi pada lapisan permukaan spesimen baja API 5L grade B membentuk inkatan rangkaian kompleks Fe-Auron sehingga dapat berperan sebagai inhibitor korosi pada lingkungan NaCl 3,5%.

Untuk perbandingan spektra FTIR antara buah mahkota dewa dengan spesimen dalam media elektrolit H₂SO₄ 1M dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.28 Perbandingan spektra FTIR ekstrak buah mahkota dewa dengan H_2SO_4 1M

Dari gambar diatas terlihat bahwa terdapat kesamaan bentuk topografi antara kedua sampel FTIR (ekstrak buah mahkota dewa dengan spesimen Baja API 5L grade B dilingkungan elektrolit H_2SO_4 1M. Pada sampel spesimen Baja API 5L grade B dilingkungan elektrolit H_2SO_4 1M memiliki beberapa kesamaan peak dengan ekstrak buah mahkota dewa, diantaranya pada rentang pada rentang peak 3200 – 3600 yang merupakan jenis ikatan O – H dengan tipe senyawa fenol, monomer alkohol ikatan hidrogen dengan intensitas yang berubah ubah. Kesamaan peak berikutnya adalah pada rentang nilai 1050 – 1300 yang merupakan jenis ikatan C – O dengan tipe senyawa alkohol, eter, asam karboksilat dan ester yang dengan intensitas



kuat, kesamaan peak berikutnya ada pad rentang peak 1610 – 1680 yang merupakan ikata rangkap dua C ($C = C$) dengang tipe senyawa alkena intensitas berubah ubah. Dari hasil kesamaan peak tersebut maka dapat disimpulkan bahwa ekstrak buah mahkota dewa teradsorpsi pada lapisan permukaan spesimen dengan media H_2SO_4 membentuk ikatan rangkap Fe – auron, sehingga dapat mengurangi aktifitas korosi pada baja API 5L grade B,

4.1.4 Pengaruh pH

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan nilai pH di lingkungan NaCl 3,5% dengan penambahan inhibitor buah mahkota dewa dengan konsentrasi tertentu seperti pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.21 pH penambahan inhibitor di lingkungan NaCl 3,5%

Waktu (jam)	Konsentrasi Inhibitor (ppm)					
	0	1000	2000	3000	4000	5000
0	7,1	7	6,8	6,8	6,7	6,7
144	7,1	6,5	5,7	5,7	5,6	5,4
288	7,1	6,4	5,8	5,9	5,8	5,7
432	7	6,5	5,9	6,2	6,2	6,3
576	7,1	6,6	5,7	6,2	6,3	6,2
720	7	6,7	5,8	6,2	6,2	6,4



Dari tabel diatas dilihat bahwa terjadi penurunan pH ketika ditambahkan inhibitor dengan konsentrasi tertentu. Ketika penambahan 0 ppm ekstrak buah mahkota dewa pH nya relatif tetap disetiap waktu rentang pengujian, mulai 144 jam sampai 720 jam. Ketika penambahan 1000 sampai 5000 ppm terjadi penurunan pH yang cukup signifikan hal ini disebabkan oleh sifat dari flavonoid yang memiliki sifat asam, sehingga dia akan menurunkan pH larutan, semakin lama waktu perendaman pH larutan elektrolit perlahan mulai naik namun tidak sampai ke pH semula, hal ini dikarenakan pada waktu yang cukup lama kinerja dari inhibitor mulai stabil sehingga pHnya mulai berangsur naik secara perlahan, hal ini juga kemungkinan disebabkan oleh mulai berkurangnya kinerja dari inhibitor sehingga pH yang semula tinggi, kemudian turun, akan naik lagi, selain itu pengaruh cairan elektrolit yang menguap juga berpengaruh, semakin lama perendaman maka larutan elektrolitnya semakin berkurang dan secara otomatis kandungan NaCl di dalam semakin pekat karena pelarutnya (air menguap) sehingga mengakibatkan pH ketika perendaman dengan waktu yang lama kembali naik.

Untuk media elektrolit H_2SO_4 1M trend pH pengujian dapat dilihat pada tabel dibawah ini:



Tabel 4.22 pH penambahan inhibitor di lingkungan H_2SO_4 1M

Waktu (jam)	Konsentrasi Inhibitor (ppm)					
	0	1000	2000	3000	4000	5000
0	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6
6	0,5	0,9	0,8	0,9	0,8	0,8
12	0,5	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8
18	0,6	0,6	0,9	0,6	0,5	0,6
24	0,7	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8
30	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6
36	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6

Pengaruh pH terhadap larutan elektrolit H_2SO_4 1M tidak menunjukkan trend pH yang signifikan. Hal ini disebabkan oleh pH dari asam sulfat 1M yang sangat rendah yaitu 0,5. Sehingga pengaruh penambahan inhibitor terhadap pH kurang bisa terlihat. Secara keseluruhan pada pencelupan di jam jam awal terjadi kenaikan pH pada larutan yang ditambahi inhibitor. Namun pada pencelupan 30 jam dan 36 jam pH kembali seperti semula. Hal ini disebabkan kemungkinannya inhibitor bekerja pada waktu kurang dari 30 jam dilihat dari kenaikan pH. Namun setelah 30 jam keatas, pH kembali seperti semula tanpa penambahan inhibitor, hal ini kemungkinan disebabkan oleh keterbatasan inhibitor buah mahkota dewa memproteksi baja di lingkungan yang sangat asam. Sehingga hanya bisa melindungi di waktu yang singkat. Hal ini juga bisa dilihat dari data *weight loss* dimana efisiensinya secara keseluruhan pada 36 jam mengalami penurunan.

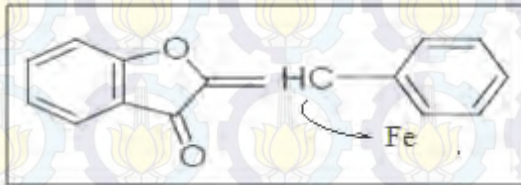


4.2 Pembahasan

Berdasarkan pengujian spektrometer bisa diketahui komposisi kimia yang terdapat pada baja API 5L grade B. Dari pengujian didapatkan persentase karbon sebesar 0,19526%. Dengan kandungan karbon yang sebesar ini maka baja API 5L grade B dikategorikan sebagai baja karbon rendah. Unsur unsur tambahan lain, seperti nikel, chrom, silikon, dan mangan memiliki persentase yang sedikit sehingga tidak terlalu berpengaruh terhadap sifat mekanik dan ketahanan korosi. Baja API 5L grade B ini sangat rentan terhadap serangan korosi. Dari hasil Dari serangkaian pengujian pengujian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa buah mahkota dewa dapat berperan sebagai inhibitor korosi di lingkungan media NaCl 3,5% dan H_2SO_4 1M, hal ini disebabkan karena buah mahkota dewa mengandung senyawa senyawa antioksidan dengan jenis flavonoid, dengan pengujian spektrofotometer UV-Vis diketahui bahwa ekstrak buah mahkota dewa memiliki nilai absorbansi tertinggi pada panjang gelombang 403 nm dengan nilai masing masing sebesar 0,60577 dan 0,60709. Dengan diketahuinya panjang gelombang sebesar 403 nm maka dapat diketahui jenis flavonoid yang terdapat pada ekstrak buah mahkota dewa, jenis flavonoid dengan panjang gelombang 403 adalah flavonoid berjenis auron.



Senyawa auron ini akan berikatan dengan unsur Fe membentuk ikatan kompleks inhibitor-Fe. Salah satu rangkaian dari auron ini akan berikatan dengan unsur Fe, dan membentuk lapisan proteksi yang dapat menghambat laju korosi. Gambar dibawah ini merupakan bentuk ikatan antara auron dan Fe



Gambar 4.29 Ikatan auron dan Fe.

Dari uji spektrofotometer UV-Vis juga bisa ditentukan jumlah persentase flavonoid total yang terdapat didalam ekstrak buah mahkota dewa. Pada pengujian ini persentase flavonoid total pada ekstrak buah mahkota dewa adalah 0,734% dan 0,729%.

Pengujian kandungan flavonoid ekstrak buah mahkota dewa dengan spektrofotometri juga pernah dilakukan oleh Yuli Rohyami (2008), didalam jurnalnya yang berjudul “*Penentuan Kandungan Flavonoid dari Ekstrak Metanol Daging Buah Mahkota Dewa (Phaleria macrocarpa Scheff Boerl)*” didapatkan bahwa persentase flavonoid pada buah mahkota dewa matang sebesar 0,004463%. Terdapat perbedaan jenis kandungan flavonoid yang sangat signifikan jika dibandingkan hasil persentase kandungan flavonoid yang terdapat pada penelitian ini,



perbedaan nilai persentase ini kemungkinan disebabkan oleh perbedaan metode ekstraksinya, dimana Yuli Rohyami menggunakan metode ekstraksi sohlet, sedangkan pada penelitian ini menggunakan metode ekstraksi refluks.

Pada pengujian *weight loss* diketahui pada media elektrolit NaCl 3,5% efisiensi maksimum ekstrak buah mahkota dewa adalah 79,549% dengan penambahan inhibitor ekstrak buah mahkota dewa sebanyak 2000 ppm dengan laju korosi sebesar 0,814 Mpy dimana dengan nilai sebesar itu maka nilai tingkat ketahanan material berdasarkan laju korosinya termasuk kedalam kategori *Outstanding*. Dengan menggunakan persamaan *langmuir adsorption isotherm* diketahui nilai ΔG_{ads}^0 berada pada kisaran -5,33892 KJ/mol sampai -11,6683 KJ/mol sehingga mengindikasikan jenis adsorpsi yang terjadi adalah adsorpsi fisik yang bersifat lemah karena bersifat *reversible* dan reaksi ini terjadi secara spontan (karena bernilai negatif).

Pada pengujian *weight loss* di lingkungan media elektrolit H₂SO₄ 1M diketahui efisiensi maksimum inhibitor ekstrak buah mahkota dewa 87,672% dengan penambahan inhibitor ekstrak buah mahkota dewa sebanyak 4000 ppm dengan laju korosi paling rendah 293,672 Mpy. Dengan nilai laju korosi paling rendah 293,672 Mpy maka nilai tingkat ketahanan material berdasarkan laju korosi termasuk kedalam kategori *unacceptable*. Hal ini disebabkan oleh keadaan elektrolit yang sangat asam



sehingga ion H^+ semakin banyak yang terionisasi sehingga menyebabkan laju korosinya tetap tinggi. Dengan menggunakan persamaan *langmuir adsorption isotherm* diketahui nilai ΔG^0_{ads} berada pada rentang nilai -6,90 KJ/mol sampai -8,17 KJ/mol. Sehingga mengindikasikan jenis adsorpsi yang terjadi adalah adsorpsi fisik pada permukaan logam yang memiliki sifat *reversible* dan terjadi secara spontan.

Hasil pengujian polarisasi linear baja API 5L grade B di lingkungan NaCl 3,5% dengan variasi penambahan inhibitor 0 ppm dan 2000 ppm. Pada 0 ppm didapatkan nilai i_{corr} sebesar 16,7095 $\mu A/cm^2$ dan dari nilai i_{corr} didapatkan laju korosi sebesar 7,646 Mpy. Sedangkan pada penambahan inhibitor 2000 ppm nilai i_{corr} nya sebesar 13,80588 $\mu A/cm^2$ dan laju korosinya sebesar 6,3175 Mpy. Dari laju korosi kedua konsentrasi inhibitor tersebut maka didapatkan efisiensi inhibitor sebesar 17,37%. Pada perbandingan kedua grafik polarisasi diketahui bahwa terjadi kenaikan nilai potensial korosi bebas pada penambahan inhibitor 2000 ppm, dengan naiknya potensial bebas korosi berarti material baja API 5L grade B dengan penambahan inhibitor ekstrak buah mahkota dewa lebih pasif dari pada tanpa penambahan inhibitor. Sehingga dengan adanya penambahan inhibitor dapat mengurangi laju korosi baja API 5L grade B di lingkungan NaCl 3,5%. Berdasarkan nilai b_a dan b_c serta pergeseran grafik polarisasi pada penambahan inhibitor 2000



ppm terhadap penambahan inhibitor 0 ppm dari material tersebut diketahui bahwa pada material baja API 5L grade B dilingkungan NaCl 3,5% dengan penambahan inhibitor ekstrak buah mahkota dewa. Diketahui tipe inhibisi ekstrak buah mahkota dewa adalah *mixed inhibitor*

Hasil pengujian inhibitor dengan pengujian polarisasi linear di media elektrolit H_2SO_4 dengan penambahan inhibitor 0 ppm dan 4000 ppm. Pada penambahan inhibitor 0 ppm diketahui nilai i_{corr} sebesar 1186,2154 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ sehingga didapatkan laju korosinya sebesar 542,8128 Mpy. Dengan penambahan inhibitor 4000 ppm didapatkan nilai i_{corr} sebesar 247,9659 sehingga laju korosinya adalah 113,4693 Mpy. Dengan demikian maka efisiensi inhibitor buah mahkota dewa di lingkungan H_2SO_4 1M adalah 79.09%. Berdasarkan nilai b_a dan nilai b_c serta kurva polarisasi inhibitor ekstrak buah mahkota dewa di lingkungan H_2SO_4 1M pada penambahan 4000 ppm inhibitor terhadap 0 ppm penambahan inhibitor diketahui jenis inhibitorynya adalah *mixed inhibitor*.

Dengan pengujian EIS pada konsentrasi inhibitor 0 ppm 2000 ppm di media elektrolit NaCl 3,5% diketahui bahwa inhibitor ekstrak buah mahkota teradsorpsi dipermukaan baja API 5L grade B. Hal ini diketahui dari bentuk kurva Nyquist dimana pada penambahan inhibitor 2000 ppm memiliki diameter kurva lebih besar dari pada tanpa penambahan inhibitor, hal ini



menunjukkan bahwa hambatan pada penambahan inhibitor 2000 ppm lebih besar dari pada tanpa penambahan inhibitor. Hal ini juga diketahui dari nilai tahanan polarisasi yang lebih besar pada penambahan inhibitor ekstrak buah mahkota dewa sebanyak 2000 ppm, hal ini mengindikasikan terbentuknya lapisan adsorpsi pada permukaan baja karena adanya senyawa yang bersifat hidrofobik, hidrofilik, serta senyawa pembentuk lapisan lapisan adsorpsi yang terdapat pada ekstrak buah mahkota dewa. Selain itu juga diketahui nilai tahanan larutan yang naik yang mengindikasikan terbentuk ion ion baru serta kenaikan jumlah ion yang bereaksi pada larutan elektrolit NaCl 3,5%. Nilai *Constant phase element* (Q) yang turun disebabkan karena adsorpsi inhibitor pada permukaan logam mengakibatkan pengurangan pada daerah luas permukaan yang aktif, sehingga menjadi penghalang (*barrier*) untuk mencegah transfer masa dan muatan.

Dilingkungan elektrolit H_2SO_4 1M pengaruh penambahan inhibitor sebanyak 4000 ppm terlihat sangat signifikan. Terlihat dari diameter kurva Nyquist yang lebih besar dari pada tanpa penambahan inhibitor. Selain itu nilai tahanan polarisasi juga lebih besar dengan penambahan inhibitor 4000 ppm. Hal ini mengindikasikan bahwa inhibitor ekstrak buah mahkota dewa teradsorpsi di permukaan baja API 5L grade B karena adanya senyawa senyawa antioksidan yang terdapat pada ekstrak buah mahkota dewa yang berikatan dengan ion ion negatif lingkungan



H_2SO_4 . Nilai *Constant phase element* (Q) bisa dikatakan tidak berubah dengan adanya penambahan inhibitor. Hal ini disebabkan karena sifat dari H_2SO_4 yang sangat asam dan sangat korosif. Pada permukaan baja API 5L grade B dilingkungan H_2SO_4 1M akan terbentuk *pitting* korosi. Dengan adanya *pitting* yang hampir menyeluruh pada permukaan spesimen akan meningkat luas *surfave contact* dengan larutan elektrolit, sehingga luas permukaan aktif yang tereduksi akibat penambahan inhibitor tidak banyak berpengaruh, dan mengakibatkan lapisan penghalang (*barier*) untuk mencegah transfer muatan kurang bekerja maksimal.

Pada pengujian FTIR diketahui terdapat senyawa senyawa antioksidan yang terkandung pada ekstrak buah mahkota dewa juga terdapat pada spesimen baja API 5L grade B pada larutan elektrolit NaCl 3,5% dan H_2SO_4 1M setelah ditambahkan ekstrak buah mahkota dewa. Pada spesimen yang terdapat pada larutan NaCl 3,5% senyawa yang terbaca pada spektra FTIR antara lain alkana, fenol, alkena dan asam askorbat, senyawa senyawa ini juga terdapat pada ekstrak buah mahkota dewa, hal ini mengindikasikan bahwa ekstrak buah mahkota dewa teradsorpsi pada lapisan permukaan spesimen Bbaja API 5L grade B dilingkungan NaCl 3,5%. Pada larutan H_2SO_4 1M senyawa yang terbaca pada spektra FTIR adalah senyawa golongan fenol, alkena dan asam askorbat. Hal ini membuktikan bahwa walaupun di



lingkungan yang memiliki tingkat keasaman tinggi senyawa antioksidan yang terdapat pada ekstrak buah mahkota dewa mampu teradsorpsi pada permukaan baja API 5L grade B.

Senyawa senyawa antioksidan ini akan berikatan dengan logam maupun dengan lingkungan media pengkorosif. Mekanisme pembentukan lapisan inhibisi pada permukaan baja diawali dengan pembentukan FeOH^+ dan $[\text{FeClOH}]^-$ kemudian di konversi menjadi $\text{Y-Fe}_2\text{O}_3$ dan Y-FeOOH dan membentuk *oxide layer*. Pada pori pori *oxide layer*, molekul molekul inhibitor bereaksi dengan $[\text{FeClOH}]^-$ dan membentuk lapisan yang stabil $[\text{Fe}(\text{inhibitor})_p(\text{OH})_m(\text{Cl})_n]^{2-m-n}$ dan melindungi logam^[41]

Ketika ekstrak buah mahkota dewa ditambahkan kepada larutan akan terjadi kompetisi antara ion Cl^- yang terkandung pada larutan dan inhibitor untuk bereaksi dengan permukaan logam. kemudian akan terjadi proses adsorpsi pada *surface* logam dengan larutan yang dilakukan oleh inhibitor dengan reaksi sebagai berikut :



Pada proses adsorpsi, inhibitor menggantikan sejumlah n molekul air yang awalnya teradsorpsi pada permukaan logam. Adsorpsi inhibitor terjadi karena adanya energi interaksi antara logam dengan inhibitor lebih menguntungkan daripada energi interaksi yang terjadi antara logam dengan molekul air.



Adanya penurunan pH pada penelitian ini membuktikan bahwa flavonoid pada lingkungan NaCl 3,5% juga mempengaruhi lingkungan, dengan cara menurunkan pH larutan, hal ini disebabkan oleh sifat flavonoid itu sendiri yang memiliki sifat asam. Sedangkan pada larutan H_2SO_4 1M yang memiliki tingkat keasaman tinggi senyawa flavonoid tidak mampu mempengaruhi lingkungannya, sehingga tidak mempengaruhi pH larutannya. dilihat dengan pH yang hampir relatif tetap pada setiap kondisi perendaman.



Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa

1. Inhibitor bisa dijadikan inhibitor korosi baja API 5L grade B pada media elektrolit NaCl 3,5% dan H₂SO₄ 1M. Efisiensi tertinggi inhibitor ekstrak buah mahkota dewa dilingkungan NaCl 3,5% adalah 79,549 pada penambahan inhibitor 2000 ppm pada waktu 576 jam dengan efisiensi rata rata 77,24%. Pada larutan elektrolit H₂SO₄ 1M efisiensi tertinggi inhibitor ekstrak buah mahkota dewa adalah 87,672% pada penambahan inhibitor sebanyak 4000 ppm pada waktu 6 jam dengan rata rata efisiensi di 4000 ppm adalah 81,06%.
2. Mekanisme inhibisi inhibitor buah mahkota dewa di lingkungan elektrolit NaCl 3,5% dan H₂SO₄ 1M adalah dengan transfer muatan dengan tipe proteksi adsorpsi fisisorpsi dan jenis inhibitor *mixed inhibitor*..

5.2 Saran

1. Perlu adanya variasi temperatur dan agitasi pada pengujian selanjutnya untuk melihat kinerja inhibitor ekstrak buah mahkota dewa pada aplikasi yang sebenarnya.



2. Perlu adanya variasi metode ekstraksi untuk menentukan kandungan antioksidan tertinggi yang terdapat pada buah mahkota dewa sehingga akan didapatkan efisiensi tertinggi dengan semakin banyaknya jumlah antioksidan yang terdapat pada ekstrak buah mahkota dewa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Jones, Denny A. 1992. *Principles and Prevention of Corrosion*. Toronto : Maxwell Macmillan Canada.
- [2]. Khaled, K. F. 2008. *new synthesized guanidine derivative as a green corrosion inhibitor for mild steel in acidic solutions*. international journal of electrochemical science, 3, 462-475.
- [3]. Hermawan, Beni. 2007. “*Ekstrak Bahan Alam Sebagai Alternatif Inhibitor Korosi*”. 22 April.
- [4]. Simanjuntak, Paromuan. 2008 “*Identifikasi Senyawa Kimia dalam Buah Mahkota Dewa (Phaleria macrocarpa), Thymelaceae*. Jurnal Ilmu Kefarmasian indonesia. Bogor. LIPI
- [5]. Gotama IBI, Sugiarto S, Nurhadi M, Widiyastuti Y, Wahyono S, Prapti IJ. *Inventaris tanaman obat Indonesia*. Jilid V. Jakarta: Departemen Kesehatan Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan; 1999. hal. 147-8.
- [6]. Roberge, Pierre R. 2000. *Handbook of Corrosion Engineering*. New York: Mc Graw-Hill Book Company.
- [7]. McCafferty, E. *Introduction to Corrosion Science*. Washington DC: Springer, 2009.
- [8]. Alian, Helmy. 2004. *Prinsip-prinsip Dasar Korosi dan Bentuk-bentuk korosi*. Lembaga Pendidikan “Bina Bhakti” Balai Latihan Kerja Industri Kenten. Palembang.

- [9]. Fontana, Mars G. 1987. *Corrosion Engineering*, 3rd Ed. Mc Graw-Hill Company, New York.
- [10]. Trethewey, K.R. dan J. Chamberlain. 1991. “*Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*”. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama
- [11]. Nugroho. Adhi . 2011. *Pengaruh penambahan inhibitor organik ekstrak ubi ungu terhadap laju korosi pada material baja low carbon di lingkungan NaCl 3,5%*. Jakarta :UI
- [12]. Perez, Nestor. 2004. “ *Electrochemistry and Corrosion Science*.” Kluwer Academic Publisher.
- [13]. ASTM G 1-02. 1999. “*Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements*”.
- [14]. Silverstein, R. M., Webster, F. X., &Kiemle, D. J. (2005).Spectrometric Identification of Organic Compounds (Seventh edition ed.). United states of America: JohnWiley& Sons.
- [15]. Skoog, D.A , Hoffer, F.J, & Curch, S.R. 2007. Principles of Instrumental Analysis 6th Edition. Belmont USA : Thomson Brooke/Cole.
- [16].
- [17]. Sastri, V.S., 2011. “*Green Corrosion Inhibitor: Theory and Prattice, First Edition*”. John Willey & Sons, Inc.
- [18]. NACE Internasional. 1973. Corrosion Inhibitor. Texas : Nathan C.C

- [19]. Pierre R. Roberge. 2000. *“Handbook of Corrosion Engineering”*. New York : Mc Graw Hill
- [20]. Revie, R. Winston. 2000. Uhlig’s Corrosion Handbook (2nd Edition). New York. : John Willey & Sons Inc.
- [21]. Hatch GB, Nathan CC. *“Corrosion Inhibitor. National Association for Corrosion” Engineers*. page : 126-147.
- [22]. Surya, Indra, D., (2004), *“Kimia Dari Inhibitor Korosi”*, UNSUD, Sumatra Utara
- [23]. Clifton, D. 1965. **Corrosion Prevention**
- [24]. Ditjen POM, 1995. *Materia Medika Indonesia*. Jilid VI. Jakarta : Departemen Kesehatan RI.
- [25]. Brown, A. 2000. *“Understanding Food : Principles and Preparation. Wadsworth Thomson Learning”*, USA.
- [26]. Gordon, M.H 1990. *“The Mechanism of Antioxidants Action In Vitro”*. London : Elsevier Applied Science
- [27]. Winarsi, Heri. 2007. *“Antioksidan alami dan radikal bebas”*. Kanisius. Yogyakarta.
- [28]. ASTM Handbook, *Metals Handbook Volume 13B: Corrosion: Materials* (ASTM International, 2005)
- [29]. Cyntara, Sasza. 2014. Aplikasi Sarang Semut (Myrmecodia Pendans) Sebagai Inhibitor Korosi Pada Baja API 5L grade B dan AISI 1010 Dalam Media 3,5% NaCl. Surabaya. ITS
- [30]. Harmanto N. *Mahkota dewa, obat pusaka para dewa*. Jakarta: Penerbit Agromedia Pustaka; 2003. hal. 19.

- [31]. Widowati, L., 2004. *Uji keamanan buah mahkota dewa (Phaleria macrocarpa (Scheff.) Boerl.) dan khasiat antidiabetesnya*. Tahap II : Uji toksisitas sub kronis dan mutagenitas . Penelitian pada Puslitbang Farmasi dan Obat Tradisional.
- [32]. Purwaningsih, D., 2001, *Isolasi dan Identifikasi Senyawa Flavonoid dari Daun Kacang Panjang (Vigna sinensis L. savi ex Hessk)*, Skripsi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Gajah Mada, Jogjakarta.
- [33]. Primsa, E. ,2002, *Efek Hipoglikemik Influsia Simpliasia Daging Mahkota Dewa (Phaleria macrocarpa Scheff Boerl) pada Tikus Jantan Putih*, Skripsi, Fakultas Farmasi Universitas Gajah Mada, Jogjakarta
- [34]. Indra Pramana, Rahmad.2012. *Studi Ekstrak Daun Beluntas (Pluchea Indica Less) Sebagai Inhibitor Korosi Ramah Lingkungan Terhadap Baja Karbon Rendah di Lingkungan 3,5% NaCl*. Jakarta : UI
- [35]. Nwankwo. O Michael. 2014. *Amaranthus cordatus as a Green Corrosion Inhibitor for Mild Steel in H2SO4 and NaCl*. Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering, 2014, 2, 194-199. Nigeria
- [36]. Markham, K.R., 1988, *Cara Mengidentifikasi Flavonoid*, diterjemahkan oleh Kosasih Padmawinata, 15, Penerbit ITB, Bandung

- [37]. Sujata V. Bhat, Bhimsen A, Nagasampagi, Meenaksi sivakumar, Chemistry Of Natural Product, Birkhauser (2005), 585-587
- [38] Taleb Ibrahim, dkk. 2012. "*The Effect of Thyme Leaves Extraction Corrosion of Mild Steel in HCl.*" Progress in Organic Coating 75 (456-462).
- [39] Y. Yan, W. Li, L. Cai, B. Hou, "Electrochemical and quantum chemical study of purines as corrosion inhibitors for mild steel in 1 M HCl solution", Electrochem. Acta 53 (2008) 5953
- [40] Wahyuningsih, A., Sunarya, Y., Aisyah, S. 2010. Merenamina Sebagai Inhibitor Korosi Baja Karbon dalam Lingkungan Sesuai Kondisi Pertambangan Minyak Bumi. Jurusan Pendidikan Kimia. Universitas Pendidikan Indonesia.
- [41] A. K. Satapathy et al, "*Corrosion inhibition by Justicia Gendarussa Plant Extract in Hydrochloric Acid Solution*" Corrosion Science 53 (2011) 687-695



LAMPIRAN A

Skema Kerja

1. Pembuatan Ekstrak Inhibitor Buah Mahkota

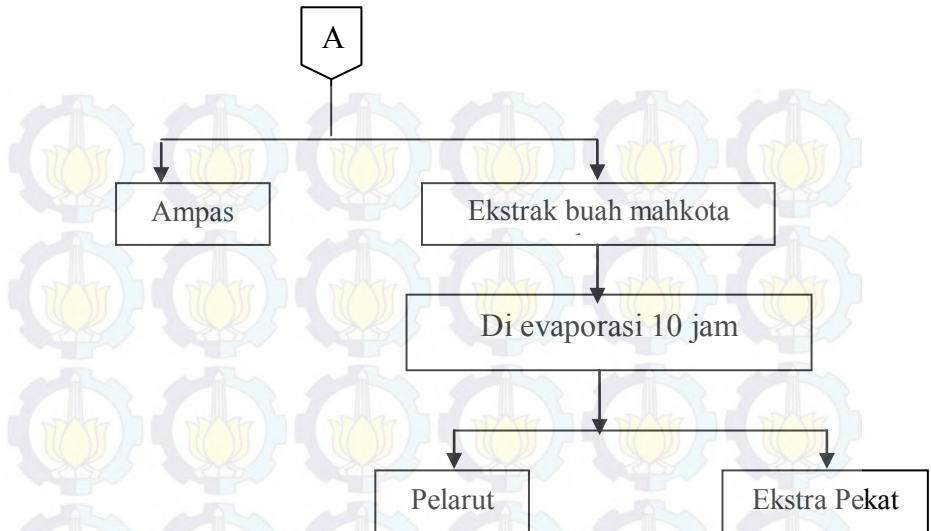
Bahan
Buah Mahkota Dewa

- Memotong buah mahkota dewa ukuran kecil dan bijinya dikeluarkan
- Mengeringkan sampai kadar air habis
- Mengcrushes buah mahkota kering sampai berbentuk serbuk

Metode Refluks

- Memasukkan serbuk buah mahkota dewa kedalam labu leher dua sebanyak 65gr
- Memasukkan metanol 80% sebanyak 750 ml
- Memasang bulb kondensor dan pompa air sebagai pendingin ketika dipanaskan
- Memanaskan serbuk buah mahkota dewa menggunakan *magnetic stirrer* selama 90 menit dengan temperatur 70°C
- Menyaring larutan ekstrak

A



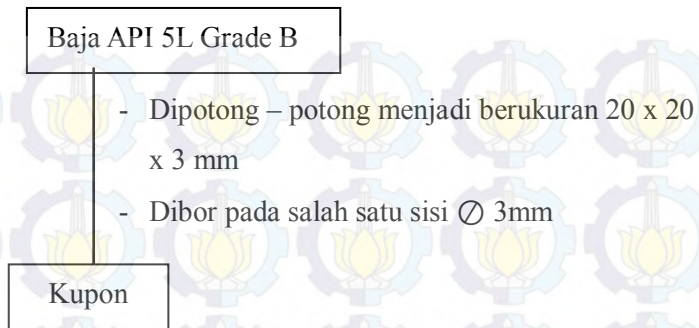
2. Pembuatan Elektroda Kerja API 5L Grade B

Baja API 5L Grade B

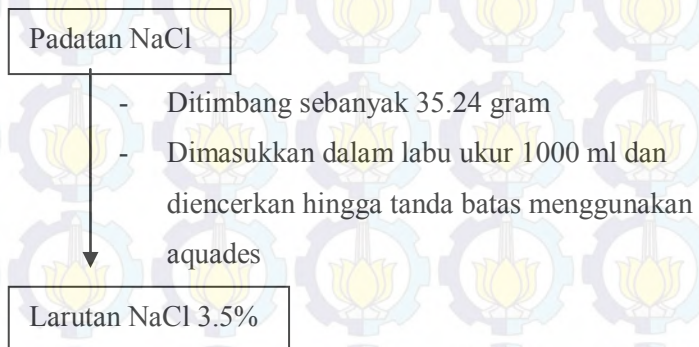
- Dipotong dengan ukuran 1x1 cm
- Salah satu sisinya disolder untuk menyambungkan dengan kawat tembaga
- Spesimen kemudian di moulding dengan resin epoksi
- Dipolishing dari grade 80 sampai 1000

Elektroda Kerja

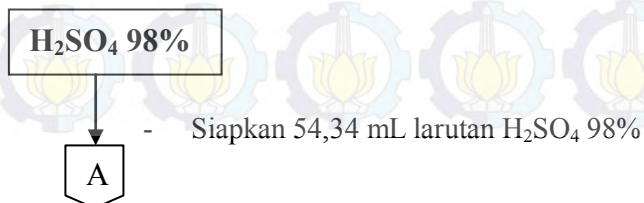
3. Pembuatan Kupon API 5L Grade B



4. Pembuatan Media Korosi (NaCl 3.5%)



5. Pembuatan Media Korosi (H₂SO₄ 1M)





- Larutkan H_2SO_4 tadi ke dalam labu ukur 1000 ml dengan menggunakan aquades hingga tepat batas

H_2SO_4 1M

6. SOP Metode EIS

-Spesimen
-Media Elektrolit

- Memasang kabel monitor, CPU, Nova 1.7
- Menyalakan CPU, monitor, Nova 1.7
- Memasang elektroda (elektrode kerja, elektrode bantu, elektrode acuan) pada rangkaian potensiostat yang dicelupkan ke dalam media korosi
- Memasang kabel pada tiap elektrode

Menjalankan program Nova

- Menyalakan program Nova 1.7
- Memilih program EIS sebagai program yang diinginkan
- Memilih *setup view* lalu pilih *measurement impedance* untuk mengisi parameter pada



A

EIS

- Memulai program Nova 1.7 dengan mengklik *start measurement*
- Setelah selesai klik *analysis view*, maka akan muncul grafik EIS
- Pilih Nyquist plot
- Klik kanan FRA Measurement Galvanostatis, klik *add analysis*, lalu klik *Electrochemical Circle Fit*
- Fitting di tiga titik tertentu, sehingga muncul kurva fitting.
Klik kanan *Electrochemical Circle Fit*, Klik *Copy As Equivalent Circuit*.
- Klik kanan FRA Measurement Galvanostatis, klik *add analysis*, lalu klik *Fit and Simulation*, Klik edit, pada *blank page* klik kanan *Paste* maka akan didapatkan ekuivalen sirkuit dan parameter elektrokimia dari analisis *Electrochemical Circle Fit*
- Klik *Fit and Simulation*, lalu klik edit, dan masukkan parameter parameter elektrokimia secara manual, lalu klik *Ok*. Sehingga didapat kan ekuivalen sirkuit dan parameter elektrokimia dari analisis *Fit and Simulation*

Mendapatkan equivalent circuit dan Parameter elektrokimia

7. SOP Metode Polarisasi Potensiodinamik

-Spesimen
-Media Elektrolit

- Memasang kabel monitor, CPU, Nova 1.7
- Menyalakan CPU, monitor, Nova 1.7
- Memasang elektroda (elektrode kerja, elektrode bantu, elektrode acuan) pada rangkaian potensiostat yang dicelupkan ke dalam media korosi
- Memasang kabel pada tiap elektrode

Menjalankan
program Nova 1.7

- Menyalakan program Nova 1.7
- Memilih program Polarisasi Linear sebagai program yang diinginkan
- Memasukkan parameter parameter pengujian yang diperlukan, seperti densitas, range pengujian dan lain lain
- Melakukan pengujian dengan mengklik *run*
- Didapatkan kurva polarisasi,
- Melakukan fitting pada kurva polarisasi untuk menentukan nilai E_{corr} , I_{corr} , Laju korosi, Beta katodik, dan beta anodik

Didapatkan data data
korosi yang diperlukan.

LAMPIRAN B

1. Larutan NaCl 3.5%

Diketahui : massa pelarut = 1000 mL

Ditanya : massa NaCl yang dilarutkan ?

Jawab :

$$\begin{aligned}\rho_{\text{campuran}} &= \rho_{\text{air}} + \rho_{\text{NaCl}} \\ &= (0.965 \text{ g/mL} \times 96.5\%) + (2.165 \text{ g/mL} \times 3.5\%) \end{aligned}$$

$$\rho = 1.007 \text{ g/mL}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho \times V$$

$$m = 1.007 \text{ g/mL} \times 1000 \text{ mL}$$

$$m = 1007 \text{ gram}$$

Sehingga massa NaCl yang dilarutkan adalah :

$$\frac{3.5}{100} \times 1007 \text{ gr} = 35.24 \text{ gram}$$

2. Larutan 1M H₂SO₄

Diketahui :

Berat jenis H₂SO₄ : 1,83 gr/ml

Mr H₂SO₄ : 98 gr/mol

% H₂SO₄ : 98

Ditanya

Molaritas?

Jawab:

$$M = \frac{\% \times 10 \times BJ}{Mr}$$

$$M = \frac{98 \times 10 \times 1,83}{98}$$

$$M = 18,3 \text{ M}$$

Sehingga dapat dihitung dengan menggunakan rumus pengenceran larutan, dengan asumsi dibutuhkan 1000 ml H_2SO_4 1M:

$$V_1 M_1 = V_2 M_2$$

$$V_1 \times 18,3 = 1000 \times 1$$

$$V_1 = 54,64 \text{ mL}$$

Maka untuk mendapatkan 1000 ml larutan H_2SO_4 1M, diambil 54,64 ml H_2SO_4 98% kemudian ditambah aquades hingga volume 1000 ml.

LAMPIRAN C

HASIL PENGUJIAN

1. Hasil Pengujian Spektrometer

2. Hasil Pengujian Spektrofotometri Uv-Vis



3. Hasil Pengujian Weight Loss

a. NaCl 3,5%

1. 144 Jam

		Luas	ρ	Masa awal	Masa akhir	Selisih	Laju korosi	Efisiensi
0 ppm	1	9,9413	7,8	9,117	9,0889	0,0281	9,1854	*
	2	9,9413	7,8	9,437	9,4044	0,0326	10,6564	
	3	9,9413	7,8	9,4699	9,4397	0,0302	9,8719	
1000 ppm	1	9,9413	7,8	10,1555	10,1468	0,0087	2,8439	72,827
	2	9,9413	7,8	10,1823	10,1712	0,0111	3,6284	
	3	9,9413	7,8	8,4623	8,4574	0,0049	1,6017	
2000ppm	1	9,9413	7,8	9,038	9,0304	0,0076	2,4843	77,558
	2	9,9413	7,8	9,2819	9,2774	0,0045	1,4710	
	3	9,9413	7,8	9,3371	9,3288	0,0083	2,7131	
3000 ppm	1	9,9413	7,8	9,2396	9,2265	0,0131	4,2822	62,486
	2	9,9413	7,8	9,0304	9,0216	0,0088	2,8766	
	3	9,9413	7,8	9,1825	9,1703	0,0122	3,9880	
4000 ppm	1	9,9413	7,8	9,3876	9,3797	0,0079	2,5824	60,506
	2	9,9413	7,8	9,0776	9,0625	0,0151	4,9359	
	3	9,9413	7,8	9,1986	9,1857	0,0129	4,2168	
5000 ppm	1	9,9413	7,8	10,2621	10,2491	0,013	4,2495	44,774
	2	9,9413	7,8	9,8072	9,7865	0,0207	6,7665	
	3	9,9413	7,8	9,2755	9,259	0,0165	5,3936	

2. 288 Jam

		Luas	ρ	Masa awal	Masa akhir	Selisih	Laju korosi	Efisiensi
0 ppm	1	9,9413	7,8	9,4819	9,4503	0,0316	5,1648	*
	2	9,9413	7,8	9,6017	9,5683	0,0334	5,4589	
	3	9,9413	7,8	9,9376	9,9038	0,0338	5,5243	
1000 ppm	1	9,9413	7,8	8,8516	8,8415	0,0101	1,6508	63,765
	2	9,9413	7,8	9,66	9,6417	0,0183	2,9910	
	3	9,9413	7,8	9,4198	9,4124	0,0074	1,2095	
2000 ppm	1	9,9413	7,8	8,7049	8,6973	0,0076	1,2422	79,150
	2	9,9413	7,8	9,2208	9,2142	0,0066	1,0787	
	3	9,9413	7,8	10,4396	10,4332	0,0064	1,0460	
3000 ppm	1	9,9413	7,8	9,6385	9,6236	0,0149	2,4353	55,972
	2	9,9413	7,8	9,5121	9,4994	0,0127	2,0757	
	3	9,9413	7,8	9,8907	9,8748	0,0159	2,5987	
4000 ppm	1	9,9413	7,8	9,5698	9,5463	0,0235	3,8409	42,308
	2	9,9413	7,8	9,2463	9,2256	0,0207	3,3832	
	3	9,9413	7,8	9,2669	9,2541	0,0128	2,0921	
5000 ppm	1	9,9413	7,8	8,6866	8,6667	0,0199	3,2525	39,575
	2	9,9413	7,8	9,4176	9,3962	0,0214	3,4977	
	3	9,9413	7,8	8,8415	8,8231	0,0184	3,0073	

3. 432 Jam

		Luas	ρ	Masa awal	Masa akhir	Selisih	Laju korosi	Efisiensi
0 ppm	1	9,9413	7,8	9,4199	9,3736	0,0463	5,0449	*
	2	9,9413	7,8	10,1432	10,0956	0,0476	5,1865	
	3	9,9413	7,8	9,4524	9,409	0,0434	4,7289	
1000 ppm	1	9,9413	7,8	9,8169	9,7965	0,0204	2,2228	63,875
	2	9,9413	7,8	9,088	9,0725	0,0155	1,6889	
	3	9,9413	7,8	9,572	9,5583	0,0137	1,4928	
2000 ppm	1	9,9413	7,8	9,3831	9,3697	0,0134	1,4601	73,343
	2	9,9413	7,8	9,7366	9,7285	0,0081	0,8826	
	3	9,9413	7,8	9,5837	9,5686	0,0151	1,6453	
3000 ppm	1	9,9413	7,8	9,5157	9,5025	0,0132	1,4383	68,026
	2	9,9413	7,8	8,808	8,7862	0,0218	2,3754	
	3	9,9413	7,8	9,2539	9,245	0,0089	0,9698	
4000 ppm	1	9,9413	7,8	8,9081	8,8897	0,0184	2,0049	57,247
	2	9,9413	7,8	9,506	9,4834	0,0226	2,4625	
	3	9,9413	7,8	9,1892	9,1715	0,0177	1,9286	
5000 ppm	1	9,9413	7,8	9,8428	9,8236	0,0192	2,0921	41,806
	2	9,9413	7,8	9,5374	9,5087	0,0287	3,1272	
	3	9,9413	7,8	9,2802	9,2482	0,032	3,4868	

4. 576 Jam

		Luas	ρ	Masa awal	Masa akhir	Selisih	Laju korosi	Efisiensi
0 ppm	1	9,9413	7,8	9,2683	9,2211	0,0472	3,8572	*
	2	9,9413	7,8	9,3468	9,3007	0,0461	3,7673	
	3	9,9413	7,8	9,2062	9,1533	0,0529	4,3230	
1000 ppm	1	9,9413	7,8	9,2459	9,2323	0,0136	1,1114	68,399
	2	9,9413	7,8	9,5742	9,559	0,0152	1,2422	
	3	9,9413	7,8	9,8269	9,8095	0,0174	1,4219	
2000 ppm	1	9,9413	7,8	9,5555	9,5459	0,0096	0,7845	79,549
	2	9,9413	7,8	8,6044	8,5952	0,0092	0,7518	
	3	9,9413	7,8	10,1691	10,158	0,0111	0,9071	
3000 ppm	1	9,9413	7,8	9,9226	9,906	0,0166	1,3566	71,614
	2	9,9413	7,8	10,0973	10,0859	0,0114	0,9316	
	3	9,9413	7,8	9,4694	9,4559	0,0135	1,1032	
4000 ppm	1	9,9413	7,8	9,253	9,2275	0,0255	2,0839	50,205
	2	9,9413	7,8	10,1755	10,1477	0,0278	2,2718	
	3	9,9413	7,8	9,9946	9,9751	0,0195	1,5936	
5000 ppm	1	9,9413	7,8	7,8248	7,8043	0,0205	1,6753	46,238
	2	9,9413	7,8	9,4721	9,4453	0,0268	2,1901	
	3	9,9413	7,8	9,3411	9,3098	0,0313	2,5579	

5. 720 Jam

		Luas	ρ	Masa awal	Masa akhir	Selisih	Laju korosi	Efisiensi
0 ppm	1	9,9413	7,8	8,9148	8,8604	0,0544	3,5565	
	2	9,9413	7,8	9,873	9,8041	0,0689	4,5045	
	3	9,9413	7,8	9,8823	9,8221	0,0602	3,9357	
1000 ppm	1	9,9413	7,8	9,712	9,6934	0,0186	1,2160	69,646
	2	9,9413	7,8	10,0889	10,0685	0,0204	1,3337	
	3	9,9413	7,8	9,2836	9,2669	0,0167	1,0918	
2000 ppm	1	9,9413	7,8	9,4717	9,4603	0,0114	0,7453	76,621
	2	9,9413	7,8	9,3913	9,3694	0,0219	1,4317	
	3	9,9413	7,8	9,7396	9,73	0,0096	0,6276	
3000 ppm	1	9,9413	7,8	9,2462	9,2308	0,0154	1,0068	66,594
	2	9,9413	7,8	9,5424	9,5107	0,0317	2,0724	
	3	9,9413	7,8	9,3227	9,3085	0,0142	0,9283	
4000 ppm	1	9,9413	7,8	9,45	9,4196	0,0304	1,9874	62,943
	2	9,9413	7,8	9,4027	9,3835	0,0192	1,2552	
	3	9,9413	7,8	9,3744	9,3560	0,0184	1,2029	
5000 ppm	1	9,9413	7,8	9,9655	9,9382	0,0273	1,7848	51,608
	2	9,9413	7,8	10,08	10,0495	0,0305	1,9940	
	3	9,9413	7,8	9,2535	9,2225	0,031	2,0267	

b. H₂SO₄ 1M

1. 6 Jam

		Luas	ρ	Masa awal	Masa akhir	Selisih	Laju korosi	Efisiensi
0 ppm	1	9,9413	7,8	8,455	8,1678	0,2872	2253,140	*
	2	9,9413	7,8	9,829	9,509	0,32	2510,463	
	3	9,9413	7,8	9,4083	9,1046	0,3037	2382,586	
1000 ppm	1	9,9413	7,8	9,3356	9,2418	0,0938	735,879	66,429
	2	9,9413	7,8	9,6205	9,5068	0,1137	891,999	
	3	9,9413	7,8	9,2251	9,1268	0,0983	771,183	
2000 ppm	1	9,9413	7,8	10,2446	10,1707	0,0739	579,760	50,181
	2	9,9413	7,8	9,1859	9,1047	0,0812	637,030	
	3	9,9413	7,8	10,9369	10,6382	0,2987	2343,360	
3000 ppm	1	9,9413	7,8	9,4921	9,4358	0,0563	441,685	82,567
	2	9,9413	7,8	9,4255	9,38	0,0455	356,956	
	3	9,9413	7,8	9,5753	9,5183	0,057	447,176	
4000 ppm	1	9,9413	7,8	9,3163	9,2761	0,0402	315,377	87,672
	2	9,9413	7,8	9,3973	9,372	0,0253	198,483	
	3	9,9413	7,8	9,1609	9,1141	0,0468	367,155	
5000 ppm	1	9,9413	7,8	10,0102	9,9282	0,082	643,306	80,217
	2	9,9413	7,8	8,4525	8,4101	0,0424	332,636	
	3	9,9413	7,8	8,8989	8,8431	0,0558	437,762	

2. 12 Jam

		Luas	ρ	Masa awal	Masa akhir	Selisih	Laju korosi	Efisiensi
0 ppm	1	9,9413	7,8	9,2142	8,6572	0,557	2184,887	*
	2	9,9413	7,8	9,7157	9,114	0,6017	2360,227	
	3	9,9413	7,8	8,9293	8,411	0,5183	2033,083	
1000 ppm	1	9,9413	7,8	9,4906	9,2561	0,2345	919,8493	57,49553
	2	9,9413	7,8	8,5704	8,3374	0,233	913,9654	
	3	9,9413	7,8	10,3846	10,1393	0,2453	962,2134	
2000 ppm	1	9,9413	7,8	9,6889	9,4887	0,2002	785,3042	64,78235
	2	9,9413	7,8	9,8192	9,6118	0,2074	813,5469	
	3	9,9413	7,8	9,4142	9,2312	0,183	717,8355	
3000 ppm	1	9,9413	7,8	9,1486	9,0226	0,126	494,2474	74,08468
	2	9,9413	7,8	9,2246	9,1014	0,1232	483,2641	
	3	9,9413	7,8	9,8993	9,7139	0,1854	727,2497	
4000 ppm	1	9,9413	7,8	9,4954	9,4175	0,0779	305,5704	83,91771
	2	9,9413	7,8	9,7525	9,6566	0,0959	376,1772	
	3	9,9413	7,8	9,3972	9,3013	0,0959	376,1772	
5000 ppm	1	9,9413	7,8	9,882	9,772	0,11	431,4858	80,98986
	2	9,9413	7,8	9,5688	9,4686	0,1002	393,0443	
	3	9,9413	7,8	8,7708	8,6622	0,1086	425,9942	

3. 18 Jam

		Luas	ρ	Masa awal	Masa akhir	Selisih	Laju korosi	Efisiensi
0 ppm	1	9,9413	7,8	9,8006	8,9805	0,8201	134,0385	*
	2	9,9413	7,8	9,226	8,4445	0,7815	127,7296	
	3	9,9413	7,8	10,1524	9,3075	0,8449	138,0918	
1000 ppm	1	9,9413	7,8	9,7128	9,2487	0,4641	75,85324	42,62824
	2	9,9413	7,8	9,3732	8,9138	0,4594	75,08507	
	3	9,9413	7,8	9,7138	9,2337	0,4801	78,46831	
2000 ppm	1	9,9413	7,8	9,5845	9,3194	0,2651	43,32837	68,65727
	2	9,9413	7,8	9,195	8,9249	0,2701	44,14558	
	3	9,9413	7,8	10,0481	9,8165	0,2316	37,85307	
3000 ppm	1	9,9413	7,8	9,3361	9,0561	0,28	45,76365	68,40384
	2	9,9413	7,8	10,2082	9,9758	0,2324	37,98383	
	3	9,9413	7,8	9,9624	9,7018	0,2606	42,59288	
4000 ppm	1	9,9413	7,8	9,4977	9,3526	0,1451	23,71538	78,61843
	2	9,9413	7,8	10,0645	9,8821	0,1824	29,81175	
	3	9,9413	7,8	9,0471	8,8515	0,1956	31,96918	
5000 ppm	1	9,9413	7,8	9,4841	9,246	0,2381	38,91544	72,08665
	2	9,9413	7,8	9,7533	9,5128	0,2405	39,3077	
	3	9,9413	7,8	10,0848	9,8805	0,2043	33,39112	

4. 24 Jam

		Luas	ρ	Masa awal	Masa akhir	Selisih	Laju korosi	Efisiensi
0 ppm	1	9,9413	7,8	9,7561	8,6632	1,0929	2143,504	*
	2	9,9413	7,8	9,5048	8,4003	1,1045	2166,255	
	3	9,9413	7,8	8,8264	7,8122	1,0142	1989,15	
1000 ppm	1	9,9413	7,8	9,1713	8,6585	0,5128	1005,754	53,12928
	2	9,9413	7,8	8,7669	8,3059	0,461	904,1589	
	3	9,9413	7,8	9,854	9,3225	0,5315	1042,43	
2000 ppm	1	9,9413	7,8	9,3426	8,9666	0,376	737,4485	68,05953
	2	9,9413	7,8	9,0744	8,7095	0,3649	715,6781	
	3	9,9413	7,8	9,1544	8,8695	0,2849	558,7741	
3000 ppm	1	9,9413	7,8	9,6314	9,3414	0,29	568,7768	73,47739
	2	9,9413	7,8	9,0829	8,7623	0,3206	628,7925	
	3	9,9413	7,8	8,3405	8,0993	0,2412	473,0654	
4000 ppm	1	9,9413	7,8	9,4633	9,2857	0,1776	348,3267	82,38261
	2	9,9413	7,8	9,0425	8,8485	0,194	380,492	
	3	9,9413	7,8	8,4284	8,2342	0,1942	380,8843	
5000 ppm	1	9,9413	7,8	10,0563	9,8278	0,2285	448,1569	79,00735
	2	9,9413	7,8	9,7925	9,5719	0,2206	432,6626	
	3	9,9413	7,8	8,9921	8,7670	0,2251	441,4884	

5. 30 Jam

		Luas	ρ	Masa awal	Masa akhir	Selisih	Laju korosi	Efisiensi
0 ppm	1	9,9413	7,8	9,9982	8,153	1,8452	2895,19135	*
	2	9,9413	7,8	9,4278	7,8271	1,6007	2511,56124	
	3	9,9413	7,8	9,6359	8,0965	1,4829	2326,72841	
1000 ppm	1	9,9413	7,8	9,3969	8,651	0,7459	1170,34643	51,1240058
	2	9,9413	7,8	9,1762	8,3115	0,8647	1356,7483	
	3	9,9413	7,8	9,5741	8,7757	0,7984	1252,72099	
2000 ppm	1	9,9413	7,8	8,6641	8,382	0,2821	442,625992	52,1972894
	2	9,9413	7,8	11,1853	9,5942	1,5911	2496,49846	
	3	9,9413	7,8	9,6184	9,1355	0,4829	757,689088	
3000 ppm	1	9,9413	7,8	9,8215	9,3038	0,5177	812,291656	68,0226424
	2	9,9413	7,8	9,2115	8,6919	0,5196	815,272831	
	3	9,9413	7,8	9,1913	8,6525	0,5388	845,398386	
4000 ppm	1	9,9413	7,8	9,3752	8,9728	0,4024	631,381423	77,4995942
	2	9,9413	7,8	8,5318	8,1995	0,3323	521,391766	
	3	9,9413	7,8	9,4091	9,0348	0,3743	587,291418	
5000 ppm	1	9,9413	7,8	9,85	9,4754	0,3746	587,76213	76,7164421
	2	9,9413	7,8	9,3534	9,0123	0,3411	535,199312	
	3	9,9413	7,8	9,9166	9,4847	0,4319	677,668083	

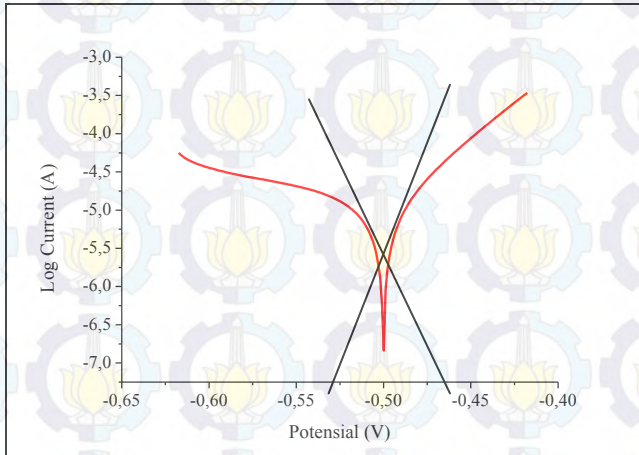
6. 36 Jam

		Luas	ρ	Masa awal	Masa akhir	Selisih	Laju korosi	Efisiensi
0 ppm	1	9,9413	7,8	10,0369	8,1378	1,8991	310,3919	
	2	9,9413	7,8	9,8467	8,0228	1,8239	298,1011	
	3	9,9413	7,8	9,6201	7,7533	1,8668	305,1128	
1000 ppm	1	9,9413	7,8	10,0604	9,0936	0,9668	158,0153	44,80303
	2	9,9413	7,8	9,1804	8,1406	1,0398	169,9466	
	3	9,9413	7,8	9,3649	8,2861	1,0788	176,3208	
2000 ppm	1	9,9413	7,8	9,3599	8,5555	0,8044	131,4724	50,07871
	2	9,9413	7,8	9,4855	8,6356	0,8499	138,909	
	3	9,9413	7,8	10,62	9,4838	1,1362	185,7023	
3000 ppm	1	9,9413	7,8	9,2201	8,53	0,6901	112,791	67,02029
	2	9,9413	7,8	9,9553	9,3567	0,5986	97,83614	
	3	9,9413	7,8	9,5558	9,001	0,5548	90,6774	
4000 ppm	1	9,9413	7,8	9,2083	8,8157	0,3926	64,16717	76,28717
	2	9,9413	7,8	9,4578	8,9458	0,512	83,6821	
	3	9,9413	7,8	9,4899	9,069	0,4209	68,79257	
5000 ppm	1	9,9413	7,8	9,0906	8,572	0,5186	84,76081	72,20115
	2	9,9413	7,8	10,1961	9,6767	0,5194	84,89156	
	3	9,9413	7,8	9,335	8,8191	0,5159	84,31952	

4. Hasil Pengujian Polarisisasi

a. NaCl 3,5%

1. 0 ppm



Diketahui:

$$\beta_a = 0,26419 \text{ V/dec}$$

$$\beta_c = 0,070271 \text{ V/dec}$$

$$R_p = 1,44240 \text{ k}\Omega$$

Stern Geary Constant (B)

$$\begin{aligned} B &= \frac{b_a b_c}{2,303 (b_a + b_c)} \\ &= \frac{0,26419 \times 0,070271}{2,303 (0,26419 + 0,070271)} \\ &= 0,02410 \text{ V} \end{aligned}$$

Nilai i_{corr}

$$\begin{aligned} i_{\text{corr}} &= \frac{B}{R_p} \\ &= \frac{0,02410}{1,44240 \text{ k}\Omega} \\ &= 16,7095 \text{ }\mu\text{A/cm}^2 \end{aligned}$$

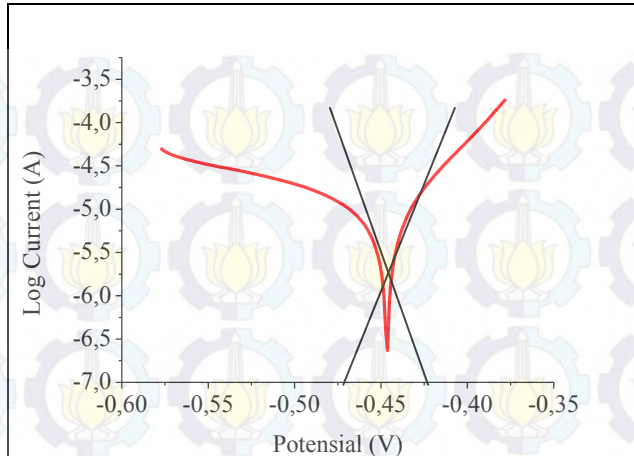
Menghitung laju korosi menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\begin{aligned} \text{CR} &= K_i \frac{i_{\text{corr}}}{\rho} \text{EW} \\ \text{CR} &= 0,1288 \frac{16,7095 \text{ }\mu\text{A/cm}^2}{7,86} 27,925 \\ &= 7,646 \text{ Mpy} \end{aligned}$$

Menghitung *mass loss rate* menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\begin{aligned} \text{MR} &= K_2 \times i_{\text{corr}} \times \text{EW} \\ &= 8,954 \times 10^{-3} \times 16,7095 \times 27,925 \\ &= 4,17819 \text{ (g/m}^2\text{d)}. \end{aligned}$$

2. 2000 ppm



Diketahui:

$$\beta_a = 0,278580 \text{ V/dec}$$

$$\beta_c = 0,0660580 \text{ V/dec}$$

$$R_p = 1,67940 \text{ k}\Omega$$

Stern Geary Constant (B)

$$\begin{aligned} B &= \frac{b_a b_c}{2,303 (b_a + b_c)} \\ &= \frac{0,278580 \times 0,0660580}{2,303 (0,278580 + 0,0660580)} \\ &= 0,0231855 \text{ V} \end{aligned}$$

Nilai i_{corr}

$$\begin{aligned} i_{\text{corr}} &= \frac{B}{R_p} \\ &= \frac{0,0231855}{1,67940 \text{ k}\Omega} \end{aligned}$$

$$= 13,80588 \text{ } \mu\text{A/cm}^2$$

Menghitung laju korosi menggunakan persamaan dibawah ini:

$$CR = K_i \frac{i_{corr}}{\rho} EW$$

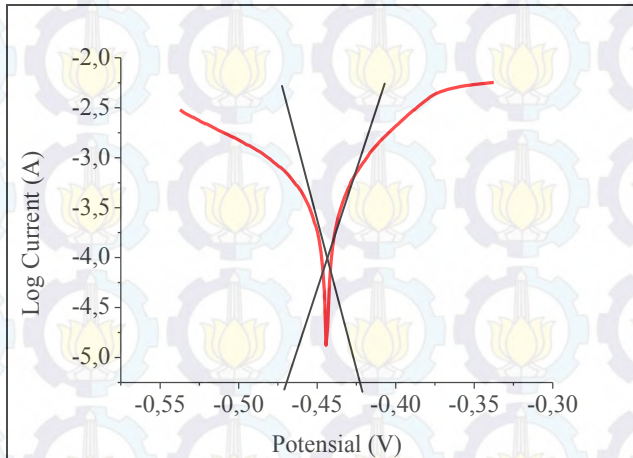
$$\begin{aligned} CR &= 0,1288 \frac{13,80588 \text{ } \mu\text{A/cm}^2}{7,86} 27,925 \\ &= 6,3175 \text{ Mpy} \end{aligned}$$

Menghitung *mass loss rate* menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\begin{aligned} MR &= K_2 \times i_{corr} \times EW \\ &= 8,954 \times 10^{-3} \times 13,80588 \text{ } \mu\text{A/cm}^2 \times 27,925 \\ &= 3,452144 \text{ (g/m}^2\text{d)}. \end{aligned}$$

b. H_2SO_4 1M

1. 0 ppm



Diketahui:

$$\beta_a = 0,50194 \text{ V/dec}$$

$$\beta_c = 0,10339 \text{ V/dec}$$

$$R_p = 31,385 \Omega$$

Stern Geary Constant (B)

$$\begin{aligned} B &= \frac{b_a b_c}{2,303 (b_a + b_c)} \\ &= \frac{0,50194 \times 0,10339}{2,303 (0,50194 + 0,10339)} \\ &= 0,0372258 \text{ V} \end{aligned}$$

Nilai i_{corr}

$$i_{\text{corr}} = \frac{B}{R_p}$$

$$= \frac{0,0372258 \text{ V}}{31,385 \Omega}$$

$$= 1186,2154 \text{ } \mu\text{A/cm}^2$$

Menghitung laju korosi menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\text{CR} = K_i \frac{i_{\text{corr}}}{\rho} \text{EW}$$

$$\text{CR} = 0,1288 \frac{1186,2154 \text{ } \mu\text{A/cm}^2}{7,86} 27,925$$

$$= 542,8128 \text{ MPy}$$

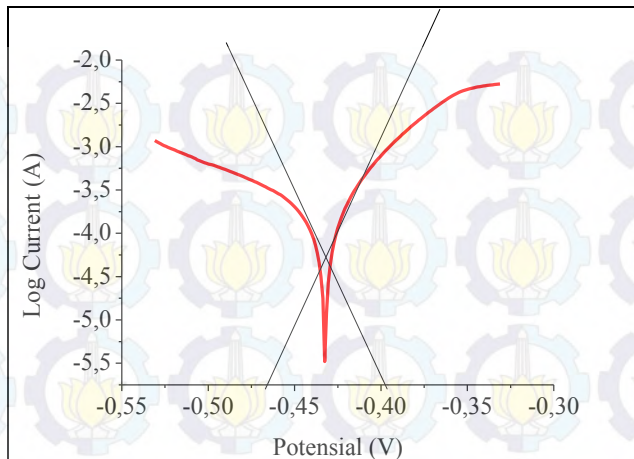
Menghitung *mass loss rate* menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\text{MR} = K_2 \times i_{\text{corr}} \times \text{EW}$$

$$= 8.954 \times 10^{-3} \times 1186,2154 \text{ } \mu\text{A/cm}^2 \times 27,925$$

$$= 296,61176 \text{ g/m}^2\text{d}$$

2. 4000 ppm



Diketahui:

$$\beta_a = 0,15834 \text{ V/dec}$$

$$\beta_c = 0,054964 \text{ V/dec}$$

$$R_p = 71,447 \Omega$$

Stern Geary Constant (B)

$$\begin{aligned} B &= \frac{b_a b_c}{2,303 (b_a + b_c)} \\ &= \frac{0,15834 \times 0,054964}{2,303 (0,15834 + 0,054964)} \\ &= 0,01771 \text{ V} \end{aligned}$$

Nilai i_{corr}

$$i_{\text{corr}} = \frac{B}{R_p}$$

$$= \frac{0,01771 \text{ V}}{71,447 \text{ } \Omega}$$

$$= 247,9659 \text{ } \mu\text{A}/\text{cm}^2$$

Menghitung laju korosi menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\text{CR} = K_i \frac{i_{\text{corr}}}{\rho} \text{EW}$$

$$\text{CR} = 0,1288 \frac{247,9659 \text{ } \mu\text{A}/\text{cm}^2}{7,86} 27,925$$

$$= 113,4693 \text{ MPy}$$

Menghitung *mass loss rate* menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\text{MR} = K_2 \times i_{\text{corr}} \times \text{EW}$$

$$= 8.954 \times 10^{-3} \times 247,9659 \text{ } \mu\text{A}/\text{cm}^2 \times 27,925$$

$$= 62,00358 \text{ g}/\text{m}^2\text{d}$$

5. Hasil Pengujian EIS

a. NaCl 3,5%

1. 0 ppm

Data Zreal dan Z imajiner pengujian dan fitting

Hasil Pengujian		Electrochemical Circle Fit		Fit & Simulation	
Z' (Ω)	-Z'' (Ω)	Z' (Ω)	-Z'' (Ω)	Z' (Ω)	-Z'' (Ω)
-65,5363	20,5222	-65,5363	35,3096	-56,7891	25,3241
-67,4114	35,8043	-67,4114	NaN	-44,4958	40,5865
-63,5489	51,3241	-63,5489	43,6274	-25,4091	49,6365
-43,5146	70,5861	-43,5146	69,6651	-4,88445	49,1069
-10,6793	77,5055	-10,6793	77,5055	10,9129	41,2962
20,8666	59,5824	20,8666	61,3251	20,269	31,345
32,7657	34,7032	32,7657	37,5417	24,8998	22,5469
29,2386	19,7088	29,2386	48,5452	26,9053	15,8285
25,5982	11,593	25,5982	55,1755	27,6515	11,0059
27,4579	9,81876	27,4579	52,0861	27,8491	7,62996
24,6867	5,20344	24,6867	56,5244	27,8317	5,28827
23,9018	3,93762	23,9018	57,6144	27,7456	3,66796
23,9021	2,72705	23,9021	57,614	27,6502	2,5465
23,8985	2,07045	23,8985	57,6189	27,5668	1,76969
23,9443	2,09698	23,9443	57,5569	27,5007	1,23109
24,0148	1,64412	24,0148	57,4613	27,4507	0,85742
24,1716	1,35043	24,1716	57,2467	27,414	0,598228
24,2077	1,16016	24,2077	57,1969	27,3875	0,418649
24,3154	1,07514	24,3154	57,0478	27,3686	0,294637
24,4247	1,06848	24,4247	56,8951	27,3553	0,209604
24,5305	1,21641	24,5305	56,7463	27,3459	0,152155
24,7107	1,36135	24,7107	56,4901	27,3393	0,114586
24,8296	1,5856	24,8296	56,3191	27,3347	0,091798

24,9198	1,92864	24,9198	56,1884	27,3314	0,08061
25,1941	2,49903	25,1941	55,7853	27,3292	0,079318
25,5491	3,11525	25,5491	55,2508	27,3276	0,087451
25,8898	3,85826	25,8898	54,7233	27,3265	0,105661
26,4413	5,17071	26,4413	53,8372	27,3258	0,135776
28,3477	6,79303	28,3477	50,4043	27,3252	0,180974
27,5642	8,34088	27,5642	51,8932	27,3249	0,246108
25,8123	8,93477	25,8123	54,8446	27,3246	0,338241
31,1817	12,2557	31,1817	43,5761	27,3244	0,467395
32,3448	15,8403	32,3448	39,4786	27,3243	0,647641

2. 2000 ppm

Data Zreal dan Z imajiner pengujian dan fitting

Hasil Pengujian		Electrochemical Circle Fit		Fit & Simulation	
Z' (Ω)	-Z'' (Ω)	Z' (Ω)	-Z'' (Ω)	Z' (Ω)	-Z'' (Ω)
-57,5679	60,1994	-57,5679	60,1994	-91,8882	80,2949
-53,1961	66,1311	-53,1961	66,7063	-64,8028	84,3591
-48,3544	71,2344	-48,3544	72,1839	-43,9203	82,899
-42,4146	76,2694	-42,4146	77,3354	-28,0597	79,0497
-35,3493	80,8909	-35,3493	81,8881	-15,9318	74,3447
-27,0296	84,839	-27,0296	85,598	-6,52692	69,5014
-17,5844	87,6535	-17,5844	88,0564	0,899202	64,8324
-7,30705	88,8732	-7,30705	88,8732	6,86557	60,4646
3,39639	88,2114	3,39639	87,7474	11,7445	56,4309
13,8236	85,4618	13,8236	84,5899	15,7955	52,7287
23,0172	80,2735	23,0172	79,8063	19,2079	49,3365
30,8991	76,7162	30,8991	73,7232	22,121	46,2254
38,1304	69,4018	38,1304	65,6752	24,6364	43,3686

43,0893	62,0514	43,0893	57,6825	26,8323	40,7385
46,3359	54,9776	46,3359	50,0122	28,7668	38,3123
48,4835	48,3914	48,4835	41,6937	30,4858	36,0684
49,7306	42,3825	49,7306	NaN	32,0267	33,986
50,1888	36,9798	50,1888	NaN	33,4149	32,0526
50,1718	32,4268	50,1718	NaN	34,6761	30,2497
49,7779	28,3299	49,7779	NaN	35,8265	28,5677
49,4596	24,9124	49,4596	NaN	36,8803	26,9966
48,9564	21,9969	48,9564	38,5647	37,8515	25,5241
48,1135	19,5617	48,1135	43,5733	38,7493	24,1434
47,4636	17,4382	47,4636	46,2835	39,5821	22,8469
46,8365	15,5469	46,8365	48,4683	40,357	21,6279
46,1739	14,03	46,1739	50,4821	41,0797	20,481
45,6803	12,5328	45,6803	51,8387	41,7558	19,4002
45,1038	11,439	45,1038	53,3021	42,389	18,3817
44,8323	10,4606	44,8323	53,9532	42,9837	17,4202
44,5305	9,45229	44,5305	54,6516	43,5426	16,5128
44,273	8,64887	44,273	55,228	44,0689	15,6556
43,9781	7,93597	43,9781	55,868	44,5652	14,8452
43,7338	7,29627	43,7338	56,3832	45,0334	14,079
43,5527	6,75133	43,5527	56,7566	45,4756	13,3542
43,3672	6,2471	43,3672	57,1323	45,8938	12,668
43,2253	5,79899	43,2253	57,415	46,2892	12,0188
43,1034	5,41085	43,1034	57,6548	46,6637	11,4036
43,0056	5,06148	43,0056	57,8453	47,0182	10,8212
42,9121	4,75004	42,9121	58,0256	47,3541	10,2693
42,8513	4,46638	42,8513	58,1421	47,6726	9,74601
42,7841	4,20987	42,7841	58,2702	47,9747	9,25012
42,7242	3,98421	42,7242	58,3837	48,261	8,78023
42,7031	3,77925	42,7031	58,4234	48,5328	8,33451

42,7243	3,60533	42,7243	58,3835	48,7907	7,91184
42,7409	3,44906	42,7409	58,352	49,0355	7,51097
42,7416	3,31421	42,7416	58,3507	49,2679	7,13067
42,7457	3,19033	42,7457	58,343	49,4886	6,76987
42,7585	3,07312	42,7585	58,3188	49,6981	6,42766
42,7895	2,99183	42,7895	58,2599	49,897	6,10297
42,8676	3,03017	42,8676	58,1109	50,0859	5,7949

b. H_2SO_4 1M

1. 0 ppm

Data Zreal dan Z imajiner pengujian dan fitting

Hasil Pengujian		Electrochemical Circle Fit		Fit & Simulation	
Z' (Ω)	-Z'' (Ω)	Z' (Ω)	-Z'' (Ω)	Z' (Ω)	-Z'' (Ω)
-72,7369	20,4991	-72,7369	20,4991	-10,3113	7,47039
-71,7229	32,0262	-71,7229	28,9924	-8,91542	6,73451
-69,4964	42,8771	-69,4964	35,8591	-7,66658	6,05689
-52,2424	55,218	-52,2424	55,218	-6,5512	5,43603
-25,4212	59,519	-25,4212	59,9634	-5,55649	4,86966
-2,18731	47,2832	-2,18731	47,2832	-4,67066	4,35507
6,51089	27,3368	6,51089	32,1717	-3,88253	3,88902
6,57592	16,5509	6,57592	31,9636	-3,18215	3,4683
2,67706	7,89834	2,67706	40,7233	-2,56025	3,08946
5,86592	3,8877	5,86592	34,0534	-2,0084	2,74913
1,25205	3,7896	1,25205	42,9475	-1,51906	2,44402
0,59695	2,72281	0,59695	43,8723	-1,08541	2,17102
0,571519	2,12508	0,571519	43,9071	-0,70126	1,92709
0,306759	1,62513	0,306759	44,2651	-0,36114	1,70948
0,217535	1,67824	0,217535	44,3839	-0,0601	1,51558
0,264951	1,32719	0,264951	44,3209	0,206272	1,343

0,322523	1,07678	0,322523	44,244	0,441888	1,18954
0,355962	0,91929	0,355962	44,1992	0,650256	1,05319
0,419802	0,820197	0,419802	44,1133	0,834475	0,932159
0,512771	0,854952	0,512771	43,9873	0,997303	0,824793
0,653612	0,861117	0,653612	43,7945	1,14123	0,72959
0,880916	1,03123	0,880916	43,4782	1,26843	0,645221
1,10519	0,973124	1,10519	43,1597	1,3808	0,570501
1,2927	1,0021	1,2927	42,8883	1,48009	0,50435
1,56368	0,891269	1,56368	42,4876	1,56779	0,445808
1,76922	0,751588	1,76922	42,1766	1,64527	0,394022
1,89018	0,713981	1,89018	41,9907	1,7137	0,348236
2,04838	0,459791	2,04838	41,7441	1,77413	0,307777
2,53279	1,41846	2,53279	40,9636	1,8275	0,272044
2,39198	-0,01285	2,39198	41,1946	1,87463	0,240515
5,72206	0,061088	5,72206	34,4359	1,91625	0,212727
2,37271	1,24704	2,37271	41,2259	1,95301	0,188282
2,516	0,832612	2,516	40,9913	1,98546	0,16684
2,64952	0,258014	2,64952	40,7694	2,01411	0,148113
2,6148	0,745519	2,6148	40,8274	2,0394	0,131872
2,66152	-0,18325	2,66152	40,7493	2,06174	0,117946
2,36334	0,005931	2,36334	41,2411	2,08146	0,10623
2,85611	-0,54229	2,85611	40,4197	2,09887	0,096693
2,21358	-0,5673	2,21358	41,4823	2,11424	0,089399
1,92843	-0,67187	1,92843	41,9314	2,12781	0,084524
3,03869	0,960357	3,03869	40,1038	2,13978	0,082397
1,08541	1,10288	1,08541	43,188	2,15036	0,083544
3,04381	-0,03505	3,04381	40,0948	2,1597	0,088763
2,8357	0,085025	2,8357	40,4546	2,16794	0,099215
1,47225	1,75138	1,47225	42,624	2,17521	0,116562
2,44103	-0,0141	2,44103	41,1145	2,18164	0,143161

1,94643	0,681005	1,94643	41,9035	2,18731	0,182324
3,04555	-0,28949	3,04555	40,0918	2,19231	0,238684
2,7538	0,339601	2,7538	40,5939	2,19673	0,318712
3,98712	-1,1673	3,98712	38,3466	2,20063	0,431431

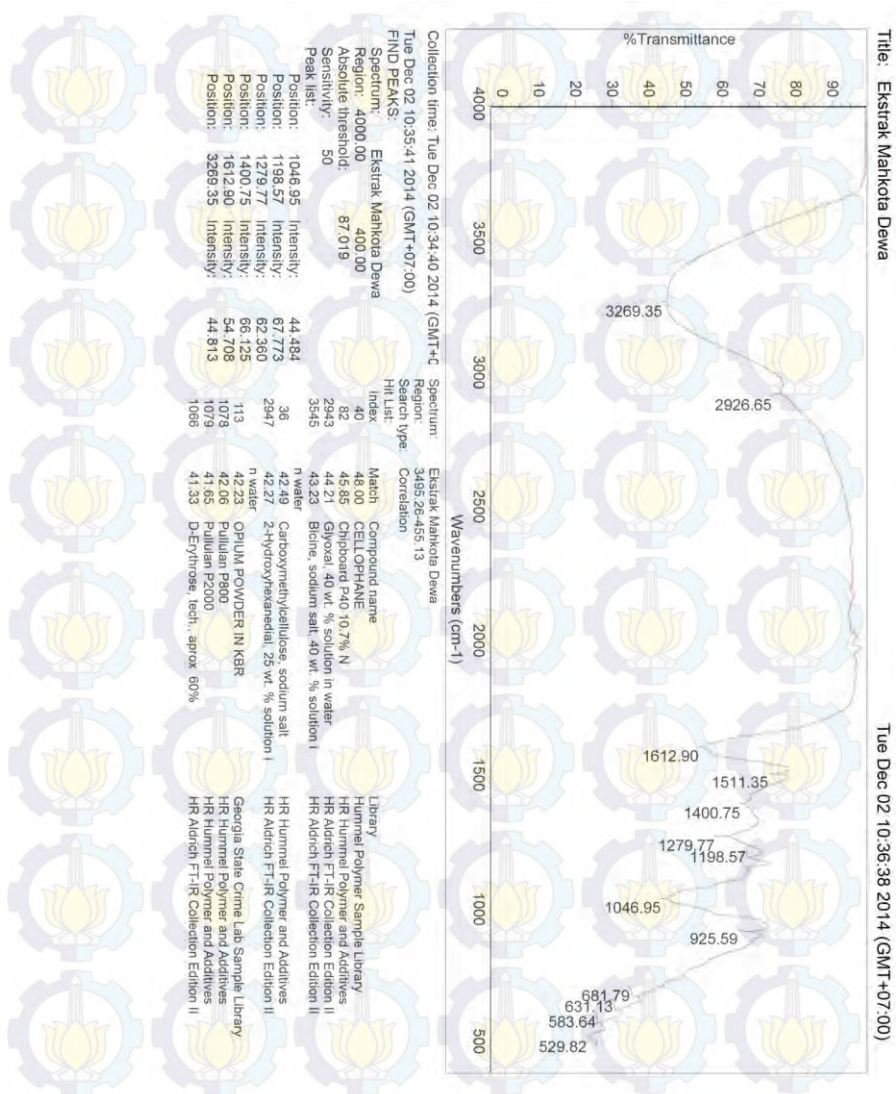
2. 4000 ppm

Data Zreal dan Z imajiner pengujian dan fitting

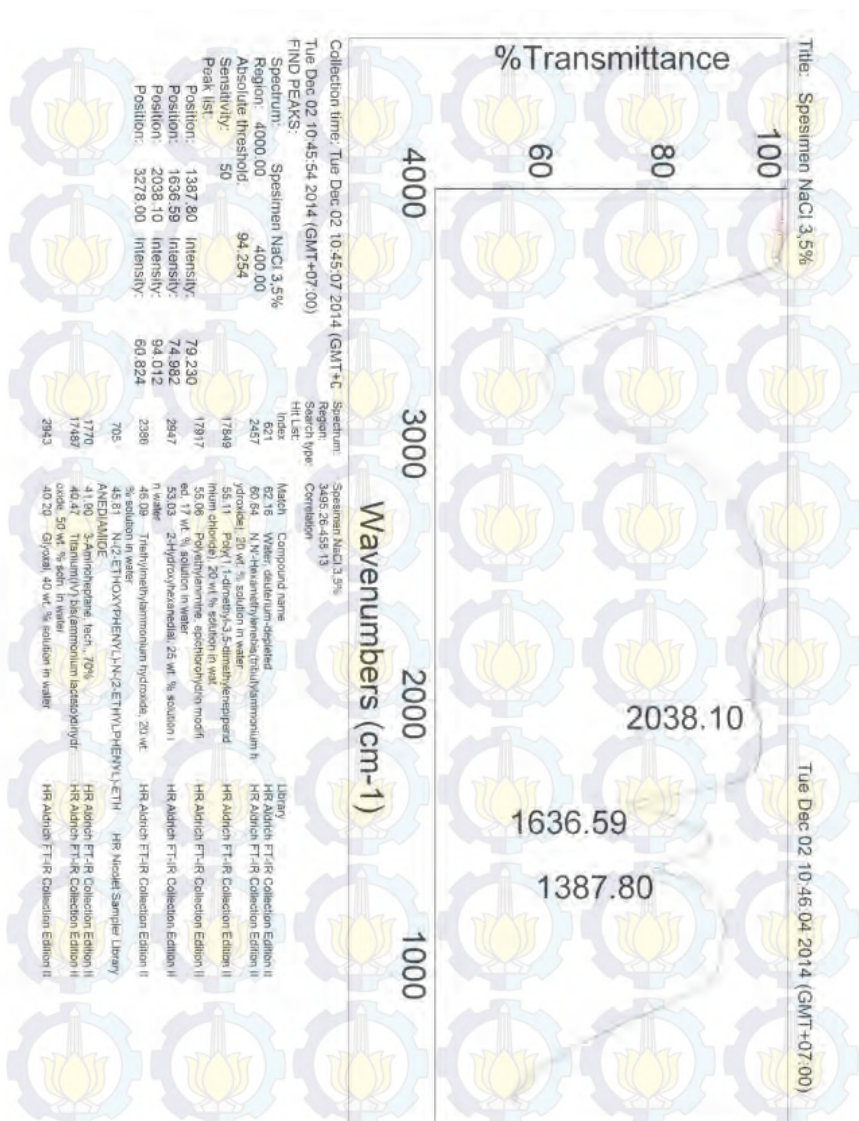
Hasil Pengujian		Electrochemical Circle Fit		Fit and Simulation	
$Z' (\Omega)$	$-Z'' (\Omega)$	$Z' (\Omega)$	$-Z'' (\Omega)$	$Z' (\Omega)$	$-Z'' (\Omega)$
-63,387	47,6231	-63,387	46,9824	-101,923	71,6622
-60,0857	51,7066	-60,0857	51,9037	-68,7082	74,0505
-56,0428	55,7047	-56,0428	56,4485	-46,8815	69,0551
-51,1678	59,5418	-51,1678	60,575	-32,5619	62,5295
-45,0255	63,4914	-45,0255	64,3272	-22,8386	56,2669
-38,3724	66,2273	-38,3724	67,026	-15,9733	50,7188
-31,3339	67,6534	-31,3339	68,6156	-10,9387	45,9127
-23,3333	68,227	-23,3333	69,0114	-7,12463	41,7659
-15,1757	67,3762	-15,1757	67,9049	-4,14953	38,1715
-7,33542	64,8615	-7,33542	65,2897	-1,77199	35,0364
-0,550802	60,4913	-0,550802	61,5518	0,169097	32,2812
5,0929	57,8493	5,0929	57,0503	1,78416	29,8407
10,5394	52,205	10,5394	50,8678	3,14941	27,6645
14,1501	46,5475	14,1501	44,9845	4,32042	25,7106
16,6394	41,1199	16,6394	39,0912	5,33706	23,9467
18,1616	36,1622	18,1616	33,3694	6,22949	22,3459
19,0046	31,6427	19,0046	NaN	7,02129	20,8849
19,2295	27,5967	19,2295	NaN	7,72857	19,5482
19,1646	24,0811	19,1646	NaN	8,3665	18,318
18,8242	21,1284	18,8242	28,6156	8,94486	17,1839

18,3532	18,5073	18,3532	32,3211	9,47192	16,1361
18,1773	16,5003	18,1773	33,2886	9,95554	15,1636
17,5267	14,6254	17,5267	36,1418	10,4009	14,2601
16,962	12,9593	16,962	38,1023	10,8125	13,4188
16,4339	11,4793	16,4339	39,6829	11,1945	12,634
15,9526	10,3084	15,9526	40,9737	11,5497	11,9012
15,6139	9,14774	15,6139	41,8147	11,8811	11,2153
15,1876	8,37552	15,1876	42,8083	12,1908	10,5733
14,8433	7,5554	14,8433	43,5652	12,481	9,97118
14,5336	6,82958	14,5336	44,2153	12,7532	9,40629
14,2826	6,23014	14,2826	44,723	13,0088	8,87575
14,0495	5,69194	14,0495	45,1804	13,2494	8,37702
13,8657	5,20171	13,8657	45,532	13,4759	7,90806
13,6907	4,80142	13,6907	45,8598	13,6893	7,46679
13,5491	4,43381	13,5491	46,1203	13,8907	7,05122
13,4293	4,0854	13,4293	46,3374	14,0806	6,66001
13,3215	3,78322	13,3215	46,5303	14,2601	6,29117
13,2439	3,51529	13,2439	46,668	14,4296	5,94367
13,1687	3,25923	13,1687	46,8001	14,5898	5,61595
13,1019	3,04088	13,1019	46,9167	14,7413	5,30671
13,0457	2,84127	13,0457	47,0141	14,8846	5,01501
13,023	2,6917	13,023	47,0533	15,0201	4,73987
12,9852	2,49684	12,9852	47,1182	15,1483	4,48007
12,9709	2,35343	12,9709	47,1429	15,2696	4,23482
12,9591	2,2156	12,9591	47,1631	15,3845	4,00326
12,9356	2,0969	12,9356	47,2032	15,4932	3,78455
12,9208	1,9929	12,9208	47,2285	15,5961	3,57797
12,9208	1,89592	12,9208	47,2285	15,6935	3,38288
12,921	1,81135	12,921	47,2282	15,7857	3,19859
12,9395	1,82038	12,9395	47,1967	15,8729	3,02448

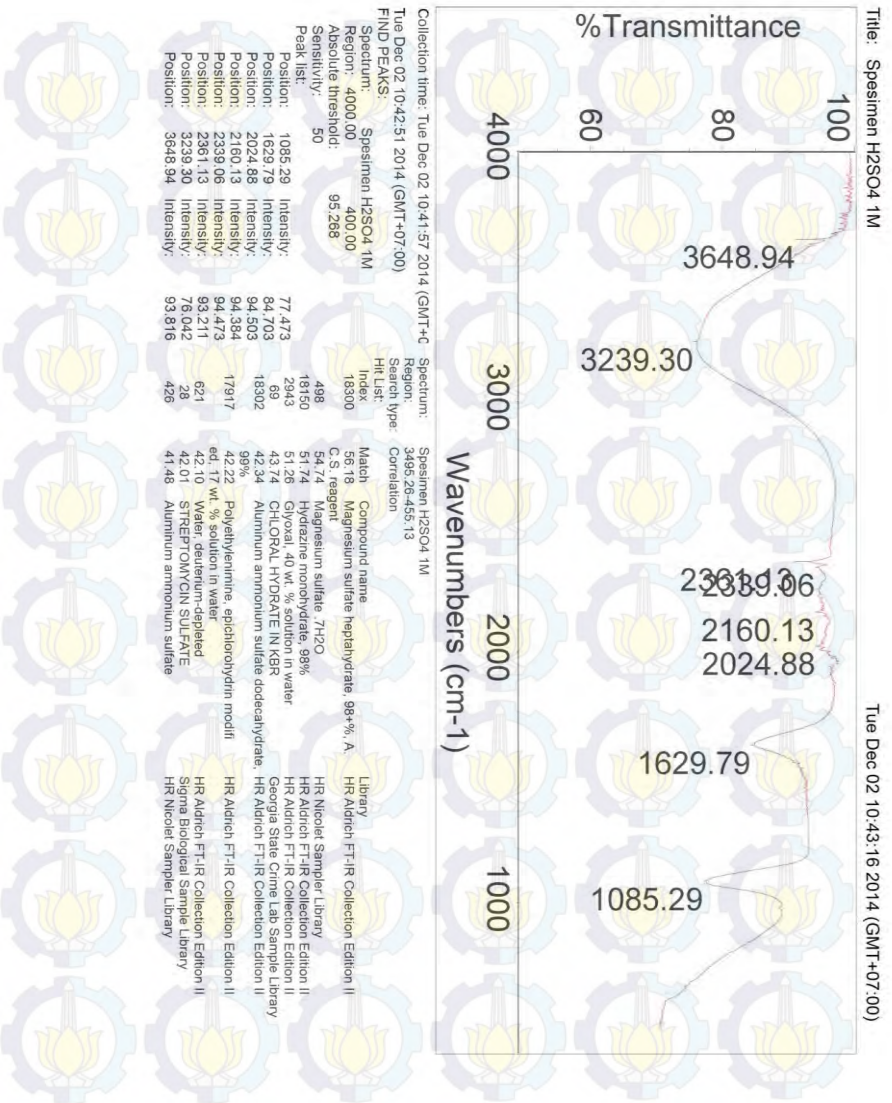
a. Ekstrak Buah Mahkota Dewa



b. Baja Perendaman NaCl 3,5%



c. Baja Perendaman H₂SO₄ 1M



BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama Fiki Maizal Candra, kelahiran Cupak, 12 Mei 1993. Penulis merupakan anak pertamadari empat bersaudara dari pasangan bapak Syafril dan ibu Hertaleni. Penulis memulai jenjang sekolah di SDN 08 cupak, kemudian SMPN 2 Gunung Talang,

SMAN 1 Gunung Talang, dan sekarang penulis kuliah di jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS. Selama kuliah penulis pernah menjabat sebagai staff PSDM HMMT FTI-ITS periode 2012/2013. Penulis juga aktif kegiatan di diluar jurusan. Penulis juga tercatat sebagai anggota MAHAGANA ITS.

Selain aktif organisasi penulis juga aktif sebagai asisten laboratorium, penulis menjadi grader metalurgi tahun ajaran 2013/2014. Penulis mengambil studi mengenai tugas akhir penulis pada bidang korosi dan kegagalan material pada jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.