



TUGAS AKHIR - MM 091381

**PEMANFAATAN GREEN INHIBITOR DAUN
PANDAN WANGI TERHADAP LAJU KOROSI
PADA BAJA API 5L GRADE B DI LINGKUNGAN
NaCl 3,5 % DAN H₂SO₄ 1M**

ANDHI RAHARDI
NRP 2710 100 073

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2014

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - MM 091381

**UTILIZATION OF GREEN INHIBITOR
FRAGRANT PANDAN LEAVES ON THE
CORROSION RATE OF STEEL API 5L GRADE B
3,5 % NaCl AND 1M H₂SO₄**

ANDHI RAHARDI
NRP 2710 100 073

Advisor
Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA

MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty Of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya
2014

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PEMANFAATAN GREEN INHIBITOR DAUN PANDAN
WANGI TERHADAP LAJU KOROSI PADA BAJA API 5L
GRADE B DI LINGKUNGAN NaCl 3,5 % DAN H₂SO₄ 1M**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelara 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 :

ANDHI RAHARDI
NRP. 2710 100 073

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

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

SURABAYA
JULI 2014



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PEMANFAATAN GREEN INHIBITOR DAUN PANDAN WANGI TERHADAP LAJU KOROSI PADA BAJA API 5L GRADE B DI LINGKUNGAN NaCl 3,5 % DAN H₂SO₄ 1 M

Nama : Andhi Rahardi
NRP : 2710100073
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA

Abstrak

Korosi merupakan fenomena alam yang sering terjadi pada dunia industri minyak dan gas. Pada lingkungan industri khususnya pada bagian konstruksi, instalasi, saluran transportasi terkandung unsur-unsur yang mampu mempercepat terjadinya reaksi oksidasi pada suatu material. Inhibitor dapat menghambat atau memperlambat suatu reaksi kimia atau dengan kata lain mampu memperlambat laju korosi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh ekstrak daun pandan wangi (*Pandanus amaryllifolius Roxb.*) yang mengandung antioksidan sebagai inhibitor dalam media korosif NaCl dan H₂SO₄.

Dalam penelitian ini digunakan baja karbon API 5L Grade B dengan media korosif H₂SO₄ 1 M dan NaCl 3,5 % dengan variasi konsentrasi dari ekstrak daun pandan wangi 0 mg/L, 100 mg/L, 200 mg/L, 300 mg/L, 400 mg/L dan 500 mg/L. Pada hasil pengujian menunjukkan adanya senyawa flavonoid pada ekstrak daun pandan wangi dan laju korosi turun seiring dengan penambahan inhibitor. Laju korosi menurun pada larutan NaCl 3,5 % yaitu sebesar 1,038 mpy. Untuk larutan H₂SO₄ 1M laju korosi menurun sebesar 901,048 mpy. Efisiensi inhibitor tertinggi yang didapatkan di larutan NaCl 3,5 % yaitu sebesar 75,101 %. Untuk di larutan H₂SO₄ 1M efisiensi inhibitor tertinggi yaitu sebesar 60,365 %.

Kata Kunci : *Pandanus amaryllifolius Roxb.*, antioksidan, media korosif

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

UTILIZATION OF GREEN INHIBITOR FRAGRANT PANDAN LEAVES ON THE CORROSION RATE OF STEEL API 5L GRADE B 3,5 % NaCl AND 1M H₂SO₄

Name : Andhi Rahardi
NRP : 2710100073
Department : Material and Metallurgical Engineering
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA

Abstract

Corrosion is a natural phenomenon that often occurs in the oil and gas industry. In industrial environments, especially in the construction, installation, transport channels contained elements that are able to accelerate the oxidation reaction on a material. Inhibitors can inhibit or slow down a chemical reaction, or in other words able to slow the rate of corrosion. The purpose of this research is to study the effect of leaves extract fragrant pandan (*Pandanus amaryllifolius Roxb.*). That contain antioxidants as inhibitors in the corrosive medium NaCl and H₂SO₄.

This study used carbon steel API 5L Grade B with corrosive media H₂SO₄ 1 M NaCl and 3.5% with variation of concentration of fragrant pandan leaf extract 0 mg / L, 100 mg / L, 200 mg / L, 300 mg / L, 400 mg / L and 500 mg / L. In the test results indicate the presence of flavonoid compounds in fragrant pandan leaves extract and corrosion rate decrease with the addition of inhibitors. Corrosion rate decreased to 3.5% NaCl solution is equal to 1.038 mpy. To a solution of 1M H₂SO₄ corrosion rate decreased by 901.048 mpy. The highest inhibitor efficiency obtained in 3.5% NaCl solution that is equal to 75.101%. 1M H₂SO₄ solution for at the highest inhibitor efficiency is equal to 60.365%.

Keywords: *Pandanus amaryllifolius Roxb., antioxidants, corrosive media*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr.Wb.

Segala puji bagi Allah SWT atas karunia, nikmat, dan kemudahan yang diberikan pada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul

“Pemanfaatan Green Inhibitor Daun Pandan Wangi terhadap Laju Korosi pada Baja API 5L Grade B di Lingkungan NaCl 3,5 % DAN H₂SO₄ 1M”

Tugas Akhir ini disusun untuk melengkapi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di jurusan Teknik Material dan Metalurgi - Fakultas Teknologi Industri - Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Penulis menyampaikan terimakasih kepada :

1. Allah SWT yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang yang selalu melimpahkan segala nikmat, kebahagiaan, dan selalu memberikan yang terbaik.
2. Joko Endrasmono, Nurhayati, dan Riyan Renardi sebagai keluarga yang telah memberi dukungan, doa, dan nasehat.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA yang selaku dosen pembimbing Tugas Akhir dan telah memberikan ilmu, bimbingan, serta wawasan.
4. Bapak Dr. Sungging Pintowantoro, S.T., M.T sebagai Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS, yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama kuliah di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
5. Bapak Budi Agung Kurniawan, ST., MT., Bapak Tubagus N. R. ST., M.Sc, dan Ibu Yuli Setiyorini, ST., M.Phil., sebagai dosen penguji dalam sidang tugas akhir yang telah memberi banyak saran dan arahan.

6. Dosen dan karyawan yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan perkuliahan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS
7. Hilda Primantha sebagai calon partner hidup yang selalu memberi dukungan, semangat, dan kasih sayang
8. 'Team Jamu' teman satu seperjuangan, satu nasib, satu sepenanggungan tugas akhir M. Bagus Fatchul Farochi (bleki) dan Fathan Nadhir (ading) yang selalu bersama-sama sejak awal sampai akhir mengerjakan tugas akhir ini
9. Mbak Tika yang selalu membantu dan meluangkan waktunya untuk membantu kami dalam melakukan pengujian EIS
10. Saudara-saudara MT 12 yang selalu solid dari awal kuliah sampai mengambil tugas akhir ini
11. Rekan-rekan pengurus BSO MB HMMT FTI-ITS
12. Mas, mbak dan adik-adik jurusan Teknik Material dan Metalurgi
13. Dan Seluruh pihak yang tidak mampu kami sebutkan satu per satu yang telah memberikan kontribusi atas penulisan tugas akhir ini.

Penulis menyadari masih banyaknya kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini. Dan semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Wassalamualaikum Wr.Wb.

Surabaya, Juli 2014

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxi

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Korosi.....	5
2.2 Mekanisme Terjadinya Korosi.....	5
2.3 Baja API 5L.....	7
2.4 Jenis-Jenis Korosi pada Pipelines Industri Minyak dan Gas.....	10
2.5 Laju Korosi.....	14
2.5.1 Pengujian Korosi.....	14
2.5.1.1 Metode Pengurangan Berat.....	14
2.5.1.2 <i>Electrochemichal Impedance Spectroscopy (EIS)</i>	14
2.5.1.3 <i>Fourier Transform Infra Red (FTIR)</i>	27

2.5.1.4 Pengujian Flavonoid Total dengan Metode Spektrofotometri Uv-Vis	31
2.5.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi	33
2.6 Proteksi Logam Terhadap Korosi	35
2.5.1 Proteksi Katodik	35
2.6.2 Proteksi Anodik.....	37
2.6.3 Coating	37
2.6.4 Pemilihan Material	38
2.6.5 Inhibitor Korosi.....	39
2.7 Jenis-Jenis Inhibitor Korosi	41
2.7.1 Inhibitor Anorganik	41
2.7.2 Inhibitor Organik.....	41
2.7.3 Inhibitor Katodik.....	43
2.7.4 Inhibitor Anodik.....	45
2.7.5 Inhibitor Adsorpsi	47
2.8 Efisiensi Inhibitor	48
2.9 Ekstraksi.....	48
2.10 Antioksidan.....	50
2.11 Daun Pandan Wangi (<i>Pandanus amaryllifolius</i> Roxb.).....	51
2.11.1 Karakteristik Umum	51
2.11.2 Taksonomi dan Kandungan Kimia Pandan Wangi	52
2.11.2.1 Flavonoid.....	53
2.11.2.2 Tanin.....	54
2.10.2 Penelitian Sebelumnya	55

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian	57
3.2 Alat dan Bahan	58

3.2.1 Peralatan penelitian	58
3.2.2 Bahan Penelitian	58
3.3 Prosedur Penelitian	59
3.4.1 Preparasi Spesimen EIS	59
3.4.2 Preparasi Spesimen <i>Weight loss</i>	60
3.5 Preparasi Daun Pandan Wangi.....	61
3.6 Pembuatan Larutan NaCl.....	62
3.7 Pembuatan Larutan H ₂ SO ₄	62
3.8 Pengujian Korosi	62
3.8.1 Pengujian Flavonoid Total	62
3.8.1.1 Preparasi sampel	62
3.8.1.2 Prosedur penetapan kadar	63
3.8.1.3 Larutan blanko	63
3.8.1.4 Pengukuran	63
3.8.2 Pengujian EIS (<i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i>)	64
3.8.3 Pengujian <i>Weight Loss</i>	65
3.8.3.1 Pengujian <i>Weight Loss</i> di Larutan NaCl 3,5 %	66
3.8.3.2 Pengujian <i>Weight Loss</i> di Larutan H ₂ SO ₄ 1M.....	66
3.8.4 Pengujian <i>Fourier Transform Infra Red (FTIR)</i>	67
3.9 Rancangan Pengambilan Data Penelitian.....	69

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data.....	73
4.1.1 Hasil Pengujian Kadar Flavonoid Total	73
4.1.2 Hasil Pengujian <i>Weight Loss</i>	74
4.1.3 Hasil Pengujian EIS	83
4.1.4 Hasil Pengujian FTIR.....	89

4.2 Pembahasan	93	
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1 Kesimpulan.....	95	
5.2 Saran.....	95	
DAFTAR PUSTAKA		97
LAMPIRAN A	105	
LAMPIRAN B	114	
LAMPIRAN C.....	116	
LAMPIRAN D.....	118	
LAMPIRAN E	128	
LAMPIRAN F	137	
BIODATA PENULIS	145	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Mekanis dari berbagai Baja API 5L	8
Tabel 2.2 Komposisi Kimia Pipa API 5 L Grade B	9
Tabel 2.3 Konstanta Laju Korosi	15
Tabel 2.4 Elemen rangkaian terhadap nilai impedansi	17
Tabel 2.5 Daerah absorpsi IR menggunakan hukum hooke	29
Tabel 2.6 Frekuensi gugus untuk gugus fungsi organik	30
Tabel 2.7 Pita absorpsi UV dari flavonoid	32
Tabel 3.1 Komposisi Kimia Baja API 5L Grade B	58
Tabel 3.2 Rancangan Percobaan dengan Metode EIS	69
Tabel 3.3 Rancangan Percobaan Metode <i>Weight loss</i>	71
Tabel 4.1 Data Absorbansi dan Flavonoid pada daun pandan wangi	74
Tabel 4.2 Data hasil <i>Equivalent Circuit</i> inhibitor daun pandan wangi pada larutan H ₂ SO ₄ 1M	86
Tabel 4.2 Data hasil <i>Equivalent Circuit</i> inhibitor daun pandan wangi pada larutan NaCl 3,5 %	87
Tabel 4.4 Analisa FTIR dengan IR Table Reference	90

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Mekanisme Korosi	6
Gambar 2.2	Korosi yang terjadi pada <i>pipeline system</i>	11
Gambar 2.3	Tampilan grafik Bode Plot	19
Gambar 2.4	Grafik frekuensi terhadap Perubahan sudut fasa	20
Gambar 2.5	Skematik dari Sirkuit Elektrokimia (a) Transfer Muatan (b) Kontrol Difusi	23
Gambar 2.6	Skematik Sinusoidal Eksitasi Potensial	23
Gambar 2.7	Nyquist Plot Impedansi untuk Sirkuit Elektrokimia Kontrol Muatan	25
Gambar 2.8	Skema Nyquist-Warburg Plot Untuk Kontrol Difusi.....	26
Gambar 2.9	Spektrum Serapan UV- Visible Jenis Flavonoid.....	33
Gambar 2.10	(a) Laju korosi sebagai Fungsi Konsentrasi Inhibitor (b) Efisiensi Inhibitor sebagai Fungsi Konsentrasi Inhibitor	39
Gambar 2.11	Mekanisme Kerja Inhibitor Korosi pada Pipa Baja.....	40
Gambar 2.12	Mekanisme perlindungan terhadap peningkatan konsentrasi inhibitor katodik	45
Gambar 2.13	Mekanisme perlindungan terhadap peningkatan konsentrasi inhibitor anodik	47
Gambar 2.14	Diagram polarisasi untuk logam baja dalam lingkungan asam dengan dan tanpa inhibitor organik.....	48
Gambar 2.15	Pandan Wangi	51
Gambar 2.16	Struktur kimia beberapa senyawa flavonoid....	53

Gambar 2.17	Struktur kimia senyawa tanin	55
Gambar 3.1	Diagram Alir	57
Gambar 3.2	Spesimen Uji EIS	60
Gambar 3.3	Spesimen Uji <i>Weight loss</i>	60
Gambar 3.4	Ekstrak Daun Pandan Wangi	61
Gambar 3.5	Alat <i>Rotary Evaporator</i>	61
Gambar 3.6	Alat Spektrofotometer UV-Vis	63
Gambar 3.7	Alat Uji AUTOLAB	65
Gambar 3.8	Pengujian <i>Weight Loss</i>	67
Gambar 3.9	Alat Uji FTIR	68
Gambar 4.1	Hasil Spektrum UV-Vis pada Ekstrak Daun Pandan Wangi	73
Gambar 4.2	Grafik Pengurangan Berat Logam pada larutan NaCl 3,5 %	75
Gambar 4.3	Baja API 5L Grade B sebelum perendaman di larutan NaCl 3,5 % (a) Baja API 5L Grade B setelah perendaman di larutan NaCl 3,5 % (b)	76
Gambar 4.4	Grafik Konsentrasi Inhibitor terhadap Laju Korosi pada larutan NaCl 3,5 %	77
Gambar 4.5	Grafik Konsentrasi Inhibitor terhadap Efisiensi Inhibitor pada larutan NaCl 3,5 %	78
Gambar 4.6	Grafik Pengurangan Berat Logam pada larutan H ₂ SO ₄ 1M	79
Gambar 4.7	Baja API 5L Grade B sebelum perendaman di larutan H ₂ SO ₄ 1M (a) Baja API 5L Grade B setelah perendaman di larutan H ₂ SO ₄ 1M (b)	80
Gambar 4.8	Grafik Konsentrasi Inhibitor terhadap Laju Korosi pada larutan H ₂ SO ₄ 1M	81
Gambar 4.9	Grafik Konsentrasi Inhibitor terhadap	

	Efisiensi Inhibitor pada larutan H ₂ SO ₄ 1M	82
Gambar 4.10	Grafik Hasil fitting konsentrasi inhibitor 0 mg/L dan 300 mg/L pada larutan H ₂ SO ₄ 1M.....	85
Gambar 4.11	Grafik Hasil fitting konsentrasi inhibitor 0 mg/L dan 300 mg/L pada larutan NaCl 3,5 %	85
Gambar 4.12	<i>Hasil Equivalent Circuit</i> konsentrasi inhibitor 0 mg/L dan 500 mg/L pada larutan H ₂ SO ₄ 1M	85
Gambar 4.13	<i>Hasil Equivalent Circuit</i> konsentrasi inhibitor 0 mg/L dan 500 mg/L pada larutan NaCl 3,5%	86
Gambar 4.14	Spektra FTIR ekstrak daun pandan wangi dan baja API 5L grade B setelah perendaman.....	90

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baja merupakan logam yang banyak digunakan dalam kegiatan industri minyak dan gas. Baja banyak digunakan sebagai bahan untuk konstruksi, instalasi, saluran transportasi, dan lain-lain. Jenis baja yang sering digunakan dalam dunia industri adalah baja karbon. Hal ini dikarenakan baja mudah *dimachining* dan harganya relatif murah. Namun penggunaan baja karbon juga memiliki kelemahan, salah satu kelemahan penggunaan baja karbon adalah baja karbon tidak tahan terhadap serangan korosi. Korosi menyerang hampir semua instalasi perpipaan industri minyak dan gas yang berbahan dasar baja karbon.

Korosi adalah degradasi atau penurunan kualitas pada suatu material logam karena bereaksi dengan lingkungan sekitar seperti udara, tanah dan air yang menghasilkan oksida logam atau hasil reaksi lain (Sulistijono, 1999). Korosi merupakan suatu proses degradasi material dan penurunan kualitas suatu material akibat pengaruh reaksi kimia dan elektrokimia dengan lingkungannya (Jones, 1992). Lingkungan yang dapat menyebabkan suatu logam mengalami korosi adalah lingkungan yang mengandung air, lingkungan yang mengandung ion Cl^- , dan lingkungan yang mengandung asam (Tjitro, 2003). Korosi juga bisa didefinisikan sebagai serangan yang merusak logam karena logam bereaksi secara kimia atau elektrokimia dengan lingkungan. Korosi tidak dapat dihilangkan, namun dapat dikendalikan.

Salah satu cara untuk mengendalikan korosi pada baja adalah dengan menggunakan inhibitor korosi. Secara umum inhibitor adalah suatu zat kimia yang dapat menghambat atau memperlambat suatu reaksi kimia. Sedangkan inhibitor korosi adalah suatu zat kimia yang bila ditambahkan kedalam suatu lingkungan, dapat menurunkan laju penyerangan korosi lingkungan itu terhadap suatu logam (Dalimunthe, 2004).



Penggunaan inhibitor korosi merupakan langkah yang paling efektif untuk memproteksi korosi internal dari baja yang digunakan untuk instalasi perpipaan. Secara umum inhibitor korosi dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu inhibitor organik dan inhibitor anorganik. Inhibitor anorganik memiliki inhibisi yang baik terhadap laju korosi namun menimbulkan masalah bagi lingkungan bila terakumulasi, sehingga penggunaan inhibitor organik menjadi pilihan alternatif karena lebih ramah lingkungan (Bentiss dkk., 2004). Inhibitor bekerja dengan cara penyerapan ion atau molekul ke dalam permukaan logam. Selain itu juga bertujuan untuk mengurangi laju korosi dengan mempengaruhi reaksi anodik dan atau katodik, mengurangi laju difusi reaktan ke dalam permukaan logam, serta menaikkan tahanan listrik permukaan logam (Pierre, 2000).

Inhibitor organik adalah inhibitor yang memiliki senyawa organik dengan atom nitrogen, oksigen dan/atau sulfur, senyawa heterosiklik dan elektron. Pengembangan inhibitor organik berbahan dasar alam saat ini lebih diintefasikan sebagai alternatif karena bersifat aman, mudah didapatkan, bersifat *biodegradable*, biaya murah dan ramah lingkungan. Oleh karena itu, dikembangkan suatu inhibitor korosi alternatif yang ramah lingkungan atau lebih dikenal dengan istilah *green inhibitor* (Pandian, 2008). *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 (Hermawan, 2007). Selain itu senyawa organik mengandung heteroatom seperti N,O,P, S, ikatan ganda yang dapat teradsorpsi pada permukaan logam dan mengemblok permukaan yang aktif untuk mengurangi laju korosi.

Oleh karena itu, dalam penelitian kali ini peneliti akan memanfaatkan ekstrak daun pandan wangi yang mengandung senyawa antioksidan diantaranya alkaloid, saponin, flavonoid, tanin, polifenol sebagai inhibitor korosi yang diaplikasikan pada baja karbon API 5L Grade B yang dimana jenis baja ini sering



digunakan di industri minyak dan gas. Sedangkan media yang akan digunakan adalah NaCl 3,5 % dan H₂SO₄ 1 M.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang menjadi kajian dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana efisiensi dari inhibitor daun pandan wangi digunakan dalam inhibitor korosi pada baja API 5L Grade B.
2. Bagaimana mekanisme inhibisi dari inhibitor daun pandan wangi pada baja API 5L Grade B.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini menggunakan baja karbon API 5L grade B dalam media air laut buatan dengan :

1. Komposisi kimia, dimensi, dan kehalusan permukaan tiap spesimen baja karbon API 5L Grade B dianggap homogen.
2. Diasumsikan tidak terjadi perubahan terhadap temperatur, volume larutan, dan pH larutan sepanjang waktu.
3. pH larutan selama proses reaksi elektrokimia dianggap konstan
4. Temperatur larutan selama proses reaksi elektrokimia dianggap konstan
5. Komposisi lain yang terdapat dalam daun pandan wangi dianggap tidak berpengaruh.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk menganalisis efisiensi inhibitor daun pandan wangi terhadap laju korosi pada baja API 5L Grade B di lingkungan NaCl 3,5 % dan H₂SO₄ 1 M



2. Untuk mempelajari mekanisme inhibisi dari inhibitor daun pandan wangi terhadap laju korosi pada baja API 5L Grade B di lingkungan NaCl 3,5 % dan H₂SO₄ 1 M

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memanfaatkan daun pandan wangi sebagai alternatif inhibitor yang digunakan pada baja karbon yang digunakan pada industri.
2. Memberikan motivasi bagi peneliti lainnya agar terus menggali potensi senyawa-senyawa organik dari bahan alam khususnya di Indonesia yang mempunyai kelimpahan sumber daya alam



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Korosi

Korosi dapat didefinisikan sebagai kerusakan atau kemunduran sifat-sifat yang dimiliki oleh material karena bereaksi dengan lingkungan di sekitarnya (Fontana,1987). 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 (Jones,1992).

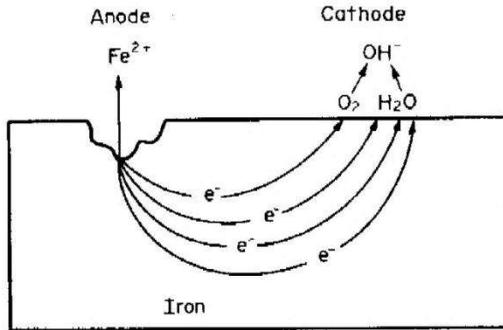
Menurut jenis reaksinya korosi dibagi menjadi dua yaitu korosi elektrokimia biasa disebut korosi basah dan korosi kimia atau biasanya dikenal dengan korosi kering. Secara sederhana kedua jenis korosi tersebut dapat dilihat dengan ada tidaknya uap air. Korosi elektrokimia atau korosi basah terjadi apabila reaksinya berlangsung dalam suatu elektrolit dan terjadi perpindahan elektron antara material yang bersangkutan. Korosi kimia atau korosi kering terjadi melalui reaksi kimia secara murni yang terjadi tanpa adanya elektrolit atau bisa dikatakan tidak melibatkan air. Korosi jenis ini biasa terjadi dalam temperatur tinggi atau dalam keadaan kering.

2.2 Mekanisme Terjadinya Korosi

Korosi logam didefinisikan sebagai peristiwa kerusakan atau penurunan mutu logam akibat berinteraksi dengan lingkungan korosif. Korosi pada logam merupakan proses reaksi reduksi dan oksidasi kimia atau elektrokimia yang menyebabkan transfer elektron dari logam ke lingkungan. Pada dasarnya proses korosi adalah pelarutan logam oleh adanya reaksi permukaan logam dengan zat-zat kimia yang terkandung dalam lingkungan logam. Korosi pada logam melibatkan reaksi elektrokimia yaitu reaksi pelepasan elektron (reaksi oksidasi) dan penerima elektron



(reaksi reduksi), dimana korosi dapat terjadi jika berada dalam suatu sel elektrolitik.



Gambar 2.1 Mekanisme Korosi (Tretthewey, 1991)

Menurut Sulistijino,2000, korosi akan terjadi bila terdapat empat komponen, yaitu :

- Anoda

Anoda merupakan elektroda yang terkorosi atau yang mengalami reaksi oksidasi (melepaskan elektron)



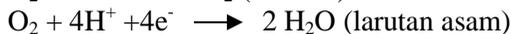
- Katoda

Merupakan elektroda yang mengalami reaksi proteksi (menerima elektron). Reaksi yang umumnya terjadi di katoda adalah

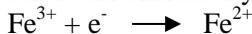
• Evolusi H_2 dari larutan asam atau netral :



• Reduksi oksigen pada larutan asam atau basa dan netral :



• Reduksi dari oksidator yang terlarut pada reaksi redox seperti





- Larutan elektrolit sebagai media penghantar listrik
Untuk mendukung reaksi oksidasi dan reduksi dan melengkapi sirkuit elektrik, antara anoda dan katoda dilengkapi dengan elektrolit. Elektrolit mampu menghantarkan listrik karena mengandung ion-ion yang mampu menghantarkan *elektroquivalen force* sehingga reaksi dapat berlangsung. Semakin banyak kandungan ion-ion dalam elektrolit, maka semakin cepat juga elektrolit menghantarkan arus listrik.
- Adanya kontak metalik antar anoda dan katoda sehingga elektron dapat mengalir dari anoda menuju katoda

2.3 Baja API 5L

API adalah kependekan dari *American Petroleum Institute*, yaitu standarisasi yang digunakan sebagai acuan untuk industri perminyakan dan gas bumi. Baja API 5L ini sering diaplikasikan pada pipa untuk industri minyak dan gas. Pipa adalah istilah untuk benda silinder yang berlubang dan digunakan untuk memindahkan zat hasil pemrosesan seperti cairan, gas, uap, zat padat yang dicairkan maupun serbuk halus. Material yang digunakan sebagai pipa sangat banyak diantaranya adalah: beton cor, gelas, timbal, kuningan (brass), tembaga, plastik, aluminium, besi tuang, baja karbon, dan baja paduan. Pemilihan material pipa akan sangat membingungkan sehingga perlu pemahaman mendalam untuk apa saluran/sistem pipa itu dibuat, mengingat setiap material memiliki keterbatasan dalam setiap aplikasinya. Material yang paling umum digunakan adalah pipa baja karbon (Jaya,2011).

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 (ASTM Handbook, 2005).

Pipa yang digunakan di lapangan minyak dan gas adalah jenis pipa baja karbon rendah dengan produk standar API (American Petroelum Institute) spesifikasi 5L. Termasuk dalam jenis pipa ini adalah jenis pipa tanpa las (seamless pipe) dan jenis pipa las (welded pipe). Jenis kelas API 5L ini adalah A25, A, B, X42, X46, X52, X56, X60, X65, dan X70. Dimana komposisi kimia dan sifat-sifat mekanisnya dari tiap jenis berbeda. Tujuan dari jenis spesifikasi ini adalah untuk menyediakan standar yang cocok bagi pipa untuk digunakan dalam transmisi gas, air, dan minyak baik bagi perusahaan minyak maupun gas alam (Jaya,2011).

Tabel 2.1 Sifat Mekanis dari berbagai Baja API 5L (API Specification 5L, Forty-Third Edition, 2004)

Grade	Yield Strength (MPa)	Mechanica Strength (MPa)
A25	172	310
A	207	331
B	241	414
X42	290	414
X46	317	434
X52	359	455
X56	386	490
X60	414	517
X65	448	531
X70	483	565



Tabel 2.2 Komposisi Kimia Pipa API 5 L Grade B
(Sumber: *Specification for Line Pipe*)

Elemen	Kadar (%)
<i>Carbon</i>	0.22
<i>Mangan</i>	1.2
<i>Phospor</i>	0.025
<i>Sulfur</i>	0.015
<i>Titanium</i>	0.04

Pengaruh unsur yang terdapat dalam pipa API 5L grade B dan pipa baja pada umumnya adalah sebagai berikut (Adyana D. N, 2008):

1. Carbon (C)

- Merupakan unsur padu yang paling efektif dan paling murah untuk menguatkan baja
- Merupakan pembentuk austenite dan karbida yang sangat kuat
- Dapat menaikkan sifat mampu dikeraskan (*hardenability*)

2. Mangan (Mn)

- Untuk mengikat sulfur membentuk Mangan Sulfida (MnS) sehingga dapat mengurangi efek *hot short cracking* (retak akibat getas pada suhu tinggi) karena MnS memiliki titik cair yang lebih tinggi dibandingkan FeS
- Dapat mengikat Carbon (C) membentuk karbida mangan (Mn₃C) yang dapat menaikkan kekuatan dan ketangguhan baja
- Dapat memperbaiki sifat pengerjaan panas
- Dapat berfungsi sebagai bahan *deoxidizer* dalam proses peleburan baja

3. Phosphor (P)

- Seperti halnya unsur S, unsur P juga tidak dikehendaki dalam baja dan pabrik pembuat baja selalu berusaha untuk menurunkan kadar P dimana batasan kadar P didalam baja biasanya sama seperti kadar S.
- Kadar P yang rendah dapat menaikkan kuat tarik baja tapi memberik pengaruh tidak baik terhadap proses pembentukan dingin (*cold forming*) karena sifatnya yang getas



- Unsur P dapat menurunkan ketangguhan terutama pada suhu rendah (*impact energy*)

4. Sulfur (S)

- Semua baja komersial selalu mengandung unsure S sebagai *trace element* dan masuk kedalam baja ketika proses peleburan (melalui bahan bakar kokas atau bijih besi)

- Unsur S merupakan unsure yang tidak diinginkan ditinjau dari aspek las karena unsur S mudah mengikat unsur Fe yang akan membentuk FeS yang memiliki titik cair lebih rendah dibanding titik cair baja sehingga menimbulkan efek *hot short cracking* (retak dalam keadaan panas)

5. Titanium (Ti)

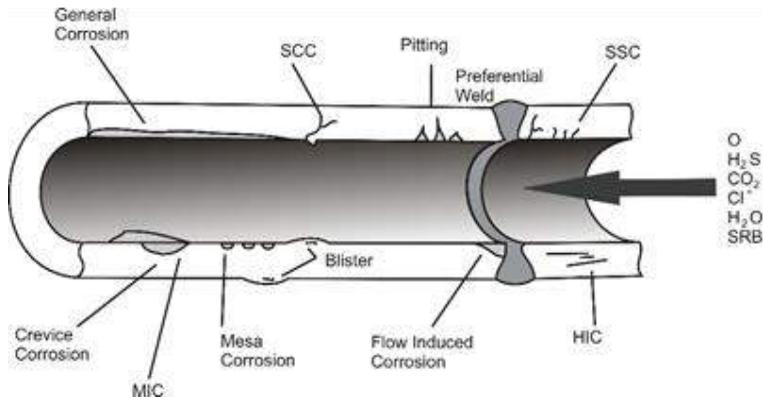
- Pembentuk karbida yang sangat kuat tetapi jumlahnya harus dibatasi karena akan mengikat karbon sehingga dapat mengurangi *hardenability*

- Sebagai penyetabil karbida sehingga dapat mengurangi efek kepekaan pada baja stainless terutama didaerah sambungan las

2.4 Jenis-Jenis Korosi yang terjadi pada *Pipeline* Industri Minyak dan Gas

Korosi dapat menyebabkan penurunan kualitas suatu material akibat adanya reaksi dengan lingkungan yang biasanya terjadi di sistem perpipaan industri minyak dan gas. Minyak dan gas diambil dari dalam bumi, baik yang berlokasi di darat maupun lepas pantai, kemudian disalurkan melalui pipa-pipa menuju tempat pengujian. Proses awal ini disebut dengan *gathering system*. Pada proses awal ini semua komponen dalam perut bumi terambil, sehingga minyak, air, gas, karbondioksida, senyawa-senyawa garam, sulfur, dan pasir tercampur ikut terbawa. Hal ini disebabkan pipa minyak bumi membawa komponen-komponen tersebut mudah terkorosi internal.

Beberapa bentuk korosi internal yang dapat terjadi didalam suatu pipa yang berkaitan dengan lingkungan produksi minyak dan gas dapat dilihat pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Korosi yang terjadi pada *pipeline system* (Roberge,2000)

Jenis-jenis korosi yang sering terjadi di internal *pipeline* dalam industry minyak dan gas adalah :

a. General Corrosion (korosi merata)

Adalah korosi yang terjadi pada permukaan logam (Jones, 1992). Jenis korosi ini mudah diprediksi, karena kecepatan atau laju korosi di setiap permukaan sama. Umumnya logam yang mengalami korosi ini akan terjadi pengurangan dimensi yang relatif besar per satuan waktu. Korosi ini terjadi saat seluruh bagian permukaan logam mengalami kondisi yang sama dibawah lingkungan korosif. Pada umumnya, *general corrosion* biasa dicegah dengan melapisi permukaannya seperti coating. Tujuannya ialah untuk mengurangi interaksi logam dengan lingkungannya.

b. Crevice Corrosion (korosi celah)

Merupakan bentuk korosi dimana korosi terjadi akibat adanya celah antara dua logam yang memiliki kadar oksigen berbeda dengan area luarnya. , Langkah-langkah terjadinya suatu korosi celah adalah sebagai berikut (Trethewey, 1991) :



1. Mula-mula elektrolit diandaikan memiliki komposisi yang seragam. Korosi terjadi secara perlahan di seluruh permukaan logam yang terbuka, baik di dalam maupun di luar celah. Dalam kondisi demikian pembangkitan ion-ion logam positif diimbangi secara elektrostatis oleh pembentukan ion-ion hidroksil negatif.
 2. Pengambilan oksigen yang terlarut menyebabkan lebih banyak lagi difusi oksigen dari permukaan elektrolit yang kontak langsung dengan atmosfer. Oksigen di permukaan logam yang berhadapan dengan sebagian besar elektrolit lebih mudah dikonsumsi ketimbang yang terdapat di dalam celah. Di dalam celah terjadi kekurangan oksigen sehingga menghalangi proses katodik sehingga pembangkitan ion-ion hidroksil yang negatif dari tempat yang terkurung juga ikut berkurang.
 3. Produksi ion-ion positif yang berlebihan dalam celah menyebabkan ion-ion negatif dari luar celah terdifusi ke dalam celah guna mempertahankan keadaan energi potensial yang minimum. Dengan hadirnya klorida, agaknya terbentuk ion-ion kompleks antara klorida, ion-ion logam dan molekul-molekul air. Para ahli yakin bahwa ion-ion mengalami hidrolisis (reaksi dengan air), yang menghasilkan produk korosi, dan ion-ion hidrogen dapat mengurangi pH.
- c. **Pitting Corrosion (korosi sumuran)**
Merupakan jenis korosi yang terjadi karena pecahnya lapisan pasif di satu titik akibat dari lingkungan korosif, seperti ion Cl^- pada air laut. Ion Cl^- akan terkonsentrasi pada permukaan pasif sehingga terjadi pitting terlebih dahulu, sehingga pitting akan menjadi semakin dalam. Akibat pecahnya lapisan pasif gas



hydrogen dan oksigen akan mudah masuk dan mengkorosikan logam tersebut. Hasil korosi yang tumbuh di permukaan lubang dan di sekitarnya membentuk keropeng dan mengisolasi elektrolit di dalam lubang dari elektrolit di luarnya. Proses autokatalitik yang terjadi dibantu oleh meningkatnya konsentrasi ion klorida di dalam lubang (Shreir, 1976).

d. *Stress Corrosion Cracking (SCC)*

Bentuk korosi dimana korosi terjadi karena adanya tegangan akibat beban tarik pada suatu logam di lingkungan korosif. Korosi ini sangat berbahaya karena sebagian besar baja sangat mudah dipengaruhi oleh jenis ini. Ciri-ciri utama peretakan korosi tegangan adalah sebagai berikut (Brown, 1972):

- Tegangan tarik harus ada. SCC merupakan hasil kerja sama antara tegangan dan korosi, kalau salah satu unsur tidak ada, masalah tidak akan timbul. Tegangan mungkin saja terjadi ketika komponen sedang beroperasi tetapi mungkin juga komponen telah memilikinya sejak tahapan fabrikasi atau instalasi.
- Paduan lebih rentan dibandingkan dengan logam murni, meskipun terdapat beberapa pengecualian, misalnya tembaga.
- Peretakan pada logam tertentu yang teramati hanya yang disebabkan oleh sedikit saja unsur kimia di lingkungannya, dan unsur itu tidak perlu dalam konsentrasi yang besar.



- e. **Hydrogen Induced Cracking (HIC)**
Bentuk korosi dimana korosi terjadi karena adanya tegangan internal pada suatu material karena adanya molekul-molekul gas hydrogen yang berdifusi ke dalam struktur atom logam logam dan dapat mengakibatkan hydrogen blistering, hydrogen induce cracking, dan akan mengurangi keuletan jika ditinjau dari aspek metalurgi (Jones, 1992).
- f. **Microbial Induced Corrosion (MIC)**
Korosi yang diakibatkan oleh aktivitas bakteri yang mereduksi ion sulfat yang terlarut menjadi ion sulfid. Ion sulfid yang dihasilkan inilah yang akan menyebabkan korosi lokal dengan laju korosi yang relatif tinggi. Bakteri yang sering dijumpai adalah *Sulfate Reduction Bacteria (SRB)*.
- g. **Sulfide Stress Cracking (SSC)**
Adalah retak logam yang melibatkan penggetas logam dengan atom hidrogen yang dihasilkan oleh korosi asam pada permukaan logam.

2.5 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 (Jones, 1997).

2.5.1 Pengujian Korosi

2.5.1.1 Metode Pengurangan Berat

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



Kupon 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 (Jones, 1992).

Laju korosi umumnya dinyatakan dengan satuan *mils per year* (mpy) (Fontana, 1987). Satu *mils* setara dengan 0,001 inch. Laju korosi dapat dirumuskan sebagai berikut : (Jones, 1992)

$$mpy = 534 \frac{W}{DAT} \dots\dots\dots(2.1)$$

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)

Tabel 2.3 Konstanta Laju Korosi (ASTM, 2005)

Satuan Laju Korosi	Konstanta (K)
mils per year (mpy)	3.45 x 10 ⁶
Inches per year (ipy)	3.45 x 10 ³
Inches per month (ipm)	2.87 x 10 ⁴
Millimeters per year (mm/y)	8.76 x 10 ⁷
Micrometers per year (µm/y)	8.76 x 10 ⁴
Picometers per second (pm/s)	2.78 x 10 ⁶



Gram per square meter per hour ($\text{g/m}^2 \cdot \text{h}$)	$1.00 \times 10^4 \times \text{D}^A$
Miligrams per square decimeter per day (mdd)	$2.40 \times 10^6 \times \text{D}^A$
Micrograms per square meter per second ($\mu\text{g/m}^2 \cdot \text{s}$)	$2.78 \times 10^6 \times \text{D}^A$

2.5.1.2 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.

Konsep impedansi listrik pertama-kali diperkenalkan oleh Oliver Heaviside pada tahun 1880 dan tak lama kemudian telah dikembangkan ke dalam bentuk diagram vektor dengan representasi kompleks oleh A.E.Kennelly dan C.P.Steinmets. Impedansi merupakan sebuah konsep yang lebih umum dari resistansi, karena diperhitungkan juga mengenai perbedaan fase antara arus dan tegangan. Oleh karena itu, impedansi dapat didefinisikan sebagai nilai resistansi kompleks dari suatu rangkaian listrik sebagai respon terhadap tegangan listrik AC yang diberikan pada rangkaian tersebut.

Spektroskopi impedansi merupakan peralatan analitik yang populer didalam penelitian dan pengembangan ilmu material, karena alat ini memberikan pengukuran listrik yang relatif sederhana secara otomatis dan hasilnya sering kali dihubungkan dengan banyak variabel-variabel material yang kompleks: mulai dari transport massa, laju reaksi kimia, korosi, sifat dielektrik, cacat, mikrostruktur dan pengaruh komposisi pada konduktansi dari zat padat (Syahril,2012).

Data impedansi eksperimen Z dapat diwakili oleh impedansi rangkaian ekivalen (model rangkaian listrik) Z yang terdiri dari resistor-resistor ideal, kapasitor-kapasitor ideal, boleh jadi juga induktansi-induktansi ideal, dan kemungkinan variasi distribusi rangkaian. Untuk menjadi berguna, elemenelemen



didalam model ini harus memiliki dasar fisis dari sistem. Didalam rangkaian tersebut, resistansi menyatakan aliran konduktif, dan resistor didalam rangkaian dapat dianggap sebagai konduktivitas bulk dari material atau bahkan mekanisme yang terkait dengan suatu elektroda. Sama juga halnya dengan kapasitansi dan induktansi yang secara umum terkait dengan daerah-daerah polarisasi muatan ruang dan proses adsorpsi serta elektrokristalisasi khusus pada suatu elektroda (Syahril,2012). Didalam tabel 2.4 diperlihatkan elemen-elemen listrik yang umum dipakai didalam pemodelan rangkaian listrik ekivalen.

Tabel 2.4 Elemen rangkaian terhadap nilai impedansi (Basic EIS Princeton, <http://www.princetonappliedresearch.com>)

Circuit Element	Impedance Equation
	$Z = R + 0j$ $j = \sqrt{-1}$
	$Z = 0 - j / \omega C$ $\omega = 2\pi f$
	$Z = 0 + j \omega L$ $\omega = 2\pi f$
	$Z = \frac{R}{1+\omega^2 C^2 R^2} - \frac{j\omega CR^2}{1+\omega^2 C^2 R^2}$

Disamping kelebihan yang dimiliki metode spektroskopi impedansi, metode ini juga memiliki kekurangan terutama yang



terkait dengan adanya kemungkinan interpretasi dua arti. Kesulitan terpenting dari analisa berdasarkan rangkaian ekuivalen adalah elemen-elemen rangkaian ideal menggambarkan sifat konstanta yang tak diinginkan. Bila keadaanya demikian, elemen-elemen rangkaian ideal tidak cukup untuk menggambarkan suatu respon listrik. Oleh karenanya, sering dijumpai impedansi eksperimen Z yang tidak dapat dimodelkan dengan baik oleh impedansi rangkaian ekuivalen yang hanya memiliki sejumlah elemen-elemen yang terbatas. Untuk mengatasi kesulitan ini digunakan elemenelemen impedansi yang terdistribusi - contohnya, constant-phase elements (CPEs)- didalam rangkaian ekuivalen, sehingga diperoleh fitting data impedansi yang lebih baik.

Metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* adalah metode yang menggunakan prinsip polarisasi dimana sangat berguna untuk mengetahui karakteristik logam yang terkorosi. Karakterisasi logam meliputi *polarization resistance* (R_p), *corrosion rate* (CR) dan mekanisme elektrokimia. Metode ini menganalisis respon suatu elektroda terkorosi terhadap suatu sinyal potensial AC pada amplitudo rendah (± 10 mV) dari rentang frekuensi yang sangat lebar. Hasil dari pengujian ini adalah parameter kinetika elektrokimia berkaitan dengan unsur-unsur listrik seperti tahanan R , kapasitansi, C , dan induktansi, L .

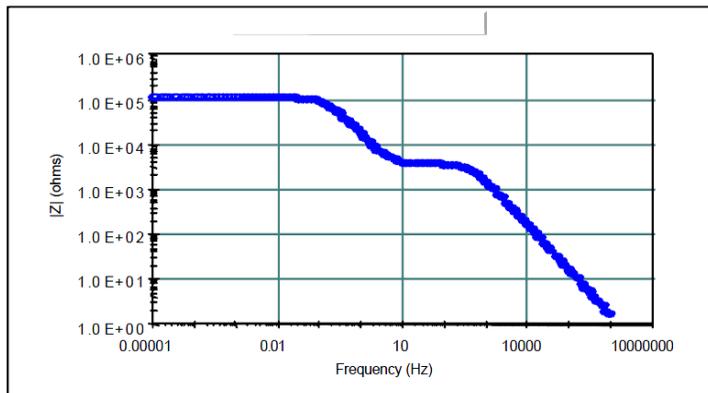
Tahanan listrik dalam EIS dinyatakan dengan impedansi (Z). Impedansi adalah ukuran kemampuan suatu rangkaian dalam menahan arus listrik. Dalam impedansi, sinyal potensial dan arus AC berada dalam fasa yang berbeda, dan nilainya dipengaruhi oleh frekuensi. Impedansi elektrokimia diukur melalui potensial AC yang diterapkan pada sel elektrokimia untuk mengukur arus dengan asumsi bahwa potensial yang dibangkitkan sinusoidal (Gamry, 2005).

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}). Hasil spektroskopi impedansi pada

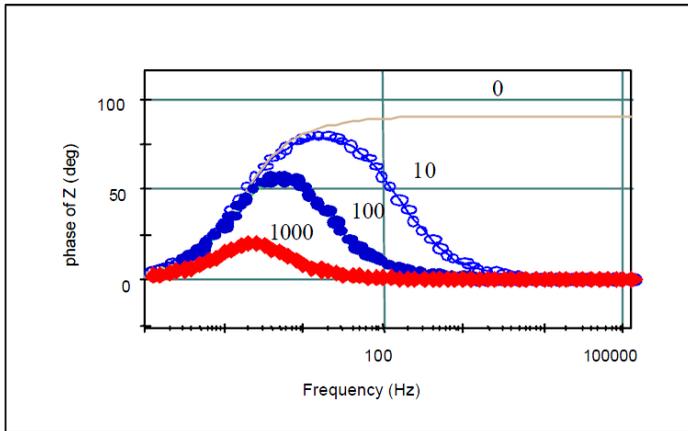


umumnya ditampilkan ke dalam Nyquist plot dan Bode Plot. Nyquist plot merupakan grafik yang menampilkan hubungan antara impedansi real dan impedansi imajiner. Impedansi real diplot pada absis (sumbu-x), sedangkan impedansi imajiner diplot pada ordinat (sumbu-y). Nyquist plot juga sering disebut dengan Cole-cole plot.

Format bode plot memudahkan untuk menyelidiki nilai impedansi absolut ($|Z|$), pergeseran fasa (Φ), dari suatu gejala impedansi sebagai fungsi dari frekuensi. Dikarenakan frekuensi muncul pada sumbu aksis, maka terlihat bagaimana pengaruh impedansi bergantung terhadap frekuensi sebagaimana kasus dari kapasitor.



Gambar 2.3 Tampilan grafik Bode Plot (Basic EIS Princeton, <http://www.princetonappliedresearch.com>)



Gambar 2.4 Grafik frekuensi terhadap Perubahan sudut fasa (Basic EIS Princeton, <http://www.princetonappliedresearch.com>)

Secara umum bode plot memberikan deskripsi secara jelas dari suatu sistem elektrokimia yang memiliki perilaku ketergantungan terhadap frekuensi, di mana nilai frekuensi muncul secara eksplisit.

Bode plot juga dapat memberikan informasi mengenai interaksi konduktivitas pada grain dan daerah batas grain terhadap perlakuan panas baik secara self-heatin, sintering maupun secara annealing yang optimum dari bahan yang diujikan. Mikrostruktur material terdiri dari grain dan grain boundary yang merupakan mekanisme konduksi dalam material tersebut. Bagian yang tidak stabil adalah grain boundary sehingga saat terjadi pemanasan bagian yang lebih sensitive untuk merespon adalah daerah grain boundary ,disamping itu efek pemanasan juga berpengaruh pada daerah frekuensi rendah, sehingga disimpulkan bahwa pada daerah frekuensi ini spetrum impedansi merupakan hasil dari sumbangan konduksi loistrik pada grain boundary (Syahril,2012).

Pada Nyquist plot menggambarkan hubungan antara impedansi nyatas vs impedansi imajiner. Pada kondisi larutan turbulen, proses korosi akan cenderung dikontrol oleh proses



aktivasi atau proses perpindahan muatan yang ditunjukkan dengan adanya nilai tahanan polarisasi yaitu R_p , sedangkan nilai tahanan larutan ditunjukkan oleh R_s .

EIS bekerja berdasarkan *transient response* terhadap sirkuit yang setara dengan antarmuka elektroda/ larutan. Respon yang terjadi dianalisis melalui *transfer function* berdasarkan eksitasi potensial dengan amplitudo kecil yang diterapkan dengan sinyal yang bervariasi. Pada metode impedansi, gangguan gelombang sinus pada amplitudo kecil diaplikasikan pada sistem korosi dan dimodelkan dengan sirkuit setara gambar 2.19 untuk menentukan mekanisme korosi dan tahanan polarisasi. EIS bekerja berdasarkan respon terhadap sirkuit yang setara untuk *interface* elektroda/larutan. Jadi, persamaan sebuah *transfer function* yang kompleks adalah:

$$T = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} \dots\dots\dots(2.2)$$

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}).

$$Z(\omega) = \frac{E(t)}{I(t)} = Z'(\omega) + jZ''(\omega) \dots\dots\dots(2.3)$$



$$Y(\omega) = \frac{I(t)}{E(t)} = Y'(\omega) + jY''(\omega) \dots \dots \dots (2.4)$$

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 = $-1^{1/2}$

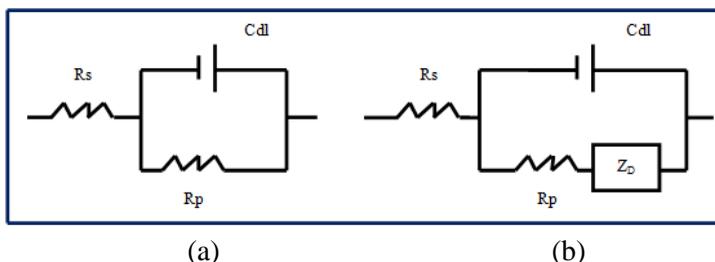
j^2 = -1

Disamping itu, hukum ohm dapat dilihat berdasarkan imposisi arus yang mengacu standart ASTM G-106 yaitu sebagai berikut :

$$E = IR \quad \text{untuk DC, } f = 0 \text{ Hz} \dots \dots \dots (2.5)$$

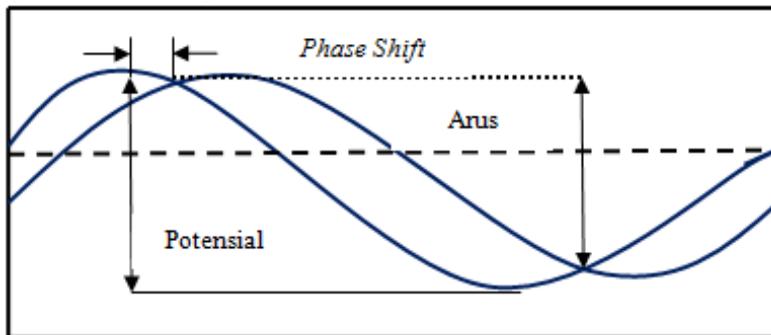
$$E = IZ(\omega)I \quad \text{untuk AC, } f \neq 0 \text{ Hz} \dots \dots \dots (2.6)$$

$IZ(\omega)I$ adalah besarnya impedansi yang mengandung sebuah sirkuit yang setara, seperti kapasitor dan induktor. Kapasitor berfungsi untuk menghambat aliran arus. Dalam memodelkan sebuah sistem elektrokimia sebagai sebuah sirkuit elektrokimia, potensial berupa gelombang diterapkan pada sirkuit dan tanggapan arus berupa signal frekuensi menghasilkan data impedansi. Sehingga data impedansi berkenaan dengan variasi dalam bentuk amplitudo potensial dan arus, sudut pergeseran gelombang (*phase shift angle*). Teknik ini digunakan sebagai pendekatan untuk menganalisa sifat korosi pada logam. Gambar 2.5 menunjukkan dua model skematik dari sirkuit elektrokimia.



Gambar 2.5 Skematik dari Sirkuit Elektrokimia (a) Transfer Muatan (b) Kontrol Difusi (Perez, 2004)

Untuk skema (a) yang diperlukan dalam sirkuit hanya tahanan larutan (R_s), tahanan polarisasi (R_p), dan kapasitor (C_{dl}). Sebaliknya jika sistem elektrokimia adalah berupa kontrol difusi, impedansi difusi (Z_D) dimasukkan ke dalam sirkuit. Eksitasi potensial dan respon arus secara skematik ditunjukkan pada gambar 2.6 sebagai eksitasi sinusoidal.



Gambar 2.6 Skematik Sinusoidal Eksitasi Potensial (Perez, 2004)

Jika sinusoidal eksitasi potensial diaplikasikan pada antar muka elektroda/larutan, maka potensial, arus, dan impedansi dapat diprediksi berdasarkan permodelan matematika yang dikembangkan oleh Bard dan Faulkner (1980):



$$E(t) = I(t) Z(\omega) = E_0 \sin(\omega t) \dots\dots\dots(2.7)$$

$$I(t) = I_0 \sin(\omega t + \Theta) \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

$E_0, I_0 =$ konstan

$\Theta =$ Sudut pergeseran gelombang $E(t)$ dan $I(t)$

$\omega = 2\pi f$ dan $10\text{Hz} \leq f \leq 100 \text{ Hz}$

Kemudian untuk menghitung besarnya $|Z(\omega)|$ adalah:

$$|Z(\omega)| = \sqrt{[Z'(\omega)]^2 + [Z''(\omega)]^2} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dan sudut pergeseran gelombang didefinisikan sebagai :

$$\Theta = \tan^{-1} [Z''(\omega) / Z'(\omega)] \dots\dots\dots(2.10)$$

Karakteristik signal Ac pada sirkuit elektrokimia pada gambar 2.3 (b) dijelaskan melalui impedansi dalam bentuk :

$$Z(\omega) = [R_s + \frac{R_p}{1 - \omega^2 C^2 R_p^2}] - j [\frac{\omega C R_p^2}{1 - \omega^2 C^2 R_p^2}] \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana C adalah kapasitansi antarmuka sebuah kapasitansi lapis ganda pada permukaan elektroda (Farad/cm^2). Untuk amplitudo frekuensi rendah dan tinggi, persamaan 2.11 menghasilkan :

$$Z(\omega)_o = R_s + R_p, \omega = 0 \dots\dots\dots(2.12)$$

$$Z(\omega)_- = R_s, \omega = \infty \dots\dots\dots(2.13)$$

Mengkombinasikan persamaan (2.12) dan (2.13) sehingga menghasilkan resistansi polarisasi sebagai berikut:

$$R_p = Z(\omega)_o - R_s = Z(\omega)_o - Z(\omega)_- \dots\dots\dots(2.14)$$

Menggabungkan persamaan polarisasi resistansi untuk polarisasi linier dan persamaan (2.14) akan menghasilkan rapat arus dalam hubungannya dengan impedansi :

$$R_p = \frac{\beta_a \beta_c}{2,303 I_{corr} (\beta_a + \beta_c)} = \frac{\beta}{I_{corr}} \dots\dots\dots(2.15)$$



$$I_{corr} = \frac{\beta}{Z(\omega)_o - Z(\omega)_{\sim}} \dots\dots\dots(2.16)$$

Menggunakan hukum faraday, persamaan (2.16) menjadi:

$$\text{Laju Korosi} = \frac{\beta A \omega}{[Z(\omega)_o - Z(\omega)_{\sim}] Z F \rho} \dots\dots\dots(2.17)$$

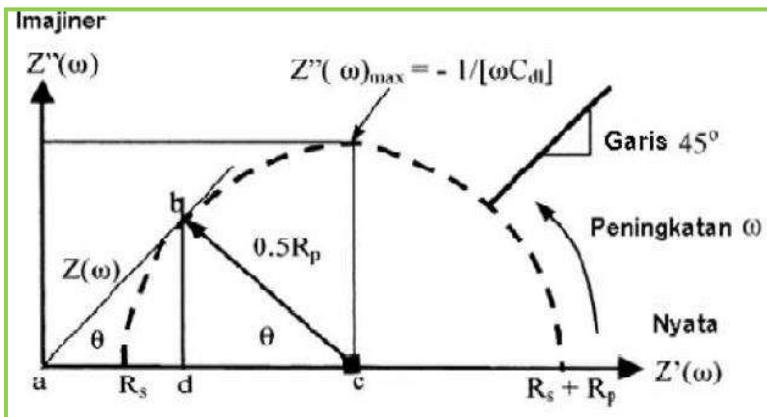
Analisa lanjutan pada persamaan (2.11) bersama dengan persamaan (2.6) akan menghasilkan persamaan impedansi lingkaran untuk mekanisme kontrol muatan:

$$[Z'(\omega) - (R_s + 1/2 R_p)]^2 + [Z''(\omega)]^2 = [1/2 R_p]^2 \dots\dots\dots(2.18)$$

Geometri dari persamaan (2.18) secara skematik ditunjukkan pada gambar 2.7 dengan radius $R_p/2$. Gambar ini dikenal dengan Nyquist Plot, dimana sudut pergeseran gelombang (*phase shift angle*) dan resistansi polarisasi (*polarization resistance*) menjadi :

$$\tan(\Theta) = \frac{|Z(\omega)|}{R_p/2} \dots\dots\dots(2.19)$$

$$R_p = \frac{2|Z(\omega)|}{\tan(\theta)} \dots\dots\dots(2.20)$$



Gambar 2.7 Nyquist Plot Impedansi untuk Sirkuit Elektrokimia Kontrol Muatan (Gamry, 2005)

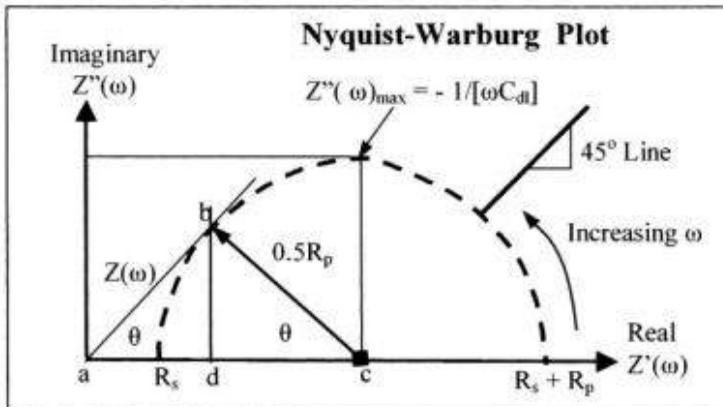


Selanjutnya kapasitansi lapis ganda dapat dihitung dengan menggunakan ekspresi berikut ini:

$$C_{dl} = 1 / [\omega R_p] \dots\dots\dots(2.21)$$

Selain Nyquist Plot, terdapat Bode plot yang menunjukkan efek dari frekuensi angular pada impedansi dan *phase shift angle*.

Ketika proses elektrokimia dikontrol oleh difusi atau adsorpsi lapisan, sistem elektrokimia dapat dimodelkan dengan menggunakan sirkuit pada gambar 2.5 (b). Pada kasus ini, difusi impedansi (Z_D) menyangkut rangkaian seri dan diketahui sebagai impedansi Warburg. Sebagai catatan bahwa Z_D dan R_p tersambung secara seri. Berikut ini adalah Nyquist-Warburg Plot yang ideal.



Gambar 2.8 Skema Nyquist-Warburg Plot Untuk Kontrol Difusi (Perez, 2004)

Interpretasi gambar 2.8 mengindikasikan bahwa pada sudut 45° berhubungan dengan frekuensi angular yang rendah. Pada kasus ini kinetika dari sistem elektrokimia dibatasi oleh proses kontrol difusi (polarisasi konsentrasi).



2.5.1.3 *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 μm sampai 25 μm . 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. (Pramana,2012)

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). Posisi serapan dalam spectra IR dinyatakan sebagai *wavenumber* atau frekuensi dengan unit dinyatakan dalam cm^{-1} . Sedangkan intensitas serapan dinyatakan salah satunya dengan *transmittance* (T) atau *absorbance* (A). *Transmittance* adalah perbandingan dari daya radiasi yang ditransmisikan oleh sampel menuju ke daya radiasi yang terjadi pada sampel. *Absorbance* adalah logaritma yang sesuai dengan *transmittance*; $A = \log_{10}(1/T)$.

FTIR merupakan salah satu alat yang dipakai untuk mengidentifikasi senyawa, baik alami maupun buatan. Dalam FTIR, dua molekul senyawa dengan struktur kimia yang berbeda memiliki spektrum inframerah yang juga berbeda. Hal tersebut disebabkan oleh perbedaan jenis ikatan dan frekuensi vibrasi. Meskipun jenis ikatan sama, namun jenis senyawa berbeda,



frekuensi vibrasi yang dihasilkan juga berbeda, sehingga spektrum inframerah pada FTIR merupakan sidik jari dari suatu molekul.

Jika sinar inframerah dilewatkan melalui sampel senyawa organik, maka terdapat sejumlah frekuensi yang diserap dan ada yang diteruskan atau ditransmisikan. Serapan cahaya oleh molekul tergantung pada struktur elektronik dari molekul tersebut.

Hasil analisa dari FTIR adalah sebuah grafik absorbansi yang terdiri dari nilai absorbansi pada sumbu Y dan bilangan gelombang cm^{-1} atau frekuensi pada sumbu X. Analisis gugus fungsi suatu sampel dilakukan dengan membandingkan pita absorbansi yang terbentuk pada spektrum inframerah (Azzis,2012).

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. (Silverstein dkk, 2005).

Spektroskopi infra merah (IR) dapat digunakan untuk karakterisasi ikatan kimia. Penentuan karakterisasi ikatan yang terdapat dalam suatu sampel dilakukan dengan cara melewatkan radiasi infra merah dengan rentangan panjang gelombang tertentu pada sampel. Pita-pita serapan yang dihasilkan adalah khas untuk setiap senyawa sehingga dapat digunakan untuk identifikasi kualitatif dari suatu senyawa organik berdasarkan jenis vibrasi dan rotasi yang dihasilkan.

Interpretasi spectrum IR dibagi menjadi 3 daerah yaitu :

- a. $4000\text{-}1300\text{ cm}^{-1}$ merupakan daerah gugus fungsi
- b. $1300\text{-}910\text{ cm}^{-1}$ merupakan daerah sidik jari yang unik untuk setiap senyawa
- c. $910\text{-}650\text{ cm}^{-1}$ merupakan daerah munculnya pita aromatik.



Daerah yang paling banyak digunakan untuk berbagai analisis molekul adalah daerah infrared pertengahan ($400\text{--}4000\text{cm}^{-1}$), karena daerah tersebut cocok untuk mempelajari energi vibrasi dalam molekul. Identifikasi suatu senyawa organik atau anorganik, baik dalam bentuk padat, cair, maupun gas dapat dideteksi melalui metode FTIR (Prayogha, 2012).

Molekul memiliki dua tipe vibrasi/ getaran yaitu regang dan tekuk. getaran regang adalah gerakan secara berirama (rhythmical) sepanjang sumbu ikat, seperti adanya jarak antar atom yang naik atau turun. getaran tekuk mungkin terdiri dari perubahan sudut ikatan antara ikatan dengan atom pada umumnya atau pergerakan dari gugus atom terhadap beda molekul tanpa adanya pergerakan dari atom dalam gugus terhadap atom lain. Frekuensi dari regang dapat diperkirakan dengan menggunakan hukum hooke. Perkiraan perhitungan frekuensi regang berdasarkan hokum hooke dapat dilihat pada tabel 2.5.

Tabel 2.5 Daerah absorpsi IR menggunakan hukum hooke (Silverstein, et al., 2005)

Bond Type	Force Constant f in dyne/cm	Absorption Region (cm^{-1})	
		Calculated	Observed
C—O	5.0×10^5	1113	1300–800
C—C	4.5×10^5	1128	1300–800
C—N	4.9×10^5	1135	1250–1000
C=C	9.7×10^5	1657	1900–1500
C=O	12.1×10^5	1731	1850–1600
C≡C	15.6×10^5	2101	2150–2100
C—D	5.0×10^5	2225	2250–2080
C—H	5.0×10^5	3032	3000–2850
O—H	7.0×10^5	3553	3800–2700



Molekul yang menyerap energi tersebut akan mengalami perubahan energi vibrasi dan perubahan tingkat energi rotasi. FTIR akan mendeteksi suatu sampel pada tingkat gugus fungsi. Ikatan-ikatan yang berbeda seperti C-C, C=C, C≡C, CO, C=O, O-H serta NH mempunyai frekuensi karakteristiknya sebagai pita serapan dalam spektrum inframerah. Ikatan-ikatan tersebut akan terbaca pada bilangan gelombang yang berbeda – beda sesuai dengan pita serapan dalam spektrum inframerah.

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. Tabel frekuensi gugus untuk beberapa gugus fungsi dapat dilihat dari tabel 2.6.

Tabel 2.6 Frekuensi gugus untuk gugus fungsi organik
(Skoog dkk, 2007)

Bond	Type of Compound	Frequency Range, cm^{-1}	Intensity
C-H	Alkanes	2850-2970	Strong
		1340-1470	Strong
C-H	Alkenes (>C=C<^{H})	3010-3095	Medium
		675-995	Strong
C-H	Alkynes ($\text{-C}\equiv\text{C-H}$)	3300	Strong
C-H	Aromatic rings	3010-3100	Medium
		690-900	Strong
O-H	Monoalcohols, phenols	3590-3650	Variable
	Hydrogen-bonded alcohols, phenols	3200-3600	Variable, sometimes broad
	Monomeric carboxylic acids	3500-3650	Medium
	Hydrogen-bonded carboxylic acids	2500-2700	Broad
N-H	Amines, amides	3300-3500	Medium
C=C	Alkenes	1610-1680	Variable
C=C	Aromatic rings	1500-1600	Variable
C≡C	Alkynes	2100-2260	Variable
C-N	Amines, amides	1180-1360	Strong
C≡N	Nitriles	2210-2280	Strong
C-O	Alcohols, ethers, carboxylic acids, esters	1050-1300	Strong
C=O	Aldehydes, ketones, carboxylic acids, esters	1690-1780	Strong
NO ₂	Nitro compounds	1500-1570	Strong
		1300-1370	Strong



Kelebihan utama yang dimiliki oleh FTIR jika dibandingkan dengan metode lainnya antara lain (Lathifah, 2008):

- a. Analisis yang dilakukan lebih cepat jika dibandingkan dengan menggunakan metode *scanning*, hal ini terkait dengan semua frekuensi yang berasal dari sumber cahaya dapat digunakan bersama-sama.
- b. Radiasi yang masuk ke sistem detektor lebih banyak karena tidak harus melalui celah (*slitless*) sehingga sensitifitasnya lebih besar dibandingkan sistem dispersi.

2.5.1.4 Pengujian Flavonoid Total dengan Metode Spektrofotometri Uv-Vis

Spektrofotometri adalah ilmu yang mempelajari tentang penggunaan spektrofotometer. Spektrofotometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur energi secara relatif jika energi tersebut ditransmisikan, direfleksikan, atau diemisikan sebagai fungsi dari panjang gelombang. Spektrofotometer menghasilkan sinar dari spektrum dengan panjang gelombang tertentu, dan fotometer adalah alat pengukur intensitas cahaya yang ditransmisikan atau yang diabsorpsi. (Neldawati, 2013)

Apabila radiasi atau cahaya putih dilewatkan melalui larutan berwarna, maka radiasi dengan panjang gelombang tertentu akan diserap (absorpsi) secara selektif dan radiasi lainnya akan diteruskan (transmisi). Absorbansi adalah perbandingan intensitas sinar yang diserap dengan intensitas sinar datang. Nilai absorbansi ini akan bergantung pada kadar zat yang terkandung di dalamnya, semakin banyak kadar zat yang terkandung dalam suatu sampel maka semakin banyak molekul yang akan menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu sehingga nilai absorbansi semakin besar atau dengan kata lain nilai absorbansi akan berbanding lurus dengan konsentrasi zat yang terkandung didalam suatu sampel.

Analisis kualitatif flavonoid dapat dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Spektrum serapan ultra violet dan serapan tampak merupakan cara tunggal yang paling



bermanfaat untuk mengidentifikasi struktur flavonoid. Flavonoid mengandung sistem aromatis yang terkonjugasi dan dapat menunjukkan pita serapan kuat pada daerah UV-Vis. Metode tersebut juga dapat digunakan untuk melakukan uji secara kuantitatif untuk menentukan jumlah flavonoid yang terdapat dalam ekstrak metanol juga dilakukan dengan spektrofotometer UV-Vis yaitu dengan mengukur nilai absorbansinya.

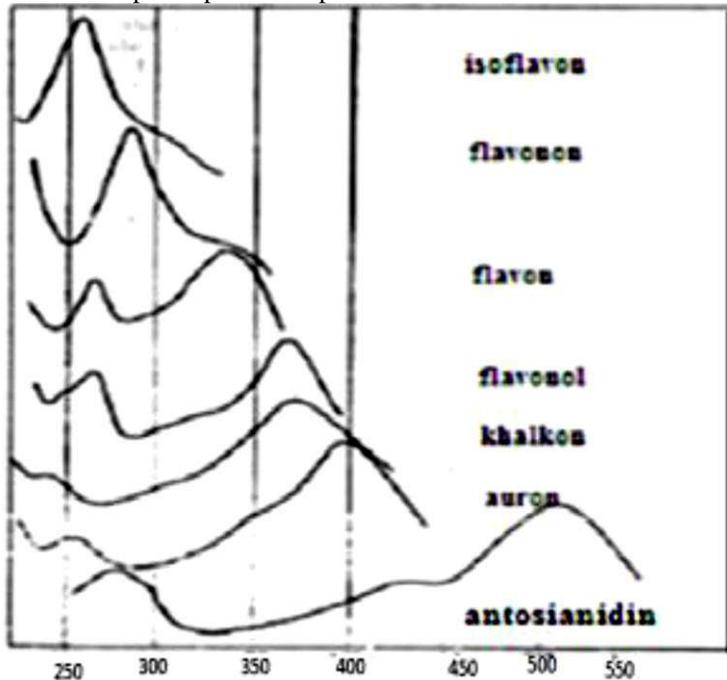
Spektrum flavonoid biasanya ditentukan dalam larutan dengan pelarut metanol atau etanol. Spektrum khas flavonoid terdiri atas dua maksimal pada rentang 230-295 nm (pita II) dan 300-560 nm (pita I).

Tabel 2.7 Pita absorpsi UV dari flavonoid

No	Jenis Flavonoid	Pita II	Pita I
1	Flavon	250-280	310-250
2	Flavonol	250-280	330-385
3	Flavonon	275-295	300-330
4	Bilavonil	270-295	300-320
5	Kalkon	230-270	340-390
6	Auron	230-270	380-430
7	Antosianidin	270-280	465-560



Bentuk daerah spektrum flavonoid pada Spektrofotometri UV-Tampak dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Spektrum Serapan UV- Visible Jenis Flavonoid
(Neldawati,2013)

2.5.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi laju korosi yaitu :

1. Jenis logam dan struktur makroskopis logam
 - a. Semakin inert suatu logam, maka semakin tahan logam tersebut terhadap korosi
 - b. Tidak homogenya susunan atom dari suatu logam, maka akan menimbulkan sel korosi pada logam itu sendiri
2. Komposisi dan konsentrasi larutan elektrolit (Pierre, 2000)



Larutan elektrolit adalah air yang mengandung anion dan kation. Beberapa faktor yang mempengaruhi korosifitas larutan antara lain :

a. Konduktivitas

Naiknya konduktivitas suatu larutan, maka daya hantar listrik larutan tersebut akan semakin baik, akibatnya laju korosi lebih cepat terjadi. Adanya ion klorida (Cl^-) dalam elektrolit akan meningkatkan konduktivitas larutan tersebut, sehingga aliran laju korosi akan lebih meningkat.

b. pH

pH dapat mempengaruhi laju korosi suatu logam bergantung pada jenis logamnya. Pada besi, laju korosi relatif rendah pada pH antara 7 sampai 13, sedangkan $\text{pH} < 7$ atau $\text{pH} > 12$ laju korosinya akan meningkat.

c. Gas terlarut

Adanya gas terlarut seperti CO_2 , O_2 dan H_2S merupakan beberapa gas yang mempengaruhi laju korosi logam. Gas-gas tersebut ikut berperan dalam transfer muatan di dalam larutan. Selain itu, dapat pula terbentuk lapisan atau produk korosi antara gas dengan logam yang menyebabkan korosi seperti FeCO_3 , Fe_3O_4 dan FeS_2 .

d. Temperatur

Temperatur yang tinggi akan mempengaruhi laju korosi. Pada sistem tertutup laju korosi akan terus bertambah, sedangkan pada sistem terbuka kenaikan temperatur akan mengakibatkan penurunan kelarutan gas O_2 dan akan menurunkan laju korosi pada titik tertentu. Temperatur mempunyai pengaruh yang bervariasi terhadap korosi. Pada temperatur kamar laju korosi relatif rendah namun dapat meningkatkan kondensasi lapisan film pada permukaan yang berakibat meningkatkan terjadinya korosi. Dan peningkatan temperatur dapat menurunkan laju korosi dengan terjadinya proses pengeringan pada permukaan. Namun adanya kombinasi antara nilai kelembaban dan



temperatur yang tinggi serta diikuti oleh adanya polutan maka, akan meningkatkan laju korosi

e. Tekanan

Kenaikan tekanan menyebabkan kenaikan gas terlarut, dengan konsekuensi akan menaikkan laju korosi pada sistem.

f. Kecepatan aliran fluida

Adanya kecepatan aliran fluida yang berbeda-beda akan menentukan jenis korosi yang dapat terjadi. Korosi yang sering ditimbulkan akibat faktor ini adalah korosi erosi. Sentuhan lapisan pasif atau pelindung dengan aliran yang cukup cepat akan menghancurkan lapisan tersebut, yang berakibat meningkatkan laju korosi. Sebagai contoh, pipa baja karbon yang mengalirkan air, umumnya terlindungi oleh lapisan tipis karat yang menghambat laju transfer massa dari oksigen terlarut ke dinding pipa (Roberge, 2000).

2.6 Proteksi Logam dari Korosi

Korosi merupakan fenomena alam dan terjadi secara spontan sehingga korosi pada logam sulit dihindari, namun bisa ditanggulangi. Korosi dapat menimbulkan kerugian di industri-industri karena bisa menghambat proses kegiatan dari penggunaan logam tersebut. Untuk menanggulangi masalah korosi, ada beberapa cara yang dapat dilakukan yaitu dengan proteksi katodik, proteksi anodik, coating dan penambahan inhibitor korosi. (Sulistijono, 1999)

2.6.1 Proteksi Katodik

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* (Jones, 1992). 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.

Kebutuhan arus dalam penggunaan katodik dapat diperkecil yaitu mengkombinasikannya dengan bahan pelapis. Syarat bahan pelapis tersebut adalah harus tahan terhadap lingkungan alkalin yang akan dihasilkan oleh sistem. Cara pemberian arus searah dalam sistem proteksi katodik ada dua cara yaitu dengan menerapkan anoda korban (*sacrificial anode*) atau dengan cara menerapkan arus tanding (*impressed current*). Metode proteksi katodik sebagai berikut :

1. Anoda korban (*sacrifice anode*)

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.

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.

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 karakteristik lingkungannya harus stabil. Pada jenis lingkungan yang tidak stabil (berfluktuasi) penerapan sistem proteksi anodik tidak dianjurkan.



2.6.2 Proteksi Anodik

Proteksi anodik ini bertujuan untuk mengurangi reaksi elektrokimia yang menyebabkan pengurangan massa logam akibat lepasnya logam ke lingkungan dalam bentuk ion logam dengan cara mengatur nilai potensialnya. Perlindungan anodik biasanya dilakukan pada baja yang terdapat di lingkungan yang sangat korosif seperti didalam larutan HCl.

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 anodik tidak dianjurkan.

2.6.3 Coating

Coating adalah proses pelapisan permukaan logam dengan cairan atau serbuk, yang akan melekat secara kontinu pada logam yang akan dilindungi, setelah melalui proses solidifikasi. Proses pelapisan ini akan mengurangi intensitas kontak logam dengan lingkungannya yang kemudian akan mencegah proses korosi pada logam (Roberge, 2000). Pelapisan yang paling umum digunakan adalah pelapisan menggunakan cat. Cat yang digunakan biasanya merupakan bahan organik yang tidak larut dalam air yang biasa disebut pigmen berbahan dasar dari logam oksida TiO_2 , PbO_3 , Fe_2O_3 , dan lain-lain serta partikel pengangkut cairnya berupa minyak nabati yang jika mengalami kontak dengan udara akan teroksidasi dan terpolimerisasi menjadi zat padat.

Salah satu cara pengendalian korosi dengan cara memberi lapisan perlindungan (coating protection). Proteksi lapisan yang lazim digunakan pada jaringan pipa adalah eksternal pelapisan, yang sering kali dikombinasi dengan proteksi katodik. Untuk korosi bagian dalam pipa (internal korosi) pengendaliannya lebih



sukar, bilamana kebocoran/kegagalan terjadi umumnya lebih merata sepanjang jaringan yang berhubungan dengan korosi bagian luar.

Pelapisan biasanya dimaksudkan untuk memberikan suatu lapisan padat dan merata sebagai bahan isolator atau penghambat aliran listrik diseluruh permukaan logam yang dilindungi. Fungsi dari lapisan tersebut adalah untuk mencegah logam dari kontak langsung dengan elektrolit dan lingkungan sehingga reaksi logam dan lingkungan terhambat.

2.6.4 Pemilihan Material

Memilih logam atau paduan harus dengan tepat sehingga pertukaran ion dengan lingkungannya tidak berlangsung dengan cepat atau dengan kata lain memilih logam atau paduannya yang perbedaan potensialnya dengan lingkungan tidak terlalu besar. Jika lingkungannya relatif agresif wajib memilih logam atau paduannya yang memiliki ketahanan korosi lebih baik dari baja. Hal ini disebabkan oleh aspek logam pada lingkungan tersebut membentuk lapisan tipis yang memiliki sifat protektif dan memiliki kemampuan untuk membentuk lapisan tipis lagi apabila lapisan tersebut terkelupas. Aplikasi dari metode ini sangat erat kaitannya dengan potensial galvanis dari logam yang digunakan dan tentunya berhubungan dengan elektrolit atau lingkungan disekitar logam.

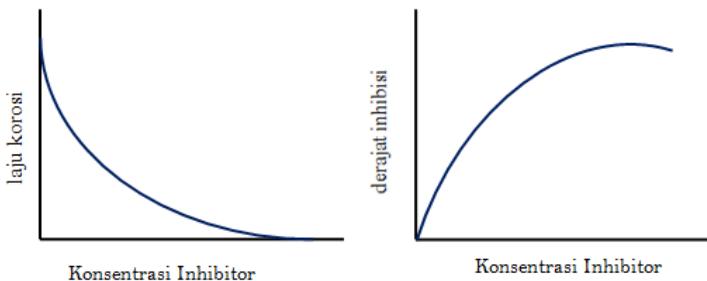
Dalam konteks kontrol korosi, memilih logam atau paduan sedemikian sehingga pertukaran ion dengan lingkungannya tidak berlangsung dengan cepat atau dengan kata lain memilih logam atau paduannya yang perbedaan potensialnya dengan lingkungannya tidak terlalu besar. Dalam praktek, jika lingkungannya relatif agresif (severe) wajib memilih logam atau paduannya yang memiliki ketahanan korosi lebih baik dari baja. Hal ini didasarkan pada aspek logam tersebut imun pada lingkungan tersebut atau logam tersebut membentuk lapisan tipis yang memiliki sifat protektif dan memiliki recoverability yang memadai apabila lapisan tersebut terkelupas. Aplikasi dari metode



ini sangat erat kaitannya dengan potensial galvanis dari logam yang digunakan dan tentunya berhubungan dengan elektrolit/lingkungan disekitar material.

2.6.5 Inhibitor Korosi

Inhibitor korosi adalah bahan kimia yang digunakan untuk mengontrol dan mencegah korosi. Inhibitor korosi dewasa ini telah menjadi salah satu langkah andalan dalam tindakan pencegahan korosi. Hal ini disebabkan senyawa ini mudah didapatkan serta efektif dalam penanganan korosi (Liu *et al.*, 2009). Pada prakteknya, jumlah inhibitor korosi yang ditambahkan dalam suatu lingkungan korosif hanya diperlukan dalam jumlah yang sedikit, baik secara kontinu maupun periodik dalam selang waktu tertentu.



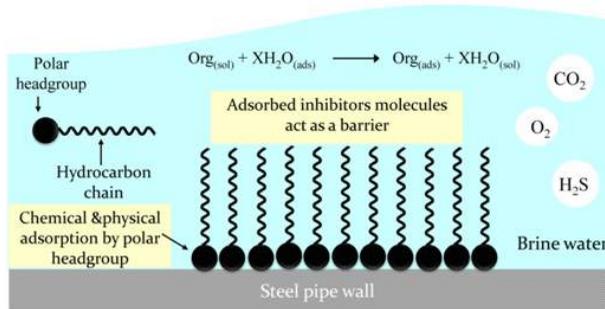
Gambar 2.10 (a) Laju korosi sebagai Fungsi Konsentrasi Inhibitor (b) Efisiensi Inhibitor sebagai Fungsi Konsentrasi Inhibitor (Sastri, 2011).

Sel korosi dapat dianggap terdiri atas empat komponen, yaitu anoda, katoda, elektrolit, dan penghantar elektronik. Inhibitor dapat mempengaruhi sel korosi tersebut secara elektrokimia dengan cara inhibitor mempengaruhi polarisasi anodik dan katodik, atau menaikkan tahanan listrik dari rangkaian



melalui pembentukan endapan tipis pada permukaan logam (Dalimunthe, 2004). Mekanisme ini dapat diamati melalui suatu kurva polarisasi yang diperoleh secara eksperimental. Berdasarkan mekanisme kerjanya dalam mengatasi korosi dapat dibedakan sebagai berikut (Brondel *et al.*, 1994; Dalimunthe, 2004) :

1. 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 2.2.



Gambar 2.11 Mekanisme Kerja Inhibitor Korosi pada Pipa Baja

Sumber: Brondel *et al.* (1994)

Dari Gambar 2.11 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.

2. Melalui pengaruh lingkungan (misal pH) menyebabkan inhibitor dapat mengendap dan selanjutnya teradsorpsi pada permukaan logam serta melindunginya terhadap



- korosi. Endapan yang terjadi cukup banyak, sehingga lapisan yang terjadi dapat teramati oleh mata.
3. Inhibitor lebih dulu mengkorosi logamnya, dan menghasilkan suatu zat kimia yang kemudian melalui peristiwa adsorpsi dari produk korosi tersebut membentuk suatu lapisan pasif pada permukaan logam.
 4. Inhibitor menghilangkan kontituen yang agresif dari lingkungannya.

2.7 Jenis - Jenis Inhibitor Korosi

Menurut bahan dasarnya ada 2 jenis inhibitor korosi yaitu :

1. Inhibitor anorganik
2. Inhibitor organik

Menurut mekanisme proteksi ada 4 jenis inhibitor korosi yaitu :

1. Inhibitor katodik
2. Inhibitor anodik
3. Inhibitor adsorpsi

2.7.1 Inhibitor Anorganik

Inhibitor anorganik merupakan inhibitor yang diperoleh dari mineral-mineral yang tidak mengandung unsure karbon dalam senyawanya. Material dasar dari anorganik inhibitor antara lain natrium kromat, asam nitrit, asam pospat (Halimatudahliana,2003)

2.7.2 Inhibitor Organik

Inhibitor organik bekerja dengan membentuk senyawa kompleks yang mengendap (*adsorpsi*) pada permukaan logam sebagai lapisan pelindung yang bersifat *hidrofobik* yang dapat menghambat reaksi logam tersebut dengan lingkungannya. Reaksi tersebut dapat berupa reaksi anodik, reaksi katodik, ataupun keduanya. Hal ini tergantung dari reaksi pada permukaan logam dan potensial logam tersebut. Bila ditambahkan dengan



konsentrasi yang tepat, inhibitor dapat melindungi seluruh permukaan logam. (Roberge, 2000)

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 nano layer (Clifton D, 1965).

Pada jenis inhibitor organik, terjadi proses adsorpsi logam untuk membentuk senyawa kompleks. Mekanisme adsorpsi terbagi menjadi 3, yaitu (Revie, 2000) :

a. *Physical adsorption*

Mekanisme adsorpsi yang membentuk hasil dari interaksi elektrostatis antara inhibitor dengan permukaan logam. Logam yang diberi muatan positif akan mengikat inhibitor yang bermuatan negatif, 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.

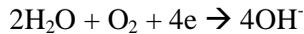
c. *Film Forming*

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 (Roberge, 2000).

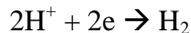


2.7.3 Inhibitor Katodik

Inhibitor katodik adalah inhibitor yang dapat menghambat reaksi katodik. Inhibitor ini berpengaruh terhadap kedua reaksi katodik yang biasa, dalam reaksi yang pertama adalah :



Inhibitor jenis ini bereaksi dengan ion hidroksil untuk mengendapkan senyawa-senyawa yang tidak dapat larut ke permukaan katoda, sehingga menyelimuti katoda dari elektrolit dan mencegah masuknya oksigen ke permukaan katoda. Dalam reaksi katodik yang kedua terjadi reaksi :



Pembentukan hidrogen dikendalikan melalui peningkatan polarisasi sistem, dengan naiknya konsentrasi inhibitor maka reaksi katoda akan terpolarisasi. (Trethewey, 1991). 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 (Dalimunthe, 2004).

Inhibitor katodik dianggap aman meskipun jumlah inhibitor yang ditambahkan terlalu sedikit. Hal ini karena seberapa pun bagian dari katoda yang terselimuti oleh lapisan garam tetap akan menurunkan laju korosi. Inhibitor harus berperan menghambat kedua tahap reaksi di atas terutama reaksi yang pertama, misalnya berdasarkan diagram arus potensial (voltagram) 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

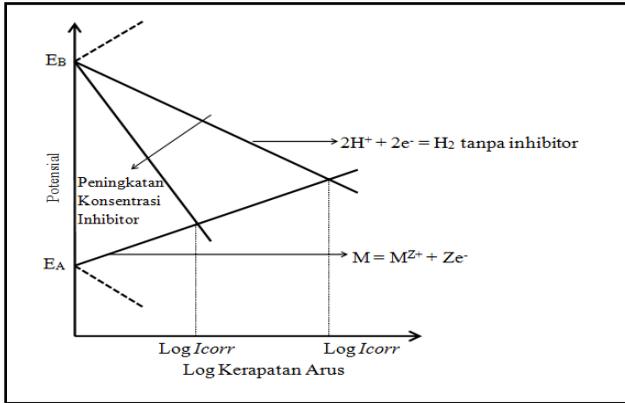


terjadi penumpukan atom hidrogen pada permukaan katoda. Atom-atom tersebut dapat terpenetrasi ke dalam kisi logam dan mengakibatkan timbulnya kerapuhan akibat hidrogen. Pembentukan hidrogen dikendalikan melalui peningkatan polarisasi sitem.

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) $2Cl_2$

Menurut Pierre, 2000, terdapat tiga jenis inhibitor katodik, yaitu :

- a. Racun katoda, yang dapat menghambat reaksi evolusi hidrogen. Contohnya antara lain sulfida, selenida, arsenat, bismunat, dan antimonat
- b. Presipitat katoda, yang dapat mengendap membentuk oksida sebagai lapisan pelindung pada logam. Contohnya antara lain kalsium, seng, dan magnesium.
- c. *Oxygen scavengers*, yang dapat mengikat oksigen terlarut sehingga mencegah reaksi reduksi oksigen pada katoda. Contohnya antara lain hidrasin, natrium sulfit, dan hidrosil amin HCl.



Gambar 2.12 Mekanisme perlindungan terhadap peningkatan konsentrasi inhibitor katodik (Threthewey, 1991)

2.7.4 Inhibitor Anodik

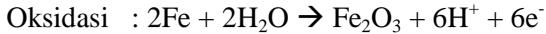
Mekanisme inhibitor ini yaitu dengan meningkatkan polarisasi anoda melalui reaksi dengan ion-ion logam yang terkorosi untuk menghasilkan selaput-selaput pasif tipis, atau lapisan-lapisan garam yang kemudian menyelimuti anoda. Inhibitor anodik mempunyai dua jenis karakteristik, yaitu yang satu membutuhkan oksigen terlarut untuk menjadi efektif, misal molibdat, silikat, fosfat, dan borat, sedang yang lain merupakan agen pengoksidasi (Trethewey, 1991). 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 :



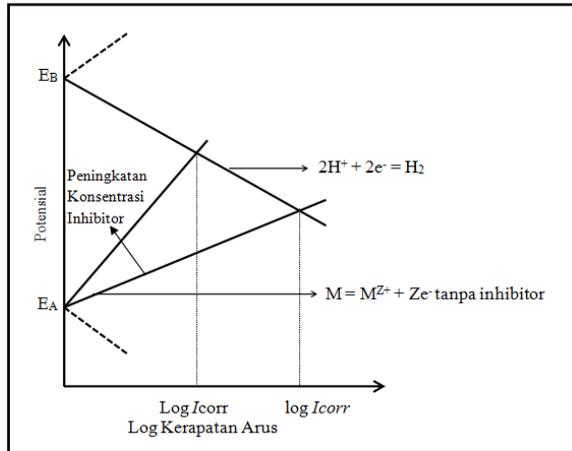
Padatan atau endapan Fe_2O_3 dan Cr_2O_3 inilah yang bertindak sebagai pelindung bagi logamnya. Lapisan endapan tipis saja, namun cukup efektif untuk melindungi permukaan logam yang lemah dari serangan zat-zat yang agresif. Untuk ini diperlukan kontinuitas pembentukan lapisan endapan mengingat lapisan tersebut bisa lepas yang disebabkan oleh adanya arus larutan. Contoh senyawa lain dari inhibitor pasivasi anodik adalah fosfat, tungstat, dan molibdat, yang oleh karena tidak bersifat oksidator maka reaksinya dengan logamnya memerlukan kehadiran oksigen.

Menurut Ismail dan Mohammad, 2005, Terdapat dua jenis inhibitor anodik yaitu :

- *Oxidizing ion* yang bisa membentuk perlindungan pada logam tanpa membutuhkan oksigen, contoh inhibitor jenis ini adalah inhibitor berbasis nitrat, kromat, dan nitrit.
- *Non-Oxidizing ion* adalah jenis inhibitor anodik yang membentuk lapisan pasif pada permukaan anoda dengan membutuhkan kehadiran oksigen seperti *oshphate, tungsten, molybdate*. Inhibitor jenis ini biasa digunakan pada aplikasi *recirculation-cooling systems, rectrifier* dan *cooling tower*. Kelemahan dari jenis inhibitor ini adalah jumlah inhibitor yang terkandung dalam larutan harus terjaga dengan baik. Sebab jika kandungannya



menurun dari batas akan membuat korosi jadi semakin cepat terjadi, serta dapat membuat korosi sumuran (*pitting corrosion*).



Gambar 2.13 Mekanisme perlindungan terhadap peningkatan konsentrasi inhibitor anodik (Andi, 2012)

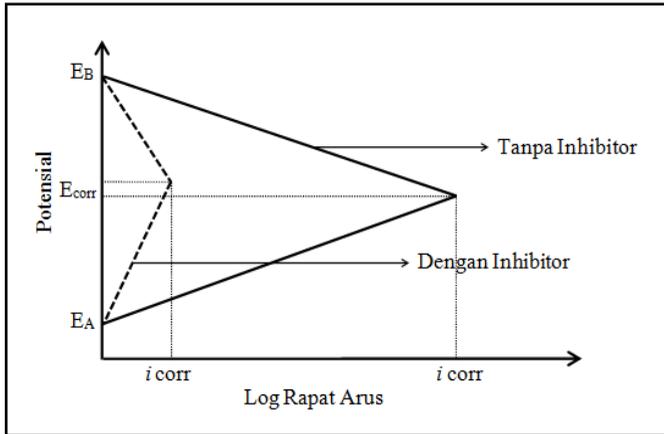
2.7.5 Inhibitor Adsorpsi

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 (Clifton D, 1965).

Senyawa organik yang dapat berfungsi sebagai inhibitor korosi harus mempunyai group hydrocarbon yang bersifat



hidrofobik pada salah satu ujung rantai ikatannya yang bersifat hidrofilik, yaitu antara lain gugus N, NH, NH₂, OH, S, SH.



Gambar 2.14 Diagram polarisasi untuk logam baja dalam lingkungan asam dengan dan tanpa inhibitor organik (Threthewey, 1991)

2.8 Efisiensi Inhibitor

Efisiensi inhibitor menunjukkan prosentase penurunan laju korosi akibat penambahan inhibitor. Persamaannya adalah sebagai berikut : (Pierre, 2000)

$$\text{Efisiensi Inhibitor} = \frac{X_a - X_b}{X_a} \times 100\% \dots\dots\dots (2.22)$$

Keterangan : X_a = Laju korosi pada wadah tanpa inhibitor
X_b = Laju korosi pada wadah dengan penambahan inhibitor

2.9 Ekstraksi

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 (Ditjen POM, 1995).

Faktor-faktor yang mempengaruhi laju ekstraksi adalah :

1. Tipe persiapan sampel
2. Waktu ekstraksi
3. Kuantitas pelarut
4. Temperatur pelarut
5. Tipe pelarut

Metode ekstraksi dengan menggunakan pelarut dapat dibagi kedalam dua cara, yaitu :

1. Cara Dingin

- a. Maerasi, adalah proses pengestrakan simplisa dengan menggunakan pelarut dengan beberapa kali pengocokan atau pengadukan pada temperatur ruangan (kamar). Maerasi kinetik berarti dilakukan pengadukan yang terus menerus. Remaserasi berarti dilakukan pengulangan penambahan pelarut setelah dilakukan penyairan maserat pertama dan seterusnya.
- b. Perkolasi, adalah ekstraksi dengan pelarut yang selalu baru sampai sempurna (exhaustive extraction) yang umumnya dilakukan pada temperatur ruangan. Proses ini terdiri dari tahapan pengembahan bahan, tahap maserasi antara, tahap perkolasi sebenarnya (penetasan / penampungan ekstrak) terus menerus sampai diperoleh ekstrak (perkolat) yang jumlahnya 1-5 kali bulan.

2. Cara Panas

- a. Refluks, adalah ekstraksi dengan pelarut pada temperatur titik didihnya, selama waktu tertentu dan jumlah pelarut terbatas yang relatif konstan dengan adanya pendingin balik.
- b. Soxhlet, adalah ekstraksi menggunakan pelarut yang selalu baru yang umumnya dilakukan dengan alat khusus sehingga terjadi ekstraksi kontiniu dengan jumlah pelarut relatif konstan dengan adanya pendinginan balik.



- c. Digesti, adalah maserasi kinetik (dengan pengadukan kontiniu) pada temperatur yang lebih tinggi dari temperatur ruangan, yaitu secara umum dilakukan pada temperatur 40-50°C.
- d. Infus, adalah ekstraksi dengan pelarut air pada temperatur penangas aor (bejana infus tercelup dalam penangas air mendidih, temperatur terukur 96-98°C) selama waktu tertentu (15-20 menit).
- e. Dekok, adalah infus pada waktu yang lebih lama dan temperatur sampai titik didih air (Dirjen POM, 2000).

2.10 Antioksidan

Antioksidan merupakan suatu inhibitor bermanfaat untuk mencegah reaksi oksidasi yang ditimbulkan oleh radikal bebas. Radikal bebas adalah atom atau molekul yang tidak stabil dan sangat reaktif karena mengandung satu atau lebih elektron tidak berpasangan pada orbital terluarnya. Radikal bebas akan bereaksi dengan molekul di sekitarnya untuk memperoleh pasangan elektron dalam mencapai kestabilan atom atau molekul.

Antioksidan adalah senyawa yang dalam kadar rendah mampu menghambat proses oksidasi. Senyawa antioksidan ini berfungsi untuk menstabilkan radikal bebas dengan melengkapi kekurangan elektron dari radikal bebas sehingga menghambat terjadinya reaksi berantai. Secara umum, antioksidan mengurangi kecepatan reaksi inisiasi pada reaksi berantai pembentukan radikal bebas dalam konsentrasi yang sangat kecil yaitu 0,01% atau bahkan kurang.

Menurut Winarsi,2005, berdasarkan mekanisme kerjanya antioksidan dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok, yaitu:

- a. Antioksidan primer, yaitu antioksidan yang dapat menghalangi pembentukan radikal bebas baru. Contohnya adalah senyawa fenol dan flavonoid.
- b. Antioksidan sekunder, yaitu antioksidan eksogen 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 isoflavin.
- c. 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.

2.11 Daun Pandan Wangi (*Pandanus amaryllifolius* Roxb.)

2.11.1 Karakteristik Umum



Gambar 2.15 Pandan Wangi (*Pandanus amaryllifolius* Roxb.)
(Dalimartha, 2006)

Pandan wangi (*Pandanus amaryllifolius* Roxb.) atau biasa disebut pandan saja adalah jenis tumbuhan monokotil dari famili Pandanaceae. Daunnya merupakan komponen penting dalam tradisi masakan Indonesia dan negara-negara Asia Tenggara lainnya. Di beberapa daerah, tanaman ini dikenal dengan berbagai nama antara lain :

Pandan Rampe, Pandan Wangi (Jawa); Seuke Bangu, Pandan Jau, Pandan Bebau, Pandan Rempai (Sumatera); Pondang, Pandan, Ponda, Pondago (Sulawesi); Kelamoni, Haomoni, Kekermoni, Ormon Foni, Pondak, Pondaki, Pudaka (Maluku); Pandan Arrum (Bali), Bonak (Nusa Tenggara).

Pandan wangi merupakan tumbuhan berupa perdu dan rendah, tingginya sekitar dua meter. Batangnya menjalar, pada pangkal keluar berupa akar. Daun berwarna hijau kekuningan,



diujung daun berduri kecil, kalau diremas daun ini berbau wangi. Tumbuhan ini mudah dijumpai di pekarangan atau tumbuh liar di tepi-tepi selokan yang teduh. Daun tunggal, duduk, dengan pangkal memeluk batang, tersusun berbaris tiga dalam garis spiral. Helai daun berbentuk pita, tipis, licin, ujung runcing, tepi rata, bertulang sejajar, panjang 40 - 80 cm, lebar 3 - 5 cm, berduri tempel pada ibu tulang daun permukaan bawah bagian ujung-ujungnya, warna hijau dan berbau wangi. Beberapa varietas memiliki tepi daun yang bergerigi.

Bunga majemuk, bentuk bongkol, warnanya putih. Berakar gantung, dengan akar tinggal dan akar gantungnya, tumbuh menjalar, hingga dalam waktu singkat akan merupakan rumpun yang lebat. Perdu tahunan, tinggi 1-2 m. Batang bulat dengan bekasduduk daun, bercabang, menjalar, akar tunjang keluar di sekitar pangkal batang dan cabang. Buahnya buah batu, menggantung, bentuk bola, diameter 4 - 7,5 cm, dinding buah berambut, warnanya jingga. Perbanyakkan dengan pemisahan tunas-tunas muda, yang tumbuh di antara akar-akarnya.

2.11.2 Taksonomi dan Kandungan Kimia Pandan Wangi

Sistematika taksonomi tanaman ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

Kingdom : *Plantae*

Divisi : *Magnoliophyta*

Kelas : *Liliopsida*

Ordo : *Pandanales*

Famili : *Pandanaceae*

Genus : *Pandanus*

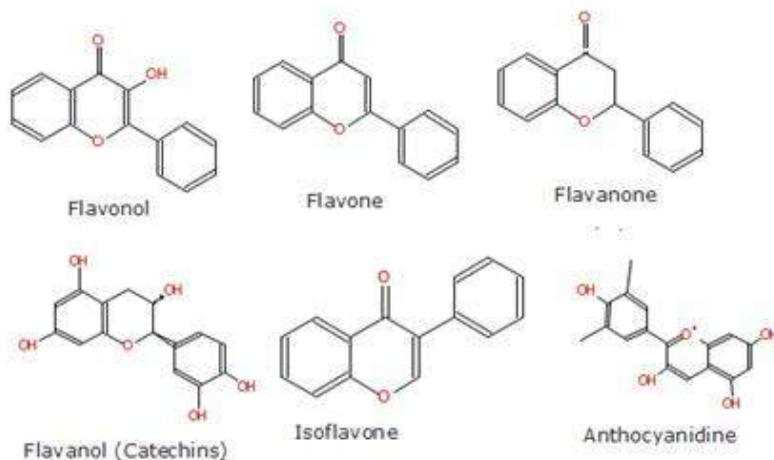
Spesies : *Pandanus amaryllifolius* Roxb.

Menurut Rohmawati,1995, kandungan kimia yang terdapat pandan wangi antara lain Alkaloida, Saponin, Flavonoida, Tanin, Polifenol. Dari kandungan senyawa antioksidan tersebut daun pandan wangi bisa digunakan sebagai inhibitor korosi



2.11.2.1 Flavonoid

Flavonoid Adalah suatu kelompok senyawa fenol yang terbanyak terdapat di alam. Senyawa-senyawa ini bertanggung jawab terhadap zat warna merah, ungu, biru, dan sebagian zat warna kuning dalam tumbuhan. Semua flavonoid menurut strukturnya merupakan turunan senyawa induk “ flavon “ yakni nama sejenis flavonoid yang terbesar jumlahnya dan juga lazim ditemukan. Pada bidang farmakologi, salah satu kegunaan flavonoid adalah dapat digunakan sebagai antioksidan. Flavonoid dapat digunakan sebagai obat karena mempunyai bermacam macam bioaktivitas seperti antiinflamasi, anti kanker, antifertilitas, antiviral, antidiabetes, antidepresant, diuretic, dll. Dalam proses aktifitas inhibisi korosi dari ekstrak tumbuhan diakibatkan oleh adanya kandungan heterosiklik seperti flavonoid (Okafor, 2008; Raja, 2008).



Gambar 2.16 Struktur kimia beberapa senyawa flavonoid (Casey, 2006)

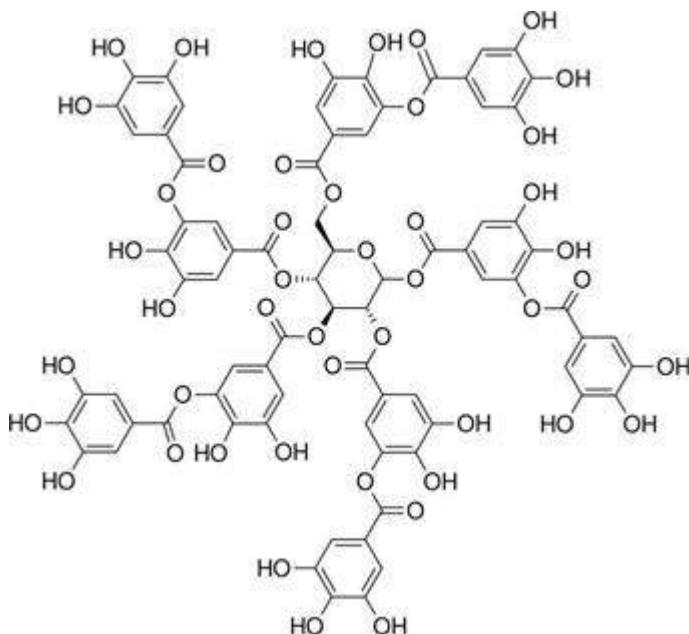


2.11.2.2 Tanin

Nama tannin berasal dari bahasa perancis ‘*Tanin*’ (zat Tanning) dan digunakan berbagai polifenol alami. Sejak zaman kuno diketahui bahwa zat organik memiliki sifat *Tanning*. Tanin merupakan senyawa yang dapat larut dalam air, gliserol, alkohol, dan hidroalkohol, tetapi tidak dapat larut dalam petroleum eter, benzene dan eter, terdekomposisi pada suhu 210°C dan terbakar pada suhu 526°C. komponen dasar tannin adalah glukosa, asam galic, asam gallic, asam ellagic, dan flavonoid.

Tanin biasanya berupa senyawa amorf, higroskopis berwarna coklat kuning dapat larut dalam air dan pelarut organik polar. Semakin murni tanin akan berakibat kepada kelarutannya dalam air akan berkurang dan makin mudah membentuk kristal. Beberapa bentuk tanin terbukti mempunyai aktivitas antioksidan. Tanin dapat meningkatkan pembentukan film diatas permukaan logam sehingga dapat membantu dalam proses inhibisi korosi (Okafor, 2008; Raja, 2008). Proses inhibisi dari tannin dikaitkan kepada pembentukan lapisan pasif dari tannates pada permukaan logam. Tannin juga diketahui dapat membentuk senyawa kompleks dengan kation logam yang berbeda, khususnya pada suatu media dasar. berdasarkan latar belakang tersebut maka dalam proses manufaktur biasanya tannin digunakan sebagai cat anti karat dan coating (El-Etre, 2004).

Tannin merupakan senyawa polifenol alami yang tidak beracun dan *biodegradable*, diaplikasikan dalam formulasi solvent dan waterbone pre-treatment, diekstrak dari sumber tanaman yang telah digunakan sebagai inhibitor korosi dalam media *aqueous*. Secara umum tannin dibedakan atas *condensed* dan *hydrosable*. Contoh dari *condensed tannin* adalah mangrove, quebracho, dan mimosa yang mengandung oligomer dan flavonoid. Senyawa *hydrosable* tannin adalah chesmut yang tersusun atas gula (umumnya glukosa) dan asam gallic.



Gambar 2.17 Struktur kimia senyawa tanin (Casey, 2006)

2.12 Penelitian Sebelumnya

Hasil penelitian oleh Pramana, 2012 dengan menggunakan ekstrak inhibitor daun beluntas terhadap korosi pada baja karbon rendah di lingkungan NaCl 3,5% menunjukkan bahwa dengan pengujian *weight loss* dengan penambahan ekstrak sebanyak 3 mL memberikan nilai rata-rata efisiensi paling maksimum sebesar 75,97% dengan rata-rata laju korosi paling minimum sebesar 0,89 mpy. Pada pengujian polarisasi dapat menurunkan laju korosi dari 24,8 $\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$ menjadi 5,04 $\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$, sehingga memperkuat hasil pengujian *weight loss* bahwa ekstrak daun beluntas dapat menghambat korosi baja karbon rendah di larutan 3,5% NaCl. Mekanisme inhibisi menunjukkan telah terjadi pembentukan monolayer di permukaan baja karbon rendah.



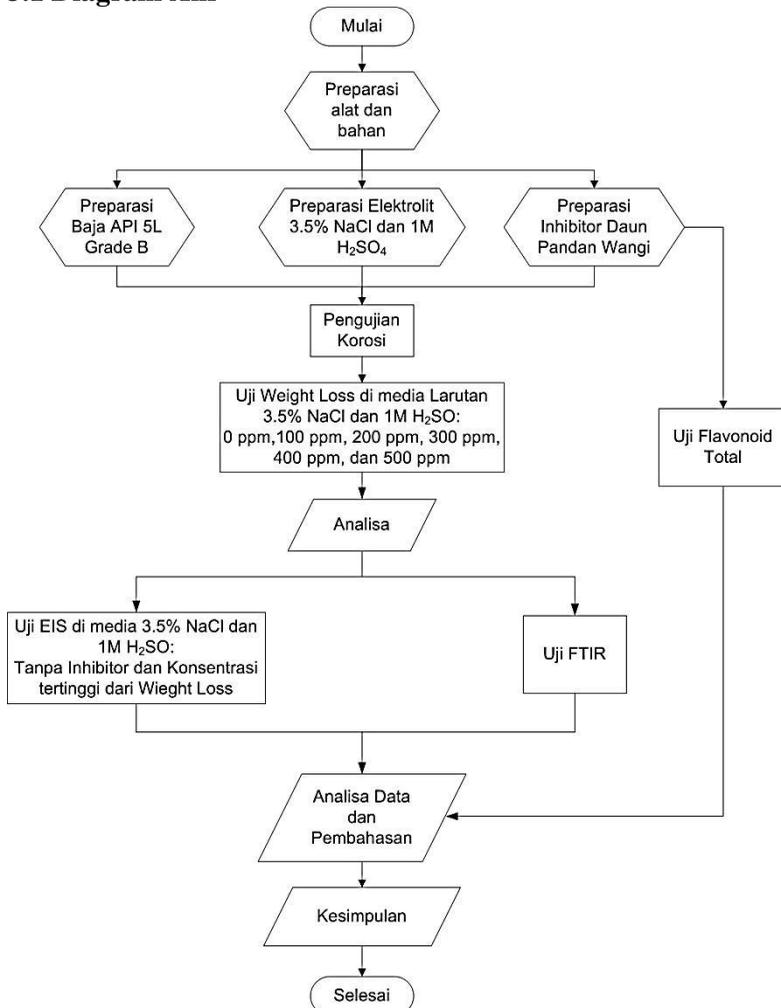
Penelitian yang dilakukan oleh Darmawan,2012 dengan pemberian ekstrak daun bayam sebagai *green corrosion inhibitor* terhadap laju korosi pada baja karbon di dalam larutan HCl diketahui bahwa berdasarkan hasil dari pengujian polarisasi dan EIS, kemampuan inhibisi ekstrak daun bayam merah pada baja karbon rendah di dalam lingkungan 1M HCl terbata pada konsentrasi antara 500 sampai 2000 mg/L. Efisiensi inhibisi terbaik adalah 73% pada 2000 mg/L. Dari pengujian FTIR diketahui bahwa lapisan inhibisi terbentuk pada permukaan sampel baja.

Selanjutnya dilakukan penelitian oleh Firmansyah,2011 dengan pemanfaatan ekstrak daun sirsak pada baja karbon dalam larutan asam 1M HCl menggunakan teknik konvensional metode berat hilang pada variasi waktu, konsentrasi, dan suhu. Keseluruhan hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstrak daun sirsak dapat digunakan sebagai inhibitor korosi yang efektif pada baja karbon di lingkungan 1M HCl dengan pencapaian efisiensi 93,68% pada konsentrasi 6000 mg/L selama 120 jam. Mekanisme inhibisi adalah adsorpsi *fisiosorpsi* berdasar rendahnya nilai entalpi dan energy bebas. Inhibisi diketahui meningkat dengan peningkatan konsentrasi dari ekstrak serta menurun dengan peningkatan suhu.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



3.2 Alat dan Bahan

3.2.1. Peralatan Penelitian

Peralatan yang akan digunakan pada penelitian adalah sebagai berikut :

1. Timbangan Digital
2. *Rotary Evaporator*
3. Oven
4. Blender
5. Gelas Ukur 1L
6. Alat Potong Plat
7. Mesin Bor
8. Kamera digital
9. Peralatan pengujian Spektrofotometri UV-Vis
10. Peralatan pengujian AUTOLAB
11. Peralatan pengujian FTIR

3.2.2 Bahan Penelitian

1. Inhibitor

Inhibitor yang diuji pada penelitian ini adalah daun pandan wangi. Dengan variasi konsentrasi inhibitor : 0 mg/L, 100 mg/L, 200 mg/L, 300 mg/L, 400 mg/L, 500 mg/L

2. Material

Spesimen yang digunakan adalah API 5L Gr B. Spesimen tersebut didesain dengan dimensi 20 x 20 x 3 mm untuk Uji *Weight loss* dan 10 x 10 x 3 mm untuk Uji Polarisasi Potensiodinamik serta Uji EIS. Spesifikasi API 5L Grade B dapat dilihat seperti pada tabel 3.1 berikut ini:

Tabel 3.1 Komposisi kima baja API 5L grade B

Grade	Carbon (Max)	Manganese (Max)	Phosporus (Max)	Sulfur (Max)	Silicon (Max)
B	0,28	1,20	0,030	0,030	0,19

3. Elektrolit



Larutan elektrolit menggunakan NaCl 3,5% dan H₂SO₄ 1 M

4. Epoksi resin
5. Aquades

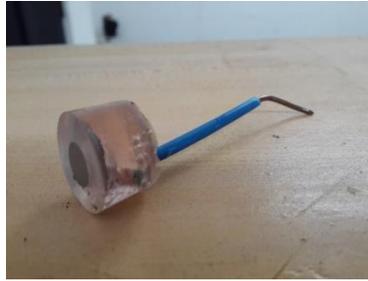
3.3 Prosedur Penelitian

Pada penelitian kali ini dilakukan diawali dengan mengekstrak daun pandan wangi, setelah itu dilakukan pengujian Flavonoid Total untuk mengetahui kadar flavonoid pada ekstrak daun pandan wangi. Kemudian dilakukan pengujian untuk mengetahui laju korosi dan efisiensi inhibitor dengan menggunakan metode uji Weight Loss dengan berbagai variasi konsentrasi inhibitor mulai dari 0 mg/L, 100 mg/L, 200 mg/L, 300 mg/L, 400 mg/L, 500 mg/L dengan temperatur kamar serta pH konstan. Lalu dilakukan uji Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) untuk mengetahui mekanisme inhibisi. Sedangkan pengujian untuk mengamati gugus fungsi yang terbentuk pada ekstrak daun pandan wangi dan baja API 5L grade B menggunakan uji FTIR.

3.4 Preparasi Spesimen

3.4.1 Preparasi Spesimen Pengujian EIS

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah API 5L Gr B. Material yang diuji dibentuk menjadi elektroda untuk pengujian EIS. Spesimen akan dibubut dan dipotong sampai \varnothing 14 mm dan tebal 5mm. Potongan material tersebut selanjutnya disambung dengan kawat tembaga pada salah satu sisinya (panjang \pm 20 cm). Agar kawat tembaga tidak terekspos lingkungan maka kawat tembaga perlu dibungkus dengan selang plastik. Setelah kawat tembaga tersambung dilakukan moulding pada benda uji dengan resin epoksi, dengan sisi yang tidak tersambung kawat tembaga terekspos pada lingkungan (ASTM, 1999), permukaan benda uji yang terekspos dengan lingkungan dihaluskan dengan kertas gosok dari grade 100 sampai dengan 1000, sehingga permukaan benda uji yang rata dan halus.



Gambar 3.2 Spesimen Uji EIS

3.4.2 Preparasi Spesimen Pengujian *Weight Loss*

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah API 5L Grade B yang telah dipotong menjadi ukuran 2cm x 2cm x 0.3 cm sebanyak 186 spesimen. Setelah mendapat dimensi yang sesuai dilakukan pengamplasan di seluruh permukaannya agar produk korosi yang ada pada sampel dapat hilang. Pengamplasan dimulai dari grade 80 dan dilanjutkan dengan grade 800 dengan tujuan untuk menghilangkan oksida yang menempel di permukaan sampel (ASTM, 2004). Sampel yang sudah diampelas kemudian dibor dengan mata bor yang berdiameter 3 mm pada bagian atas sebagai tempat menggantung spesimen.



Gambar 3.3 Spesimen Uji *Weight Loss*



3.5 Preparasi Daun Pandan Wangi

1. Bersihkan dan cuci daun pandan wangi dengan air
2. Keringkan sampai kadar air < 5%
3. Setelah kering dihancurkan dengan menggunakan blender
4. Kemudian direndam menggunakan etanol yang dimasukkan ke dalam gelas kaca dengan komposisi 70% etanol dan 30% aquades
5. Lakukan 3 kali pengulangan untuk mendapatkan hasil ekstrak yang maksimal
6. Hasil ekstraksi tersebut disaring kemudian di evaporasi menggunakan alat *rotary evaporator* untuk menguapkan pelarut



Gambar 3.4 Ekstrak Daun Pandan Wangi



Gambar 3.5 Alat *Rotary Evaporator*



3.6 Pembuatan Larutan NaCl

1. Timbang kristal NaCl sebanyak 35.24 gram
2. Larutkan kristal NaCl tadi ke dalam labu ukur 1000 ml dengan menggunakan aquades hingga tepat batas
3. Maka akan didapat konsentrasi larutan garam 3.5%
4. Setelah garam terlarut sempurna, larutan siap digunakan untuk pengujian selanjutnya.

3.7 Pembuatan Larutan H₂SO₄

1. Siapkan 57,8 mL larutan H₂SO₄ 98%
2. Larutkan H₂SO₄ tadi ke dalam labu ukur 1000 ml dengan menggunakan aquades hingga tepat batas
3. Maka akan didapat konsentrasi larutan H₂SO₄ 1 M
4. Larutan H₂SO₄ 1 M siap digunakan untuk pengujian selanjutnya

3.8 Pengujian Korosi

3.8.1 Pengujian Flavon Total

3.8.1.1 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.

3.8.1.2 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.

3.8.1.3 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.

3.8.1.4 Pengukuran

1. Diamkan larutan sampel selama 30 menit,scan antara 300-500 nm
2. Ukur absorbansi larutan pada λ maksimum (± 425 nm)



Gambar 3.6 Alat Spektrofotometer UV-Vis

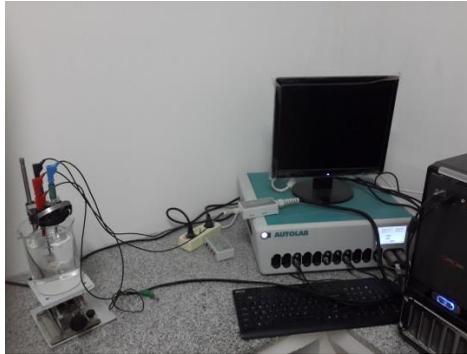


3.8.2 Pengujian EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*)

Pengujian EIS dilakukan dengan menggunakan *software* NOVA dan alat pengujian AUTOLAB 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 daun pandan wangi, 0 mg/L, 100 mg/L, 200 mg/L, 300 mg/L, 400 mg/L, dan 500 mg/L.

Langkah-langkah yang dilakukan pada pengujian ini adalah :

1. Siapkan sel kaca
2. Masukkan larutan NaCl 3,5 % atau H_2SO_4 1M yang dibuat ke dalam sel kaca
3. Rendam baja API 5L Grade B ke dalam larutan sebagai *working electrode* di larutan tanpa penambahan inhibitor
4. Susun rangkaian sesuai dengan standar rangkaian pengujian polarisasi yaitu : *specimen holder*, *electrode standar (kalomel (Ag/AgCl))*, *auxiliary electrode (grafit)*, dan *working electrode*
5. Langkah 1-4 diulangi untuk percobaan dengan konsentrasi inhibitor 300 mg/L untuk larutan NaCl 3,5 % dan 500 mg/L untuk larutan H_2SO_4 1M



Gambar 3.7 Alat Uji AUTOLAB

3.8.3 Pengujian *Weight Loss*

Pengujian *Weight Loss* atau lebih dikenal dengan metode pengurangan berat adalah metode yang dilakukan untuk mengetahui besaran laju korosi (mpy) pada suatu material berdasarkan pengurangan berat awal dan berat akhir. Dalam metode ini, sampel dengan berat tertentu akan dicelupkan dalam larutan atau lingkungan tertentu pada beberapa waktu yang berbeda. Dengan metode ini, berat hilang yang diakibatkan proses korosi ditentukan. Jika produk korosi mudah dihilangkan (*non-adherent*) maka dapat dihilangkan secara mekanikal. Tetapi jika produk korosi berikatan kuat dihilangkan dengan metode elektrokimia. Pada penelitian ini akan dilakukan uji *weight loss* untuk variasi media korosif NaCl 3,5% dan H₂SO₄ 1 M dan konsentrasi inhibitor daun pandan wangi (*Pandanus amaryllifolius* Roxb.) yaitu 0, 100, 200, 300, 400, dan 500 mg/L selama 30 hari dengan pengukuran setiap 6 hari untuk larutan NaCl 3,5 % dan 10 hari dengan pengukuran setiap 2 hari untuk larutan H₂SO₄ 1M.

Langkah-langkah yang dilakukan pada pengujian ini adalah :



3.8.3.1 Pengujian *Weight Loss* di larutan NaCl 3,5 %

1. Siapkan wadah plastik
2. Siapkan 3 spesimen Baja API 5L Grade B dengan dimensi 2cm x 2cm x 0.3cm
3. Masukkan larutan NaCl 3,5 % yang dibuat ke dalam wadah plastik
4. Rendam baja API 5L Grade B ke dalam larutan tanpa penambahan inhibitor
5. 3 spesimen pertama direndam selama 6 hari kemudian dilakukan pengambilan gambar dan penimbangan
6. 3 spesimen kedua direndam selama 12 hari kemudian dilakukan pengambilan gambar dan penimbangan
7. 3 spesimen ketiga direndam selama 18 hari kemudian dilakukan pengambilan gambar dan penimbangan
8. 3 spesimen keempat direndam selama 24 hari kemudian pengambilan gambar dan penimbangan
9. 3 spesimen kelima direndam selama 30 hari kemudian pengambilan gambar dan penimbangan
10. 3 spesimen kelima direndam selama 30 hari kemudian dilakukan uji FTIR
11. Ulangi langkah 1-10 untuk variasi konsentrasi inhibitor 100 mg/L, 200 mg/L, 300 mg/L, 400 mg/L, dan 500 mg/L

3.8.3.2 Pengujian *Weight Loss* di larutan H₂SO₄ 1M

1. Siapkan wadah plastik
2. Siapkan 3 spesimen Baja API 5L Grade B dengan dimensi 2cm x 2cm x 0.3cm
3. Masukkan larutan NaCl 3,5 % yang dibuat ke dalam wadah plastic
4. Rendam baja API 5L Grade B ke dalam larutan tanpa penambahan inhibitor
5. 3 spesimen pertama direndam selama 2 hari kemudian dilakukan pengambilan gambar dan penimbangan



6. 3 spesimen kedua direndam selama 4 hari kemudian dilakukan pengambilan gambar dan penimbangan
7. 3 spesimen ketiga direndam selama 6 hari kemudian dilakukan pengambilan gambar dan penimbangan
8. 3 spesimen keempat direndam selama 8 hari kemudian pengambilan gambar dan penimbangan
9. 3 spesimen kelima direndam selama 10 hari kemudian pengambilan gambar dan penimbangan
10. 3 spesimen kelima direndam selama 10 hari kemudian dilakukan uji FTIR
11. Ulangi langkah 1-10 untuk variasi konsentrasi inhibitor 100 mg/L, 200 mg/L, 300 mg/L, 400 mg/L, dan 500 mg/L



Gambar 3.8 Pengujian *Weight Loss*

3.8.4 Pengujian *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

Spektrometer FTIR merupakan suatu instrument yang memiliki kehandalan ketika digunakan untuk menentukan suatu jenis ikatan yang dimiliki oleh inhibitor organik sekaligus dapat digunakan untuk menentukan adanya kemungkinan terbentuknya ikatan antara inhibitor organik yang teradsorpsi pada permukaan logam (Singh, Singh, & Quraishi, 2010). FTIR merupakan metode analisis material dengan menggunakan spektroskopi sinar



infra merah. Sinar infra merah memiliki rentang panjang gelombang dari $2.5\mu\text{m}$ sampai $25\mu\text{m}$. FTIR merupakan salah satu pengujian tidak merusak. Dalam spektroskopi sinar infra merah, radiasi sinar infra merah ditembakkan ke arah sebuah molekul. Sebagian radiasi sinar infra merah tersebut diserap (diadsorpsi) oleh molekul dan sebagian lagi diteruskan (ditransmisikan) melalui molekul tersebut yang menghasilkan sebuah spectrum. Hasil spectrum tersebut mewakili nilai adsorpsi dan transmisi dan molekul.



Gambar 3.9 Alat Uji FTIR



3.9 Rancangan Pengambilan Data Penelitian

Untuk memudahkan penelitian selama percobaan disusun rancangan percobaan yang dilakukan seperti berikut :

Tabel 3.2 Rancangan Percobaan dengan Metode EIS

Medium	Inhibitor (mg/L)	Pengujian	R_s ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)	C_{dl} (F.cm ²)	R_{ct} ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)
Daun Pandan Wangi dalam NaCl 3,5%	0	1			
		2			
		3			
	100	1			
		2			
		3			
	200	1			
		2			
		3			
	300	1			
		2			
		3			
	400	1			
		2			
		3			
500	1				
	2				
	3				



Medium	Inhibitor (mg/L)	Pengujian	R_s ($\Omega.cm^2$)	C_{dl} (F.cm ²)	R_{ct} ($\Omega.cm^2$)
Daun Pandan Wangi dalam H₂SO₄ 1 M	0	1			
		2			
		3			
	100	1			
		2			
		3			
	200	1			
		2			
		3			
	300	1			
		2			
		3			
	400	1			
		2			
		3			
500	1				
	2				
	3				



Tabel 3.3 Rancangan Percobaan Metode *Weight loss*

Medium	Hari	No. Spesimen	Wo (gram)	Wa (gram)	Laju Korosi (mpy)	IE (%)
Daun Pandan Wangi dalam NaCl 3,5%	6	1				
		2				
		3				
	12	1				
		2				
		3				
	18	1				
		2				
		3				
	24	1				
		2				
		3				
	30	1				
		2				
		3				



Medium	Hari	No. Spesimen	Wo (gram)	Wa (gram)	Laju Korosi (mpy)	IE (%)
Daun Pandan Wangi dalam H₂SO₄ 1 M	6	1				
		2				
		3				
	12	1				
		2				
		3				
	18	1				
		2				
		3				
	24	1				
		2				
		3				
	30	1				
		2				
		3				

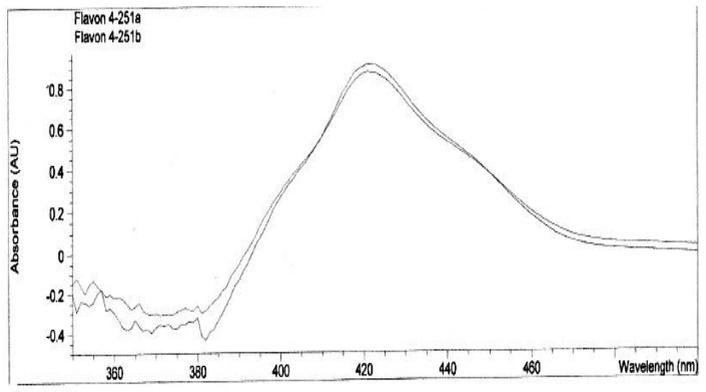


BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Hasil Pengujian Flavonoid Total

Analisis kualitatif pengujian flavonoid dapat dilakukan dengan menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis. Spektrum serapan ultra violet dan serapan merupakan cara untuk mengidentifikasi struktur senyawa flavonoid. Metode analisis kuantitatif komponen senyawa aktif. Metode tersebut mampu menghadirkan informasi definitif untuk identifikasi dan kuantifikasi komponen, namun membutuhkan standar otentik yang bervariasi, tahapan analisis yang panjang, dan waktu analisis yang cukup lama. Metode spektrofotometri UV-VIS juga dapat digunakan untuk melakukan uji secara kuantitatif yaitu menentukan jumlah flavonoid yang terdapat dalam ekstrak daun pandan wangi dengan cara mengukur nilai absorbansinya. Penentuan kadar flavonoid total dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil Spektrum UV-Vis pada Ekstrak Daun Pandan Wangi

Pada gambar 4.1 dapat dilihat bahwa nilai absorbansi 2 kali pengulangan dari ekstrak daun pandan wangi memiliki nilai



absorbansi 0.90857 dan 0.86729. Hasil pengukuran Spektrofotometri UV-Vis dapat juga diketahui jenis flavonoid yang terkandung dalam daun pandan wangi. Hal ini dapat dibuktikan dengan melihat serapan maksimum pada saat pengukuran berlangsung. Serapan maksimum yang dihasilkan berada pada rentang 300-500 nm. Dari gambar 4.1 di atas bisa dilihat serapan maksimum yang memiliki nilai absorbansi tertinggi ada pada panjang gelombang 422 nm.

Dari hasil pengukuran dengan menggunakan Spektrofotometri UV-Vis terlihat bahwa pada panjang gelombang 422 nm terdapat senyawa flavonoid yang berjenis auron (Neldawati, 2013). Dimana senyawa flavonoid yang berjenis auron ini memiliki daerah serapan maksimum pada rentang 380-430 nm. Berikut adalah nilai absorbansi dan kadar flavonoid dari hasil pengukuran spektrofotometri UV-Vis

Tabel 4.1 Data Absorbansi dan Flavonoid pada daun pandan wangi

No	Sample (g)	Absorbansi	% Flavonoid
1	1.0114	0.90857	1.12
2	1.0241	0.86729	1.06

4.1.2 Hasil Pengujian Weight Loss

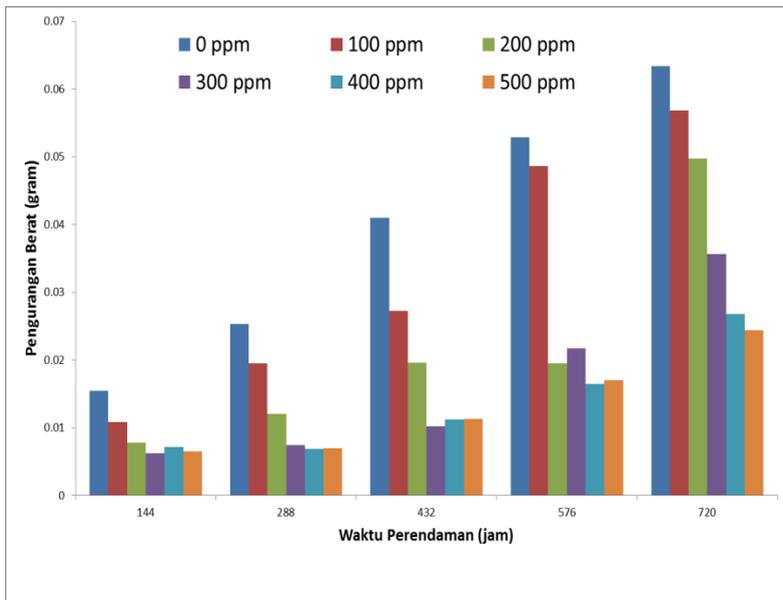
Weight Loss merupakan metode pengujian untuk mengetahui efisiensi inhibitor yang memiliki efisiensi tertinggi dan laju korosi pada baja API 5L Grade B dalam lingkungan NaCl 3,5% dan H₂SO₄ 1M . Prinsip dasar pengujian ini adalah pengurangan berat suatu material setelah dilakukan perendaman dalam waktu yang telah ditentukan. Dari data pengurangan berat tersebut akan didapatkan efisiensi inhibitor dan laju korosi pada baja API 5L grade B di masing-masing larutan.

Dalam penelitian kali ini, inhibitor yang dipakai adalah ekstrak daun pandan wangi dengan konsentrasi 0 mg/L, 100 mg/L, 200 mg/L, 300 mg/L, 400 mg/L, 500 mg/L. Pada larutan NaCl 3,5 % dilakukan perendaman selama 30 hari dengan interval



pengambilan data per 6 hari, sedangkan pada larutan H_2SO_4 dilakukan perendaman selama 10 hari dengan interval pengambilan data per 2 hari. Setiap wadah berisi 3 spesimen supaya saat pengambilan data hasilnya valid dan mengurangi resiko terjadinya anomali atau penyimpangan. Data pengurangan berat yang telah didapatkan akan digunakan untuk menghitung laju korosi dengan menggunakan persamaan 2.1 dan data laju korosi digunakan untuk menghitung efisiensi inhibitor dengan menggunakan persamaan 2.2.

Berikut adalah data-data pengujian *weight loss* spesimen baja API 5L grade B di larutan NaCl 3,5 % :



Gambar 4.2 Grafik Pengurangan Berat Logam pada larutan NaCl 3,5 %



(a)



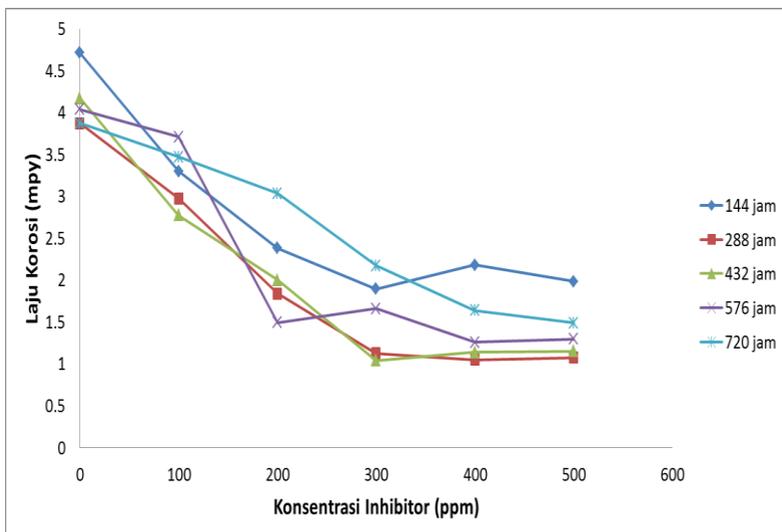
(b)

Gambar 4.3 Baja API 5L Grade B sebelum perendaman di larutan NaCl 3,5 % (a) Baja API 5L Grade B setelah perendaman di larutan NaCl 3,5 % (b)

Dari gambar 4.2 menunjukkan bahwa pengurangan berat dari berat awal spesimen yang terjadi pada spesimen yang direndam selama 6 hari, 12 hari, 18 hari, 24 hari, 30 hari. Antara spesimen yang tidak terinhibisi dan yang terinhibisi terdapat perbedaan jumlah berat logam yang berkurang. Dapat dilihat bahwa pengurangan berat pada larutan NaCl 3,5% selisih antara berat awal dan berat akhir sangat kecil, bahkan jika dilihat secara visual tidak dapat dibedakan secara jelas antara spesimen sebelum direndam dan setelah direndam. Pada spesimen yang tidak terinhibisi pengurangan berat yang terjadi lebih besar daripada spesimen yang terinhibisi. Pengurangan berat spesimen yang tidak terinhibisi pada larutan NaCl 3,5% ini selalu meningkat seiring bertambahnya waktu perendaman, begitu pula dengan pengurangan berat pada spesimen yang terinhibisi. Tetapi seiring bertambahnya konsentrasi pada setiap hari tertentu tidak semua pengurangan berat yang terjadi semakin menurun, Bisa dilihat pada gambar 4.2 bahwa pengurangan berat terbesar pada perendaman 30 hari pada konsentrasi 0 mg/L sebesar 0,0634 gr. Sedangkan pengurangan berat terkecil pada perendaman 6 hari pada konsentrasi 300 mg/L sebesar 0,0062 gr.



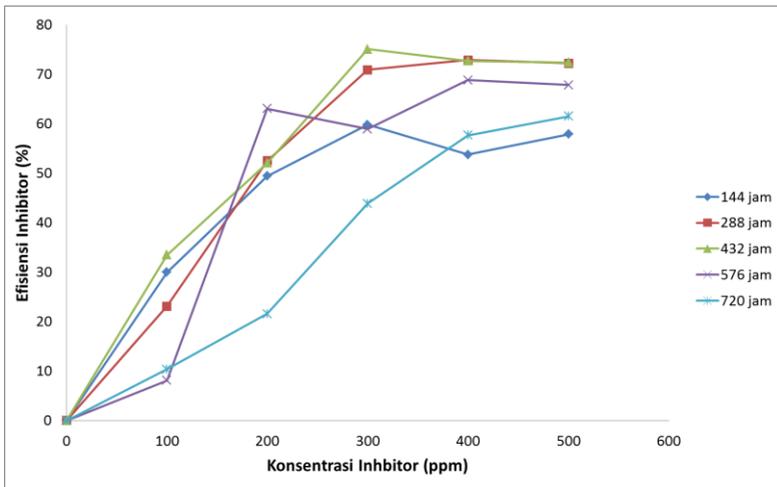
Selain untuk mengetahui pengurangan berat dari spesimen baja API 5L grade B yang tidak terinhibisi dan yang terinhibisi, data-data pada lampiran tabel D.1 menunjukkan efisiensi inhibitor ekstrak daun pandan wangi dan laju korosi pada larutan NaCl 3,5 % yang direndam selama 6 hari, 12 hari, 18 hari, 24 hari, 30 hari. Perhitungan laju korosi ini bertujuan untuk mengetahui seberapa lama sebuah material bertahan dari serangan korosi. Hubungan antara laju korosi dan efisiensi inhibitor berbanding terbalik, jika laju korosi semakin besar maka efisiensi inhibitor yang didapatkan akan semakin kecil. Begitu juga sebaliknya, jika laju korosi semakin kecil maka efisiensi inhibitor yang didapatkan semakin besar. Bisa dilihat pada tabel 4.3 bahwa laju korosi terkecil dan efisiensi inhibitor terbesar pada perendaman 24 hari di 300 mg/L. Untuk laju korosinya sebesar 1,038 mpy. Sedangkan untuk efisiensi inhibitorynya sebesar 75,101 %.



Gambar 4.4 Grafik Konsentrasi Inhibitor terhadap Laju Korosi pada larutan NaCl 3,5 %



Pada gambar 4.4 menunjukkan bahwa semakin bertambahnya konsentrasi inhibitor maka semakin turun pula laju korosinya. Penambahan konsentrasi inhibitor dari 0 mg/L sampai dengan 500 mg/L terjadi penurunan laju korosi secara fluktuatif pada setiap waktu perendaman. Hal ini dapat dihubungkan dengan adanya lapisan protektif yang teradsorpsi pada permukaan baja karbon rendah menjadi semakin tebal atau semakin banyak seiring dengan semakin lamanya waktu perendaman (Li, et al., 2010). Laju korosi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1 dan hasil perhitungannya dapat dilihat pada tabel 4.2 diatas. Laju korosi paling kecil terjadi di 300 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan inhibitor ekstrak daun pandan wangi mampu memperlambat laju korosi pada baja API 5L grade B.



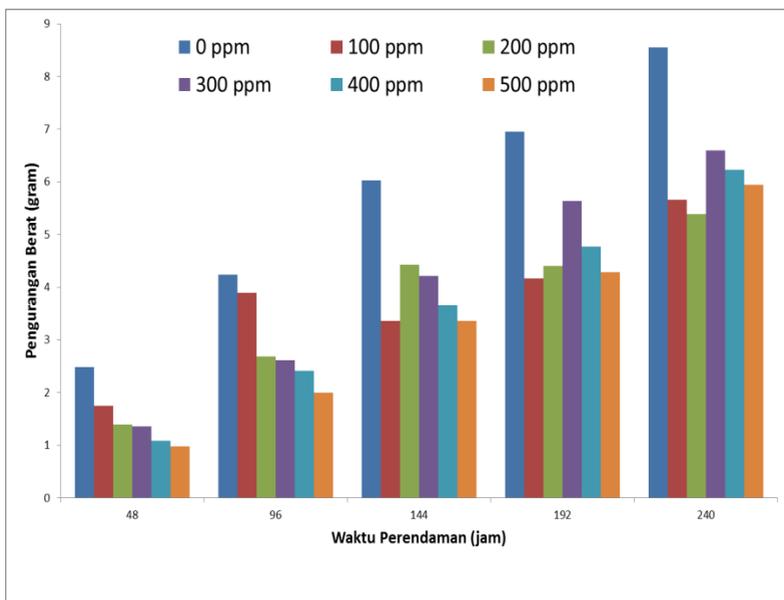
Gambar 4.5 Grafik Konsentrasi Inhibitor terhadap Efisiensi Inhibitor pada larutan NaCl 3,5 %

Setelah mendapatkan laju korosi, selanjutnya pada gambar 4.5 diatas didapatkan efisiensi inhibitor. Konsentrasi inhibitor juga berpengaruh terhadap efisiensi inhibitor ekstrak



daun pandan wangi. Efisiensi inhibitor bisa dihitung dengan persamaan 2.2. Semakin bertambahnya konsentrasi inhibitor, semakin tinggi pula efisiensi inhibitor. Tetapi bisa dilihat pada gambar di atas bahwa penambahan konsentrasi inhibitor dari 0 mg/L sampai dengan 500 mg/L terjadi peningkatan efisiensi inhibitor yang fluktuatif pada setiap waktu perendaman. Efisiensi inhibitor yang tertinggi pada konsentrasi 300 mg/L di waktu perendaman 24 hari. Dalam hal ini, peningkatan efisiensi inhibisi disebabkan oleh adanya peningkatan *surface coverage* dari molekul inhibitor yang teradsorpsi di permukaan baja karbon rendah seiring dengan peningkatan konsentrasi inhibitor (El-Etre & Abdallah, 2000).

Berikut adalah data-data pengujian *weight loss* spesimen baja API 5L grade B di larutan H_2SO_4 1M :



Gambar 4.6 Grafik Pengurangan Berat Logam pada larutan H_2SO_4 1M



(a)



(b)

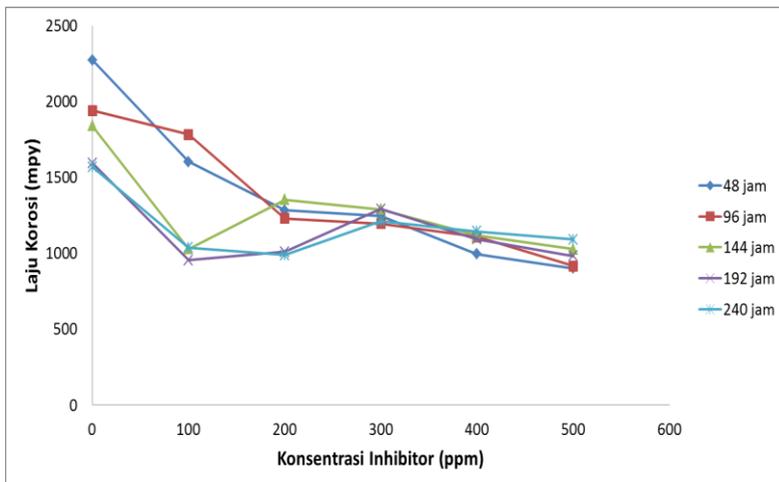
Gambar 4.7 Baja API 5L Grade B sebelum perendaman di larutan H_2SO_4 1M (a) Baja API 5L Grade B setelah perendaman di larutan H_2SO_4 1M (b)

Dari gambar 4.6 diatas dapat dilihat bahwa terjadi pengurangan berat dari berat awal spesimen sebelum direndam dan berat akhir spesimen setelah direndam selama 2 hari, 4 hari, 6 hari, 8 hari, 10 hari pada larutan H_2SO_4 1M. Pengurangan berat terjadi karena pengaruh H_2SO_4 1M yang dapat membuat spesimen tergerus lebih banyak. Bisa dilihat dari gambar 4.7 bahwa selisih berat awal sebelum direndam dan berat akhir setelah direndam terjadi pengurangan berat yang cukup signifikan. Pengaruh larutan H_2SO_4 memang lebih berpengaruh besar dalam hal selisih berat daripada pengaruh larutan $NaCl$ pada spesimen baja API 5L grade B ini. Hal ini dikarenakan H_2SO_4 merupakan asam kuat yang dimana larutan yang bersifat asam bisa membuat suatu material cepat mengalami korosi. Jika dilihat secara visual, bisa dibedakan antara spesimen yang sebelum direndam dan spesimen yang setelah direndam. Pada spesimen yang tanpa penambahan inhibitor terlihat jelas bahwa pengurangan berat yang terjadi lebih besar dibandingkan spesimen dengan penambahan inhibitor. Untuk spesimen yang mengalami pengurangan berat terbesar ada pada perendaman 10 hari dengan konsentrasi 0 mg/L sebesar 8,5549 gr. sedangkan untuk spesimen yang mengalami



pengurangan berat terkecil ada pada perendaman 2 hari dengan konsentrasi 500 mg/L sebesar 0,983 gr.

Setelah mendapatkan data pengurangan berat, selanjutnya data pada lampiran tabel D.3 menunjukkan efisiensi inhibitor ekstrak daun pandan wangi dan laju korosi pada baja API 5L grade B di larutan H_2SO_4 1M yang direndam selama 2 hari, 4 hari, 6 hari, 8 hari, 10 hari. Laju korosi terbesar berada pada konsentrasi 0 mg/L di waktu perendaman 2 hari yaitu sebesar 2273,366 mpy, sedangkan untuk laju korosi terkecil pada konsentrasi 500 mg/L di waktu perendaman 2 hari yaitu sebesar 901,048 mpy. Laju korosi berhubungan dengan efisiensi inhibitor ekstrak daun pandan wangi. Jika laju korosi semakin kecil, maka efisiensi inhibitor semakin besar. Untuk efisiensi inhibitor terbesar berada pada konsentrasi 500 mg/L di waktu perendaman 2 hari yaitu sebesar 60,365 %.

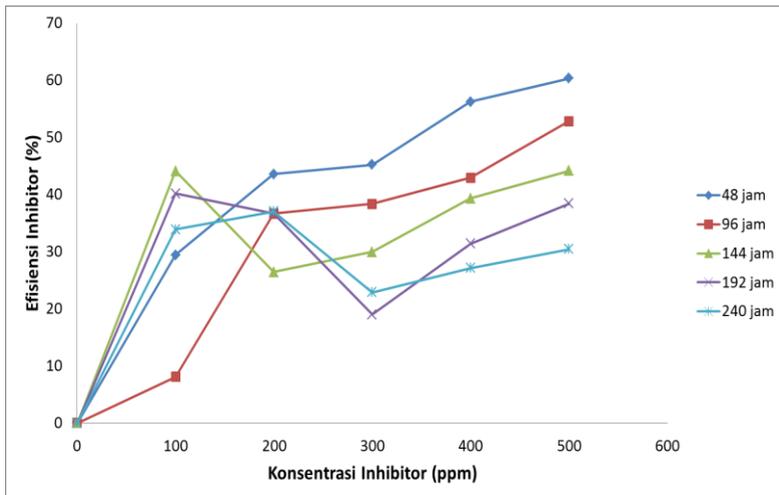


Gambar 4.8 Grafik Konsentrasi Inhibitor terhadap Laju Korosi pada larutan H_2SO_4 1M

Dari gambar 4.8 di atas menunjukkan bahwa semakin bertambahnya konsentrasi inhibitor maka semakin turun pula laju



korosinya. Setiap penambahan konsentrasi inhibitor dari 0 mg/L sampai dengan 500 mg/L terjadi penurunan laju korosi secara fluktuatif pada setiap waktu perendaman. Bisa dilihat pada konsentrasi 0 mg/L laju korosi yang terjadi paling tinggi, semakin tinggi konsentrasi inhibitor laju korosinya semakin menurun. Laju korosi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.2 dan hasil perhitungannya dapat dilihat pada tabel 4.3 diatas. Laju korosi paling kecil terjadi di konsentrasi 500 mg/L dengan waktu perendaman 2 hari. Sedangkan untuk laju korosi paling besar terjadi di konsentrasi 0 mg/L dengan waktu perendaman 2 hari. Penurunan laju korosi ini dapat dihubungkan dengan adanya peningkatan adsorpsi inhibitor di *interface* baja karbon rendah atau larutan seiring dengan peningkatan konsentrasi (Satapathy, et al., 2009).



Gambar 4.9 Grafik Konsentrasi Inhibitor terhadap Efisiensi Inhibitor pada larutan H_2SO_4 1M

Setelah mendapatkan laju korosi, selanjutnya pada gambar 4.9 diatas didapatkan efisiensi inhibitor. Konsentrasi inhibitor juga berpengaruh terhadap efisiensi inhibitor ekstrak



daun pandan wangi. Efisiensi inhibitor bisa dihitung dengan persamaan 2.2. Semakin bertambahnya konsentrasi inhibitor, semakin tinggi pula efisiensi inhibitor. Tetapi bisa dilihat pada gambar di atas bahwa penambahan konsentrasi inhibitor dari 0 mg/L sampai dengan 500 mg/L terjadi peningkatan efisiensi inhibitor yang fluktuatif pada setiap waktu perendaman. Efisiensi inhibitor yang tertinggi pada konsentrasi 500 mg/L di waktu perendaman 48 hari. Rata-rata efisiensi inhibitor terus menurun seiring bertambahnya waktu perendaman di tiap konsentrasi. Penurunan nilai efisiensi inhibisi seiring penambahan konsentrasi inhibitor kemungkinan disebabkan oleh molekul inhibitor yang awalnya teradsorpsi di permukaan baja karbon tertarik kembali ke larutan sehingga dapat merusak lapisan film pelindung ketika konsentrasi inhibitor mendekati atau menjauhi konsentrasi kritisnya (Hussin & Kassim, 2011). Hal ini bisa terjadi karena ekstrak daun pandan wangi kurang mampu mengatasi serangan H_2SO_4 yang merupakan asam kuat sehingga tidak terjadi proteksi pada spesimen.

4.1.3 Hasil Pengujian EIS

Pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) bertujuan untuk mengamati mekanisme inhibisi pada beberapa kondisi yaitu tanpa penambahan inhibitor dan dengan penambahan konsentrasi inhibitor pada ekstrak daun pandan wangi. Pengujian ini menggunakan alat AUTOLAB. Berdasarkan serangkaian percobaan yang telah dilakukan, diperoleh grafik hasil pengujian EIS pada lampiran gambar E.1 dan E.2

Untuk mengetahui mekanisme inhibisi suatu material parameter-parameter elektrokimia seperti tahanan polarisasi (R_p), tahanan larutan (R_s), dan kapasitansi lapis rangkap (Cdl) dalam EIS dapat dijelaskan dalam bentuk rangkaian listrik yang disebut *equivalent circuit*.

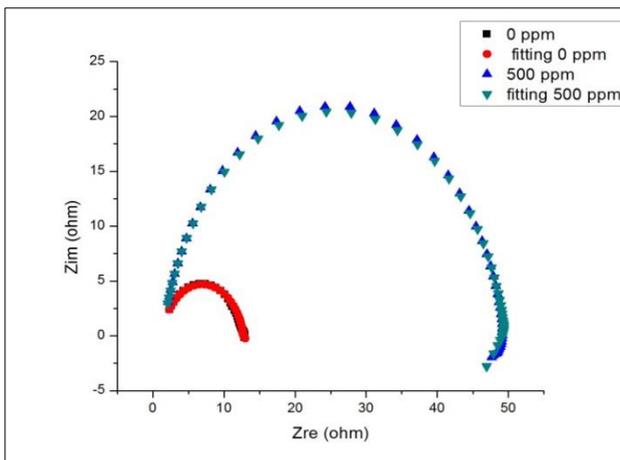
Hasil yang didapatkan dari EIS adalah kurva Nyquist yang berbentuk *semi circle* atau setengah lingkaran yang mempunyai nilai impedansi nyata (Z_{real}) pada sumbu x dan



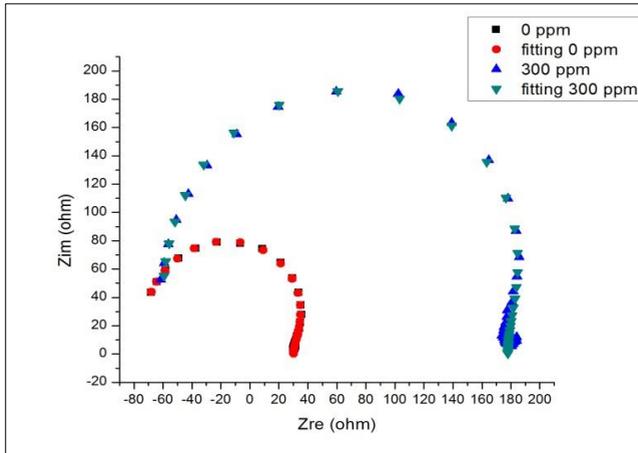
impedansi imajiner (*Zimaginer*). Dari kurva Nyquist kemudian diekspor ke software ZMAN, lalu dilakukan fitting untuk mendapatkan *equivalent circuit* yang cocok.

Pola yang dihasilkan oleh kurva Nyquist menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi inhibitor yang terdapat dalam kurva Nyquist berarti proses korosi berada pada daerah perpindahan muatan dari logam ke larutan elektrolit dengan melewati lapisan kapasitansi lapis rangkap (*double electrochemical layer*).

Kurva Nyquist yang didapatkan pada konsentrasi inhibitor 0 mg/L dan 300 mg/L pada larutan NaCl 3,5% dan konsentrasi inhibitor 0 mg/L dan 500 mg/L pada larutan H₂SO₄ 1M kemudian diekspor dan difitting ke dalam software ZMAN untuk menentukan bentuk rangkaian listrik (*equivalent circuit*) yang sesuai pada saat sel elektrokimia bekerja. *Equivalent circuit* digunakan untuk menjelaskan parameter elektrokimia dalam pengujian EIS, melalui parameter elektrokimia tersebut mekanisme inhibisi pada inhibitor dapat diketahui.

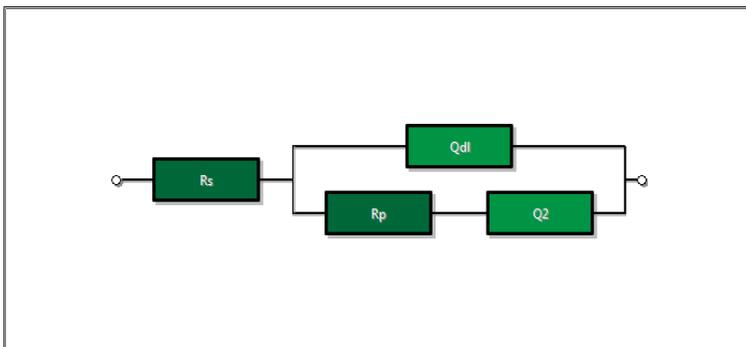


Gambar 4.10 Grafik Hasil Fitting konsentrasi Inhibitor 0 mg/L dan 500 mg/L pada larutan H₂SO₄ 1M

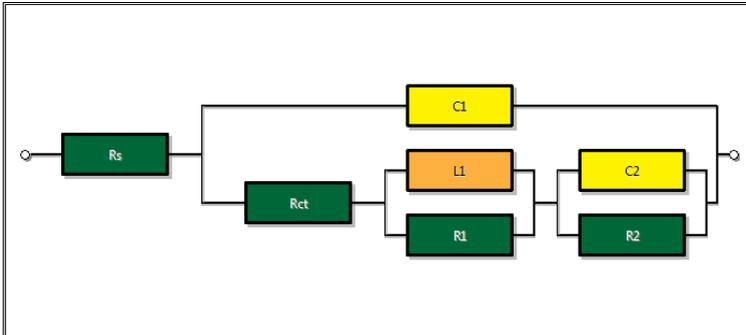


Gambar 4.11 Grafik Hasil fitting konsentrasi inhibitor 0 mg/L dan 300 mg/L pada larutan NaCl 3,5 %

Hasil *equivalent circuit* pada software ZMAN untuk kurva Nyquist ditunjukkan pada gambar 4.16 dan 4.17.



Gambar 4.12 Hasil *Equivalent Circuit* konsentrasi inhibitor 0 mg/L dan 500 mg/L pada larutan H₂SO₄ 1M



Gambar 4.13 Hasil *Equivalent Circuit* konsentrasi inhibitor 0 mg/L dan 500 mg/L pada larutan NaCl 3,5%

Hasil *Equivalent Circuit* didapatkan parameter-parameter elektrokimia berupa R-Resistor, C-Kapasitor, L-Induktor, CPE-Constant Phase Element yang hasilnya bisa dilihat pada tabel 4.2 dan 4.3.

Tabel 4.2 Data hasil *Equivalent Circuit* inhibitor daun pandan wangi pada larutan H_2SO_4 1M

Parameter Elektrokimia	Konsentrasi (mg/L)	
	0	500
Rs (ohm)	1.229409	1.436551
Qydl	0.000174	0.000127
Qadl	0.8703155	0.897015
Rp (ohm)	11.526012	48.097187
Qy2	0.137087	0.827612
Qa2	3.470604	2.541517



Tabel 4.3 Data hasil *Equivalent Circuit* inhibitor daun pandan wangi pada larutan NaCl 3,5%

Parameter Elektrokimia	Konsentrasi (mg/L)	
	0	300
Rs (ohm)	-75.837682	-60.71016
C1 (F)	7.08013E-9	3.872733E-9
Rct (ohm)	180.79146	238.65718
L1	0.000103	0.000132
R1 (ohm)	1.7813E+7	2.5802E+7
C2 (F)	4578.89	-216706.67
R2 (ohm)	0.15487	0.168421

Dari data *equivalent circuit* diatas didapatkan komponen-komponen listrik seperti Rs, Rct, Q, C, dan L. Rs merupakan hambatan yang disebabkan oleh larutan yang terjadi antara elektroda *reference* dan elektroda kerja. Nilai Rs pada kurva *Nyquist* dari titik 0 ke titik *start point* pada kurva tersebut. Rct adalah tahanan transfer muatan yang menggambarkan pada saat logam berinteraksi dengan larutan elektrolit dan terjadi pelarutan atom-atom logam. Sedangkan nilai Q atau CPE (*constant phase element*) pada rangkaian ini dapat berperan sebagai kapasitor atau resistor. Jika nilai Q mendekati nilai 1 maka bersifat kapasitor ideal, sedangkan saat nilai Q mendekati nol maka bersifat resistor ideal. Nilai Q yang mendekati 1 bisa juga disebut dengan Qdl. Qdl adalah kapasitansi lapis rangkap yang dalam sel elektrokimia terjadi pada antar logam dan lingkungannya. Lapisan rangkap tersebut terbentuk akibat ion-ion dari larutan berinteraksi dengan



permukaan elektroda. Muatan pada elektroda dipisahkan dari muatan ion-ion oleh suatu media isolator baik berupa lapisan pasif atau pelarut.

Dari hasil *equivalent circuit* yang terbentuk pada larutan H_2SO_4 1M dan NaCl 3,5% terlihat bahwa di masing-masing larutan mempunyai komponen listrik yang berbeda. Setiap jenis larutan memiliki nilai tahanan yang berbeda. Berdasarkan hasil pengujian EIS, nilai R_s untuk larutan H_2SO_4 lebih besar dibandingkan dengan larutan NaCl. Dengan adanya penambahan inhibitor nilai R_s akan naik jika dibandingkan tanpa penambahan inhibitor. *Equivalent circuit* pada gambar 4.10 menunjukkan bahwa proses korosi baja API 5L grade B dikendalikan oleh tahanan transfer muatan yaitu R_{ct} , yang dimana nilai R_{ct} sama dengan nilai R_p .

Berdasarkan tabel 4.6, peningkatan konsentrasi inhibitor dari 0 mg/L ke 500 mg/L menunjukkan terjadi penurunan laju korosi. Hal ini disebabkan tahanan transfer muatan (R_{ct}) memiliki nilai yang lebih besar jika ditambahkan konsentrasi inhibitor. R_{ct} mengindikasikan adanya lapisan pasif yang terbentuk pada permukaan logam. Semakin banyak lapisan pasif yang terbentuk maka nilai R_{ct} akan semakin besar sedangkan nilai Q_{dl} akan semakin kecil. Nilai Q_{dl} dapat dihubungkan dengan adsorpsi senyawa inhibitor pada permukaan logam (Wahyuningsih,2010). Bila permukaan logam terlapisi oleh senyawa inhibitor maka proses korosi akan cenderung dikontrol oleh proses aktivasi dimana nilai tahanannya akan meningkat dengan semakin bertambahnya konsentrasi inhibitor. Sedangkan berdasarkan tabel 4.7, adanya hambatan larutan R_s yang terjadi akibat arus listrik yang mengalir melewati larutan NaCl menuju ke permukaan baja. Kemudian terjadi hambatan transfer muatan R_{ct} yang menyebabkan adanya interaksi antara permukaan baja dan larutan NaCl. Proses ini terjadi ketika permukaan luar baja mengalami induktansi sebesar L dan terdapat hambatan R_1 yang terdapat di dalam lapisan baja API 5L Grade B. Sedangkan C_2 merupakan kapasitansi yang di dalamnya juga terdapat hambatan R_2 .



Efisiensi inhibitor juga dapat dihitung dari pengujian EIS dengan membandingkan nilai R_{ct} tanpa penambahan inhibitor dan nilai R_{ct} setelah penambahan inhibitor. Untuk mendapatkan efisiensi inhibitor dari EIS dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\%IE = \frac{R_{ct}(inh) - R_{ct}}{R_{ct}(inh)} \times 100\%$$

Dari persamaan di atas didapatkan efisiensi inhibitor ekstrak daun pandan wangi dalam larutan H_2SO_4 1M pada konsentrasi 500 mg/L sebesar 76,035 %. Sedangkan efisiensi inhibitor ekstrak daun pandan wangi dalam larutan NaCl 3,5 % pada konsentrasi 300 mg/L sebesar 24,244 %.

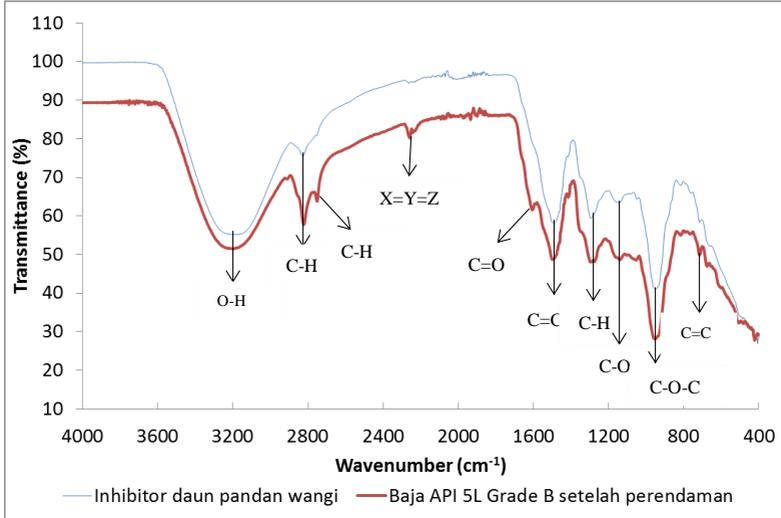
4.1.4 Hasil Pengujian FTIR

FTIR merupakan suatu alat yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis ikatan gugus fungsi, khususnya gugus fungsi yang terkandung dalam senyawa-senyawa organik. Ekstrak yang digunakan sebagai organik pada dasarnya mengandung senyawa organik dan ketika senyawa organik tersebut digunakan sebagai inhibitor diharapkan akan terjadi adsorpsi ke permukaan logam sehingga logam terlindung dari korosi. FTIR merupakan alat yang dapat digunakan untuk menentukan jenis ikatan yang berasal dari inhibitor organik yang teradsorpsi di permukaan logam. Oleh karena itu spektrometer FTIR digunakan untuk mengidentifikasi apakah terdapat proses adsorpsi pada permukaan baja API 5L grade B setelah dilakukan perendaman didalam larutan NaCl 3,5% dan H_2SO_4 1M.

Gambar dan tabel dibawah ini menunjukkan hasil pengujian FTIR yang dilakukan pada ekstrak daun pandan wangi dan adsorpsi lapisan yang terbentuk pada permukaan baja API 5L grade B setelah direndam selama 30 hari dalam larutan 3,5% NaCl yang ditambah dengan 300 mg/L inhibitor ekstrak daun pandan wangi dan larutan H_2SO_4 1M yang direndam selama 10



hari dengan penambahan inhibitor 500 mg/L ekstrak daun pandan wangi.



Gambar 4.14 Spektra FTIR ekstrak daun pandan wangi dan baja API 5L grade B setelah perendaman

Tabel 4.4 Analisa FTIR dengan IR Table Reference

No	Bilangan Gelombang daun pandan wangi (cm ⁻¹)	Bilangan Gelombang Adsorpsi (cm ⁻¹)	Bilangan Gelombang Tabel Korelasi (cm ⁻¹)	Perkiraan Gugus Fungsi
1	3285.41	3299.95	3200-4000	O-H stretch (primary amines)
2	2928.06	2922.93	2800-3000	C-H stretch



				(aromatic)
3	-	2852.47	2800-3000	C-H stretch (aromatic)
4	-	2359.39	2000-2500	X=Y=Z stretch (alkynes)
5	-	1704.49	1550-1870	C=O stretch (esters)
6	1590.16	1597.31	1450-1600	C=C stretch (aromatic)
7	1393.79	1395.99	1150-1490	C-H (methyl)
8	1242.47	1235.88	1020-1310	C-O (ethers aromatic)
9	1053.58	1053.58	1020-1310	C-O-C stretch (ethers aromatic)
10	-	816.88	780-1000	C=C deformatio n (aliphatic)

Keterangan (*) : Bilangan gelombang adalah rujukan dari tabel korelasi (Socrates, 2001).

Berdasarkan hasil pengamatan spektra FTIR dapat diketahui bahwa ekstrak daun pandan wangi mengandung gugus fenol, cincin aromatik dan gugus ether. Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa spektra FTIR daun pandan wangi memiliki gugus O-H, C=C dan C-H, C-O, dan C-O-C sehingga diperkirakan bahwa golongan senyawa aktif pada ekstrak daun pandan wangi merupakan senyawa aromatik atau fenolik yaitu suatu jenis dari golongan senyawa flavonoid dan tripernoid (Lathifah, 2008).



Dari perbandingan spektrum FTIR antara ekstrak daun pandan wangi yang teradsorpsi pada permukaan daun pandan wangi diketahui bahwa frekuensi gugus fenolik O-H mengalami perubahan dari 3285.41 cm^{-1} menjadi 3299.95 cm^{-1} . Untuk frekuensi regang C-H pada cincin aromatik dari 2928.06 cm^{-1} mengalami perubahan menjadi 2922.93 cm^{-1} . Frekuensi regang C=C pada cincin aromatik mengalami perubahan dari 1590.16 cm^{-1} menjadi 1597.31 cm^{-1} . Sedangkan untuk frekuensi C-H mengalami perubahan dari 1393.79 cm^{-1} menjadi 1395.99 cm^{-1} . Frekuensi C-O mengalami perubahan dari 1242.47 cm^{-1} menjadi 1235.88 cm^{-1} , perubahan tersebut kemungkinan diakibatkan karena adanya ekstrak daun pandan wangi yang teradsorpsi di permukaan baja API 5L Grade B. Selain itu ada beberapa peak baru yg muncul, seperti pada peak 2852.47 cm^{-1} dimana pada peak ini mempunyai frekuensi regang C-H aromatik. Untuk peak 2359.39 cm^{-1} terdapat frekuensi regang X=Y=Z alkane. X, Y, dan Z dapat diartikan sebagai atom C, N, O, dan S. Dimana inhibitor yang mengandung atom N, S, atau O, sehingga diperkirakan bahwa terdapat gugus baru yang terbentuk akibat logam yang berikatan dengan inhibitor. Peak 1704.49 cm^{-1} terdapat frekuensi regang C=O ester dan pada peak 816.88 cm^{-1} terdapat frekuensi C=C alipatik.

Dari hasil perbandingan spektra FTIR antara ekstrak daun pandan wangi dengan lapisan yang teradsorpsi di permukaan baja API 5L Grade B diketahui memiliki spektra gugus fungsi yang serupa namun terdapat beberapa perubahan serapan di daerah tertentu (Pramana, 2012). Perubahan serapan tersebut kemungkinan disebabkan oleh adanya ikatan antara ekstrak daun pandan wangi dengan logam, sehingga menunjukkan bahwa adanya lapisan yang teradsorpsi.



4.2 Pembahasan

Hasil keseluruhan pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa inhibitor daun pandan wangi merupakan inhibitor organik dan cukup efektif melindungi baja API 5L Grade B dari serangan korosi pada larutan NaCl 3,5% dan H₂SO₄ 1M. Pengujian flavonoid total mengidentifikasi adanya senyawa flavonoid. Pada uji spektrofotometri UV-Vis dapat ditentukan jumlah flavonoid yang terdapat dalam ekstrak daun pandan wangi dengan cara mengukur nilai absorbansinya. Ekstrak daun pandan wangi memiliki nilai absorbansi tertinggi pada panjang gelombang 425 nm. Senyawa flavonoid yang terbentuk dari golongan auron yang dimana jenis flavonoid ini memiliki daerah pita serapan maksimum pada rentang 380-430 nm. Pada panjang gelombang 425 nm memiliki nilai absorbansi 0.42102 dan 0.42298 sehingga kadar flavonoid yang terkandung dalam ekstrak daun pandan wangi sebesar 0.5% dan 0.51%.

Dari pengujian *weight loss* memperlihatkan bahwa laju korosi turun seiring dengan penambahan inhibitor pada setiap masing-masing larutan. Laju korosi pada larutan NaCl 3,5 % di konsentrasi 0 mg/L sebesar 4,715 mpy, sedangkan di konsentrasi 300 mg/L sebesar 1,038 mpy. Untuk larutan H₂SO₄ 1M laju korosi di konsentrasi 0 mg/L sebesar 2273,366 mpy, sedangkan di konsentrasi 500 mg/L sebesar 901,048 mpy. Pada pengujian ini selain mendapatkan laju korosi juga didapatkan efisiensi inhibitor ekstrak daun pandan wangi. Efisiensi inhibitor tertinggi yang didapatkan di larutan NaCl 3,5 % dengan konsentrasi 300 mg/L yaitu sebesar 75,101 %. Untuk di larutan H₂SO₄ 1M dengan konsentrasi 500 mg/L efisiensi inhibitor tertinggi yaitu sebesar 60,365 %.

Pada pengujian EIS dapat diketahui mekanisme inhibisi ekstrak daun pandan wangi dari rangkaian listrik *equivalent circuit* yang didapatkan setelah melalui proses fitting kurva Nyquist. Hasil dari *equivalent circuit* pada larutan H₂SO₄ 1M menunjukkan bahwa adanya lapisan pelindung yang teradsorpsi pada permukaan baja API 5L Grade B dengan nilai tahanan



sebesar R_{ct} dan kapasitansi lapis rangkap sebesar Q_{dl} . Dengan adanya Q_{dl} maka terjadi adsorpsi senyawa inhibitor pada permukaan baja. Sehingga inhibitor ekstrak daun pandan wangi pada larutan H_2SO_4 1M merupakan inhibitor yang bekerja secara *chemical adsorption*. Sedangkan *equivalent circuit* pada larutan NaCl 3,5 % menunjukkan bahwa inhibitor ekstrak daun pandan wangi merupakan inhibitor yang bekerja secara *chemical adsorption*. Hal ini bisa dilihat dari hasil *equivalent circuit* terdapat nilai C dan L yang bisa mempengaruhi hambatan larutan yang menyebabkan larutan bereaksi dengan senyawa inhibitor untuk menyelimuti permukaan baja. Hasil dari pengujian FTIR untuk mengetahui jenis ikatan gugus fungsi. Hasil uji FTIR menunjukkan adanya senyawa fenolik yang berfungsi sebagai antioksidan untuk mencegah terjadinya oksidasi. Selain itu pada pengujian FTIR terdapat atom N, S, O sehingga dapat diketahui adanya gugus baru yang terbentuk antara ekstrak inhibitor daun pandan wangi dengan logam.



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Penambahan inhibitor ekstrak daun pandan wangi dalam larutan NaCl 3,5% dan H₂SO₄ 1M dapat menurunkan laju korosi pada baja API 5L Grade B. Pada larutan NaCl 3,5% laju korosi terendah didapatkan pada konsentrasi 300 mg/L sebesar 1,038 mpy, sedangkan pada larutan H₂SO₄ 1M laju korosi terendah didapatkan pada konsentrasi inhibitor 500 mg/L sebesar 901,048 mpy. Efisiensi inhibitor tertinggi pada larutan NaCl 3,5 % sebesar 75,101 %, sedangkan pada larutan H₂SO₄ 1M sebesar 60,365%.
2. Mekanisme kerja dari inhibitor ekstrak daun pandan wangi pada penelitian ini adalah bekerja secara adsorpsi pada larutan H₂SO₄ 1M dan larutan NaCl 3,5%. Hal ini dibuktikan dari rangkaian listrik atau *equivalent circuit* pada pengujian EIS.

5.2 Saran

1. Perlu adanya variasi konsentrasi inhibitor yang lain untuk mengetahui konsentrasi optimum yang bisa menurunkan laju korosi.
2. Perlu adanya variasi temperatur dan variasi agitasi pada pengujian selanjutnya untuk melihat kinerja inhibitor
3. Sebaiknya tidak perlu dilakukan pengujian di dalam larutan H₂SO₄ 1M, dikarenakan pada larutan asam kuat ini inhibitor yang bekerja tidak begitu relevan.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Adnan, M. 1997. **Teknik Kromatografi untuk Analisis Bahan Makanan**. Edisi 1. Yogyakarta : Penerbit Andi. Hal.1
- Adyana D. N. *Jenis dan Pembuatan Logam & Paduan*. Materi Presentasi Kuliah. Jakarta. 2008
- Andi Rustandi. 2012. **“Studi Penggunaan Campuran Natural Green Corrosion Inhibitor Piper Betle dan Green Tea Untuk Proteksi Korosi Material Baja API 5L X52 di Dalam Lingkungan NaCl 3,5% pada Kondisi Turbulen.”** Departemen Metalurgi dan Material Universitas Indonesia : Depok
- API SPECIFICATION 5L. **Specification for Line Pipe, Forty-Third Edition**. 2004.
- ASTM Handbook, **Metals Handbook Volume 13B: Corrosion: Materials** (ASTM International, 2005)
- ASTM, I. (1999). **Standard reference test method for making potentiostatic and potentiodynamic anodic polarization measurements, G5 - 94**. United States.
- ASTM, I. (2004). **Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals, G 31 - 72**.
- Azzis, S. N. 2012. **Deteksi Hormon Kortikosteron Dalam Sampel Urine Tikus (Rattus norvegicus) Betina Menggunakan Teknologi Fourier Transform Infrared (FTIR)**. Departemen Biologi, Universitas Indonesia.
- Bard, A.J., and Faulkner, L.R. 1980. **“Electrochemical Methods (316).”** John Wiley & Sons, New York.

- Bentiss, F dkk, 2004, **2,5-Bis(4-dimethylaminophenyl)-1,3,4-oxadiazole and 2,5-bis(4dimethylaminophenyl)-1,3,4-thiadiazole as Corrosion Inhibitors for Mild Steel in Acidic Media**. Corrosion Science
- Brondel, D., Edwards, R., Hayman, A., Hill, D., Mehta, S., dan Semerad, T. (1994). **Corrosion in the Oil Industry**. Oilfield Review 6: 4-18.
- Butarbutar, S.L dan Sunaryo, G.R. 2011. **Analisis Mekanisme Pengaruh Inhibitor Siskem Pada Material Baja Karbon**. Prosiding Seminar Nasional ke-17 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir. ISSN 0854-2910: 559-566.
- Clifton, D. 1965. **Corrosion Prevention**
- Dalimartha, 2006. **Atlas Tumbuhan Obat Indonesia**. Jilid 4. Jakarta : Puspa Swara.
- Dalimunthe, Indra Surya. 2004. **Kimia dari Inhibitor Korosi**. Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
- Darmawan, Oki. 2012. **“Studi Green Corrosion Inhibitor Ekstrak Daun Bayam Merah (*Amaranthus Gangeticus*) pada Baja Karbon Rendah dalam Larutan 1M HCl dengan Metode Polarisation dan EIS.”** Tesis Universitas Indonesia.
- Ditjen POM, 1995. **Materia Medika Indonesia**. Jilid VI. Jakarta : Departemen Kesehatan RI.

- Ditjen POM, 1995. **Parameter Standar Umum Ekstrak Tumbuhan Obat**. Cetakan Pertama. Jakarta : Departemen Kesehatan RI.
- El-Etre, A. Y., & Abdallah, M. (2000). **Natural honey as corrosion inhibitor for metals and alloys**. II. C-steel in high saline water. *Corrosion Science*, *42*, 731-738.
- El-Etre, A.Y., Abdalah, M. 2004. “*Corrosion Inhibition of Some Metals Using Lawsonia Extract*”, Elsevier Science.
- Casey, F. A. 2006. *Organic chemistry*, 6 th Ed. New York: Mc Graw Hill.
- Firmansyah, Dede. 2011. “*Studi inhibisi Korosi Baja Karbon dalam Larutan Asam 1 M HCl oleh Ekstrak Daun Sirsak (Anona Muricata)*”. Tesis Universitas Indonesia.
- Fontana, Mars G., 1987. **Corrosion Engineering 3rd Edition**. New York: Mc Graw-Hill Book Company.
- Gamry, I. 2005, “**Basics of Electrochemical Impedance Spectroscopy**”, Gamry Instrument Inc.
- Halimatuddahlia. 2003. “**Pencegahan Korosi Dan Scale Pada Proses Produksi Minyak Bumi**”, Jurusan Teknik Kimia Universitas Sumatera Utara.
- Hermawan, Beni. 2007. “*Ekstrak Bahan Alam Sebagai Alternatif Inhibitor Korosi*”. 22 April
- Hussin, M. H., & Kassim, M. J. (2011). **The corrosion inhibition and adsorption behavior of uncaria gambir extract on mild steel in 1 M HCl**. *Materials Chemistry and Physics*, *125*, 461-468.

- Ismail N.Andijani *and* Mohammad Mobin, 2005, “**Studies On The Determination. Of Maximum Chloride Level In Product Water Transmitted Through. Pipelines A, B And C1**
- Jaya, H., Rini Riastuti. **Pengaruh Komposisi Kimia Terhadap Ketahanan Korosi Pada Materialapi S1 Grade B Seamless**. Skripsi. Teknik Metalurgi Dan Material. UI. 2011.
- Jones, Denny A., 1992. **Principle and Prevention Corrosion**. Singapura : Maxwell Macmillan.
- Lathifah, Q.A., 2008. **Uji efektivitas ekstrak Kasar Senyawa Antibakteri pada Buah Belimbing Wuluh (Averrhoa blimbi L.) dengan variasi pelarut**. Universitas Islam Negeri Malang (UIN) Malang.
- Li, X.-H., Deng, S.-D., & Fu, H. (2010). **Inhibition by Jasminum nudiflorum Lindl. leaves extract of the corrosion of cold rolled steel in hydrochloric acid solution**. *J. Appl Electrochem*, 40, 1641-1649.
- Liu, F.G., Du, M., Zhang, J., dan Qiu, M.(2008). **Electrochemical Behavior of Q235 Steel in Saltwater Saturated with Carbon Dioxide Based on New Imidazoline Derivative Inhibitor**. *Corrosion Science* 51: 102-109.
- Nahle, A., Abu-Abdoun, I., Abdel-Rahman, I., & Al-Khayat, M. 2010. **UAE neem extract as a corrosion inhibitor for carbon steel in HCl solution**. *Hindawi publishing corporation*.

- Neldawati, Ratnawulan, & Gusnedi. (2013). **Analisis Nilai Absorbansi dalam Penentuan Kadar Flavonoid untuk Berbagai Jenis Daun Tanaman Obat**. Jurusan Fisika, Universitas Negeri Padang
- Okafor, P. C., Ikpi, M. E., Uwah, I. E., Ebenso, E. E., Ekpe, U. J., & Umoren, S. A. (2008). **Inhibitory action of phyllanthus amarus extract on the corrosion of mild steel in acidic media**. *Corrosion Science*, 50, 2310-2317.
- Pandian, B.R., Mathur, G.S. 2008. **“Natural Product as Corrosion Inhibitor for Metals in Corrosive Media A-Review”**, *Science Direct Materials Letters* 62, 113-116.
- Perez, Nestor. 2004. *Electrochemistry and Corrosion Science*, Kluwer Academic Publisher.
- Pierre R. Roberge. 2000. **Handbook of Corrosion Engineering**. USA : The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Pramana, R. I. 2012. **Studi Ekstrak Daun Beluntas (pluchea indica less.) Sebagai Inhibitor Korosi Ramah Lingkungan Terhadap Baja Karbon Rendah di Lingkungan 3,5% NaCl**. Jurusan Teknik Material dan Metalurgi. UI.
- Prayogha, P. K. G. (2012). **Profil Hormon Ovari Sepanjang Siklus Estrus Tikus (Rattus norvegicus) Betina Menggunakan Fourier Transform Infrared (FTIR)**. Departemen Biologi. Universitas Indonesia.
- Revie, R. Winston. 2000. **Uhlig’s Corrosion Handbook (2nd Edition)**. New York. : John Willey & Sons Inc.

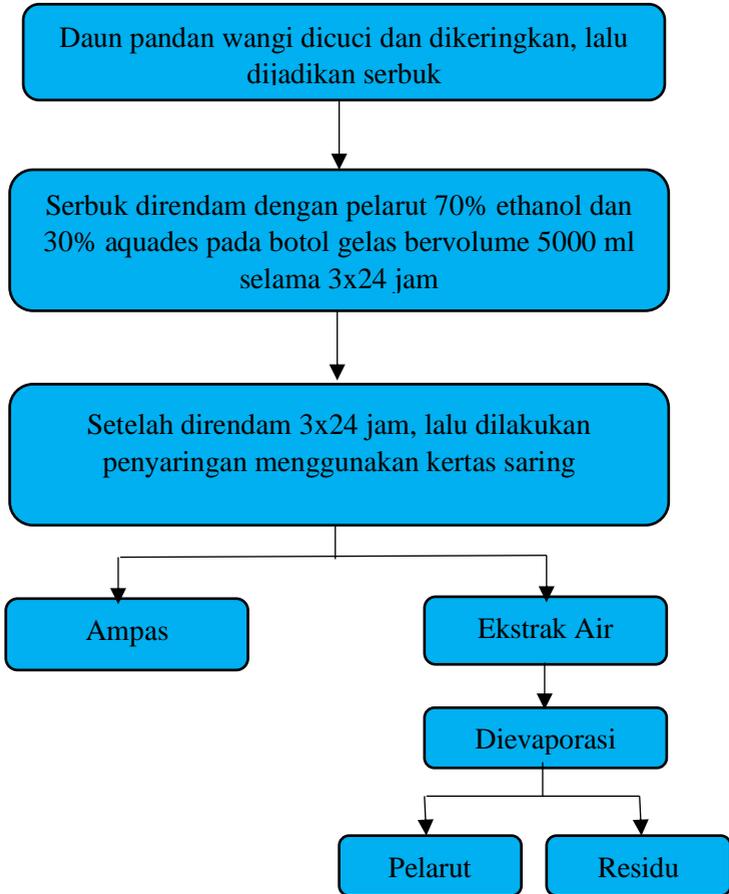
- Rohmawati, 1995. **Uji Fitokimia Ekstrak Daun Pandan Wangi**. Medan : FMIPA. USU
- Satapathy, A. K., Gunasekaran, G., Sahoo, S. C., Amit, K., & Rodrigues, P. V. (2009). **Corrosion inhibition by Justicia gendarussa plant extract in hydrochloric acid solution**. *Corrosion Science*, 51, 2848-2856.
- Shreir L L. 1976. **“Localised Corrosion”** in Shreir LL (ed), Corrosion (Vol.1) Newnes Butterworths, pp : 158-62.
- Silverstein, R. M., Webster, F. X., & Kiemle, D. J. (2005). **Spectrometric Identification of Organic Compounds (Seventh edition ed.)**. United states of America: JohnWiley & Sons.
- Singh, A., Singh, V. K., & M.A.Quraishi. (2010). **Effect of fruit extract of some environmentally benign green corrosion inhibitors on corrosion of mild steel in hydrochloric acid solution**. *J. Mater. Environ. Sci*, 1, 162-174.
- Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2007). **Principles of Instrumental Analysis (6th. ed.)**. Belmont, USA: Thomson Brooks/Cole.
- Sulistijono, 2000. **Korosi dan Pengendalian Korosi**. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Socrates, George. 2001. **Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies, 3 Ed**. Formerly of Brunel, The University of West London, Middlesex. UK

- Syahril, 2012. **Studi Spektroskopi Impedansi Barium Titanat pada Tempertur Tinggi**. Tesis. Departemen Fisika. UI.
- Tjitro, S., J Anggono, dan Hariyono, H. 2003. *“Pengaruh Lingkungan terhadap Efisiensi Asam Askorbat (Vitamin C) pada Laju Korosi Tembaga”*. UKP.
- Trethewey, K.R. dan J. Chamberlain. 1991. **Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan** Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama.
- 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.
- Winarsi, Hery. 2005. **Isotflavon**. Jogjakarta: UGM Press

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

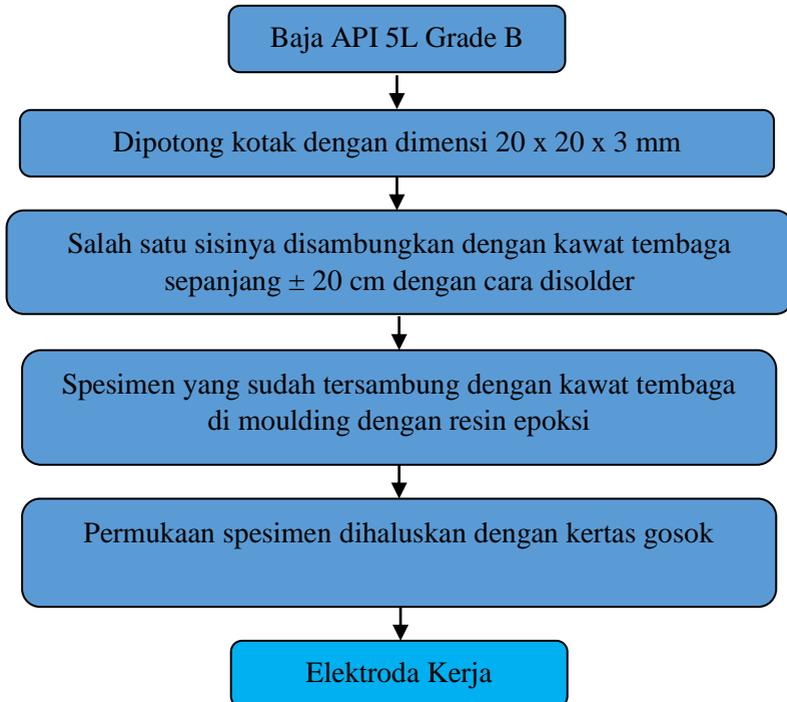
LAMPIRAN A SKEMA KERJA

1. Pembuatan Ekstrak Inhibitor Korosi



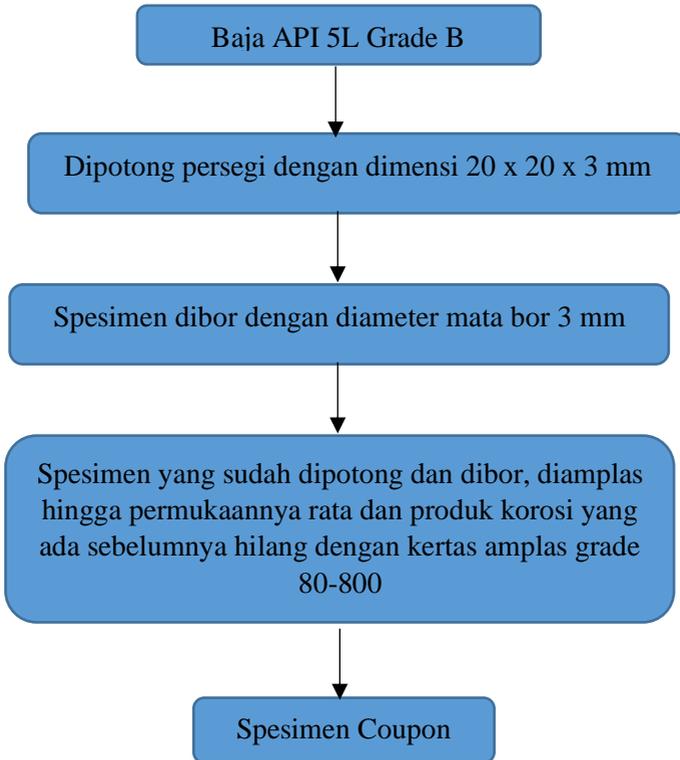
Gambar A.1 Diagram Alir Pembuatan Ekstrak Daun Pandan Wangi

2. Pembuatan Elektroda Kerja



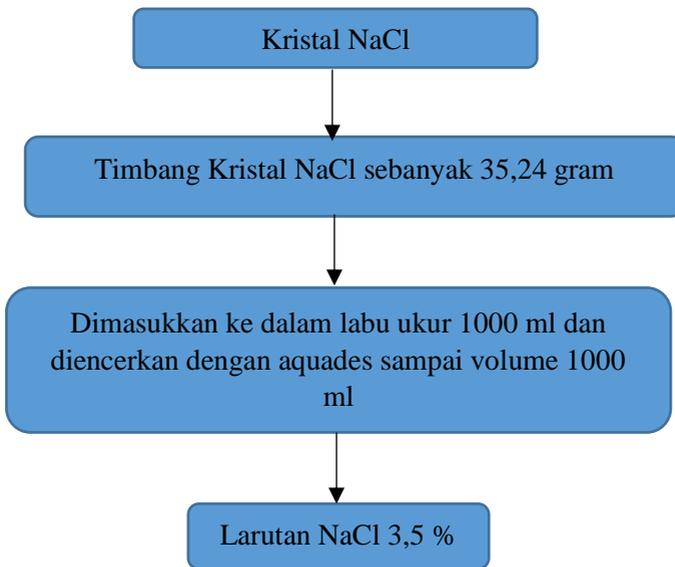
Gambar A.2 Diagram Alir Pembuatan Elektroda Kerja

3. Pembuatan Spesimen *Coupon Weight Loss*



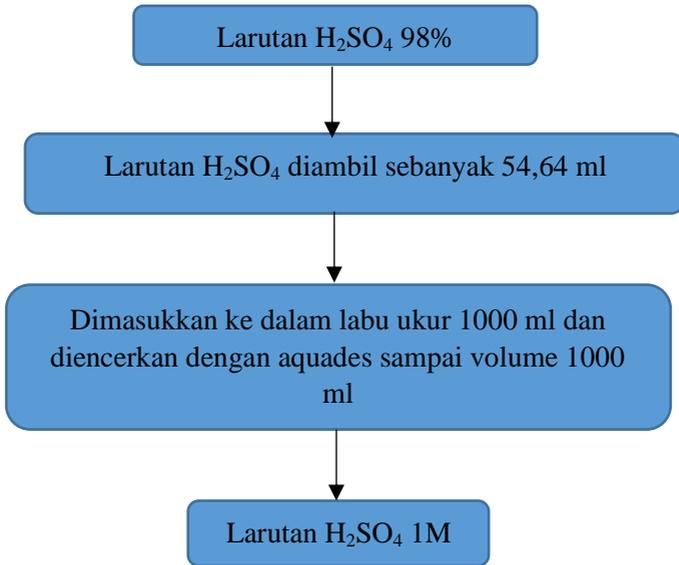
Gambar A.3 Diagram Alir Pembuatan Spesimen *Coupon*

4. Pembuatan larutan NaCl 3,5 %



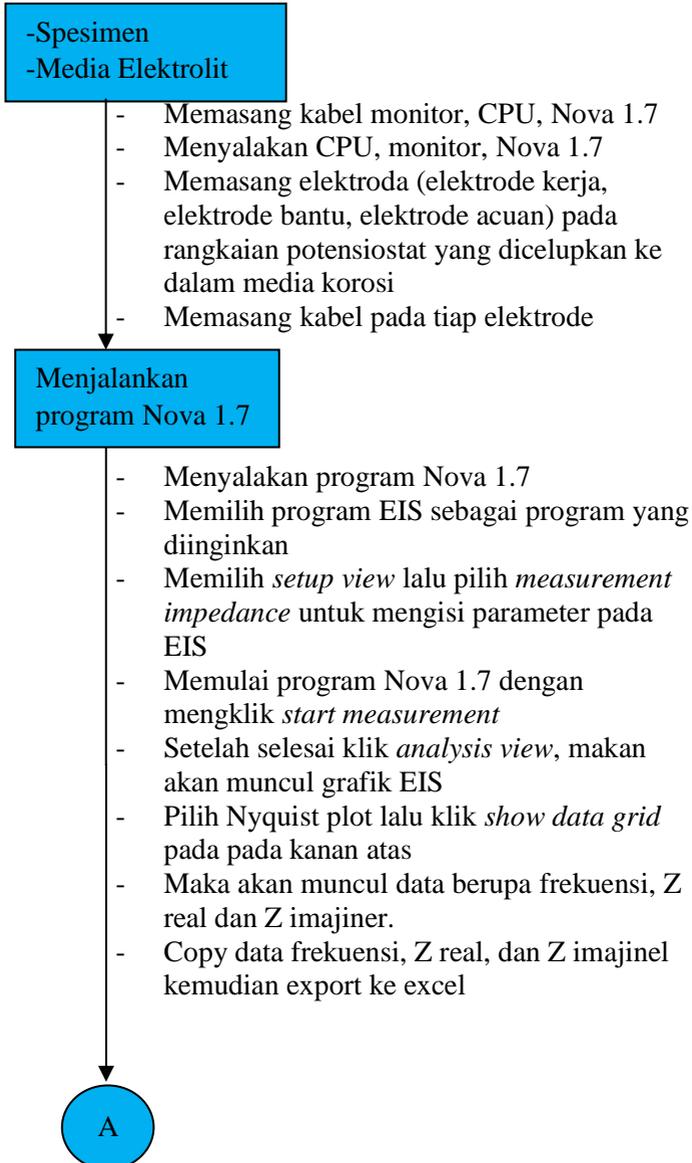
Gambar A.4 Diagram Alir Pembuatan Larutan NaCl 3,5 %

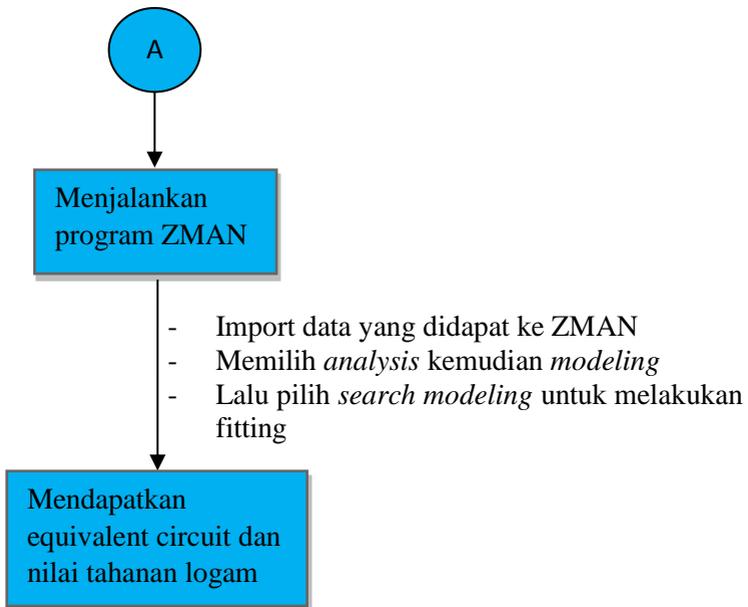
5. Pembuatan larutan H_2SO_4 1M



Gambar A.5 Diagram Alir Pembuatan Media H_2SO_4 1M

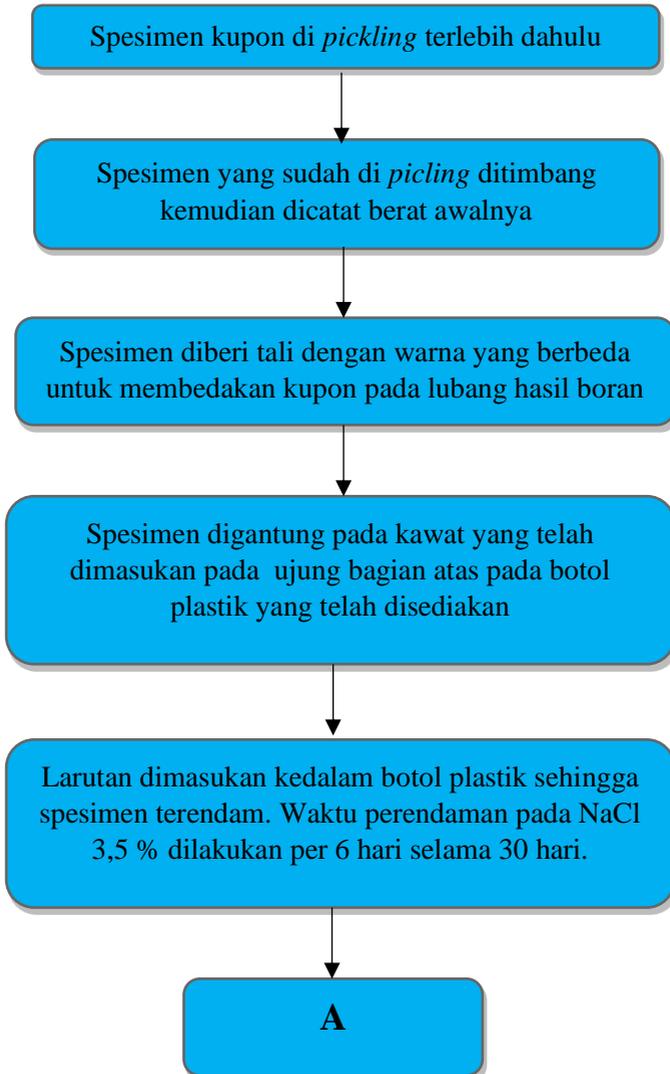
6. SOP Metode EIS

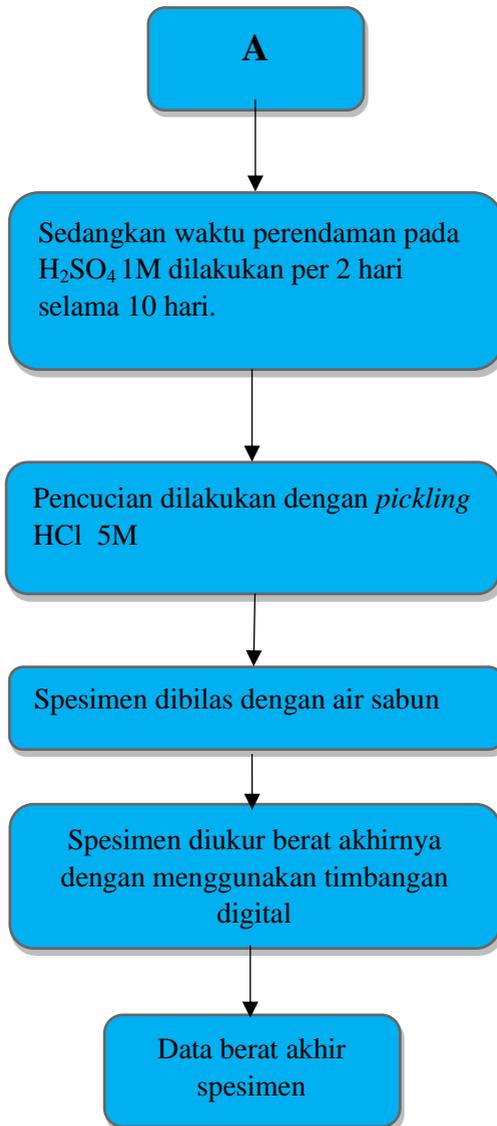




Gambar A.6 Diagram Alir SOP Metode EIS

7. SOP Metode *Weight Loss*





Gambar A.7 Diagram Alir Metode Pengujian *Weight Loss*

LAMPIRAN B
PEMBUATAN MEDIA NaCl 3,5 % dan H₂SO₄ 1M

1. Larutan NaCl 3,5 %

Diketahui : massa pelarut = 1000 mL
Ditanya : massa NaCl yang dilarutkan ?
Jawab :

$$\begin{aligned}\rho_{campuran} &= \rho_{air} + \rho_{NaCl} \\ &= (0.965 \text{ g/mL} \times 96.5\%) + (2.165 \text{ g/mL} \\ &\quad \times 3.5\%) \\ \rho &= 1.007 \text{ g/mL}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{m}{V} \\ m &= \rho \times V \\ 1.007 \text{ g/mL} &\times 1000 \text{ mL}\end{aligned}$$

Sehingga massa NaCl yang dilarutkan adalah :

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

2. Larutan H₂SO₄ 1M

Diketahui :
Berat jenis H₂SO₄ : 1,83 gr/ml
Mr H₂SO₄ : 98 gr/mol
% H₂SO₄ : 98

Ditanya
Molaritas?

Jawab:

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

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

$$M = 18,3 M$$

Sehingga dapat dihitung dengan menggunakan rumus pengenceran larutan, dengan asumsi dibutuhkan 1000 ml H₂SO₄ 1M :

$$\begin{aligned}V_1 M_1 &= V_2 M_2 \\V_1 \times 18,3 &= 1000 \times 1 \\V_1 &= 54,64 \text{ mL}\end{aligned}$$

Maka untuk mendapatkan 1000 ml larutan H₂SO₄ 1M, diambil 54,64 ml H₂SO₄ 98% kemudian ditambah aquades hingga volume 1000 ml.

LAMPIRAN C

HASIL Pengujian Flavonoid Total

Penentuan Kadar Flavonoid

Metode : Spektrofotometri

Jenis sampel : Ekstrak

Preparasi sampel

1. Timbang seksama 1 g 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 HCl 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 (3 x) 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.

Prosedur penetapan kadar:

1. Masukkan 10,0 mL fraksi etil asetat ke dalam labu ukur 25 mL
2. Tambahkan 1 mL larutan AlCl₃ (2 g dalam 100 mL asamasetat glasial - metanol(5+95))
3. Tambahkan asamasetat glasial-metanol (5+95) sampai tanda batas volume.

Larutan blangko :

10 mL larutan fraksi etil asetat masukkan ke dalam labu ukur 25 mL
 Tambahkan larutan asam asetat glasial-metanol (5+95)
 sampai tanda batas volume.

Pengukuran : Dlamkan larutan sampel selama 30 menit,scan antara 300-500 nm
 Ukur absorbansi larutan pada λ maksimum (\pm 425 nm)

Perhitungan : % Flavonoid = Absorbansi sampel x 1.25/g sampel

Hasil pengamatan:

Kode sampel : Flavon 4 - 249

g sampel	Absorbansi	% Flavonoid
1.1089	0.63095	0.62
1.2780	0.60108	0.68
	Rerata	0.65
	SD	0.043
	%RSD	6.6
	Ketidakpastian	0.1

Daur Satam

320/4

Kode sampel : Flavon 4 - 251

g sampel	Absorbansi	% Flavonoid
1.0114	0.90857	1.12
1.0241	0.86729	1.06
	Rerata	1.09
	SD	0.045
	%RSD	4.2
	Ketidakpastian	0.1

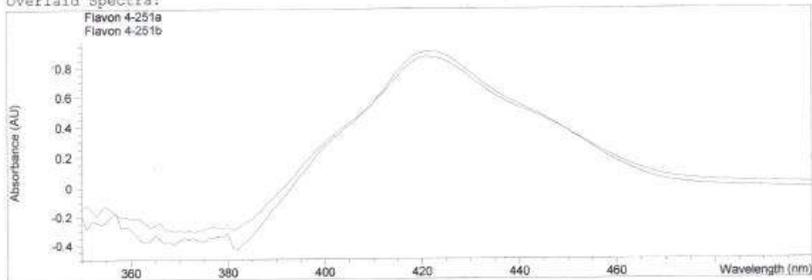
Pandan Wangi

321/4



Method file : FE.M (modified) Last update: Date 4/29/2014 Time 10:46:42 AM
Information : Default Method
Data File : D:\DATA ANALISIS\FLAVON4-251.SD Created : 4/29/14 10:07:54

Overlaid Spectrs:



#	Name	Abs<422nm>	#	Name	Abs<422nm>
1	Flavon 4-251a	0.90857	2	Flavon 4-251b	0.86729

Report generated by : Octa

Signature: 

*** End Fixed Wavelength Report ***

LAMPIRAN D
HASIL Pengujian Weight Loss

1. Larutan NaCl 3,5 %

Tabel D.1 Data Laju Korosi dan Efisiensi Inhibitor pada larutan NaCl 3,5 %

konsentrasi (mg/L)	waktu (jam)	Laju Korosi (mpy)	Efisiensi (%)
0	144	4.715	0
	288	3.870	0
	432	4.172	0
	576	4.038	0
	720	3.872	0
100	144	3.299	30.021
	288	2.973	23.157
	432	2.773	33.523
	576	3.709	8.133
	720	3.468	10.415
200	144	2.383	49.460
	288	1.838	52.500
	432	1.999	52.074
	576	1.492	63.051
	720	3.035	21.620
300	144	1.894	59.827
	288	1.125	70.921
	432	1.038	75.101
	576	1.657	58.953
	720	2.173	43.871
400	144	2.179	53.779
	288	1.049	72.894

	432	1.137	72.742
	576	1.257	68.852
	720	1.639	57.653
500	144	1.986	57.883
	288	1.074	72.236
	432	1.150	72.416
	576	1.298	67.843
	720	1.489	61.546

Tabel D.2 Hasil pengujian *weight loss* inhibitor daun pandan wangi di larutan NaCl 3,5 %

jam	konsentrasi	berat awal (g)	berat akhir (g)	ΔW	CR	CR rata-rata
144	0 mg/L	8.9941	8.9788	0.0153	4.6748	4.7155
		9.4049	9.3873	0.0176	5.3775	
		10.1925	10.1791	0.0134	4.0942	
	100 mg/L	9.1575	9.1478	0.0097	2.9637	3.2998
		8.7239	8.7123	0.0116	3.5443	
		10.2952	10.2841	0.0111	3.3915	
	200 mg/L	9.4075	9.3992	0.0083	2.5360	2.3832
		9.5296	9.5217	0.0079	2.4137	
		9.9713	9.9641	0.0072	2.1999	
	300 mg/L	9.9707	9.9649	0.0058	1.7721	1.8943
		9.9319	9.9252	0.0067	2.0471	
		9.6825	9.6764	0.0061	1.8638	
	400 mg/L	10.2215	10.2126	0.0089	2.7193	2.1795
		9.7956	9.7876	0.0080	2.4443	
		9.9658	9.9613	0.0045	1.3749	
500 mg/L	9.1883	9.1803	0.0080	2.4443	1.9860	

		9.3541	9.3479	0.0062	1.8943	
		10.0621	10.0568	0.0053	1.6193	
288	0 mg/L	9.3056	9.2805	0.0251	3.8345	3.8702
		9.7218	9.6943	0.0275	4.2012	
		9.0505	9.0271	0.0234	3.5748	
	100 mg/L	10.7464	10.7271	0.0193	2.9484	2.9739
		9.5487	9.5355	0.0132	2.0165	
		9.3466	9.3207	0.0259	3.9567	
	200 mg/L	9.0712	9.0583	0.0129	1.9707	1.8383
		10.2577	10.2465	0.0112	1.7110	
		9.8411	9.8291	0.0120	1.8332	
	300 mg/L	9.7027	9.6941	0.0086	1.3138	1.1254
		9.3858	9.3798	0.0060	0.9166	
		9.6117	9.6042	0.0075	1.1457	
	400 mg/L	9.2562	9.2499	0.0063	0.9624	1.0490
		9.5447	9.537	0.0077	1.1763	
		9.9769	9.9703	0.0066	1.0082	
	500 mg/L	9.3508	9.3445	0.0063	0.9624	1.0744
		7.7601	7.7525	0.0076	1.1610	
		9.4794	9.4722	0.0072	1.0999	
432	0 mg/L	9.9351	9.8952	0.0399	4.0637	4.1723
		9.6395	9.5988	0.0407	4.1452	
		9.8371	9.7948	0.0423	4.3081	
	100 mg/L	10.0018	9.9753	0.0265	2.6989	2.7736
		9.1138	9.0881	0.0257	2.6174	
		9.6658	9.6363	0.0295	3.0045	
	200 mg/L	9.4534	9.4376	0.0158	1.6091	1.9996
		9.6999	9.6779	0.0220	2.2406	
		8.5153	8.4942	0.0211	2.1489	

	300 mg/L	9.0251	9.0172	0.0079	0.8045	1.0388	
		9.2132	9.2	0.0132	1.3443		
		9.0301	9.0206	0.0095	0.9675		
	400 mg/L	10.1268	10.1126	0.0142	1.4462	1.1373	
		10.0275	10.0174	0.0101	1.0286		
		10.2992	10.29	0.0092	0.9370		
	500 mg/L	8.4138	8.4025	0.0113	1.1508	1.1508	
		9.3611	9.3491	0.0120	1.2221		
		9.7867	9.7761	0.0106	1.0795		
576	0 mg/L	8.6068	8.5548	0.0520	3.9720	4.0382	
		9.5432	9.4912	0.0520	3.9720		
		9.1866	9.132	0.0546	4.1706		
	100 mg/L	10.0601	10.0122	0.0479	3.6588	3.7098	
		9.9183	9.8715	0.0468	3.5748		
		9.5396	9.4886	0.0510	3.8956		
	200 mg/L	9.8264	9.8074	0.0190	1.4513	1.4920	
		9.7252	9.705	0.0202	1.5429		
		9.8327	9.8133	0.0194	1.4818		
	300 mg/L	9.6491	9.6267	0.0224	1.7110	1.6575	
		9.6077	9.5842	0.0235	1.7950		
		9.6111	9.5919	0.0192	1.4666		
	400 mg/L	9.4428	9.4251	0.0177	1.3520	1.2578	
		9.7105	9.6954	0.0151	1.1534		
		9.2935	9.2769	0.0166	1.2680		
	500 mg/L	9.6531	9.6367	0.0164	1.2527	1.2985	
		11.2641	11.2483	0.0158	1.2068		
		10.0781	10.0593	0.0188	1.4360		
	720	0 mg/L	9.3278	9.263	0.0648	3.9598	3.8722
			9.8869	9.8243	0.0626	3.8254	

	9.1753	9.1126	0.0627	3.8315	
100 mg/L	8.9736	8.9158	0.0578	3.5320	3.4689
	9.6134	9.5541	0.0593	3.6237	
	9.4664	9.4132	0.0532	3.2509	
200 mg/L	10.3163	10.2717	0.0446	2.7254	3.0350
	9.7094	9.6639	0.0455	2.7804	
	9.2691	9.2102	0.0589	3.5993	
300 mg/L	10.0341	9.9979	0.0362	2.2121	2.1734
	9.5923	9.5551	0.0372	2.2732	
	9.6576	9.6243	0.0333	2.0349	
400 mg/L	9.5031	9.4772	0.0259	1.5827	1.6397
	10.1848	10.1557	0.0291	1.7782	
	9.2525	9.227	0.0255	1.5582	
500 mg/L	8.7215	8.6989	0.0226	1.3810	1.4890
	9.8917	9.8665	0.0252	1.5399	
	8.9853	8.96	0.0253	1.5460	

Tabel D.3 Data Laju Korosi dan Efisiensi Inhibitor pada larutan H_2SO_4 1M

konsentrasi (mg/L)	waktu (jam)	Laju Korosi (mpy)	efisiensi (%)
0	48	2273.366	0
	96	1941.088	0
	144	1840.024	0
	192	1594.280	0
	240	1568.331	0
100	48	1603.401	29.470
	96	1783.274	8.130
	144	1027.960	44.133

	192	953.471	40.194
	240	1036.477	33.912
200	48	1281.572	43.626
	96	1229.507	36.658
	144	1353.487	26.441
	192	1008.187	36.762
	240	987.174	37.055
300	48	1245.182	45.227
	96	1195.821	38.394
	144	1288.080	29.996
	192	1290.944	19.026
	240	1209.091	22.905
400	48	993.872	56.281
	96	1107.473	42.945
	144	1116.425	39.325
	192	1093.387	31.418
	240	1142.800	27.132
500	48	901.048	60.365
	96	914.568	52.883
	144	1027.084	44.180
	192	981.123	38.459
	240	1090.448	30.470

Tabel D.4 Hasil pengujian *weight loss* inhibitor daun pandan wangi di larutan H₂SO₄ 1M

jam	konsentrasi	berat awal (g)	berat akhir (g)	ΔW	CR	CR rata-rata
48	0 mg/L	8.9416	6.5385	2.4031	2202.756	2273.3669
		9.4387	6.904	2.5347	2323.384	
		9.5963	7.0937	2.5026	2293.961	
	100 mg/L	8.6698	6.9662	1.7036	1561.572	1603.4014
		9.3801	7.6102	1.7699	1622.345	
		8.9184	7.1442	1.7742	1626.287	
	200 mg/L	8.8957	7.5684	1.3273	1216.644	1281.5722
		9.3773	7.9021	1.4752	1352.214	
		8.6827	7.2908	1.3919	1275.859	
	300 mg/L	9.5935	8.2106	1.3829	1267.609	1245.1820
		8.9963	7.6923	1.3040	1195.287	
		9.4598	8.0714	1.3884	1272.65	
	400 mg/L	8.9462	7.8269	1.1193	1025.985	993.8723
		9.7441	8.5988	1.1453	1049.817	
		8.8031	7.8149	0.9882	905.8147	
	500 mg/L	8.9842	8.7006	0.2836	259.9565	901.0482
		9.8743	8.8449	1.0294	943.5799	
		9.7447	8.1087	1.6360	1499.608	
96	0 mg/L	9.5985	5.2418	4.3567	1996.743	1941.0882
		9.0861	4.6434	4.4427	2036.158	
		8.4893	4.5829	3.9064	1790.364	
	100 mg/L	9.5223	4.8565	4.6658	2138.408	1783.2749
		9.1792	6.4148	2.7644	1266.967	
		9.4419	5.1993	4.2426	1944.449	
	200 mg/L	8.1109	6.1914	1.9195	879.7366	1229.5076
		9.4677	5.6688	3.7989	1741.095	

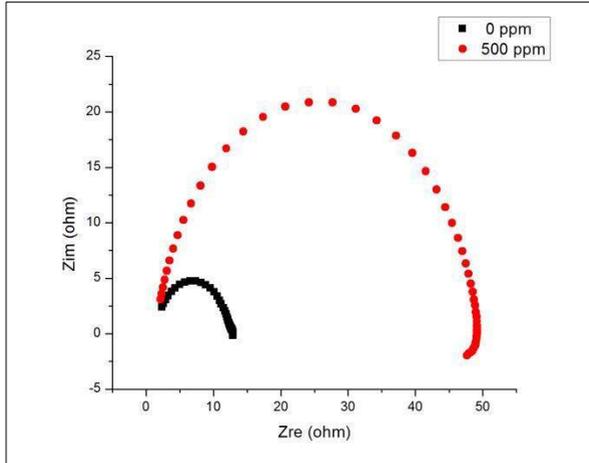
		8.6532	6.3236	2.3296	1067.692	
	300 mg/L	9.4855	6.7487	2.7368	1254.318	1195.8214
		9.4607	6.6746	2.7861	1276.913	
		8.1776	5.873	2.3046	1056.234	
	400 mg/L	9.7913	7.2354	2.5559	1171.409	1107.4735
		9.9577	7.5177	2.4400	1118.29	
		9.4403	7.187	2.2533	1032.722	
	500 mg/L	9.3319	7.3271	2.0048	918.8309	914.5685
		8.6773	6.7651	1.9122	876.3909	
		8.9291	6.8596	2.0695	948.4839	
144	0 mg/L	8.8335	3.208	5.6255	1718.836	1840.0246
		9.5684	3.4362	6.1322	1873.655	
		10.2342	3.9255	6.3087	1927.583	
	100 mg/L	9.1645	5.8209	3.3436	1021.616	1027.9608
		9.6809	6.1263	3.5546	1086.085	
		8.9478	5.7529	3.1949	976.1814	
	200 mg/L	9.5621	5.0148	4.5473	1389.399	1353.4870
		9.2588	4.8092	4.4496	1359.547	
		8.9132	4.6208	4.2924	1311.516	
	300 mg/L	8.7636	5.0767	3.6869	1126.509	1288.0803
		9.8574	5.3249	4.5325	1384.877	
		9.4132	4.9855	4.4277	1352.856	
	400 mg/L	9.0296	5.1816	3.8480	1175.732	1116.4259
		9.3507	5.859	3.4917	1066.867	
		9.0092	5.3872	3.6220	1106.679	
	500 mg/L	8.5982	5.1556	3.4426	1051.865	1027.0849
		9.3169	6.0168	3.3001	1008.325	
		9.2288	5.887	3.3418	1021.066	
192	0 mg/L	9.7571	3.0021	6.7550	1547.961	1594.2809

		9.4269	2.1905	7.2364	1658.277	
		9.6322	2.7522	6.8800	1576.605	
	100 mg/L	8.6038	4.4958	4.1080	941.38	953.4718
		10.1395	5.7178	4.4217	1013.267	
		7.7971	3.8445	3.9526	905.7689	
	200 mg/L	9.8656	5.6317	4.2339	970.2309	1008.1871
		9.7789	5.1606	4.6183	1058.319	
		9.4271	5.0807	4.3464	996.0112	
	300 mg/L	9.4182	3.7838	5.6344	1291.166	1290.9448
		8.8351	3.475	5.3601	1228.308	
		10.0528	4.147	5.9058	1353.36	
	400 mg/L	9.5361	4.6353	4.9008	1123.056	1093.3879
		8.6662	4.0612	4.6050	1055.271	
		8.8053	3.9971	4.8082	1101.836	
	500 mg/L	8.9284	5.0597	3.8687	886.5425	981.1235
9.1728		4.7877	4.3851	1004.88		
9.6653		5.0748	4.5905	1051.949		
240	0 mg/L	9.5948	1.1351	8.4597	1550.885	1568.3311
		10.1505	1.0548	9.0957	1667.48	
		9.6416	1.5324	8.1092	1486.629	
	100 mg/L	9.3699	4.0419	5.3280	976.7619	1036.4773
		9.2851	3.6148	5.6703	1039.514	
		9.5701	3.6072	5.9629	1093.156	
	200 mg/L	9.4066	4.3094	5.0972	934.4503	987.1748
		9.5517	4.1575	5.3942	988.8981	
		10.5899	4.9269	5.6630	1038.176	
	300 mg/L	10.1459	3.4759	6.6700	1222.786	1209.0912
		10.0722	3.6334	6.4388	1180.401	
		9.5788	2.9017	6.6771	1224.087	

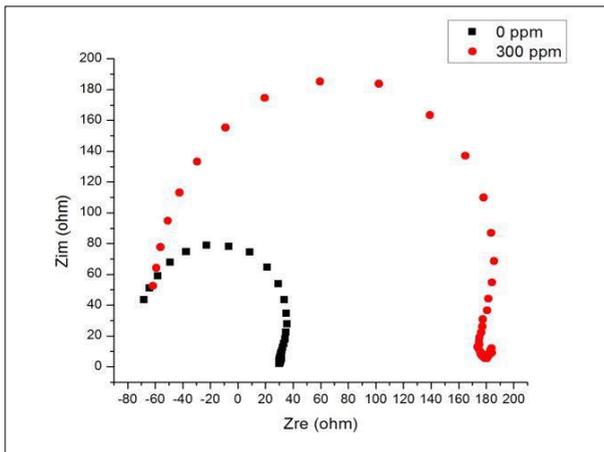
400 mg/L	9.5053	3.7111	5.7942	1062.229	1142.8004
	10.2465	3.3165	6.9300	1270.45	
	9.8898	3.9129	5.9769	1095.722	
500 mg/L	10.0874	4.0144	6.0730	1113.34	1090.4486
	9.2153	3.3716	5.8437	1071.303	
	9.2881	3.3604	5.9277	1086.703	

LAMPIRAN E

Hasil Pengujian EIS



Gambar E.1 Grafik Hasil Pengujian EIS konsentrasi inhibitor 0 mg/L dan 500 mg/L pada larutan H_2SO_4 1M



Gambar E.2 Grafik Hasil Pengujian EIS konsentrasi inhibitor 0 mg/L dan 300 mg/L pada larutan NaCl 3,5 %

1. Larutan NaCl 3,5 %

Tabel E.1 Data grid pengujian EIS pada konsentrasi 0 mg/L dalam larutan NaCl 3,5 %

Frequency [Hz]	Z'_raw [Ohm]	Z''_raw [Ohm]	Z'_fitted [Ohm]	Z''_fitted [Ohm]
549988	-68.1507	43.3925	-67.9054	43.8103
476746	-64.028	50.9661	-64.123	51.0264
413254	-58.0362	58.9839	-58.4192	59.0418
358215	-49.1825	67.6669	-50.0155	67.3094
310516	-37.4699	74.644	-38.2637	74.6262
269157	-22.7078	78.8943	-23.2505	79.1117
233318	-6.5277	78.0611	-6.5065	78.8719
202248	8.5837	74.2798	9.2109	73.3435
175308	21.3662	64.6412	21.3895	63.9678
151958	29.4562	53.6933	29.1611	53.2236
131729	33.6837	43.3472	33.2144	43.1179
114180	35.2382	34.5112	34.8078	34.581
98974.2	35.5707	27.69	35.0314	27.7726
85794.4	34.9283	22.3072	34.6102	22.4703
74367.5	34.1452	18.0315	33.9541	18.3601
64464.6	33.2622	14.8579	33.2706	15.1567
55879.6	32.4891	12.3794	32.6507	12.631
48437.1	31.9061	10.4021	32.1259	10.6126
41986.5	31.3897	8.7935	31.6990	8.9778
36394.1	30.9729	7.4995	31.3599	7.6366
31547.5	30.6728	6.4599	31.0951	6.5245
27346.6	30.4337	5.5898	30.8904	5.5934
23704.5	30.2694	4.8608	30.7334	4.8078
20547.9	30.1464	4.2674	30.6137	4.1411

17811.8	30.0561	3.7655	30.5227	3.5724
15438.8	29.9974	3.3327	30.4538	3.0851
13382.9	29.9489	2.9795	30.4017	2.667
11601	29.9318	2.6845	30.3624	2.3071
10055.8	29.9183	2.4409	30.3327	1.9966
8716.58	29.951	2.3330	30.3104	1.7287
7555.84	29.9635	2.1706	30.2936	1.4972
6549.6	29.9774	2.0420	30.2809	1.2969
5677.34	29.9633	1.9399	30.2714	1.1236
4921.2	29.9948	1.8800	30.2642	0.9736
4265.79	30.0277	1.8561	30.2588	0.8437
3697.69	30.0729	1.8613	30.2548	0.7312
3205.24	30.121	1.8963	30.2518	0.6337
2778.35	30.1711	1.9536	30.2495	0.5492
2408.33	30.2268	2.0457	30.2478	0.4760
2087.65	30.2974	2.1618	30.2465	0.4126
1809.6	30.3669	2.3108	30.2455	0.3576
1568.62	30.4508	2.4894	30.2448	0.3100
1359.7	30.5425	2.7031	30.2442	0.2687
1178.71	30.6426	2.9546	30.2438	0.2329
1021.71	30.759	3.2472	30.2435	0.2019
885.621	30.8875	3.5795	30.2433	0.1750
767.678	31.0351	3.9617	30.2431	0.1517
665.441	31.2019	4.3948	30.2430	0.1315
576.809	31.3914	4.8871	30.2429	0.1139
499.994	31.6102	5.4365	30.2428	0.0988

Tabel E.2 Data grid pengujian EIS pada konsentrasi 300 mg/L dalam larutan NaCl 3,5 %

Frequency [Hz]	Z' raw [Ohm]	Z'' raw [Ohm]	Z' fitted [Ohm]	Z'' fitted [Ohm]
799988	-61.4973	52.4694	-59.2594	55.1042
688171	-59.1761	64.2326	-58.0496	65.4344
591980	-56.1797	77.6487	-55.8352	78.0632
509232	-50.8357	94.708	-51.806	93.4971
438057	-42.4132	113.022	-44.5763	112.109
376816	-29.6134	133.182	-31.9625	133.685
324142	-9.05	155.267	-11.1279	156.468
278839	19.5298	174.566	20.1482	176.043
239868	59.5993	185.302	60.5872	185.674
206337	102.265	183.73	103.3264	180.26
177498	139.228	163.438	139.2185	161.275
152687	164.853	136.94	163.3653	135.709
131336	178.083	109.815	176.6931	110.333
112980	183.611	86.8915	182.7058	88.6127
97190.9	185.776	68.5327	184.6486	71.2532
83604.8	184.197	54.7776	184.6318	57.7333
71918.5	181.648	44.1943	183.8192	47.2433
61866.8	180.77	36.5706	182.7878	39.0394
53218.8	177.45	30.743	181.7946	32.5389
45779.2	177.253	26.0643	180.9368	27.3163
39380.1	176.468	22.2086	180.2364	23.065
33875.5	175.105	19.0168	179.6828	19.5636
29140.9	174.847	16.5447	179.2541	16.6521
25067.8	175.115	14.4434	178.9266	14.2114
21563.5	173.856	12.9076	178.6786	12.1526

18549.9	174.543	11.5673	178.492	10.4082
15956.9	175.607	10.0757	178.3523	8.9239
13726	176.206	9.1218	178.248	7.6576
11807.9	176.129	8.2622	178.1704	6.5756
10156.9	176.91	7.5867	178.1126	5.6486
8737.33	176.932	7.1937	178.0697	4.8543
7516.03	178.134	6.7399	178.0379	4.1727
6465.44	178.147	6.3311	178.0143	3.5875
5561.71	178.941	5.9563	177.9969	3.0848
4784.35	179.509	5.7371	177.9839	2.6528
4115.58	179.123	5.5991	177.9743	2.2815
3540.22	180.584	5.5682	177.9672	1.9622
3045.44	179.365	5.5536	177.962	1.6878
2619.74	180.422	5.6577	177.9581	1.4517
2253.53	179.987	5.8038	177.9552	1.2487
1938.61	179.582	6.0273	177.9531	1.0741
1667.62	178.58	6.3147	177.9515	0.9239
1434.5	180.411	6.7156	177.9503	0.7948
1233.99	181.812	7.1944	177.9495	0.6836
1061.5	181.05	7.7329	177.9488	0.5881
913.128	182.44	8.3841	177.9484	0.5059
785.485	184.114	9.1340	177.948	0.4351
675.678	182.86	9.9576	177.9478	0.3743
581.25	183.323	10.9195	177.9476	0.3220
499.994	183.895	12.0034	177.9474	0.2770

1. Larutan H₂SO₄ 1M

Tabel E.3 Data grid pengujian EIS pada konsentrasi 0 mg/L dalam larutan H₂SO₄ 1M

Frequency [Hz]	Z' raw [Ohm]	Z'' raw [Ohm]	Z' fitted [Ohm]	Z'' fitted [Ohm]
999.987	2.3825	2.4094	2.3276	2.3969
828.639	2.6202	2.7194	2.6003	2.7260
686.646	2.9288	3.0623	2.9371	3.0738
568.986	3.3110	3.4216	3.3474	3.4294
471.488	3.7888	3.7858	3.8383	3.7775
390.686	4.3563	4.1233	4.4128	4.0986
323.75	5.0122	4.4182	5.0663	4.3700
268.266	5.755	4.6317	5.7866	4.5693
222.299	6.5466	4.7395	6.5521	4.6777
184.208	7.3588	4.7401	7.3348	4.6842
152.64	8.1608	4.6110	8.1042	4.5882
126.489	8.8905	4.3933	8.8313	4.3994
104.809	9.5603	4.0975	9.4943	4.1358
86.8496	10.114	3.7435	10.0790	3.8197
71.9689	10.5724	3.3834	10.5804	3.4738
59.6354	10.9509	2.9933	11.0005	3.1181
49.4169	11.1819	2.6612	11.3459	2.7687
40.9484	11.5228	2.3212	11.6262	2.4368
33.9318	11.7301	2.0303	11.8511	2.1294
28.1176	11.8927	1.7761	12.0306	1.8502
23.2994	12.0572	1.5291	12.1732	1.6002
19.3063	12.1685	1.3337	12.2864	1.3790
15.9987	12.2275	1.1507	12.3762	1.1851

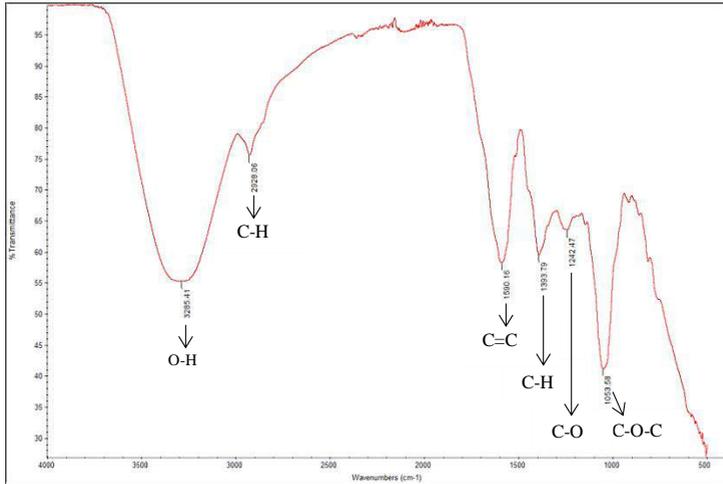
13.2567	12.3359	0.9777	12.4477	1.0160
10.9847	12.4001	0.9069	12.5047	0.8695
9.1027	12.4515	0.7792	12.5503	0.7431
7.5430	12.5131	0.7135	12.5870	0.6343
6.2505	12.5648	0.6378	12.6166	0.5409
5.1794	12.6007	0.5479	12.6406	0.4609
4.2918	12.6614	0.4810	12.6602	0.3925
3.5564	12.7113	0.4642	12.6762	0.3340
2.9470	12.6937	0.3913	12.6895	0.2841
2.4420	12.8253	0.3454	12.7005	0.2414
2.0235	12.8253	0.3454	12.7098	0.2048
1.6768	12.8531	0.2718	12.7179	0.1733
1.3895	12.8974	0.2048	12.7254	0.1457
1.1514	12.9256	0.1869	12.7331	0.1207
0.9541	12.9347	0.1157	12.7421	0.0967
0.7905	12.9518	0.0583	12.7549	0.0708
0.6551	12.9225	0.0079	12.7755	0.0383
0.5428	12.9401	-0.0659	12.8116	-0.0095
0.4498	12.9461	-0.1191	12.8782	-0.0889
0.3727	12.9054	-0.1791	13.0036	-0.2310

Tabel E.4 Data grid pengujian EIS pada konsentrasi 500 mg/L dalam larutan H₂SO₄ 1M

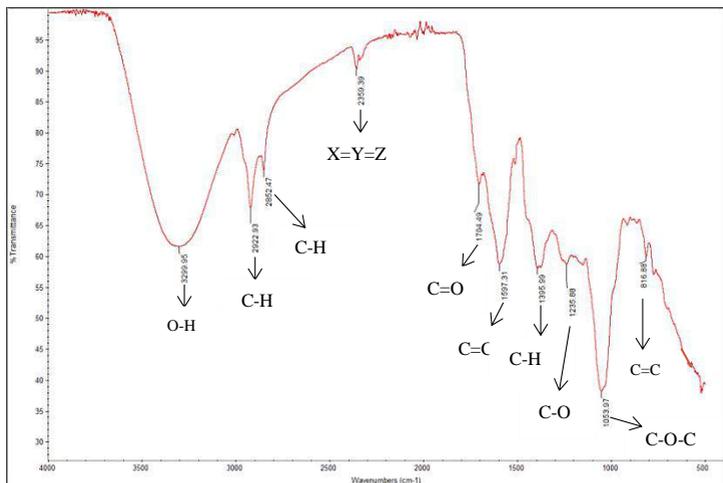
Frequency [Hz]	Z' raw [Ohm]	Z'' raw [Ohm]	Z' fitted [Ohm]	Z'' fitted [Ohm]
999.987	2.1594	3.0960	2.1122	2.9633
828.639	2.3152	3.5900	2.2736	3.4890
686.646	2.5165	4.1742	2.4786	4.1028
568.986	2.7699	4.8682	2.7403	4.8167
471.488	3.0903	5.6703	3.0754	5.6431
390.686	3.5069	6.6036	3.5055	6.5938
323.75	4.0401	7.674	4.0580	7.6779
268.266	4.7159	8.8874	4.7672	8.9014
222.299	5.5835	10.2454	5.6738	10.2616
184.208	6.6833	11.7401	6.8250	11.745
152.64	8.0946	13.3507	8.2716	13.3216
126.489	9.8151	15.0366	10.0613	14.9392
104.809	11.9224	16.6995	12.2329	16.5233
86.8496	14.4575	18.2257	14.7988	17.9738
71.9689	17.3932	19.5415	17.7370	19.1774
59.6354	20.6791	20.4796	20.9807	20.0222
49.4169	24.2027	20.867	24.4161	20.4187
40.9484	27.7011	20.8629	27.8992	20.3222
33.9318	31.1351	20.286	31.2761	19.744
28.1176	34.2497	19.2278	34.4123	18.7479
23.2994	37.132	17.86	37.2119	17.4347
19.3063	39.5387	16.2952	39.6257	15.9193
15.9987	41.5157	14.6509	41.6455	14.3122
13.2567	43.1346	12.9963	43.2975	12.7023
10.9847	44.4468	11.4144	44.6237	11.1568

9.1027	45.4404	9.9794	45.6740	9.7188
7.5430	46.3141	8.6335	46.4987	8.4107
6.2505	46.9612	7.4354	47.1426	7.2416
5.1794	47.4858	6.3412	47.6441	6.2099
4.2918	47.8961	5.4146	48.0345	5.3086
3.5564	48.2304	4.5179	48.3387	4.5271
2.9470	48.4932	3.7733	48.5766	3.8532
2.4420	48.6946	3.0723	48.7631	3.2746
2.0235	48.8691	2.5638	48.9100	2.7793
1.6768	48.9634	1.9583	49.0261	2.3562
1.3895	49.0671	1.5255	49.1179	1.9952
1.1514	49.1184	1.0920	49.1906	1.6871
0.9541	49.1485	0.6898	49.2476	1.4237
0.7905	49.1444	0.3489	49.2913	1.1973
0.6551	49.1655	0.0364	49.3229	1.0009
0.5428	49.1036	-0.2497	49.3422	0.8272
0.4498	49.0543	-0.5067	49.3477	0.6682
0.3727	48.9713	-0.7642	49.3356	0.5146
0.3088	48.9002	-0.9959	49.2986	0.354
0.2559	48.7261	-1.1997	49.2246	0.1687
0.2120	48.5882	-1.3734	49.0932	-0.0674
0.1757	48.4546	-1.5566	48.8710	-0.3954
0.1456	48.2507	-1.6589	48.5040	-0.8793
0.1206	47.8894	-1.7978	47.9048	-1.6210
0.0999	47.6599	-1.9529	46.9312	-2.7847

LAMPIRAN F Hasil Pengujian FTIR



Gambar F.1 Spektra FTIR ekstrak daun pandan wangi



Gambar F.2 Spektra FTIR Baja API 5L Grade B setelah perendaman di larutan NaCl 3,5 %

Tabel F.1 Reference IR- Spestroscopy

Bond	Type of bond	Specific type of bond	Absorption peak cm^{-1} (nm)	Appearance	
C–H	alkyl	methyl	1260 cm^{-1} (7937 nm)	strong	
			1380 cm^{-1} (7246 nm)	weak	
			2870 cm^{-1} (3484 nm)	medium to strong	
			2960 cm^{-1} (3378 nm)	medium to strong	
		<u>methylene</u>	1470 cm^{-1} (6803 nm)	strong	
			2850 cm^{-1} (3509 nm)	medium to strong	
			2925 cm^{-1} (3419 nm)	medium to strong	
		<u>methine</u>	2890 cm^{-1} (3460 nm)	weak	
		<u>vinyl</u>	C=CH ₂	900 cm^{-1} (11111 nm)	strong
				2975 cm^{-1} (3361 nm)	medium
	3080 cm^{-1} (3247 nm)			medium	
	C=CH		3020 cm^{-1} (3311 nm)	medium	
	<u>monosubstituted alkenes</u>		900 cm^{-1} (11111 nm)	strong	
			990 cm^{-1} (10101 nm)	strong	

		cis-disubstituted alkenes	670–700 cm ⁻¹ (14286–14925 nm)	strong
		trans-disubstituted alkenes	965 cm ⁻¹ (10363 nm)	strong
		trisubstituted alkenes	800–840 cm ⁻¹ (11905–12500 nm)	strong to medium
	<u>aromatic</u>	<u>benzene/su</u> <u>b. benzene</u>	3070 cm ⁻¹ (3257 nm)	weak
		monosubstituted benzene	700–750 cm ⁻¹ (13333–14286 nm)	strong
			690–710 cm ⁻¹ (14085–14493 nm)	strong
		ortho-disub. benzene	750 cm ⁻¹ (13333 nm)	strong
		meta-disub. benzene	750–800 cm ⁻¹ (12500–13333 nm)	strong
			860–900 cm ⁻¹ (11111–11628 nm)	strong
		para-disub. benzene	800–860 cm ⁻¹ (11628–	strong

			12500 nm)	
	<u>alkynes</u>	any	3300 cm ⁻¹ (3030 nm)	medium
	<u>aldehydes</u>	any	2720 cm ⁻¹ (3676 nm)	medium
			2820 cm ⁻¹ (3546 nm)	
C–C	acyclic C–C	monosub. alkenes	1645 cm ⁻¹ (6079 nm)	medium
		1,1-disub. alkenes	1655 cm ⁻¹ (6042 nm)	medium
		cis-1,2- disub. alkenes	1660 cm ⁻¹ (6024 nm)	medium
		trans-1,2- disub. alkenes	1675 cm ⁻¹ (5970 nm)	medium
		trisub., tetrasub. alkenes	1670 cm ⁻¹ (5988 nm)	weak
	<u>conjugated C–C</u>	dienes	1600 cm ⁻¹ (6250 nm)	strong
			1650 cm ⁻¹ (6061 nm)	strong
	with benzene ring		1625 cm ⁻¹ (6154 nm)	strong
	with C=O		1600 cm ⁻¹ (6250 nm)	strong

	$C=C$ (both sp^2)	any	1640– 1680 cm^{-1} (5952- 6098 nm)	medium
	aroma tic $C=C$	any	1450 cm^{-1} (6897 nm)	weak to strong (usually 3 or 4)
			1500 cm^{-1} (6667 nm)	
			1580 cm^{-1} (6329 nm)	
			1600 cm^{-1} (6250 nm)	
	$C\equiv C$	terminal alkynes	2100– 2140 cm^{-1} (4673- 4762 nm)	weak
disubst. alkynes		2190– 2260 cm^{-1} (4425- 4566 nm)	very weak (often indistinguishable)	
$C=O$	aldehy de/ket one	saturated aliph./cyclic 6- membered	1720 cm^{-1} (5814 nm)	
		α,β - unsaturated	1685 cm^{-1} (5935 nm)	
		aromatic ketones	1685 cm^{-1} (5935 nm)	
		cyclic 5- membered	1750 cm^{-1} (5714 nm)	
		cyclic 4- membered	1775 cm^{-1} (5634 nm)	

		aldehydes	1725 cm ⁻¹ (5797 nm)	influence of conjugation (as with ketones)
	<u>carboxylic acids/derivatives</u>	saturated carboxylic acids	1710 cm ⁻¹ (5848 nm)	
		unsat./aromatic carb. acids	1680–1690 cm ⁻¹ (5917–5952 nm)	
		esters and lactones	1735 cm ⁻¹ (5764 nm)	influenced by conjugation and ring size (as with ketones)
		anhydrides	1760 cm ⁻¹ (5682 nm)	
			1820 cm ⁻¹ (5495 nm)	
		<u>acyl halides</u>	1800 cm ⁻¹ (5556 nm)	
		<u>amides</u>	1650 cm ⁻¹ (6061 nm)	associated amides
		<u>carboxylates (salts)</u>	1550–1610 cm ⁻¹ (6211–6452 nm)	
		amino acid zwitterions	1550–1610 cm ⁻¹ (6211–6452 nm)	
O–H	<u>alcohols, phenols</u>	low concentration	3610–3670 cm ⁻¹ (2725–	

	<u>nols</u>	n	2770 nm)	
		high concentration	3200–3400 cm^{-1} (2941–3125 nm)	broad
	carboxylic acids	low concentration	3500–3560 cm^{-1} (2809–2857 nm)	
		high concentration	3000 cm^{-1} (3333 nm)	broad
C–O	<u>alcohols</u>	primary	1040–1060 cm^{-1} (9434–9615 nm)	strong, broad
		secondary	~1100 cm^{-1} (~9091 nm)	strong
		tertiary	1150–1200 cm^{-1} (8333–8696 nm)	medium
	Phenols	any	1200 cm^{-1} (8333 nm)	
	ethers	aliphatic	1120 cm^{-1} (8929 nm)	
		aromatic	1220–1260 cm^{-1} (7937–8197 nm)	
	carboxylic	any	1250–1300 cm^{-1} (7692–	

	acids		8000 nm)	
	esters	any	1100– 1300 cm^{-1} (7692– 9091 nm)	two bands (distinct from ketones, which do not possess a C–O bond)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Andhi Rahardi, merupakan anak pertama dari pasangan Joko Endrasmono dan Nurhayati yang lahir di Surabaya, 09 Juli 1992. Penulis menyelesaikan studi formalnya semasa sekolah dasar di SDN Wadungasri I Sidoarjo, lalu melanjutkan jenjang berikutnya di SMPN 35 Surabaya dan melanjutkan di SMAN 17 Surabaya. Kemudian melanjutkan studi S1 di jurusan Teknik Material dan metalurgi FTI-ITS pada

tahun 2010 melalui jalur SNMPTN.

Semasa perkuliahan, penulis aktif berorganisasi di HMMT FTI ITS sebagai staff BSO MB HMMT FTI-ITS pada tahun kepengurusan 2011-2012. Kemudian di tahun 2012-2013 menjabat sebagai bendahara umum BSO MB HMMT FTI-ITS. Dalam kegiatan akademik penulis pernah mengikuti PKM, selain itu penulis juga pernah kerja praktek di PT PETROKIMIA GRESIK meneliti tentang “Evaluasi Material pada Sistem Perpipaian H_2SO_4 Area Pengeringan Udara dan Penyerapan SO_3 di Unit Sulfuric Acid (SA) Pabrik III PT. PETROKIMIA GRESIK”

Di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ini penulis mengambil Tugas Akhir dalam Bidang Studi Korosi dan Analisa Kegagalan.

Alamat penulis saat ini adalah Jl. Ikan Cucut 20 A, Tambak Rejo Indah, Waru Sidoarjo. Nomor telepon selular yang dapat dihubungi 085645062091 atau bisa hubungi di alamat email *andhirahardi@yahoo.co.id*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)