



**TUGAS AKHIR - TL 141584**

**PENGARUH METODE EKSTRAKSI DAUN BELIMBING  
WULUH (*Averrhoa bilimbi l.*) SEBAGAI GREEN  
CORROSION INHIBITOR PADA BAJA API 5L GRADE  
B DI LINGKUNGAN 3,5% NaCl**

**YOSHUA KUSUMA PUTRA**

**NRP. 2712 100 060**

**DOSEN PEMBIMBING**

**Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA.**

**Vania Mitha Pratiwi, ST., M.T**

**JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016**



**TUGAS AKHIR - TL 141584**

**PENGARUH METODE EKSTRAKSI DAUN BELIMBING  
WULUH (*Averrhoa bilimbi* L.) SEBAGAI GREEN  
CORROSION INHIBITOR PADA BAJA API 5L GRADE  
B DI LINGKUNGAN NaCl 3,5%**

**YOSHUA KUSUMA PUTRA**

**NRP. 2712 100 060**

**DOSEN PEMBIMBING**

**Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA.**

**Vania Mitha Pratiwi, ST., M.T**

**JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016**



**FINAL PROJECT - TL 141584**

**THE EFFECT OF EXTRACTION METHOD OF  
BELIMBING WULUH LEAVES (*Averrhoa bilimbi l.*) AS  
GREEN CORROSION INHIBITOR ON API 5L GRADE B  
STEEL IN THE NaCl 3,5% MEDIA**

**YOSHUA KUSUMA PUTRA**

**NRP. 2712 100 060**

**ADVISOR LECTURES**

**Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA.**

**Vania Mitha Pratiwi, ST., M.T**

**MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2016**



**FINAL PROJECT - TL 141584**

**THE EFFECT OF EXTRACTION METHOD OF  
BELIMBING WULUH LEAVES (*Averrhoa bilimbi l.*) AS  
GREEN CORROSION INHIBITOR ON API 5L GRADE B  
STEEL IN THE NaCl 3,5% MEDIA**

YOSHUA KUSUMA PUTRA

NRP. 2712 100 060

ADVISOR LECTURES

Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA.

Vania Mitha Pratiwi, ST., M.T

MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2016

**PENGARUH METODE EKSTRAKSI DAUN BELIMBING  
WULUH (*Averrhoa bilimbi* L) SEBAGAI GREEN  
CORROSION INHIBITOR TERHADAP LAJU KOROSI  
BAJA API 5L GRADE B DI LINGKUNGAN 3,5% NaCl**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Material dan Metalurgi  
pada

Bidang Studi Korosi dan Kegagalan Material  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknik Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**YOSHUA KUSUMA PUTRA**

NRP. 2712 100 060

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

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

Vania Mitha Pratiwi ST., M. I ..... (Pembimbing II)



**PENGARUH METODE EKSTRAKSI DAUN BELIMBING  
WULUH (*Averrhoa bilimbi* L.) SEBAGAI GREEN  
CORROSION INHIBITOR TERHADAP LAJU KOROSI  
BAJA API 5L GRADE B DI LINGKUNGAN 3,5% NaCl.**

**Nama** : Yoshua Kusuma Putra  
**NRP** : 2712100060  
**Jurusan** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Pembimbing** : Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA  
Vania Mitha Pratiwi, ST., M.T

**Abstrak**

Korosi adalah penurunan kualitas suatu logam karena bereaksi dengan lingkungan. Korosi dapat dihambat dengan inhibitor organik ekstrak daun belimbing wuluh. Ekstrak dibuat dengan cara ekstraksi maserasi, refluks, dan MAE (*Microwave Assisted Extraction*). Konsentrasi inhibitor yang ditambahkan adalah 2000 mg/L. Inhibitor ini diaplikasikan pada baja API 5L grade B dalam lingkungan 3,5% NaCl. Beberapa pengujian yang dilakukan untuk mengetahui komposisi baja, kadar tanin, gugus fungsi, laju korosi, efisiensi inhibisi dan mekanisme adalah uji spektrometer, spektrofotometri, FTIR, *weight loss*, tafel polarisasi, dan EIS. Dari uji *weight loss*, laju korosi setelah penambahan inhibitor hasil ekstraksi maserasi, refluks, dan MAE sebanyak 0,864 mm/tahun, 0,957 mm/tahun, dan 0,994 mm/tahun dan efisiensi Inhibisi yang dihasilkan masing-masing inhibitor adalah sebesar 55,08%, 48,53%, dan 47,28%. Metode ekstraksi yang paling efisien adalah metode refluks ditinjau lama waktu proses ekstraksi, biaya yang dikeluarkan, rendemen dan kualitas ekstrak, serta efisiensi inhibisi yang dihasilkan.

**Kata Kunci:** baja karbon rendah, inhibitor organik, ekstraksi, NaCl 3,5%, *averrhoa bilimbi* l.

**THE EFFECT OF EXTRACTION METHOD OF BELIMBING  
WULUH LEAVES (*Averrhoa bilimbi* L.) AS GREEN CORROSION  
INHIBITOR ON API 5L GRADE B STEEL IN THE NaCl 3,5%  
MEDIA**

**Name** : Yoshua Kusuma Putra  
**NRP** : 2712100060  
**Department** : Materials and Metallurgical Engineering  
**Lecturer** : Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA  
Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T

**Abstract**

Corrosion is the destructive to metal quality because of chemical reaction. Corrosion can be handle by adding organic inhibitor such as belimbing wuluh leaves extract. The method of making extract are maceration, reflux, and MAE. Concentration of inhibitor is 2000 mg/L. In this study, inhibitor applied on API 5L Grade B steel in 3,5% NaCl media. Some examination has been performed to identificate the steel composition, tannin's content, functional group, corrosion rate, inhibition efficiency and mechanism by spectrometer, spektrofotometry, FTIR, weight loss, tafel polarization, and EIS. From weight loss test, the corrosion rate after adding inhibitor as the result of maceration, reflux, and MAE are 0,864 mm/year, 0,957 mm/year, and 0,994 mm/year respectively and also the inhibition efficiency is 55,08%, 48,53%, and 47,28% respectively . The most efficient extraction method is reflux in terms of the lenght of extraction time, cost, yield, the quality of extract, and also inhibition efficiency.

**Keywords:** low carbon steel, organic inhibitors, extraction, NaCl 3,5%, *Averrhoa bilimbi* L.

---

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul **Pengaruh Metode Ekstraksi Daun Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.) Sebagai Green Corrosion Inhibitor Terhadap Laju Korosi Baja API 5L Grade B Pada Lingkungan 3.5% NaCl.**

Laporan tugas akhir ini dibuat untuk melengkapi Mata Kuliah Tugas Akhir yang menjadi salah satu syarat kelulusan mahasiswa di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

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

1. Tuhan Yesus Kristus karena kasih-Nya yang begitu melimpah sehingga penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik dan tepat waktu.
2. Ir. Andreas Sugiarto dan Tatik Mulyati, orang tua penulis, cinta mu sungguh luar biasa, terima kasih sudah memberi support penuh atas segala hal dalam menyelesaikan pendidikan penulis.
3. Kakakku tercinta Alm. Pradana Putra, Milka Andrea Eridani, Lerry Tamasiro.
4. Prof. Dr. Ir. Sulistijono selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir penulis.
5. Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir penulis
6. Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.

7. Dr. Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.Eng. selaku Koordinator Tugas Akhir di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.
8. Seluruh dosen Teknik Material dan Metalurgi yang telah membimbing penulis hingga terciptanya laporan ini.
9. Cicilia Kuminita Sari, teman dan partner hidup, terima kasih atas motivasi, semangat, keceriaan, kebahagiaan, dan kehadiranmu yang selalu diberikan kepada penulis.
10. Teman-teman Laboratorium Korosi dan Analisa Kegagalan yang telah menemani penulis selama melaksanakan kegiatan praktikum.
11. Teman-teman ngopi dan cangkruk, yang tidak pernah serius, memandang dunia dengan cara yang berbeda, terima kasih atas saran-sarannya untuk menghadapi retorika kehidupan ini.
12. Teman-teman seperjuangan MT 14.
13. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terima kasih atas dukungan dan bantuan teman-teman sekalian.

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

Surabaya, 10 Januari 2015  
Penulis,

**Yoshua Kusuma Putra**  
**2712100060**

---

**DAFTAR ISI**

<b>Halaman Judul .....</b>	<b>i</b>
<b>Lembar Pengesahan .....</b>	<b>v</b>
<b>Abstrak .....</b>	<b>vii</b>
<b>Kata Pengantar .....</b>	<b>xi</b>
<b>Daftar Isi .....</b>	<b>xiii</b>
<b>Daftar Gambar .....</b>	<b>xvii</b>
<b>Daftar Tabel .....</b>	<b>xix</b>
<b>Bab I Pendahuluan</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	3
1.3. Batasan Masalah .....	3
1.4. Tujuan .....	4
1.5. Manfaat Penelitian .....	4
1.6. Sistematika Penulisan .....	5
<b>Bab II Tinjauan Pustaka</b>	
2.1. Korosi .....	7
2.2. Mekanisme Korosi .....	8
2.3. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Korosi .....	9
2.4. Baja API 5L .....	10
2.5. Lingkungan NaCl 3,5% .....	12
2.6. Pengendalian Korosi .....	12
2.7. Inhibitor .....	14
2.8. Mekanisme Kerja Inhibitor Organik .....	16
2.9. Daun Belimbing Wuluh ( <i>Averrhoa bilimbi l.</i> ) .....	17
2.10. Ekstraksi .....	19
2.10.1. Metode Ekstraksi .....	20
2.10.2. Perbandingan Ekstraksi Tradisional dan Modern .....	23
2.11. Tanin .....	31
2.12. Spektrofotometri .....	33
2.13. Penghitungan Laju Korosi .....	35

2.14. FTIR (Fourier Transformer Infrared) .....	37
2.15. Tafel Polarisasi .....	41
2.16. EIS ( Electrochemichal Impedance Spectroscopy) .....	43
2.17. Penelitian Sebelumnya .....	46

### **Bab III Metode Penelitian**

3.1. Diagram Alir Penelitian .....	49
3.2. Prosedur Penelitian .....	50
3.2.1. Pemilihan Material, Inhibitor, dan Larutan Elektrolit.....	50
3.2.2. Preparasi .....	51
3.2.2.1. Preparasi Daun Belimbing Wuluh .....	51
3.2.2.2. Proses Pemekatan Hasil Ekstraksi .....	57
3.2.2.3. Preparasi Spesimen Baja API 5L Grade B .....	58
3.2.2.4. Preparasi Larutan Elektrolit .....	58
3.2.3. Pengujian .....	59
3.2.3.1. Pengujian Spektrometer.....	59
3.2.3.2. Pengujian <i>Spektrofotometry</i> .....	59
3.2.3.3. Pengujian <i>Weight Loss</i> .....	60
3.2.3.4. Pengujian FTIR .....	61
3.2.3.5. Pengujian Tafel Polarisasi .....	62
3.2.3.6. Pengujian EIS .....	63

### **Bab IV Hasil dan Pembahasan**

4.1. Hasil Dan Pembahasan .....	65
4.1.1. Hasil Pengujian Spektrometer .....	65
4.1.2. Ekstraksi Daun Belimbing Wuluh.....	66
4.1.2.1. Hasil Ekstraksi Metode Maserasi, Refluks, dan MAE ...	67
4.1.3. Hasil Pengujian Spektrofotometri.....	68
4.1.3.1. Hasil Uji Spektrofotometri Ekstrak Metode Maserasi, Refluks, dan MAE .....	69
4.1.4. Hasil Pengujian Weight Loss .....	70
4.1.5. Hasil Pengujian FTIR.....	75

4.1.5.1. Hasil Pengujian FTIR Inhibitor hasil Metode Maserasi dan Sampel Uji Setelah Perendaman.....	76
4.1.5.2. Hasil Pengujian FTIR Inhibitor hasil Metode MAE dan Sampel Uji Setelah Perendaman.....	80
4.1.5.3. Hasil Pengujian FTIR Inhibitor hasil Metode Refluks dan Sampel Uji Setelah Perendaman.....	83
4.1.6. Hasil Pengujian Tafel Polarisasi.....	88
4.1.6.1. Hasil Uji Tafel Polarisasi Penambahan Inhibitor Hasil Ekstraksi Metode Maserasi, Refluks, dan MAE.....	90
4.1.7. Hasil Pengujian EIS.....	94
4.1.8. Potensi Produksi Masal Inhibitor Daun Belimbing Wuluh.....	97
<b>Bab V Kesimpulan dan Saran</b>	
5.1. Kesimpulan .....	99
5.2. Saran .....	100
<b>Daftar Pustaka.....</b>	<b>103</b>
<b>Lampiran</b>	
<b>Biografi Penulis</b>	

---

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. (a) Laju korosi sebagai Fungsi Konsentrasi Inhibitor (b) Efisiensi Inhibitor sebagai Fungsi Konsentrasi Inhibitor.....	14
Gambar 2.2. Adsorpsi muatan negatif inhibitor pada muatan positif permukaan logam .....	16
Gambar 2.3. Buah dan daun belimbing wuluh .....	18
Gambar 2.4. Struktur flavan-3-ol .....	32
Gambar 2.5. (a) Asam gallat (b) Asam ellagelat .....	33
Gambar 2.6. Pembentukan <i>ferric-tannate</i> .....	33
Gambar 2.7. Skema spektrofotometer .....	34
Gambar 2.8. Skema Pengujian FTIR.....	38
Gambar 2.9. Spektra inframerah ekstrak tanin belimbing wuluh..	39
Gambar 2.10. Kurva tafel polarisasi .....	42
Gambar 2.11. Hasil uji impedansi magnesium pada pH 9,2 sodium borate dalam bentuk Nyquist.....	44
Gambar 2.12. Model <i>electrical equivalent circuit</i> yang menunjukkan mekanisme korosi (a) tidak ada kontrol difusi (b) ada kontrol difusi. ....	45
Gambar 3.1. Diagram Alir.....	49
Gambar 3.2. Serbuk daun belimbing wuluh .....	51
Gambar 3.3. Ekstraksi daun belimbing wuluh metode maserasi...53	
Gambar 3.4. Ekstraksi daun belimbing wuluh metode refluks.....55	
Gambar 3.5. Ekstraksi daun belimbing wuluh metode MAE.....56	
Gambar 3.6. Alat <i>rotary vaccum evaporator</i> . ....	57
Gambar 3.7. Spesimen uji <i>weight loss</i> .....	59
Gambar 3.8. Uji <i>weight loss</i> .....	62
Gambar 3.9. Peralatan FTIR.....	63
Gambar 3.10. Alat uji tafel polarisasi dan EIS .....	65
Gambar 4.1. Grafik pengaruh inhibitor daun belimbing wuluh hasil berbagai metode ekstraksi terhadap laju korosi API 5L Grade B .....	71

Gambar 4.2. Grafik pengaruh inhibitor daun belimbing wuluh hasil berbagai metode ekstraksi terhadap efisiensi inhibisi .....	71
Gambar 4.3. Pembentukan <i>ferric-tannate</i> .....	74
Gambar 4.4. Spektrum FTIR Inhibitor daun belimbing wuluh metode maserasi dan sampel uji setelah perendaman .....	77
Gambar 4.5. Spektrum FTIR Inhibitor daun belimbing wuluh metode MAE dan sampel uji setelah perendaman ..	81
Gambar 4.6. Spektrum FTIR Inhibitor daun belimbing wuluh metode refluks dan sampel uji setelah perendaman ..	84
Gambar 4.7. Kurva tafel polarisasi tanpa penambahan inhibitor ..	89
Gambar 4.8. Kurva tafel polarisasi penambahan inhibitor hasil metode maserasi, refluks, dan MAE .....	90
Gambar 4.9. Perbandingan kurva tafel polarisasi tanpa dan dengan penambahan inhibitor daun belimbing wuluh berbagai metode .....	92
Gambar 4.10. Kurva Nyquist dan fit and simulation penambahan inhibitor .....	95
Gambar 4.11. <i>Equivalent circuit</i> pada penambahan inhibitor .....	97

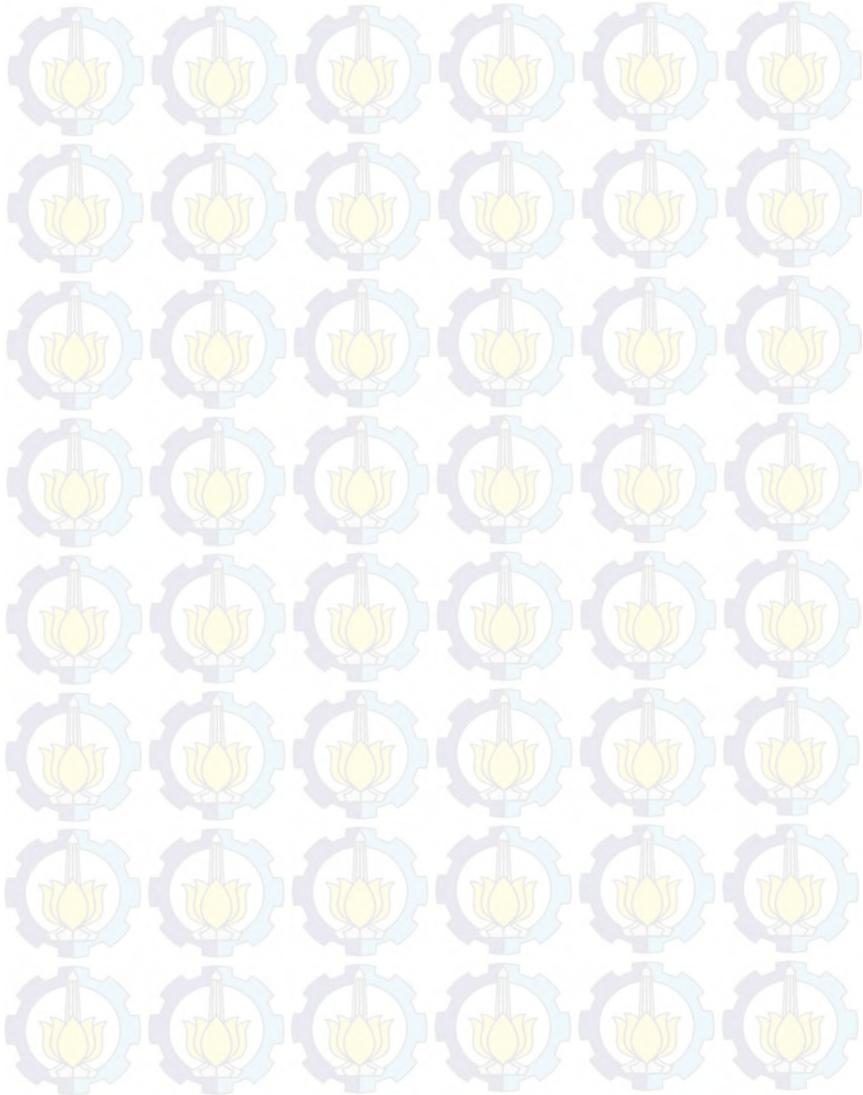
---

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Komposisi kimia air laut .....	9
Tabel 2.2. Karakteristik mekanik berbagai baja API 5L .....	11
Tabel 2.3. Komposisi kimia pipa baja API 5L Grade B .....	12
Tabel 2.4. Perbandingan metode ekstraksi .....	24
Tabel 2.5. Perbandingan proses dan hasil ekstraksi konvensional dan modern .....	25
Tabel 2.6. Konstanta laju korosi .....	36
Tabel 2.7. Nilai bilangan gelomban ekstrak tanin daun belimbing wuluh .....	40
Tabel 2.8. Data penelitian sebelumnya .....	46
Tabel 4.1. Data hasil uji spektrometer baja API 5L Grade B ....	66
Tabel 4.2. Hasil ekstraksi metode maserasi dengan 70 gram serbuk daun belimbing wuluh dan 700 ml pelarut campuran aseton aquades .....	68
Tabel 4.3. Hasil perhitungan kadar tanin berbagai metode ekstraksi dengan sampel sebanyak 0,025 ml .....	69
Tabel 4.4. Derajat <i>surface coverage</i> pada sampel uji dengan penambahan inhibitor daun belimbing wuluh hasil berbagai metode ekstraksi .....	74
Tabel 4.5. Energi bebas adsorpsi sampel uji terhadap penambahan inhibitor .....	75
Tabel 4.6. Data senyawa ekstrak maserasi yang teradsorpsi pada sampel uji .....	78
Tabel 4.7. Data senyawa ekstrak MAE yang teradsorpsi pada sampel .....	82
Tabel 4.8. Data senyawa ekstrak refluks yang teradsorpsi pada sampel uji .....	86
Tabel 4.9. Data perhitungan hasil uji tafel polarisasi .....	91
Tabel 4.10. Perbandingan hasil uji tafel tanpa dan penambahan inhibitor daun belimbing wuluh berbagai metode	92

Tabel 4.11. Data elektrokimia analisa *fit and simulation* ..... 95

Tabel 4.12. Data hasil masing-masing metode ekstraksi..... 98



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Logam merupakan material yang banyak sekali di gunakan dalam dunia industri. Salah satu jenis logam itu adalah baja. Baja berperan penting dalam industri di berbagai bidang. Material baja yang umum digunakan adalah baja karbon. Baja jenis ini memiliki sifat mekanik yang baik, ekonomis, serta mudah untuk dibentuk. Tetapi ada satu kelemahan dari baja karbon yang hanya bisa dicegah yaitu korosi (Buchweshaija, 2010).

Korosi adalah kerusakan atau penurunan kualitas logam dikarenakan bereaksi secara kimia dengan lingkungannya. Korosi sangat merugikan dan tidak diinginkan terjadi bagi industri. Korosi tidak dapat dihilangkan namun dapat dicegah (Bucweshaija, 2010). Banyak metode yang dapat digunakan untuk memperlambat atau mencegah korosi dari suatu baja. Namun metode yang efektif, proses pembuatan yang mudah dan murah adalah penggunaan inhibitor. Inhibitor korosi mampu memperlambat proses korosi, hal ini dikarenakan terdapat senyawa yang memiliki pasangan elektron bebas (Hermawan, 2007).

Inhibitor adalah suatu zat kimia dang bila ditambahkan kedalam suatu lingkungan yang agresif, dapat menurunkan laju penyerangan agresif tersebut terhadap suatu logam (Surya, 2004). Inhibitor dapat dibuat secara organik, yaitu dibuat dari bahan-bahan alam, sehingga inhibitor organik memiliki sifat ramah lingkungan dan tidak berbahaya karena berasal dari ekstrak alam (Haryono, 2010). Inhibitor organik ditambahkan pada medium dalam konsentrasi yang kecil. Inhibitor membentuk lapisan yang seragam, seperti pelapisan (*coating*), yang berperan sebagai pembatas antara logam dan lingkungannya (Jones, 1996). Bahan-bahan alam yang dapat digunakan sebagai inhibitor harus memiliki senyawa yang

mengandung atom nitrogen, oksigen, dan/atau sulfur, senyawa heterosiklik dan elektron pi (Ahamed et al, 2010).

Belimbing wuluh merupakan tanaman yang berasal dari famili *oxalidiaceai* yang dapat tumbuh sampai dengan 10 meter (Hasanuzzaman, 2013). Pada daun belimbing wuluh terkandung flavonoid, saponin, tanin, sulfur, asam format, peroksidase, kalsium oksalat. (Putu Ayu, 2015). Kandungan tersebut banyak memiliki unsur N, O, P, S yaitu polifenol dan tanin yang mampu menghambat korosi (Putri Avnita, 2014). Ekstrak daun belimbing wuluh mengandung flavonoid dan tanin (Yudhi, 2012).

Terdapat berbagai metode ekstraksi untuk memperoleh ekstrak dari sebuah tanaman atau simplisia. Terdapat ekstraksi dengan metode konvensional dan metode modern. Masing-masing mempunyai kelemahan dan kelebihan. Proses ekstraksi didasarkan pada pemilihan jenis pelarut yang tepat serta penggunaan sejumlah panas dan/atau agitasi untuk meningkatkan kelarutan dan laju perpindahan massa-nya. Teknik yang biasa digunakan adalah maserasi, perkolasi, hydrodistilasi dan sokhlet (Peres, 2006). Teknik ekstraksi konvensional membutuhkan banyak waktu dan pelarut, sehingga memiliki tingkat efisiensi yang rendah. Alternatif metode ekstraksi baru adalah ekstraksi fluida superkritik, solven akselerasi, ultrasonik, dan microwave (Soni, 2010). Komponen target yang terekstrak pada metode baru menjadi lebih efisien. Komponen tersebut adalah senyawa fitokimia seperti alkaloid dan flavonoid. (Firdaus, 2010). Senyawa ini adalah senyawa yang mampu menghambat korosi dan mempengaruhi efektivitas terhadap menghambat laju korosi (Putri Avnita, 2014).

Oleh karena itu dalam penelitian kali ini peneliti akan meneliti pengaruh variasi metode ekstraksi daun belimbing wuluh sebagai inhibitor organik terhadap laju korosi. Media yang digunakan pada penelitian ini adalah lingkungan 3,5% NaCl. Material yang digunakan adalah API 5L *Grade B*.

## I.2. Perumusan Masalah

Terdapat berbagai metode untuk mengendalikan korosi salah satunya adalah dengan penambahan inhibitor. Inhibitor dibagi menjadi dua macam yaitu inhibitor organik dan inhibitor anorganik. Inhibitor organik diperoleh dari ekstrak bahan alam yang *biodegradable* dan ekonomis. Inhibitor mempunyai kandungan antioksidan yang mampu menghambat laju korosi. Untuk memperoleh ekstrak dari bahan alam tersebut, terdapat berbagai metode ekstrak yang masing-masing metode akan mempengaruhi hasil dari kandungan ekstrak bahan alam tersebut. Berdasarkan permasalahan diatas, maka berikut ini adalah perumusan masalah yang akan dikaji :

1. Bagaimana pengaruh berbagai metode ekstraksi yaitu ekstraksi maserasi, reflux, dan microwave terhadap hasil ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi l.*).
2. Bagaimana pengaruh penambahan ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi l.*) hasil dari variasi metode ekstraksi maserasi, ekstraksi reflux, dan ekstraksi microwave terhadap efisiensi inhibitor pada baja API 5L grade B di lingkungan NaCl 3,5%.
3. Bagaimana menentukan metode ekstraksi daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi l.*) yang paling efisien.

## I.3. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini terdapat beberapa hal sebagai batasan masalah, yaitu :

1. Kondisi dan ukuran dari tiap daun belimbing wuluh dianggap homogen.
2. Komposisi kimia, dimensi dan kehalusan tiap spesimen baja karbon API 5L grade B dianggap homogen.
3. Kecepatan fluida diabaikan.

4. Perubahan temperatur, volume, dan pH larutan sepanjang penelitian diabaikan.

#### I.4. Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini akan dijelaskan sebagai berikut :

1. Menganalisa pengaruh berbagai metode ekstraksi yaitu ekstraksi maserasi, reflux, dan microwave terhadap hasil ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi l.*).
2. Menganalisa pengaruh penambahan ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi l.*) hasil dari variasi metode yaitu ekstraksi maserasi, reflux, dan microwave dengan konsentrasi 2000 mg/l terhadap efisiensi inhibitor pada baja API 5L grade B di lingkungan NaCl 3,5%.
3. Menentukan metode ekstraksi daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi l.*) yang paling efisien.

#### I.5. Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan pengetahuan mengenai pengaruh metode ekstraksi maserasi, ekstraksi refluks, dan ekstraksi microwave terhadap kualitas dari pembuatan inhibitor daun belimbing wuluh.
2. Pemanfaatan daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi l.*) sebagai *green corrosion inhibitor* yang dapat diaplikasikan pada industri minyak dan gas.
3. Sebagai wawasan tentang inhibitor organik yang dapat diperoleh dari bahan alam kekayaan Indonesia.
4. Memberikan motivasi kepada para peneliti Indonesia agar terus mengembangkan metode-metode ekstraksi yang efisien

dan efektif sehingga mampu menjadikan pembuatan inhibitor dalam skala industri.

### **1.6. Sistematika Penulisan**

Berikut adalah sistematika penulisan pada penelitian ini.

#### **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab ini terdapat latar belakang penelitian, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

#### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini terdapat teori-teori dari literatur yang berkaitan dan menunjang analisa permasalahan dalam penelitian ini.

#### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

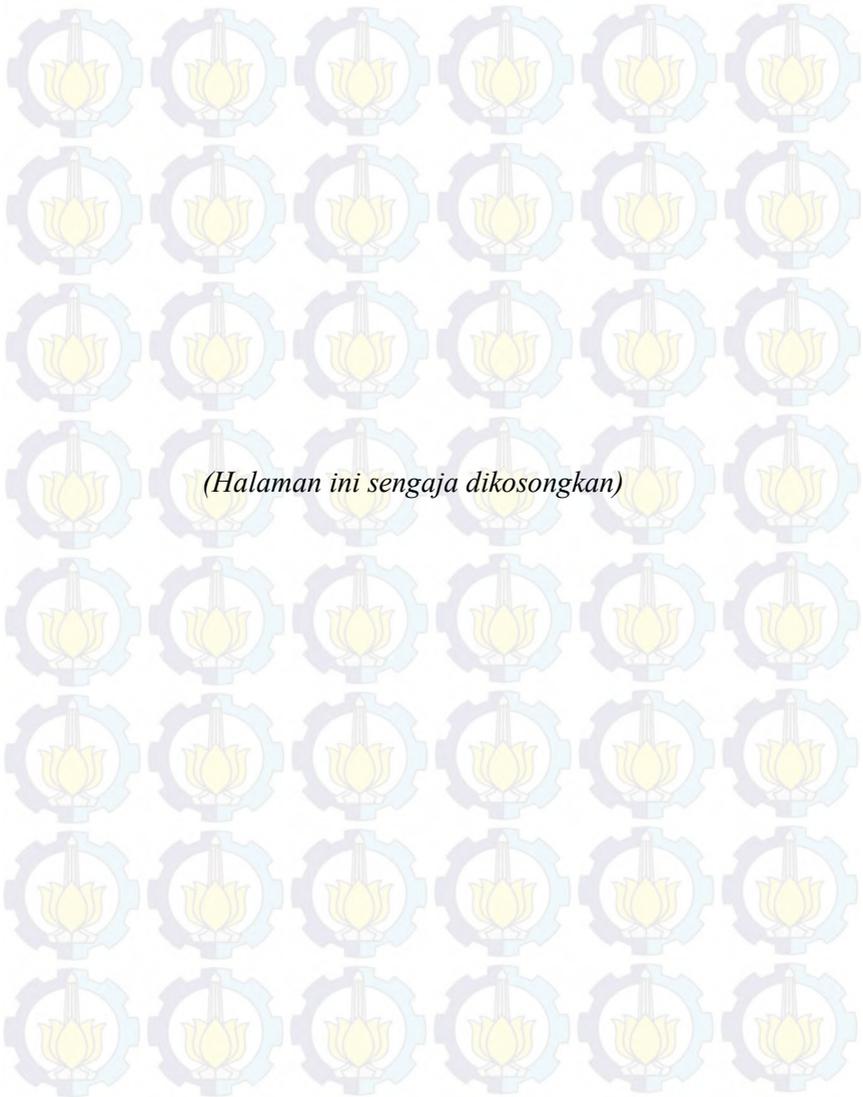
Pada bab terdapat diagram alir, prosedur pelaksanaan, serta spesifikasi peralatan dan material uji pada penelitian.

#### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini terdapat hasil yang diperoleh ketika penelitian, dan dilengkapi dengan analisa serta pembahasannya.

#### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab ini terdapat kesimpulan yang didapatkan setelah melakukan penelitian, serta saran-saran yang perlu diberikan untuk penelitian kedepannya.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Korosi**

Korosi adalah penurunan kualitas dari suatu logam karena adanya reaksi kimia antara logam atau paduan dengan lingkungannya. Korosi mengembalikan logam ke keadaan bergabung di dalam senyawa kimianya dimana senyawa tersebut akan sama atau bahkan identik terhadap mineral ketika logam diekstraksi. Korosi tidak mungkin dicegah karena memang merupakan proses alamiah bahwa semua logam akan kembali ke sifat asalnya (Denny Jones, 1996).

Proses korosi yang terjadi pada logam biasanya bersifat elektrokimia yaitu reaksi kimia yang terjadi karena adanya transfer elektron dari satu spesies kimia ke spesies kimia lainnya (William Callister, 2003). Syarat terjadinya korosi yang bersifat elektrokimia harus mempunyai 4 komponen utama yaitu (Fajar Sidiq, 2013) :

##### **1. Anoda**

Anoda merupakan material yang terkorosi karena melepaskan elektron-elektron dari atom logam netral untuk membentuk ion-ion yang bersangkutan. Ion ini tetap tinggal dalam larutan atau bereaksi membentuk korosi yang tidak larut. Reaksi yang terjadi adalah reaksi oksidasi yaitu pelepasan elektron sehingga nilai valensi meningkat.

##### **2. Katoda**

Katoda biasanya tidak mengalami korosi. Katoda adalah tempat dimana elektron yang dilepas oleh logam akan dipakai untuk sebuah proses reduksi. Reaksi yang terjadi pada katoda berupa reaksi reduksi yang bergantung pada pH larutan yang bersangkutan.

### 3. Elektrolit

Elektrolit merupakan larutan yang mempunyai sifat menghantarkan listrik. Elektrolit dapat berupa larutan asam, basa dan larutan garam.. Larutan elektrolit berperan penting dalam korosi logam karena larutan ini menjadi kontak listrik antara anoda dan katoda.

### 4. Anoda dan Katoda Yang Terhubung

Anoda dan katoda harus terhubung secara elektrik agar arus dalam sel korosi dapat mengalir. Bila anoda dan katoda merupakan bagian logam yang sama, hubungan fisik tidak diperlukan.

### 2.2. Mekanisme Korosi

Mekanisme korosi yang terjadi pada logam besi (Fe) dituliskan sebagai berikut (Gogot, 2010) :



Ferri hidroksida yang terbentuk berubah menjadi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang berwarna merah kecoklatan yang biasa kita sebut karat (Vogel, 1979). Salah satu kondisi lingkungan yang sering menyebabkan terjadinya korosi pada besi adalah air laut. Karena air laut mengandung berbagai macam garam dan konduktivitas yang tinggi serta memiliki ion klorida yang dapat menembus logam.

**Tabel 2.1** Komposisi kimia air laut (Kirk Othmer, 1965)

Senyawa	Persen Berat (%)
NaCl	2,88
MgCl <sub>2</sub>	0,32
MgSO <sub>4</sub>	0,22
CaSO <sub>4</sub>	0,12
KCl	0,07
NaBr	0,008
H <sub>2</sub> O	96,582

### 2.3. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Laju Korosi

Umumnya masalah korosi disebabkan oleh air. Tetapi ada beberapa faktor selain air yang mempengaruhi laju korosi, diantaranya (Fajar Sidiq, 2013) :

#### 1. Faktor Gas Terlarut

Oksigen (O<sub>2</sub>), adanya oksigen terlarut akan menyebabkan korosi pada metal seperti laju korosi pada *mild steel alloys* akan bertambah dengan meningkatnya kandungan oksigen. Kelarutan oksigen dalam air merupakan fungsi dari tekanan, temperatur, dan kandungan klorida. Bila ada karbondioksida dilarutkan dalam air maka akan terbentuk asam karbonat yang dapat menurunkan pH air dan meningkatkan korosifitas.

#### 2. Faktor Temperatur

Penambahan temperatur umumnya menambah laju korosi walaupun kenyataannya kelarutan oksigen berkurang dengan meningkatnya temperatur. Apabila logam pada temperatur yang tidak uniform, maka akan besar kemungkinan terbentuk korosi.

#### 3. Faktor pH

pH netral adalah 7, sedangkan pH < 7 bersifat asam dan korosif, sedangkan untuk pH > 7 bersifat basa namun juga

korosif. Tetapi untuk besi, laju korosi rendah pada pH antara 7 sampai 13. Laju korosi akan meningkat pada pH  $< 7$  dan pada pH  $> 13$ .

#### 4. Faktor Bakteri Pereduksi atau Sulfat Reducing Bacteria (SRB)

Adanya bakteri pereduksi sulfat akan mereduksi ion sulfat menjadi gas  $H_2S$ , yang mana jika gas tersebut kontak dengan besi akan menyebabkan korosi.

#### 5. Faktor Padatan Terlarut

- Klorida ( $Cl$ ), klorida menyerang lapisan *mild steel* dan lapisan stainless steel. Padatan ini menyebabkan terjadinya *pitting*, *crevice corrosion*, dan juga menyebabkan pecahnya *alloys*.
- Karbonat ( $CO_3$ ), kalsium karbonat sering digunakan sebagai pengontrol korosi dimana film karbonat diendapkan sebagai lapisan pelindung permukaan metal, tetapi dalam produksi minyak hal ini cenderung menimbulkan masalah scale.
- Sulfat ( $SO_4$ ), ion sulfat ini biasanya terdapat dalam minyak. Dalam air, ion sulfat juga ditemukan dalam konsentrasi yang cukup tinggi dan bersifat kontaminan dan oleh bakteri SRB sulfat diubah menjadi sulfide yang korosif.

#### 2.4. Baja API 5L

Baja API 5L merupakan baja yang banyak digunakan pada perpipaan industri minyak dan gas. Pemilihan bahan untuk perpipaan merupakan proses yang perlu pertimbangan tepat. Bahan yang dipilih harus sesuai dengan kondisi suhu, operasi, dan tekanan. Lingkungan sekitar sistem merupakan hal yang penting pula, pipa dapat kehilangan beban melalui korosi. Sifat dan kemampuan bahan seperti pengelasan, kemudahan untuk

dibentuk, dilakukan perlakuan panas, dimesin, keseragaman, struktur mikro turut berperan dalam pemilihan pipa (ASM, 2005).

API merupakan singkatan dari *American Petroleum Institute*. Baja ini terbagi menjadi beberapa grade, mengikuti kekuatan mekaniknya. Semakin tinggi gradenya, maka semakin tinggi pula nilai kekuatannya. Berikut adalah tabel yang menunjukkan yield dan mechanical strength dari berbagai grade baja API 5L (Alfonsius, 2012).

**Tabel 2.2** Karakteristik mekanik berbagai baja API 5L (Alfonsius, 2012)

Grade	Yield strength (Mpa)	Mechanical Strength (Mpa)
X42	289	413
X56	386	489
X60	413	517
X65	448	530
X70	482	565
X80	551	620
X100	690	760

Sedangkan dalam penelitian ini baja yang dipakai adalah baja API 5L Grade B yang merupakan baja dengan kandungan karbon yang rendah. Berikut ini tabel yang menunjukkan komposisi dari baja API 5L Grade B.

**Tabel 2.3.** Komposisi kimia pipa baja API 5L Grade B (API, 2004)

Unsur	Kadar (%)
Karbon	0,22
Mangan	1,2
Fosfor	0,025
Sulfur	0,015
Titanium	0,04

### 2.5. Lingkungan NaCl 3,5%

Lingkungan NaCl 3,5% merupakan lingkungan yang menunjukkan replika dari air laut. Kadar NaCl pada air laut berkisar antara 3-3,5% tetapi pada air laut terdapat ion-ion lain seperti  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$ . Ion-ion tersebut mampu menghambat laju korosi karena dapat membentuk lapisan  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  di permukaan hasil dari reaksi katodik oksigen pada permukaan logam.

Garam yang ada di dalam larutan akan terurai menjadi anion dan kation. Anion dan kation tersebut akan membentuk ion-ion karena kekurangan dan kelebihan elektron. Arus akan mudah dihantarkan oleh larutan akibat adanya ion-ion yang terbentuk. Contohnya pada ion klorida yang berasal dari larutan NaCl. Ion klorida ini mampu mempengaruhi kandungan oksigen yang terlarut. Semakin tinggi konsentrasi ion klorida, semakin rendah oksigen yang terlarut. Hal ini dapat mempengaruhi laju korosi. Oksigen dapat larut secara optimum dalam larutan pada saat konsentrasi ion Cl sebesar 3% (Andhi, 2011).

### 2.6. Pengendalian Korosi

Korosi dapat dicegah melalui berbagai cara antara lain adalah :

## 1. Perubahan media

Korosi merupakan interaksi antara logam dengan media sekitarnya, maka perubahan media sekitarnya akan dapat mengubah laju korosi (Fajar Sidiq, 2013). Ada tiga situasi yang dapat terjadi :

- Media sekitar / lingkungan berupa gas.
- Media sekitar berupa larutan dengan ion-ion tertentu.
- Logam terbenam dalam tanah.

## 2. Seleksi Material

Metode umum yang sering dilakukan dalam pencegahan korosi yaitu pemilihan material logam atau paduan dalam suatu lingkungan korosif tertentu untuk mengurangi resiko terjadinya korosi (Fajar Sidiq, 2013). Dalam memilih material haruslah mendata apa yang dibutuhkan, seleksi dan evaluasi material, dan memilih material yang paling ekonomis (Pierre Roberge, 1999).

## 3. Proteksi Katodik (*cathodic protection*)

Proteksi katodik adalah jenis perlindungan korosi dengan menghubungkan logam yang mempunyai potensial yang lebih tinggi ke struktur logam sehingga tercipta suatu sel elektrokimia dengan logam berpotensi rendah bersifat katodik dan terproteksi (Fajar Sidiq, 2013).

## 4. Proteksi Anodik (*Anodic Protection*)

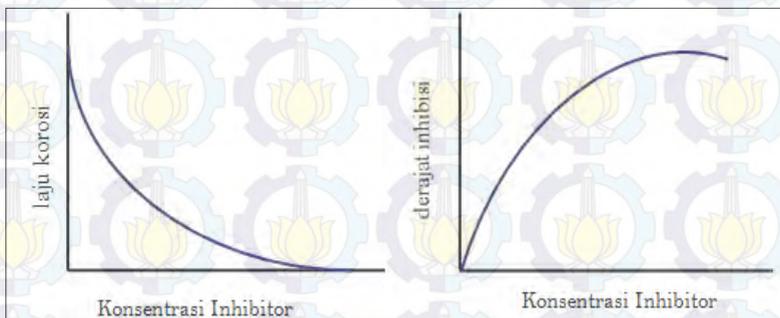
Pada perlindungan secara anodik (proteksi anodik), tegangan sistem yang dilindungi dinaikkan sehingga memasuki daerah anodiknya. Pada kondisi ini sistem terlindungi karena terbentuknya lapisan pasif. Syarat yang harus dipenuhi agar sistem ini berjalan dengan baik adalah bahwa karakteristik lingkungannya harus stabil. Pada jenis lingkungan yang tidak stabil (berfluktuasi) penerapan sistem proteksi anodik tidak dianjurkan (Fiki Maizal, 2014).

## 5. Coating

Coating atau bisa disebut pelapisan adalah suatu teknik perlakuan permukaan (surface treatment) yang digunakan untuk memperbaiki sifat base-materialnya seperti meningkatkan ketahanan aus, ketahanan korosi, *fatigue life*, dan lain-lain. Coating adalah produk yang paling banyak digunakan untuk perlindungan korosi. Coating digunakan untuk perlindungan jangka panjang diberbagai kondisi lingkungan yang korosif (Fiki Maizal, 2014).

## 6. Inhibitor Korosi

Merupakan substansi yang ditambahkan dalam konsentrasi yang sedikit (*parts per million, ppm*) pada lingkungan yang korosif dan sangat efektif menurunkan laju korosi. Metode ini biasanya diaplikasikan pada interior dari pipa, bejana, dan peralatan lainnya.



**Gambar 2.1.** (a) Laju korosi sebagai Fungsi Konsentrasi Inhibitor (b) Efisiensi Inhibitor sebagai Fungsi Konsentrasi Inhibitor (Sastri, 2011).

## 2.7. Inhibitor

Terjadinya korosi tidak dapat dihindari, namun laju korosi ini dapat dikurangi. Pengurangan laju dari proses dapat dilakukan dengan proteksi katodik, proteksi anodik, pelapisan

(*coating*), dan penambahan inhibitor (Sharmin, 2012). Inhibitor korosi adalah zat kimia yang apabila ditambahkan atau dimasukkan ke dalam suatu lingkungan yang korosif dapat secara efektif menghambat atau mengurangi laju korosi (Dyah Erlina, 2004).

Inhibitor korosi terdiri dari inhibitor anorganik dan organik (*green inhibitor*). Inhibitor anorganik antara lain arsenat, kromat, silikat, dan fosfat yang merupakan jenis bahan kimia yang mahal, berbahaya, dan tidak ramah lingkungan, sehingga akan memberikan efek buruk bila berinteraksi langsung dengan tubuh manusia. Inhibitor organik lebih aman dan ramah lingkungan karena berasal dari bahan alami (Sharma, 2008).

Kandungan senyawa antioksidan seperti polifenol, tanin, alkaloid, saponin, minyak atsiri, dan asam amino mempunyai banyak unsur N, O, P, S yang dapat membentuk senyawa kompleks sulit larut dengan ion logam yang mampu menghambat korosi pada logam.

Inhibitor korosi secara umum akan membentuk lapisan tipis protektif yang mencegah terjadinya kontak antara larutan korosif dengan baja. Keunggulan dari penambahan inhibitor korosi ini adalah tidak membutuhkan biaya perawatan, dapat ditambahkan ke dalam lingkungan jika kemampuan untuk menginhibisi menurun dan lebih murah (Dewi Selfi, 2004).

Proses inhibisi suatu inhibitor korosi bersifat reversible sehingga untuk menjaga agar lapisan pelindung yang ada di permukaan logam tetap dapat selalu ada maka konsentrasi minimum harus selalu berada dalam lingkungan logam. Pada penambahan konsentrasi yang tepat maka inhibitor akan semakin efektif dalam menghambat korosi, namun apabila konsentrasi inhibitor korosi yang ditambahkan terlalu besar akan menyebabkan tertariknya kembali molekul inhibitor di permukaan logam ke dalam lingkungan larutannya. Menyebabkan molekul

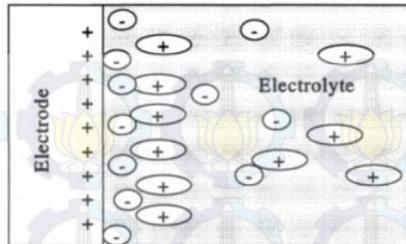
inhibitor pada permukaan logam akan digantikan oleh molekul air ataupun ion lain dari lingkungan yang akan menurunkan efek pelindung dari korosi (Putri Avnita, 2014). Selain itu efektivitas dari inhibitor organik dipengaruhi oleh komposisi kimia, struktur molekul, dan gugus fungsi, ukuran, dan berat molekul, serta afinitas inhibitor terhadap logamnya (Robert Pierce, 2000).

## 2.8. Mekanisme Kerja Inhibitor Organik

Keefektifan dari inhibitor organik berhubungan dengan bagaimana mereka menyerap dan melapisi permukaan logam. Adsorpsi tergantung dari struktur inhibitornya. Inhibitor organik melindungi permukaan logam melalui (Papavinasam, 2000) :

### 1. *Physical Adsorption*

*Physical adsorption* merupakan hasil dari daya tarik elektrostatik antara inhibitor dan permukaan logam. Ketika permukaan logam bermuatan positif, adsorpsi dari muatan negatif inhibitor akan terfasilitasi. Molekul bermuatan positif yang bergabung dengan muatan negatif dapat menghambat muatan logam yang positif. Contohnya ion halida yang mampu menyerap muatan positif dari permukaan logam. Mekanisme jenis ini bereaksi secara cepat, namun mudah dihilangkan dari permukaan. Meningkatnya temperatur dapat mengurangi kinerja penyerapan molekul.



**Gambar 2.2.** Adsorpsi muatan negatif inhibitor pada muatan positif

2. *Chemisorption*

Merupakan inhibitor yang paling efektif yang melibatkan transfer muatan antara inhibitor dan permukaan logam. *Chemisorption* lebih lambat daripada *physical adsorption*. Bila temperatur meningkat, adsorpsi dan inhibisi juga akan meningkat. Inhibitor ini spesifik dan tidak reversibel.

3. *Film Formation*

Molekul inhibitor yang diserap dapat menimbulkan reaksi permukaan yang menghasilkan lapisan *polymeric*. Perlindungan dari korosi semakin meningkat saat lapisan menebal hingga beberapa ratus angstrom. Proses inhibisi efektif ketika lapisan menyokong, tidak larut, dan mencegah akses dari larutan untuk menembus logam.

### 2.9. Daun Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.)

Belimbing wuluh atau *Averrhoa bilimbi* merupakan tanaman yang berasal dari famili *oxalidiaceae* memiliki nama lokal belembu, belemburi. Dapat tumbuh hingga 16 sampai 33 kaki (Hasanuzzaman, 2013). Belimbing wuluh berasal dari daerah Amerika yang beriklim tropis dan dibudidayakan di sejumlah negara seperti Malaysia, Argentina, Australia, Brazil, India,

Philipina, Singapura, Thailand, dan Venezuela. Belimbing wuluh masuk Indonesia dan tumbuh subur di seluruh wilayah Indonesia. Hampir seluruh bagian dari tanaman belimbing wuluh dapat dimanfaatkan, salah satunya adalah bagian daun. Daun belimbing wuluh memiliki kandungan flavonoids, saponin, tanin, sulfur, asam format, peroksidase, kalsium oksalat, dan kalium sitrat. Daun belimbing wuluh dapat dimanfaatkan sebagai obat rematik, stroke, obat batuk, anti radang, analgesik, anti hipertensi, anti diabetes (Putu Ayu et al, 2015).



**Gambar 2.3.** Buah dan daun belimbing wuluh (Pankaj et al, 2013)

Klasifikasi ilmiah belimbing wuluh (Dasuki, 1991)

Kingdom : Plantae  
Subkingdom : Tracheobionta  
Superdivisio : Spermatophyta  
Divisio : Magnoliophyta  
Kelas : Magnoliopsida  
Sub-kelas : Rosidae  
Ordo : Geraniales  
Familia : Oxalidaceae  
Genus : *Averrhoa*

Spesies : *Averrhoa bilimbi* L.

Ekstrak daun belimbing mengandung fitol (senyawa diterpen alkohol asiklik), dietil-ftalat, flavonoid, tanin, sulfur, asam format, asam sitrat, kalium sitrat, saponin, kalsium oksalat. Flavonoid yang terkandung dalam ekstrak daun belimbing adalah luteolin dan apigenin. Kandungan kimia yang paling dominan adalah dietil-ftalat dan fitol (Yudhi Kresnanugraha, 2012). Menurut Arland (2006) menyatakan bahwa daun belimbing wuluh mengandung senyawa metabolit sekunder diantaranya senyawa tanin, selain itu daun belimbing wuluh juga mengandung sulfur dan asam format. Faharani (2009) juga menunjukkan bahwa ekstrak daun belimbing wuluh mengandung flavonoid, saponin, dan tanin. Pada penelitian yang dilakukan Dalimarta (2008) juga menyatakan bahwa di dalam daun belimbing wuluh mengandung tanin, peroksidase, kalsium oksalat dan kalium sitrat. Bahan aktif yang dapat dimanfaatkan sebagai inhibitor adalah tanin.

Kandungan zat antioksidan seperti polifenol, tanin, alkaloid, saponin, minyak atsiri, dan asam amino mempunyai banyak unsur N, O, P, S yang dapat membentuk senyawa kompleks sulit larut dengan ion logam yang mampu menghambat korosi pada logam. Jumlah daun belimbing yang melimpah dan sangat mudah didapat bahkan dari pekarangan-pekarangan rumah di Indonesia tidak dimanfaatkan secara maksimal (Putri Avnita, 2014). Daun belimbing wuluh mengandung tanin, dimana tanin ini dapat diekstrak dengan aseton 70% lebih efektif dalam mengekstraksi daripada pelarut alkohol. Hal ini dikarenakan aseton menghambat interaksi tanin dengan protein. Pada banyak tumbuhan, sebagian besar tanin tidak dapat diekstraksi karena efek nutrisi (Lailis, 2010).

## 2.10. Ekstraksi

Ekstrak adalah sediaan kering, kental, atau cair dengan menyari simplisia nabati atau hewani menurut cara yang cocok, di luar pengaruh cahaya matahari langsung (Departemen Kesehatan III, 1979). Ekstraksi adalah suatu cara penarikan kandungan kimia dari simplisia dengan cara dan pelarut yang cocok agar kandungan kimia yang dapat larut terpisah dari bahan yang tidak dapat larut dengan pelarut cair. Terdapat dua model ekstraksi yaitu cara dingin dan cara panas (Yudhi Kresnanugraha, 2012).

### 2.10.1. Metode Ekstraksi

Macam-macam metode ekstraksi dengan menggunakan pelarut :

#### 1. Cara dingin

Ekstraksi cara dingin memiliki keuntungan dalam proses ekstraksi total, yaitu memperkecil kemungkinan terjadinya kerusakan pada senyawa termolabil yang terdapat pada sampel. Sebagian besar senyawa dapat terekstraksi dengan ekstraksi cara dingin, walaupun ada beberapa senyawa yang memiliki keterbatasan kelarutan terhadap pelarut pada suhu ruangan. Ekstraksi dingin merupakan metode ekstraksi yang paling sederhana yaitu dengan cara menggiling bahan kering dan dilarutkan dengan pelarut yang kepolarannya semakin tinggi. Ekstrak tidak dipanaskan sehingga kemungkinan bahan terurai kecil.

Penggunaan pelarut dengan peningkatan kepolaran bahan alam secara berurutan memungkinkan pemisahan bahan-bahan alam berdasarkan kelarutannya dalam pelarut ekstraksi. Hal ini sangat mempermudah proses isolasi. Ekstraksi dingin memungkinkan banyak senyawa terekstraksi, meskipun beberapa senyawa memiliki pelarut ekstraksi pada suhu kamar.

- Maserasi

Maserasi adalah proses pengekstrakan simplisia dengan menggunakan pelarut dengan beberapa kali pengocokan atau pengadukan pada temperatur ruangan. Metode ini bertujuan untuk menarik zat-zat berkhasiat yang tahan pemanasan maupun yang tidak tahan pemanasan. Maserasi termasuk ekstraksi dengan prinsip metode pencapaian konsentrasi pada keseimbangan. Maserasi dilakukan dengan beberapa pengadukan pada temperatur kamar. Maserasi juga mempunyai kekurangan yaitu pengerjaannya lama dan penyarian kurang sempurna.

Maserasi berasal dari bahasa latin *macerace* berarti mengairi dan melunakan. Cara ini merupakan cara yang paling sederhana. Dasar dari maserasi adalah melarutnya bahan kandungan simplisia sel yang rusak, yang terbentuk pada saat penghalusan, ekstraksi bahan kandungan dari sel yang masih utuh. Setelah selesai waktu maserasi, artinya keseimbangan antara bahan yang diekstraksi dan pada bagian dalam sel dengan masuk kedalam cairan telah tercapai, maka proses difusi segera berakhir. Selama maserasi atau proses perendaman dilakukan dengan pengocokan berulang-ulang agar konsentrasi bahan ekstraksi mencapai keseimbangan lebih cepat. Keadaan diam dalam maserasi menyebabkan turunannya perpindahan bahan aktif. Secara teoritis pada suatu maserasi tidak memungkinkan terjadinya ekstraksi. Semakin besar perbandingan simplisia terhadap cairan pengekstraksi, akan semakin banyak hasil yang diperoleh (Voigh, 1994).

- Perkolasi

Perkolasi adalah ekstraksi dengan pelarut yang selalu baru dan sempurna dengan temperatur ruangan. Prinsip perkolasi adalah dengan menempatkan serbuk simplisia pada suatu bejana silinder, yang bagian bawahnya diberi sekat berpori. Proses terdiri dari tahap pengembangan bahan, tahap maserasi antara, tahap

perkolasi sebenarnya, terus menerus sampai diperoleh ekstrak perkolat yang jumlahnya 1-5 kali bahan.

## 2. Cara Panas

Pada metode ini melibatkan pemanasan selama proses ekstraksi berlangsung. Adanya panas secara otomatis akan mempercepat proses ekstraksi dibandingkan dengan cara dingin. Beberapa jenis metode ekstraksi cara panas, yaitu:

- Ekstraksi refluks

Ekstraksi refluks merupakan metode ekstraksi yang dilakukan pada titik didih pelarut tersebut, selama waktu dan sejumlah pelarut tertentu dengan adanya pendingin balik (kondensor). Pada umumnya dilakukan tiga sampai lima kali pengulangan proses pada rafinat pertama. Kelebihan metode refluks adalah padatan yang memiliki tekstur kasar dan tahan terhadap pemanasan langsung dapat diekstrak dengan metode ini. Kelemahan metode ini adalah membutuhkan jumlah pelarut yang banyak (Irawan,2010).

- Ekstraksi dengan alat soxhlet

Ekstraksi dengan alat soxhlet merupakan ekstraksi dengan pelarut yang selalu baru, umumnya dilakukan menggunakan alat khusus sehingga terjadi ekstraksi konstandengan adanya pendingin balik (kondensor). Pada metode ini, padatan disimpan dalam alat soxhlet dan dipanaskan, sedangkan yang dipanaskan hanyalah pelarutnya. Pelarut terdinginkan dalam kondensor, kemudian mengekstraksi padatan. Kelebihan metode soxhlet adalah proses ekstraksi berlangsung secara kontinu, memerlukan waktu ekstraksi yang lebih sebentar dan jumlah pelarut yang lebih sedikit bila dibandingkan dengan metode maserasi atau perkolasi. Kelemahan dari metode ini adalah dapat menyebabkan rusaknya *solute* atau komponen

lainnya yang tidak tahan panas karena pemanasan ekstrak yang dilakukan secara terus menerus (Prashant Tiwari, et al., 2011).

- Ekstraksi dengan *microwave*

Ekstraksi ini biasa disebut *Microwave Assisted Extraction*. MAE merupakan teknik untuk mengekstraksi bahan-bahan terlarut di dalam bahan tanaman dengan bantuan energi microwave. Teknik ini dapat diterapkan baik pada fasa cair yakni cairan yang digunakan sebagai pelarut maupun fasa gas yakni gas sebagai media pengekstrak. Proses ekstraksi fasa cair didasarkan pada prinsip perbedaan kemampuan menyerap energi microwave pada masing-masing senyawa yang terkandung di dalam bahan tanaman. Parameter yang biasa digunakan untuk mengukur sifat fisik ini disebut sebagai konstanta dielektrik. Teknik MAE juga tergantung pada konstanta dielektrik dari pelarut yang digunakan.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan mengenai penggunaan MAE antara lain, pengambilan senyawa polyphenol dan caffein dari daun teh (Pandan Niu, 2003) dan pengambilan saponin dari chestnut (Kerem, 2005).

Proses pemanasan MAE terjadi dengan target yang spesifik dan cara yang spesifik, sehingga tidak ada panas yang hilang ke lingkungan, karena proses pemanasan berlangsung dalam sistem yang tertutup. Mekanisme pemanasan yang unik dapat dengan signifikan mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk proses ekstraksi, terutama dibandingkan dengan proses menggunakan sokhlet. Prinsip pemanasan menggunakan gelombang mikro adalah berdasarkan tumbukan langsung dengan material polar atau solvent dan diatur oleh dua fenomena yaitu konduksi ionik dan rotasi dipol. Dalam sebagian besar kasus, kedua fenomena tersebut berjalan secara simultan. Konduksi ionik mengacu pada migrasi elektrophoretik ion dalam pengaruh perubahan medan listrik. Resistansi yang ditimbulkan oleh larutan terhadap proses migrasi ion menghasilkan friksi yang akan

memanaskan larutan. Rotasi dipole merupakan pengaturan kembali dipole-dipole molekul akibat medan listrik yang terus berubah dengan cepat. Proses pemanasan hanya akan terpengaruh pada frekuensi 2450 MHz. Komponen elektrik gelombang berubah  $4-9 \cdot 10^4$  kali perdetik (Kurniasari, 2008).

### 2.10.2. Perbandingan Ekstraksi Tradisional Dan Modern

Perbandingan antara metode ekstraksi konvensional dan modern dapat ditunjukkan oleh tabel berikut.

**Tabel 2.4.** Perbandingan metode ekstraksi (Priscilla, 2013)

Parameter	Metode Ekstraksi		
	Maserasi	Soxhlet	<i>Microwave Assisted Extraction</i>
Penjelasan	Sampel direndam dalam pelarut dan didiamkan sambil diaduk sesekali	Sampel diletakkan di dalam bidal fiber glass dan menggunakan soxhlet, sampel diperkolasi dengan uap yang terkondensasi dari pelarut	Sampel direndam dengan pelarut yang mampu menyerap gelombang mikro. Sampel diletakkan di dalam bejana tertutup.
Waktu Ekstraksi	24-168 jam	3-48 jam	3-30 menit
Ukuran Sampel	1-30 gram	1-30 gram	1-10 gram
Banyak	100-500 ml	100-500 ml	10-40 ml

Pelarut			
Modal	Rendah	Rendah	Sedang
Kelebihan	Tidak merusak senyawa termolabil, biaya yang sangat rendah.	Mudah untuk digunakan, tidak perlu proses penyaringan, kapasitas yang besar	Cepat dan multiple ekstraksi, mudah digunakan, solvent yang digunakan sedikit, temperatur tinggi.
Kelemahan	Waktu ekstraksi sangat lama, pelarut yang digunakan sangat banyak, penyaringan perlu dilakukan.	Waktu ekstraksi yang lama, pelarut banyak, pembersihan perlu dilakukan.	Pelarut harus mampu menyerap gelombang mikro, penyaringan perlu dilakukan, waktu menunggu bejana untuk dingin.

Berikut ini tabel yang menunjukkan perbandingan proses dan hasil dari metode ekstraksi konvensional dan modern.

**Tabel 2.5.** Perbandingan proses dan hasil ekstraksi konvensional dan modern (Priscilla, 2013).

Tumbuhan	Kondisi Operasional	Senyawa Terekstraksi dan
----------	---------------------	--------------------------

		Rendemen (%)
<i>Hierochloe odorata L.</i>	<p>MAE            Pw = 200 W; s = Aseton;            S/F = 10; T = 80 C;            P=Patm; t = 15 menit</p> <p>SFE            Dua langkah :            (1)P=35Mpa; T=40C            (2)P=25Mpa; T=40C            S=ethanol (20%); t=2h;            v=0,5l/min</p> <p>Sokhlet            S/F=50; s=aseton; t=6h</p>	<p>5,8-  <i>Dihydroxycoumarin</i>            (0.42% db)</p> <p>5-Hydroxy-8- O - b d  <i>-glucopyranosyl-            benzopyranone</i>            0.11% dba</p> <p>5,8-  <i>Dihydroxycoumarin</i>            (0.49% db a )</p> <p>5-hydroxy- 8- O - b -            d -<i>glucopyranosyl            benzopyranone</i>            (0.06% db a )</p> <p>5,8-  <i>Dihydroxycoumarin</i>            (0.46% db a )</p> <p>5-Hydroxy-8- O - b -            d -  <i>glucopyranosylbenzo            pyranone</i>            (0.08% db a )</p>
Daun Teh hijau	<p>MAE            Pw = 700 W; s = ethanol:            water (1:1 v/v); S/F = 20;            T = 20 C; t = 4 min            UAE = ethanol: water            (1:1 v/v); S/F = ; T = 20            C-40 C; <i>Tea caffeine</i>            (3.6% a )            t = 90 min</p> <p><i>Heat reflux extraction:</i>            s = ethanol : water (1:1            v/v); S/F = ; T = 85 C; t =</p>	<p><i>Tea polyphenols</i>            (30%)</p> <p><i>Tea caffeine</i> (4%)</p> <p><i>Tea polyphenols</i>            (28%)</p> <p><i>Tea caffeine</i> (3.6%)</p> <p><i>Tea polyphenols</i>            (28%)</p>

	45 min	<i>Tea caffeine</i> (3.6%)
Buah Anggur	MAE Pw = 0.9 kW; s = water; S/F = 30; T = 20 C; t = 6 menit UAE: s = water; S/F = 30; T = 70 C; t = 25 menit UAE + MAE: Pw = 0.45 kW; S/F = 30; t = 30 menit (UAE) dan 10 menit (MAE) <i>Heat batch</i> : s = water; S/F = 30; T = 90 C; t = 90 menit	<i>Pectin</i> (27.81%)  <i>Pectin</i> (17.92%)  <i>Pectin</i> (31.88%)  <i>Pectin</i> (19.16%)
<i>Curcuma longa</i> L.	C MAE : = 60 W; s = aseton; S/F = 3; T = 50 C; t = 5 min UAE : Pw = 150 W; s = aseton; S/F = 3; T = 21 C; t = 5 min Soxhlet : s = aseton; S/F = 5; t = 8 h SFE : P = 30 MPa; s = CO <sub>2</sub> + <i>ethanol</i> (10%); T = 50 C; t = 240 min; v = 5 ml/min	Curcumin (90.47%)  Curcumin (71.42%)  <i>Curcumin</i> (2.10%)  <i>Curcumin</i> (69.36%)
<i>Silybum marianum</i> (L.)	MAE: Pw = 600 W; s = <i>ethanol</i> : <i>water</i> (80:20 v/v); S/F = 25; t = 2 menit × 6 cycles Soxhlet: s = <i>ethanol</i> : <i>water</i> (80:20 v/v); S/F = 100; t = 12 h <i>Stirring</i> :	<i>Silybinin</i> (1.37%)    <i>Silybinin</i> (1.09%)    <i>Silybinin</i> (0.48%)

	<p>s = <i>ethanol: water</i> (80:20 v/v); S/F = 100; t = 24 h  <i>Maceration: s = ethanol: water</i> (80:20 v/v); S/F = 100; t = 24 h</p>	<i>Silybinin</i> (0.36%)
<i>Coriandrum sativum</i>	<p>MAE:            Pw = 200 W; s = <i>ethanol: water</i> (50:50 v/v); S/F = 20;            T = 50 C, t = 18 menit            UAE:            s = <i>ethanol: water</i> (50:50 v/v), S/F = 10; t = 30 menit</p>	<p><i>Phenolics content</i> (0.082%)   <i>Phenolics content</i> (0.041%)</p>
<i>Cinnamom zeylanicum</i>	<p>MAE:            Pw = 200 W; s = <i>ethanol: water</i> (50:50 v/v); S/F = 20;            T = 50 C, t = 18 min            UAE:            s = <i>ethanol: water</i> (50:50 v/v), S/F = 10; t = 30 min</p>	<p><i>Phenolics content</i> (1.679%)   <i>Phenolics content</i> (0.506%)</p>
<i>Cuminum cyminum</i>	<p>MAE:            Pw = 200 W; T = 50 C, s = <i>ethanol: water</i> (50:50 v/v);            S/F = 20; t = 18 min            UAE:            s = <i>ethanol: water</i> (50:50 v/v), S/F = 10; t = 30 min</p>	<p><i>Phenolics content</i> (1.159% db)   <i>Phenolics content</i> (0.290% db)</p>
<i>Crocus sativus</i>	<p>MAE:            Pw = 200 W; T = 50 C, s = <i>ethanol: water</i> (50:50 v/v); S/F = 20; t = 18 min            UAE:            s = <i>ethanol: water</i> (50:50 v/v), S/F = 10; t = 30 min</p>	<p><i>Phenolics content</i> (2.939% db)   <i>Phenolics content</i> (0.500% db)</p>

<p><i>Morinda citrifolia</i> (roots)</p>	<p>MAE: Pw = 720 W; s = <i>ethanol</i>: <i>water</i> (80:20 v/v); S/F = 100; T = 60 C; t = 15 min UAE: s = <i>ethanol</i>; S/F = 100; T = 60 C; t = 60 min <i>Maceration</i>: s = <i>ethanol</i>; S/F = 100; t = 3 days <i>Soxhlet</i>: s = <i>ethanol</i>; S/F = 100; T = 100 C; t = 4 h</p>	<p><i>Global yield</i> (95.91%)  <i>Global yield</i> (62.23%)  <i>Global yield</i> (63.33%)  <i>Global yield</i> (97.74%)</p>
<p>Tomato</p>	<p>MAE: Pw = 100 W; s = <i>methanol</i>; S/F = 50; t = 45 menit <i>Shaker</i>: s = <i>ethanol: water</i> (60: 40 v/v); S/F = 50; T = 45 C; r = 400 rpm; t = 15 h</p>	<p><i>Total phenolic contents</i> (0.646%)  <i>Total phenolic contents</i> (0.603%)</p>
<p><i>Iochroma gesnerioides</i> (leaves)</p>	<p>MAE: Pw = 25 W; s = <i>methanol</i>; S/F = 50; t = 40 s <i>Soxhlet</i>: (1) s = <i>water</i>; S/F = 6; t = 15 menit (2) s = <i>methanol</i>; S/F = 100; t = 6 h</p>	<p><i>Withaferin A</i> (0.48%) <i>Iochromolide</i> (0.85%)  <i>Withacnistin</i> (0.39%) <i>Iochromolide</i> (0.81%) <i>Withacnistin</i> (0.38%)</p>
<p><i>Gymnema sylvestre</i> R. Br.</p>	<p>MAE: Pw = 280 W; s = <i>methanol: water</i> (85: 15 v/v); S/F = 25; t = 6 menit <i>Reflux</i>: s = <i>methanol: water</i> (85:</p>	<p><i>Gymnemagenin</i> (4.3%) <i>Gymnemagenin</i> (3.3%) <i>Gymnemagenin</i> (1.7%) <i>Gymnemagenin</i></p>

	<p>15 v/v); S/F = 100; T = 95 C;  t = 6 h  <i>Maceration:</i>  s = <i>methanol: water</i> (85:15 v/v); S/F = 100; t = 24 h  <i>Stirring:</i>  s = <i>methanol: water</i> (85:15 v/v); S/F = 100; t = 24 h</p>	(2.2%)
<p><i>Radix astragali</i> (dried root)</p>	<p>MAE:  Pw = 700 W; s = <i>ethanol: water</i> (80:20 v/v); S/F = 25; T = 70 C;  t = 5 min × 3 cycles</p> <p>Soxhlet:  s = <i>ethanol: water</i> (80:20 v/v); S/F = 20; T = 90 C;  t = 4</p> <p>Reflux:  s = <i>ethanol: water</i> (80:20 v/v); S/F = 20; T = 90 C;  t = 1 h</p> <p>UAE:  Pw = 100 W; s = <i>ethanol: water</i> (80:20 v/v); S/F = 20;  t = 40 min</p> <p><i>Maceration:</i></p>	<p><i>Astragalosides</i> I (0.0788% db a )  <i>Astragaloside</i> II (0.0351% db a )  <i>Astragaloside</i> III (0.0206% db a )  <i>Astragaloside</i> IV (0.0278% db a )  <i>Astragalosides</i> I (0.770% db a )  <i>Astragaloside</i> II (0.347% db a )  <i>Astragaloside</i> III (0.193% db a )  <i>Astragaloside</i> IV (0.242% db a )  <i>Astragalosides</i> I (0.761% db a )  <i>Astragaloside</i> II (0.352% db a )  <i>Astragaloside</i> III (0.203% db a )  <i>Astragaloside</i> IV (0.257% db a )    <i>Astragalosides</i> I</p>

	<p>s = <i>ethanol</i>: <i>water</i> (80:20 v/v); S/F = 20; t = 12 h</p>	<p>(0.519% db a )  <i>Astragaloside</i> II  (0.302% db a )  <i>Astragaloside</i> III  (0.190% db a )  <i>Astragaloside</i> IV  (0.225% db a )  <i>Astragalosides</i> I  (0.411% db a )  <i>Astragaloside</i> II  (0.299% db a )  <i>Astragaloside</i> III  (0.166% db a )  <i>Astragaloside</i> IV  (0.206% db a )</p>
--	---	--

Tabel diatas menunjukkan masing-masing metode ekstraksi dengan hasilnya. Keterangan kondisi operasi pada tabel yaitu jenis pelarut (s), perbandingan pelarut dan bahan (S/F), temperatur (T), tekanan (P), waktu (t), kandungan *moisture* bahan (h), rotasi (r), frekuensi (f), daya (Pw), laju alir (v), perbandingan daya dan bahan (P/F), kelembaban (h), *Super Critical Fluid Extraction* (SFE), *Ultrasonic Assisted Extraction* (UAE), *Microwave Assisted Extraction* (MAE) (Priscilla, 2013).

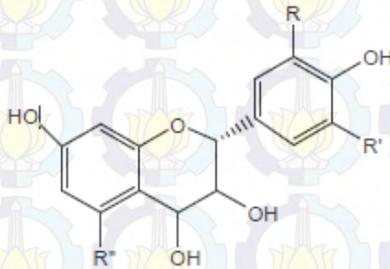
### 2.11. Tanin

Tanin atau yang lebih dikenal dengan asam tanat merupakan kelompok polifenol yang dapat terlarut dalam air. Senyawa ini mampu mengendapkan alkaloid, gelatin dan protein lainnya. Tanin dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu (Imelda, 2006).

1. Tanin terkondensasi, yaitu tanin yang dapat terkondensasi dan tidak dapat dihidrolisis kecuali dalam suasana asam.  
Contoh : Katekin, proantocyanidin.

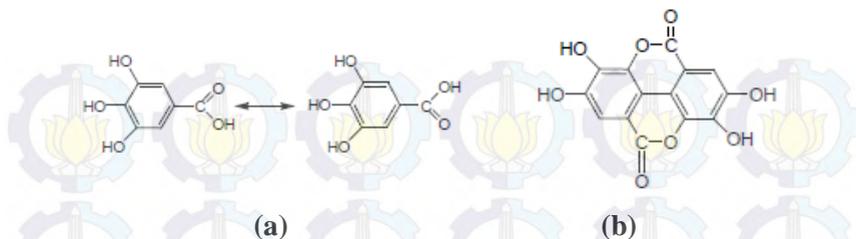
2. Tanin terhidrolisis, yaitu tanin yang dapat terhidrolisis dalam air. Contoh : Galotanin, caffetanin.

Tanin terkondensasi secara biosintesis terbentuk dengan cara kondensasi katekin tunggal (galokatekin) yang membentuk senyawa dimer dan kemudian oligomer yang lebih tinggi. Proantosianidin merupakan contoh dari tanin terkondensasi (flavan-3-ol atau flavan-3-4-diol). Proantosianidin memiliki ikatan yang tidak mudah untuk dihidrolisis yaitu ikatan C-C (Lailis, 2010). Berikut ini gambar struktur proantosianidin.



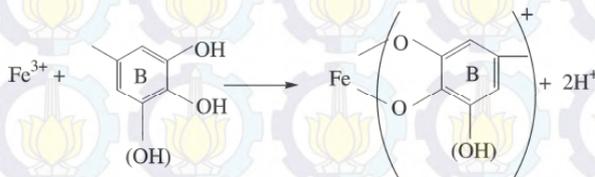
**Gambar 2. 4.** Struktur flavan-3-ol (Hagerman,1998)

Tanin terhidrolisis adalah molekul poliol. Tanin yang terhidrolisis pecah karbohidrat dan asam fenoliknya oleh asam lemah atau basa lemah. Gugus hidroksi pada karbohidrat mengalami esterifikasi dengan gugus karboksil pada gallotanin atau ellagitanin (Lailis, 2010). Berikut ini gambar struktur dari gallotanin dan ellagitanin.



**Gambar 2.5.** (a) Asam gallat (b) Asam ellagelat (Solomons, 1976)

Senyawa tanin yang mengandung banyak gugus hidroksil pada cincin aromatik dari monomer flavonoid dapat bereaksi dengan  $Fe^{2+}$  dan  $Fe^{3+}$  membentuk *iron-tannates*.  $Fe^{2+}$  tannate teroksidasi menjadi  $Fe^{3+}$  membentuk suatu lapisan biru-kehitaman *insoluble* kompleks. Lapisan ini yang memproteksi baja sehingga laju korosi akan menurun (Afidah, 2000).

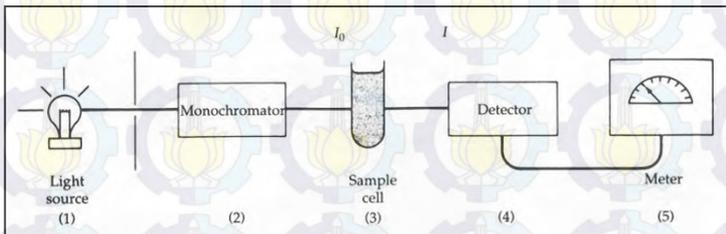


**Gambar 2.6.** Pembentukan *ferric-tannate* (Martinez, 2000)

## 2.12. Spektrofotometri

Spektrofotometri merupakan alat yang mampu mengetahui kadar suatu zat dengan mengukur absorbansi relatif cahaya tergantung konsentrasi tertentu dari zat tersebut. Alat ini mampu menetapkan kuantitas zat yang sangat kecil. Absorbansi merupakan perbandingan intensitas sinar yang diserap dengan

intensitas sinar datang. Absorbansi molekul dapat dikaitkan dengan panjang gelombang dari radiasi yang mempunyai energi sama dengan yang dibutuhkan oleh transisi elektronik. Prinsip dari suatu pita absorbansi adalah letak dan intensitas dari suatu senyawa. Serapan molekul tergantung struktur elektronik pada molekul. Energi yang diserap tergantung tingkat energi dasar dan tingkat energi eksitasi. Semua molekul senyawa organik mampu mengabsorpsi cahaya karena senyawa organik mengandung elektron valensi yang dapat dieksitasikan ke tingkat energi yang lebih tinggi, Semakin banyak kadar zat yang terkandung di dalam suatu sampel, semakin banyak cahaya pada panjang gelombang tertentu yang diserap oleh molekul. Radiasi spektrofotometri UV (Ultra-Violet) meradiasikan cahaya dengan panjang gelombang 200-780 nm. Senyawa yang dapat dianalisa oleh spektrofotometri UV adalah senyawa yang mengandung gugus kromosfor (Imelda, 2006). Berikut skema dari spektrofotometer UV.



**Gambar 2.7.** Skema Spektrofotometer (Sheby, 2015)

Transisi pada daerah ultraviolet dan tampak yaitu transisi  $n \rightarrow \pi^*$  dan  $\pi \rightarrow \pi^*$ . Transisi yang terjadi pada tanin adalah transisi  $\pi \rightarrow \pi^*$  akibat adanya ikatan rangkap terkonjugasi dan transisi  $n \rightarrow \pi^*$  karena adanya elektron bebas. Tanin mengandung sistem yang terkonjugasi, sehingga menunjukkan pita serapan yang kuat pada

daerah ultraviolet. Radiasi akan diserap tanin pada panjang gelombang lebih dari 217 nm (Lailis, 2010).

## 2.13. Penghitungan Laju Korosi

### 1. Metode Pengurangan Berat

Prinsip pengujian ini mengacu pada ASTM G 31-72 yaitu menghitung massa logam setelah dibersihkan dari oksida dan massa tersebut adalah massa awal, kemudian logam direndam pada larutan elektrolit selama waktu yang telah ditentukan. Kemudian membersihkan produk korosi yang terbentuk setelah direndam. Massa logam dihitung kembali dari logam yang sudah dibersihkan dan dinyatakan sebagai massa akhir. Laju korosi berasal dari kehilangan berat dari logam, luas permukaan yang terendam, waktu perendaman, dan massa jenis (Denny Jones, 1992). Proses *pickling* (pembersihan produk korosi) menggunakan standar ASTM G1. 500 mL HCL dengan 3,5 g hexamethylene tetramine dicampur dengan aquades hingga mencapai 1000 mL dengan waktu pencelupan logam 10 menit serta temperatur 20 sampai 25 °C.

Laju korosi dinyatakan dalam mil (1 mil = 0.001-in) *penetration per year* dengan persamaan (Denny Jones, 1992) :

$$MPY = \frac{KW}{DAT} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana *W* adalah *weight loss* dalam miligram, *K* adalah konstanta laju korosi ( $3,45 \times 10^6$ ), *D* adalah massa jenis dalam gram per *cubic centimeter*, *A* adalah luas dalam centimeter persegi, dan *T* adalah waktu ekspos dalam jam.

**Tabel 2.6.** Konstanta laju korosi (Sheby, 2014)

Satuan Laju Korosi	Konstanta (K)
mils per year (mpy)	$3.45 \times 10^6$
Inches per year (ipy)	$3.45 \times 10^3$
Inches per month (ipm)	$2.87 \times 10^4$
Millimeters per year (mm/y)	$8.76 \times 10^4$
Micrometers per year ( $\mu\text{m}/\text{y}$ )	$8.76 \times 10^7$
Picometers per second (pm/s)	$2.78 \times 10^6$
Gram per square meter per hour ( $\text{g}/\text{m}^2.\text{h}$ )	$1.00 \times 10^4 \times D^A$
Miligrams per square decimeter per day (mdd)	$2.40 \times 10^6 \times D^A$
Micrograms per square meter per second ( $\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{s}$ )	$2.78 \times 10^6 \times D^A$

Setelah didapat laju korosi kemudian didapatkan efisiensi dari inhibitor daun belimbing wuluh dengan menggunakan persamaan :

$$IE = \frac{CR_0 - CR_n}{CR_0} \times 100\% \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana  $CR_0$  adalah laju korosi pada 0 ppm dan  $CR_n$  adalah laju korosi pada penambahan inhibitor. Setelah efisiensi inhibitor diperoleh, maka dapat diketahui derajat surface coverage dengan persamaan sebagai berikut :

$$\theta = \frac{IE\%}{100} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana IE adalah efisiensi dari inhibitor dalam persen.

Untuk mengetahui jenis mekanisme adsorpsi dari inhibitor dapat diperoleh menggunakan teori langmuir :

$$\frac{C}{\theta} = \frac{1}{K_{ads}} + C \dots\dots\dots(2.7)$$

$$K_{ads} = \frac{1}{55,5} \exp\left(\frac{-\Delta G^0}{RT}\right) \dots\dots\dots(2.8)$$

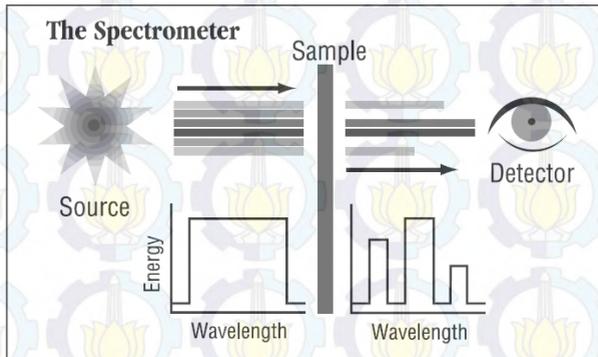
Dimana, C adalah konsentrasi inhibitor (mg/l),  $K_{ads}$  adalah konstanta kesetimbangan korosi,  $\theta$  adalah derajat *surface coverage*, R adalah konstanta gas ideal (8,314 J/mol K), T adalah temperatur (K), dan  $\Delta G^0$  standar energi bebas adsorpsi (kJ/mol).

#### 2.14. FTIR (*Fourier Transformer Infrared*)

Spektroskopi FTIR adalah teknik pengukuran untuk mengumpulkan spektrum inframerah. Energi yang diserap sampel pada berbagai frekuensi sinar inframerah direkam, kemudian diteruskan ke interferometer. Kemudian sinar akan dirubah menjadi interferogram. FTIR terdiri dari 5 bagian utama, yaitu (Griffith, 1975) :

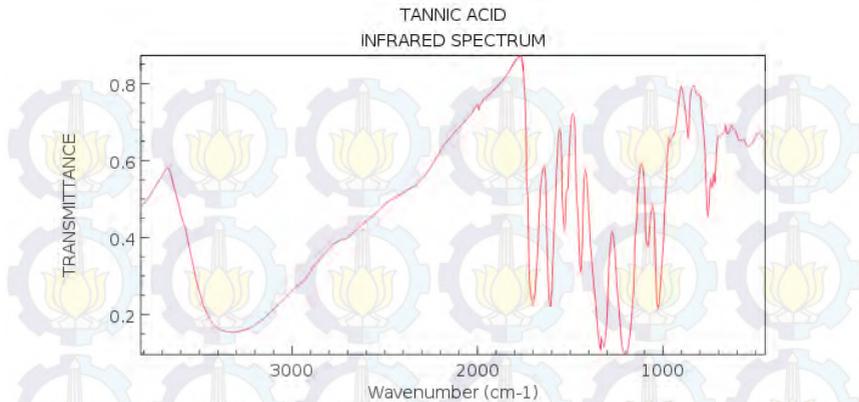
1. Sumber sinar yang terbuat dari filamen Nerst yang dipanaskan menggunakan listrik hingga temperatur 1000-1800 °C
2. *Beam Splitter*, berupa material transparan dengan indeks relatif, sehingga menghasilkan 50% radiasi akan direfleksikan dan 50% radiasi akan diteruskan.
3. *Interferometer*, adalah bagian utama FTIR yang mempunyai fungsi yaitu membentuk interferogram yang akan diteruskan menuju detektor.
4. Daerah cuplikan merupakan daerah dimana berkas acuan dan cuplikan masuk ke daerah cuplikan dan daerah masing-masing menembus sel acuan dan cuplikan secara bersesuaian.

5. Detektor berfungsi mengukur energi pancaran yang lewat akibat panas yang dihasilkan.



**Gambar 2.8.** Skema pengujian FTIR (Nicolet, 2001)

Gambar 2.8 menunjukkan mekanisme kerja dari FTIR yaitu sinar datang dari sumber sinar akan diteruskan, kemudian akan dipecah oleh pemecah sinar menjadi dua sinar yang saling tegak lurus. Sinar ini akan dipantulkan oleh dua cermin yaitu cermin diam dan cermin bergerak. Sinar hasil pantulan kedua cermin akan dipantulkan kembali menuju pemecah sinar untuk saling berinteraksi. Dari pemecah sinar, sebagian sinar akan diarahkan menuju cuplikan dan sebagian menuju sumber. Gerakan cermin yang maju mundur akan menyebabkan sinar yang sampai pada detektor akan berfluktuasi. Sinar akan saling menguatkan ketika kedua cermin memiliki jarak yang sama terhadap detektor dan akan saling melemahkan jika kedua cermin memiliki jarak yang berbeda. Fluktuasi sinar yang sampai pada detektor ini akan menghasilkan sinyal pada detektor yang disebut interferogram. Interferogram ini kan diubah menjadi spektra IR dengan bantuan komputer berdasarkan operasi matematika. (Tahid, 1994). Berikut contoh hasil pengujian FTIR pada sampel tanin.



**Gambar 2.9.** Spektra Inframerah asam tanat (NIST, 2010)

Analisa FTIR tanin standar, puncak utama yang dikenali adalah  $768\text{ cm}^{-1}$ ,  $782\text{ cm}^{-1}$ ,  $794,5\text{ cm}^{-1}$ ,  $822\text{ cm}^{-1}$ ,  $1062\text{ cm}^{-1}$ ,  $1110\text{ cm}^{-1}$ ,  $1202\text{ cm}^{-1}$ ,  $1250\text{ cm}^{-1}$ ,  $1284\text{ cm}^{-1}$ ,  $1284\text{ cm}^{-1}$ ,  $1350\text{ cm}^{-1}$ ,  $1450\text{ cm}^{-1}$ ,  $1520\text{ cm}^{-1}$ ,  $1620\text{ cm}^{-1}$ , dan  $3423\text{ cm}^{-1}$ . Senyawa tanin mempunyai serapan di daerah  $3150\text{-}3050\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan rentangan C-H aromatik. Kemudian ada serapan lebar yang menunjukkan rentangan O-H pada bilangan gelombang  $3500\text{-}3200\text{ cm}^{-1}$ . C=O yang termasuk keton pada serapan  $1725\text{ - }1705\text{ cm}^{-1}$ . Lalu C-O eter pada  $1300\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$ . Hal ini dapat diperkuat dengan hasil FTIR gambar 2.9 dan senyawa-senyawa yang teridentifikasi ditunjukkan oleh tabel berikut

**Tabel 2.7.** Nilai bilangan gelombang ekstrak tanin daun belimbing wuluh (Lailis, 2010)

Puncak	Bilangan Gelombang Ekstrak Tanin ( $\text{cm}^{-1}$ )	Jenis Vibrasi	Intensitas
1	3392,7	Rentangan asimetri OH	m-s
2	2932	Rentangan $\text{CH sp}^3$	m-w
3	2360,9	Udara	w
4	2137,2	Rentangan $\text{C}=\text{C}$	s
5	2000	Overtone aromatik	w
6	1607	$\text{C}=\text{O}$	vs
7	1515,4; 1448; 1404,0	Rentangan cincin aromatik	s-m
8	1263,7	R-O-Ar (eter aromatik)	s
9	1058,7	C-O alkohol sekunder	s
10	833,8; 668,8; 553,3	C-H out plane, p-substitusi benzen	w-m
11	768,7; 606,4	OH out of plane	w-m

## 2.15. Tafel Polarisasi

Logam yang terkorosi dalam larutan terdapat potensial korosi, laju reaksi anoda dari logam sama dengan laju reaksi katoda dari reduksi hidrogen atau oksigen. Jika potensial dari logam yang terkorosi sedikit berpindah dari potensial korosi,  $E_{\text{corr}}$ , baik dengan polarisasi galvanostatik atau potensiostatik, maka potensial ( $E$ ) merupakan fungsi linear dari densitas arus ( $i$ ). Hubungan linear ini bertahan untuk perpindahan potensial hingga 10 mV. Kurva penurunan polarisasi linear  $dE/di$  disebut tahanan polarisasi  $R_p$ . Ketahanan polarisasi yang merupakan kebalikan dari laju korosi dinyatakan sama dengan densitas arus korosi ( $i_{\text{corr}}$ ). Semakin tinggi nilai densitas arus maka semakin tinggi pula korosi yang terjadi.

Pengujian polarisasi mengacu pada ASTM G 102 – 89 *Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurement* dengan menggunakan persamaan

$$i_{\text{corr}} = \frac{B}{R_p} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana  $B$  konstanta Stern-Geary dan  $R_p$  adalah tahanan polarisasi. Laju korosi dapat cepat diketahui dari penghitungan tahanan polarisasi. Harga  $B$  yang konstan dapat diketahui dari *weight loss measurement* dari data elektrokimia. Nilai  $B$  didapatkan dari persamaan:

$$B = \frac{b_a b_c}{2,303 (b_a + b_c)} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana  $b_a$  adalah slope anodik (mV/dec), sedangkan  $b_c$  adalah slope katodik (mV/dec). Setelah mendapatkan nilai  $i_{\text{corr}}$ nya maka

dapat menentukan laju korosinya dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

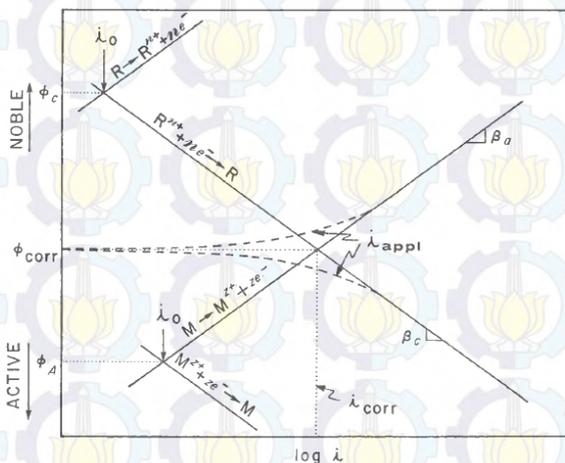
$$CR = K_i \frac{i_{corr}}{\rho} EW \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana CR adalah *Corrosion Rate* (mm/yr),  $K_i$  sebesar  $3.273 \cdot 10^{-3}$ , (mm g/ $\mu A$  cm yr),  $\rho$  merupakan masa jenis dari sampel (g/cm<sup>3</sup>), dan EW adalah *Equivalent Weight* (g/mol)

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

$$MR = K_2 \times i_{corr} \times EW \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana MR adalah Mass loss Rate (g/m<sup>2</sup>d),  $K_2$  yang digunakan sebesar  $8.9543 \times 10^{-3}$  ( g cm<sup>2</sup>/ $\mu A$  m<sup>2</sup> d). Berikut ini adalah contoh kurva polarisasi.



**Gambar 2.10.** Kurva tafel polarisasi (Winston, 2008)

Pada gambar 2.10 menunjukkan hasil kurva tafel polarisasi. Terbentuknya kurva tersebut melalui alat potensiostat yang otomatis akan mengatur potensial yang diinginkan antara elektroda kerja dan elektroda acuan dengan mengalirkan arus antara elektroda kerja dan elektroda bantu. Pengukuran pertama biasanya, ketika arus yang diberikan adalah nol, maka nilai potensial korosi terlihat. Elektroda kerja kemudian terpolarisasi secara anodik atau katodik agar muncul garis putus-putus pada yang terlihat pada gambar 2.10. Langkah polarisasi kemudian diulangi tetapi dengan arus arah sebaliknya, untuk memperoleh garis putus-putus kedua. Ketika kurva potensial terhadap arus pada bagian *noble* dan aktif dari potensial korosi sudah diketahui, maka terbentuklah kurva tafel yang lengkap. Kurva tafel terbentuk ketika arus pada katodik dan anodik bernilai sama (Winston, 2008)

### **2.16. EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*)**

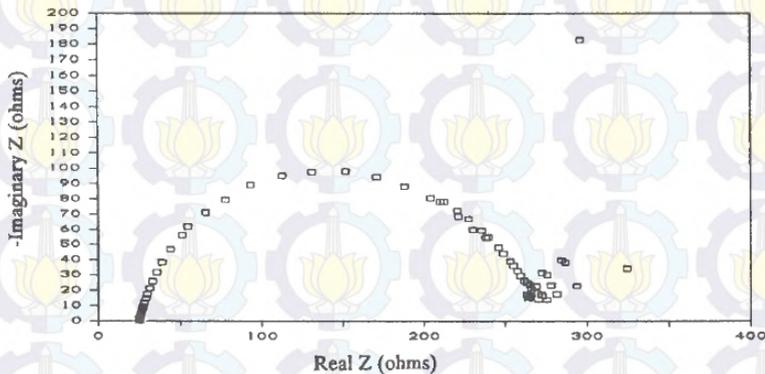
*Electrochemical impedance* biasanya digunakan untuk mengetahui hubungan antara elektroda material dan larutan (contohnya uji korosi untuk mengetahui perbedaan lapisan logam dalam larutan garam) (Ross Macdonald, 2005).

EIS telah digunakan untuk mempelajari mekanisme korosi baja dalam larutan. Pengukuran dengan metoda EIS dapat menginterpretasikan terjadinya proses elektrokimia. (Dewi Selvia, 2004).

EIS bekerja berdasarkan respon terhadap sirkuit yang setara untuk *interface* elektroda/larutan. EIS digunakan untuk menentukan parameter kinetika elektrokimia berkaitan dengan unsur-unsur listrik seperti tahanan,  $R$ , kapasitansi,  $C$ , dan induktansi,  $L$ . Tahanan listrik dalam EIS dinyatakan dengan impedansi ( $Z$ ). Impedansi adalah ukuran kemampuan suatu rangkaian dalam menahan arus listrik. Dalam impedansi, sinyal

potensial dan arus AC berada dalam fasa yang berbeda, dan nilainya dipengaruhi oleh frekuensi. Impedansi elektrokimia diukur melalui potensial AC yang diterapkan pada sel elektrokimia untuk mengukur arus dengan asumsi bahwa potensial yang dibangkitkan sinusoidal (Fiqi, 2014).

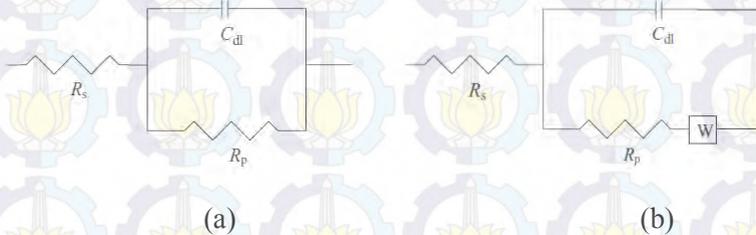
Data impedansi dapat ditunjukkan dalam plot Nyquist dimana negatif dari komponen imajiner diplot pada sumbu vertikal, dan komponen nyata diplot pada sumbu horisontal. Berikut contoh hasil kurva dari EIS (Kenneth Jeffers, 1999). Berikut contoh kurva hasil pengujian EIS



**Gambar 2.11.** Hasil uji impedansi magnesium pada pH 9,2 sodium borate dalam bentuk Nyquist (Winston, 2008)

Gambar 2.11 menunjukkan impedansi elektrokimia dari 99,9% magnesium pada pH 9,2 sodium borate dalam bentuk Nyquist. Gambar ini menunjukkan satu semi lingkaran kapasitif, ini berarti bahwa proses yang terjadi hanya transfer muatan. Selain untuk mencari mekanisme korosi, metode elektrokimia ini juga dapat mengetahui keefektifan dari pengendalian korosi, seperti inhibisi dan pelapisan. Impedansi menentukan amplitudo dari arus saat pemberian potensial. Impedansi adalah faktor antara

potensial dan arus. Pada EIS, respon elektroda terhadap sinyal potensial dari variasi frekuensi akan diterjemahkan ke bentuk model *circuit* permukaan elektroda/elektrolit. Berikut gambar model *circuit*.



**Gambar 2.12.** Model *electrical equivalent circuit* yang menunjukkan mekanisme korosi (a) tidak ada kontrol difusi (b) ada kontrol difusi.

Gambar 2.12 menunjukkan sirkuit tersebut merupakan model yang paling simpel dari karakterisasi logam dan larutan. Gambar (a) terdapat tiga parameter yaitu  $R_s$  yang merupakan tahanan larutan,  $C_{dl}$  adalah kapasitansi *double layer*,  $R_p$  adalah tahanan polarisasi, dan  $W$  adalah impedansi Warburg. Frekuensi bernilai nol, maka impedansi dari kapasitor mencapai tak terhingga. Pada sirkuit paralel, sirkuit dengan impedansi terkecil mendominasi, sehingga jumlah  $R_s$  dan  $R_p$  diketahui (Winston, 2008). Efisiensi inhibisi dapat diketahui melalui hasil uji EIS ini. Persamaan untuk menentukan efisiensi inhibisi adalah

$$\%EI = \frac{R_{po} - R_{pi}}{R_{po}} \times 100 \dots \dots \dots (2.13)$$

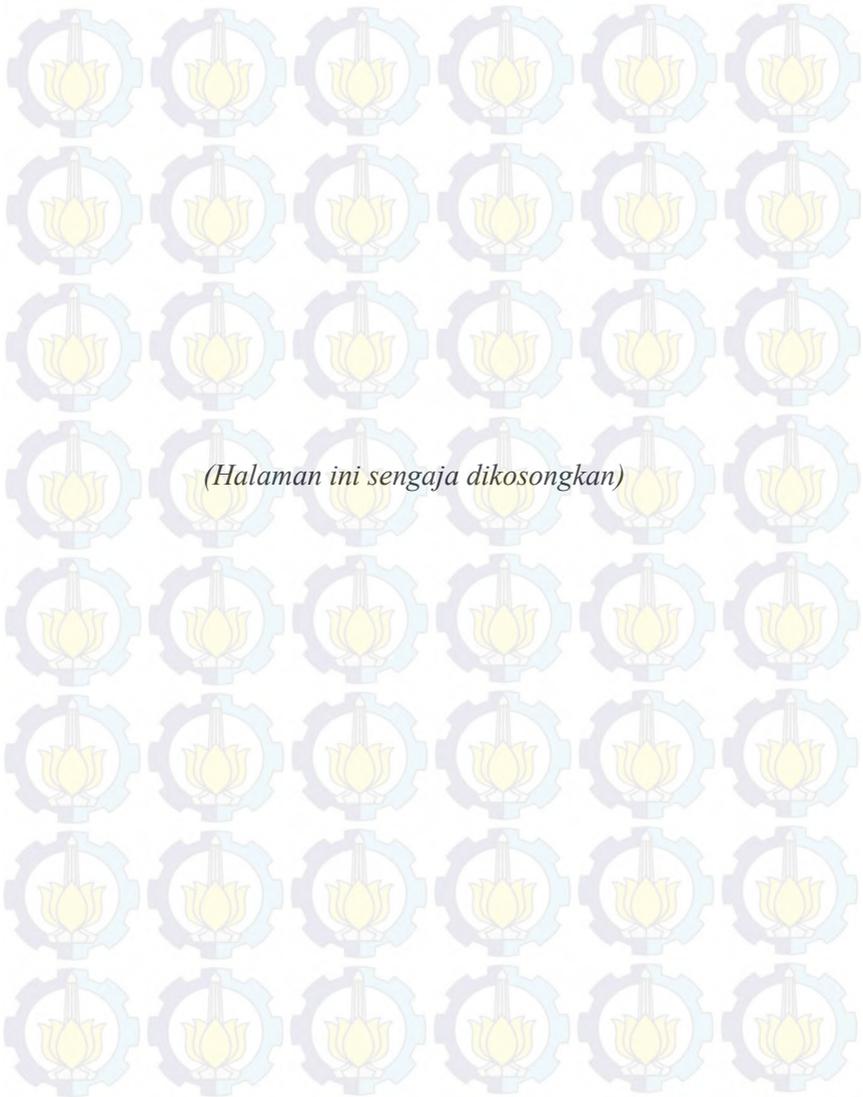
Dimana  $R_{po}$  adalah hambatan polarisasi tanpa inhibitor sedangkan  $R_{pi}$  adalah hambatan polarisasi dengan penambahan inhibitor (Peres, 2004).

## 2.17. Penelitian Sebelumnya

**Tabel 2.8.** Data penelitian sebelumnya

Peneliti	Ekstraksi	Pelarut	Hasil
Wardatul (2010)	Daun belimbing wuluh metode maserasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• aceton akuades (7 : 3)</li> <li>• methanol akuades (9 :1)</li> </ul>	<p>Ekstrak kasar tanin sebesar 2,9 gram dengan rendemen 5,8 %.</p> <p>Ekstrak kasar flavonoid sebanyak 5,82 gram dengan rendemen 11,64 %.</p>
Putu Ayu dkk (2015)	Daun belimbing wuluh metode maserasi	Rasio bahan dan pelarut ethanol 70% (1:5)	Rendemen sebesar 10,45 % dan total fenol 3,35 %
Dina (2012)	1 kilogram daun belimbing wuluh metode maserasi	Ethanol 96%	Rendemen sebesar 13,79 %
Yudhi (2012)	750 gram daun belimbing wuluh metode refluks	17 liter Ethanol 96%	Ekstrak diperoleh sebanyak 68,2 gram dengan rendemen 9,1 %.

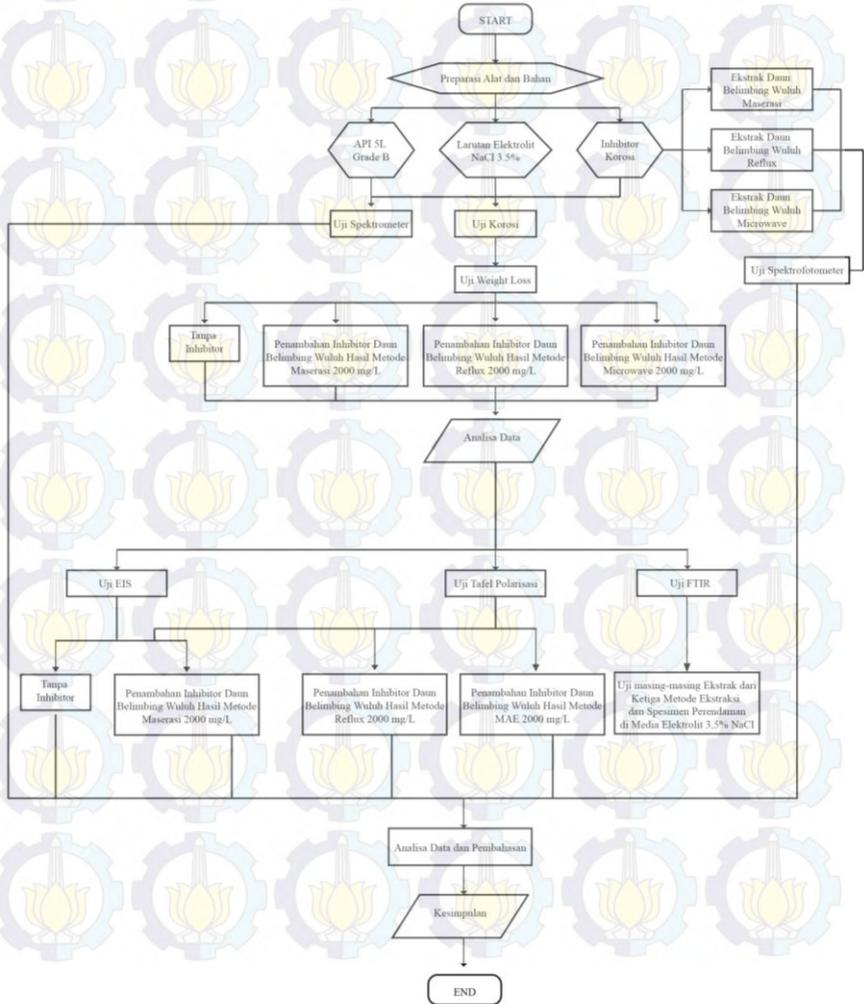
Husain dkk (2014)	10 gram daun belimbing wuluh metode <i>Microwave Assisted Extraction (MAE)</i>	450 ml akuades	Rendemen sebanyak 82,419 % dan total fenol sebesar 572,139 ( $\mu\text{g/g}$ )
Putri dkk (2014)	Daun belimbing wuluh metode maserasi	Ethanol 70%	efektivitas inhibisi sebanyak 67,997% terhadap kawat ortodonsi berbahan nikel-titanium pada konsentrasi 1000 ppm
Larasati (2013)	Daun belimbing wuluh metode maserasi	aseton akuades (7:3)	efektivitas inhibisi sebesar 86,24 % terhadap baja API 5L Grade B lingkungan 3,5 % NaCl dengan konsentrasi inhibitor 500 ppm
Lailis (2010)	50 gram Daun blimbing wuluh metode maserasi	400 ml pelarut aseton : air (7:3) dengan penambahan 3 ml asam askorbat 10 mM	Ekstrak pekat tanin dengan nilai rendemen 10,78%



## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah diagram alir penelitian mengenai inhibitor korosi ini dilakukan.



**Gambar 3.1.** Diagram Alir

## 3.2 Prosedur Penelitian

Dalam suatu penelitian, langkah-langkah atau prosedur haruslah dilakukan secara berurutan dan sistematis, berikut ini adalah langkah atau prosedur dari penelitian ini.

### 3.2.1. Pemilihan Material, Inhibitor, dan Larutan Elektrolit

Pada penelitian ini digunakan material uji yaitu baja API 5L Grade B yang merupakan baja karbon rendah. Kandungan karbon baja ini adalah antara 0.15% - 0.3%. Material ini dipilih karena diaplikasikan pada lingkungan yang korosif contohnya pada Industri minyak dan gas. Industri minyak dan gas menggunakan baja ini sebagai pipa penyalur minyak, namun ketahanan baja API 5L Grade B terhadap korosi rendah.

Inhibitor organik yang dipilih untuk penelitian ini adalah inhibitor daun belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi L.*). Pohon ini banyak sekali ditemukan di daerah tropis. Daun belimbing wuluh memiliki kandungan kimia yaitu saponin, tanin, sulfur, asam format dan perokside. Daun belimbing yang sudah diekstrak mengandung flavonoid, saponin, tanin, dan steroid/triterpenoid. Sebelum diekstrak daun belimbing wuluh terlebih dahulu dikeringkan. Sebagian besar kandungan dari daun belimbing wuluh merupakan antioksidan dimana antioksidan inilah yang berperan penting dalam proteksi suatu baja terhadap serangan korosi.

NaCl 3.5% dipilih sebagai larutan elektrolit karena kandungan NaCl 3.5% mempunyai kemiripan dengan air laut dan konduktivitas yang tinggi sehingga tingkat korosivitasnya juga tinggi. Salah satu pengaplikasian pipa baja API 5L Grade B adalah di dalam air laut. 70% dari alirannya adalah air laut.

### 3.2.2 Preparasi

Preparasi yang dilakukan meliputi preparasi daun belimbing wuluh sehingga menjadi ekstrak dan preparasi dari specimen, serta preparasi dari larutan elektrolit.

#### 3.2.2.1 Preparasi Daun Belimbing Wuluh

##### 1. Preparasi Inhibitor menjadi serbuk

Langkah-langkah untuk memproses daun belimbing wuluh menjadi serbuk adalah :

- Memilih daun yang masih segar dan berwarna hijau.
- Mengeringkan daun belimbing wuluh dengan udara bebas.
- Memblender daun belimbing wuluh yang sudah kering tersebut menjadi serbuk.



**Gambar 3.2.** Serbuk daun belimbing wuluh

##### 2. Proses ekstraksi daun belimbing wuluh

Ada 3 metode yang dilakukan untuk mengekstrak daun belimbing wuluh. Metode yang dilakukan bervariasi sesuai

dengan tujuan penelitian ini. Berikut akan dijelaskan berbagai metode ekstraksi dari daun belimbing wuluh.

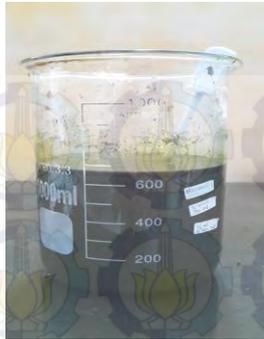
- Metode Maserasi. Peralatan yang digunakan pada metode ini adalah :
  1. Gelas beaker 2 buah
  2. Saringan 1 buah
  3. Kertas saring 4 lembar
  4. Stirer 1 buah
  5. *Rotary evaporator* 1 set

Sedangkan bahan yang dibutuhkan untuk metode ini adalah :

1. Serbuk daun belimbing wuluh 70 gram
2. Acetone 1000 ml
3. Aquades 500 ml

Setelah alat dan bahan terpenuhi berikut ini adalah langkah untuk mengekstrak daun belimbing wuluh dengan cara maserasi yaitu :

1. Memasukkan 70 gram daun belimbing wuluh yang sudah dihaluskan ke dalam gelas beaker.
2. Menuang campuran acetone dan aquades sebanyak 700 ml dengan perbandingan acetone dan aquades (7:3) ke dalam gelas beaker.
3. Mendinginkan daun belimbing wuluh yang terendam selama 3x24 jam sambil sesekali diaduk.
4. Menyaring ekstrak daun belimbing wuluh dengan kertas saring.
5. Memekatkan larutan hasil filtrat dengan *Rotary evaporator* pada temperatur 60 °C.
6. Melakukan langkah 1-6 sebanyak 2 kali.



**Gambar 3.3.** Ekstraksi daun belimbing wuluh metode maserasi

- Metode refluks.

Peralatan yang digunakan pada metode ini antara lain:

- |                                    |         |
|------------------------------------|---------|
| 1. Labu leher 2                    | 1 buah  |
| 2. Bulb kondensor                  | 1 buah  |
| 3. <i>rotary evaporator</i>        | 1 set   |
| 4. Pompa aquarium                  | 1 buah  |
| 5. Panci aluminium                 | 1 buah  |
| 6. Kertas saring                   | 1 buah  |
| 7. Wadah plastik                   | 1 buah  |
| 8. Selang air $\varnothing$ 0,5 mm | 1 meter |
| 9. Termometer                      | 1 buah  |
| 10. Statif                         | 1 set   |
| 11. Ember plastik                  | 1 buah  |

Sedangkan bahan yang diperlukan pada penelitian ini adalah:

- |                                |            |
|--------------------------------|------------|
| 1. Acetone                     | 1000 ml    |
| 2. Serbuk daun belimbing wuluh | 70 gram    |
| 3. Air pendingin               | secukupnya |
| 4. Plastisin                   | secukupnya |

Setelah semua peralatan dan bahan tersedia, berikut adalah langkah mengekstrak inhibitor daun belimbing wuluh :

1. Memasukkan serbuk daun belimbing wuluh ke dalam labu leher dua sebanyak 70 gram.
2. Menuang campuran acetone dan akuades sebanyak 700 dengan perbandingan 7:3 ke dalam labu leher dua sambil diaduk merata.
3. Menghubungkan selang air ke bulb kondensor dan ke pompa aquarium dalam ember plastik.
4. Mengisi ember plastik dengan air pendingin (air es) secukupnya.
5. Memasang bulb kondensor dan termometer pada masing masing leher labu
6. Mengkalibrasi temperature *magnetic stirer* terlebih dahulu.
7. Meletakkan labu leher dua kedalam wadah aluminium yang berisi air dan setting temperatur pada magnetic stirer, temperatur ekstrak dijaga pada temperatur  $55-60^{\circ}\text{C}$  dan diekstrak selama 120 menit.
8. Setelah 120 menit, ekstrak daun belimbing wuluh disaring menggunakan kertas saring, kemudian dipisahkan menggunakan *rotary evaporator* dengan temperatur  $60^{\circ}\text{C}$ , dilakukan hingga ekstrak menjadi pekat.
9. Melakukan langkah 1-8 sebanyak 2 kali.



**Gambar 3.4.** Ekstraksi daun belimbing wuluh metode refluks

- Metode *Microwave Assisted Extraction*. Peralatan yang digunakan pada metode ini adalah :
  1. Labu leher 2 1 buah
  2. Microwave 1 set
  3. Saringan 1 buah
  4. *rotary evaporator* 1 set

Sedangkan bahan yang dibutuhkan untuk metode ini adalah :

1. Serbuk daun belimbing wuluh 70 gram
2. Acetone 1000 ml
3. Aquades 500 ml
4. Kertas saring 1 buah

Setelah peralatan dan bahan terpenuhi maka langkah ekstraksi metode MAE adalah :

1. Memasukkan 70 gram serbuk daun belimbing wuluh ke dalam labu leher 2.
2. Menuang pelarut campuran acetone dan akuades sebanyak 700 ml dengan perbandingan 7 : 3 ke dalam gelas erlenmeyer.
3. Memasukkan labu leher 2 ke dalam microwave.
4. Menyalakan microwave dan meradiasi dengan daya sebesar 100 Watt selama 3 menit.
5. Mendinginkan ekstrak.
6. Memekatkan dengan *rotary evaporator* pada temperatur 60 °C
7. Melakukan langkah 1-7 sebanyak 2 kali



**Gambar 3.5.** Ekstraksi daun belimbing wuluh metode MAE

### 3.2.2.2 Proses Pemekatan Hasil Ekstraksi

Proses pemekatan untuk masing-masing hasil ekstrak dilakukan dengan menggunakan alat *rotary vacuum evaporator*. Alat ini akan memisahkan pelarut sehingga diperoleh ekstrak yang lebih kental. Proses evaporasi dengan tekanan rendah pada temperatur pemanasan yang sudah diatur dan proses pencampuran konstan yang telah ditetapkan dari larutan yang akan diuapkan. Uap akan terkondensasi di dalam pendingin vertikal dan terkumpul di labu. Peralatan dilengkapi dengan sistem pengukur tekanan dan bagian yang mampu mengontrol operasi pompa vakum. Proses pemekatan dilakukan pada temperatur 60 derajat celcius di Laboratorium Farmasi Universitas Airlangga.



**Gambar 3.6.** Alat *rotary vacuum evaporator*

### 3.2.2.3 Preparasi Spesimen Baja API 5L grade B

Dalam penelitian ini material yang digunakan adalah Baja API 5L grade B. Berikut adalah preparasi dari specimen baja API 5L grade B.

- **Spesimen Uji Weight Loss**

1. Memotong spesimen dengan ukuran 20 x 20 x 3 mm sebanyak 36 buah direndam 3,5% NaCl dengan dan tanpa penambahan inhibitor daun belimbing wuluh.
2. Menggerinda specimen untuk menghilangkan pengotor pada permukaan.
3. Membor spesimen baja API 5L grade B pada salah satu sisi dengan diameter bor 3 mm.



**Gambar 3.7.** Spesimen *weight loss*

### 3.2.2.4. Preparasi Larutan Elektrolit

Penelitian ini menggunakan larutan elektrolit NaCl 3,5 %. Untuk membuat larutan 3,5 NaCl terlebih dahulu menimbang kristal NaCl sebanyak 35,24 gram kemudian dilarutkan dengan aquades ke dalam labu ukur 1000 ml hingga tepat batas. Letakkan larutan di atas *magnetic stirrer* agar larutan homogen dan kristal larut sempurna.

### 3.2.3 Pengujian

#### 3.2.3.1. Pengujian Spektrometer

Pengujian spektrometer merupakan pengujian untuk mengidentifikasi komposisi apa saja yang terkandung pada spesimen uji baja API 5L Grade B. Pengujian ini dilakukan di PT. Barata, Gresik.

#### 3.2.3.2. Pengujian Spektrofotometri

Pengujian ini merupakan pengujian untuk mengidentifikasi suatu senyawa secara kualitatif dan kuantitatif. Sampel yang akan diuji spektrofotometri adalah ekstrak daun belimbing wuluh hasil dari metode ekstraksi maserasi, refluks, dan MAE. Prinsip kerja dari alat ini adalah perbedaan absorpsi radiasi oleh sampel yang akan diuji. Radiasi yang digunakan adalah radiasi sinar ultraviolet dengan panjang gelombang 770 nm. Metode pengujian menggunakan standar *AOAC Chapter 26*. Pengujian dilakukan di Universitas Airlangga Jurusan Farmasi Alat yang digunakan adalah Spektrofotometer Ultraviolet. Langkah-langkah pengujian adalah sebagai berikut :

##### A. Pembuatan kurva baku

1. Membuat larutan baku tanin dengan kadar 5 sampai 40 ppm (pelarut H<sub>2</sub>O).
2. Memasukkan 1,0 ml kadar sampel ke dalam vial.
3. Menambahkan 0,5 ml Folin-Ciocalteu.
4. Mendingkan 5 menit, kemudian menambahkan 2 ml 10% larutan Natriumbikarbonat.
5. Mendingkan 10 menit sebelum diukur absorbansinya.

##### B. Preparasi Sampel

1. Mempipet 25  $\mu$ l ad 10 ml
2. Mempipet 1,0 ml aliquot, memasukkan kedalam vial
3. Menambahkam 0,5 ml Folin-Ciocalteu

4. Mendingkan 5 menit, kemudian menambahkan 2 ml 10% Natriumbikarbonat
5. Mendingkan 10 menit sebelum diukur absorbansinya.

### 3.2.3.3. Pengujian *Weight Loss*

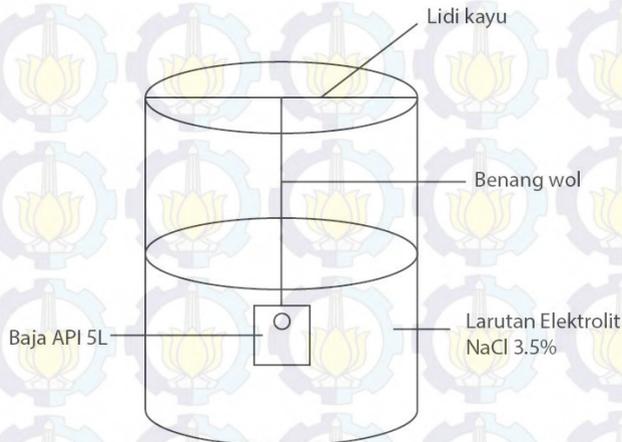
Metode ini merupakan sebuah pengujian yang bertujuan untuk menghitung laju korosi suatu baja dengan cara menimbang berat awal dan berat akhir. Benda uji dicelupkan pada lingkungan NaCl 3,5% tanpa dan dengan penambahan inhibitor. Konsentrasi inhibitor yang ditambahkan pada larutan elektrolit adalah 2000 mg/l. Langkah-langkah pengujian *weight loss* mengacu standar ASTM (*American Standard and Testing Material*) G-31. Untuk mekanisme pencucian spesimen uji *weight loss* mengacu pada ASTM G1-02 "*Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimen*"

1. Menimbang dan mencatat berat awal dari spesimen uji
2. Mengikat spesimen uji dengan benang wol dan dikaitkan pada lidi yang sudah dipasang pada botol tempat larutan elektrolit.
3. Merendam spesimen pada larutan elektrolit 3,5% NaCl tanpa dan penambahan inhibitor daun belimbing wuluh.
4. Mengambil spesimen pada hari ke-3 kemudian melakukan *pickling* pada spesimen,
5. Menimbang dan mencatat berat akhir spesimen
6. Melakukan langkah 1-5 pada pengambilan hari ke-6 dan ke-9.

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

1. Mencuci spesimen dengan menggunakan asam klorida 500 ml.

2. Merendam spesimen ke dalam larutan air destilasi 1000 ml dengan komposisi 3,5 gram *hexamethylene tetramine*.
3. Setelah itu spesimen dikeringkan dengan menggunakan *hair dryer*.



**Gambar 3.8.** Uji weight loss

#### 3.2.3.4. Pengujian FTIR

FTIR (*Fourier Transformer Infrared*) adalah pengujian untuk mengidentifikasi gugus-gugus fungsi yang terbentuk pada inhibitor daun belimbing wuluh dan baja API 5L Grade B yang sudah direndam. Untuk menguji spesimen uji, Maka terlebih dahulu merendam spesimen ke dalam larutan elektrolit yang telah ditambah inhibitor daun belimbing wuluh hasil ekstraksi metode maserasi, refluks, dan MAE. Waktu perendaman adalah 3 hari agar inhibitor sudah bekerja secara stabil. FTIR menggunakan prinsip absorpsi berdasarkan perbedaan penyerapan radiasi inframerah. Inframerah tersebut berasal dari transmisi cahaya

yang melewati sampel uji. pengukuran intensitas cahaya dengan detektor dan dibandingkan dengan intensitas tanpa sampel sebagai fungsi dari panjang gelombang. Dari panjang gelombang tersebut, akan dapat diketahui gugus fungsi yang bersesuaian dengan panjang gelombang yang terekam pada masing-masing sampel. Gugus fungsi pada inhibitor dan pada baja yang sudah direndam nantinya akan dibandingkan. Pengujian FTIR dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.



**Gambar 3.9.** Peralatan FTIR

### **3.2.3.5. Uji Tafel Polarisasi**

Polarisasi adalah alat yang digunakan untuk mengatur beda potensial antara spesimen (elektroda kerja) dengan elektroda acuan dan menggunakan variabel arus antara elektroda bantu dan elektroda kerja. Tujuan dari pengujian adalah untuk mengetahui laju korosi material pada larutan 3,5% NaCl yang ditambahkan inhibitor daun belimbing wuluh. Elektroda kerjanya adalah spesimen baja API 5L grade B dengan dimensi 20 cm x 20 cm x 3 cm. Elektroda bantu berupa lembaran platina ukuran 2 cm x 3 cm yang berfungsi untuk menghantarkan arus ke elektroda kerja.

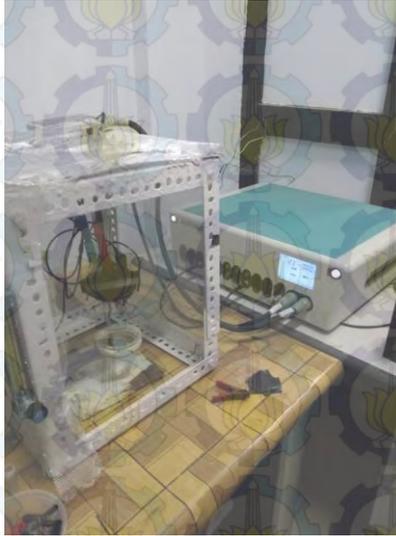
Elektroda acuan yang digunakan adalah Ag/AgCl berfungsi sebagai pembanding dalam mengukur potensial elektroda kerja. Pengujian mengacu pada standar ASTM G5 (*Standart Reference Method for Making Potensiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurement*). Pengujian dilakukan di Laboratorium Elektrokimia Teknik Kimia FTI-ITS.

1. Mempersiapkan alat dan bahan yaitu baja API 5L dengan dimensi 20 cm x 20 cm x 3 cm, larutan elektrolit 3,5% NaCl dengan dan tanpa penambahan inhibitor daun belimbing wuluh hasil berbagai metode ekstraksi sebanyak 2000 mg/l
2. Memasukkan larutan ke dalam gelas hingga batas atas gelas.
3. Memasang elektroda kerja pada alat
4. Mencelup setengah bagian elektroda kerja pada larutan elektrolit.
5. Menjalankan pengujian tafel polarisasi dengan menggunakan bantuan software AUTOLAB PGSTAT.

### 3.2.3.6 Pengujian EIS

EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*) adalah untuk pengujian yang bertujuan untuk mengetahui mekanisme inhibisi pada logam apakah secara kinetika dikontrol oleh transfer muatan atau transfer massa. Pengujian EIS dilakukan menggunakan software AUTOLABPGSTA128N yang terdiri dari spesimen baja API 5L Grade B berukuran 20 x 20 x 3 sebagai elektroda kerja, Ag/AgCl sebagai elektroda acuan, dan platina tipis 2 cm x 3 cm sebagai elektroda bantu. Pada penelitian ini pengujian EIS dilakukan pada media larutan elektrolit 3,5% NaCl dan penambahan inhibitor daun belimbing wuluh hasil ekstraksi metode maserasi, refluks, dan MAE sebanyak 2000 mg/l.

Pengujian EIS ini dilakukan di Laboratorium Elektrokimia Teknik Kimia FTI-ITS.



**Gambar 3.10.** Alat uji tafel polarisasi dan EIS

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Penelitian ini berjudul “Pengaruh Metode Ekstraksi Daun Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.) Sebagai Green Corrosion Inhibitor Terhadap Laju Korosi Baja API 5L Grade B Di Lingkungan 3,5% NaCl” dengan tujuan untuk menganalisa pengaruh penambahan ekstrak daun belimbing wuluh hasil ekstraksi maserasi, refluks, dan MAE terhadap efisiensi inhibitor pada baja API 5L Grade B di lingkungan 3,5% NaCl dan metode ekstraksi yang paling efisien. Untuk mencapai tujuan tersebut maka perlu dilakukan berbagai pengujian dan metode. Metode yang dilakukan untuk mengekstrak daun belimbing wuluh adalah metode ekstraksi maserasi, refluks, dan MAE (*Microwave Assisted Extraction*). Pengujian-pengujian yang dilakukan adalah pengujian spektrometer untuk menganalisa komposisi dari baja API 5L Grade B, pengujian spektrofotometri untuk menganalisa kadar tanin pada ekstrak daun belimbing wuluh, pengujian *weight loss* dan tafel polarisasi untuk menganalisa laju korosi dan efisiensi inhibitor, pengujian FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada ekstrak dan spesimen setelah direndam, kemudian pengujian EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*) untuk menganalisa mekanisme inhibisi dari inhibitor.

#### **4.1. Hasil Dan Pembahasan**

##### **4.1.1. Hasil Pengujian Spektrometer**

Uji spektrometer ini bertujuan untuk mengidentifikasi komposisi senyawa yang ada pada baja API 5L Grade B. karakteristik dari baja tergantung dari komposisi yang ada di dalamnya. Sebelum pengujian dilakukan, maka perlu preparasi sampel terlebih dahulu dengan cara menggerinding permukaan

agar bersih dan datar. Berikut hasil pengujian spektrometer sampel.

**Tabel 4.1.** Data hasil uji spektrometer baja API 5L Grade B

Senyawa	Komposisi (%)	Senyawa	Komposisi
Fe	99,1	P	0,0289
C	0,116	S	0,0076
Si	0,222	Cr	0,0331
Mn	0,378	Mo	0,0027
Ni	0,0073	Al	0,0023
Co	0,0048	Cu	0,0092
W	0,0182	Sn	0,0013
Ca	0,0006	Bi	0,014
As	0,0028	N	0,0296

Pada tabel 4.1 menunjukkan senyawa dan komposisi yang terkandung dalam baja API 5L grade B. Kadar karbon pada baja ini sebanyak 0,116%. Ini menunjukkan bahwa sampel adalah baja karbon rendah karena kadar karbonnya kurang dari 0,3%. Penambahan unsur mangan dapat meningkatkan ketahanan *impact*, namun kadarnya masih dibawah 12%. Kadar mangan dibawah 12%, tidak terlalu berpengaruh. Kadar krom pada baja API ini hanya sebesar 0,033%, sehingga baja ini tidak tahan korosi. Diperlukan krom diatas 5% agar baja memiliki sifat tahan korosi. Maka dari itu, baja ini diperlukan untuk penelitian inhibitor korosi.

#### 4.1.2. Ekstraksi Daun Belimbing Wuluh

Ekstraksi pada daun belimbing wuluh ini dilakukan dengan berbagai metode, yaitu metode maserasi, refluks, dan *Microwave Assisted Extraction* (MAE). Proses ekstraksi ini bertujuan untuk menarik senyawa tanin yang ada pada daun

belimbing wuluh. Masing-masing metode memiliki perlakuan yang berbeda dan menghasilkan kualitas ekstrak yang berbeda pula. Dari 1.7 kilogram daun belimbing wuluh basah dikeringkan selama 7 hari dan diperoleh serbuk daun belimbing wuluh kering sebanyak 600 gram. Serbuk daun ini yang akan digunakan untuk proses ekstraksi. Masing-masing proses ekstraksi menggunakan pelarut yang sama yaitu campuran aseton dan aquades dengan perbandingan sebesar 7:3. Pada hasil penelitian Ummah (2010) bahwa dengan pelarut campuran aseton dan aquades diperoleh kadar tanin yang diperoleh lebih banyak.

#### **4.1.2.1. Hasil Ekstraksi Metode Maserasi, Refluks, dan MAE**

Maserasi merupakan proses ekstraksi dingin, proses ekstraksi tanpa melibatkan panas. Proses ini dilakukan dengan cara serbuk daun belimbing wuluh direndam dengan pelarut dan didiamkan selama 72 jam sambil sesekali diaduk. Setelah itu, ekstrak disaring dengan kertas saring.

Untuk ekstraksi MAE melibatkan radiasi dari microwave dengan cara serbuk daun dimasukkan ke dalam labu leher dua. Kemudian direndam dengan pelarut campuran aseton dan aquades. Labu dimasukkan ke dalam microwave dan dipanaskan dengan daya sebesar 100 watt selama 3 menit. Setelah itu, ekstrak disaring dengan kertas saring.

Proses ekstraksi refluks melibatkan pemanasan dengan cara serbuk daun belimbing wuluh dimasukkan ke dalam labu leher dua. Kemudian serbuk direndam dengan pelarut campuran aseton dan aquades. Labu dirangkai dengan beberapa alat kemudian dipanaskan dengan magnetik stirer pada temperatur 55-60 °C selama kurang lebih 2 jam. Setelah itu, ekstrak disaring dengan kertas saring. Hasil masing-masing ekstrak kemudian dipekatan dengan *vaccum rotary evaporator* pada temperatur maksimal 60 °C. Proses-proses ekstraksi tersebut dilakukan

sebanyak 2 kali. Hasil dari proses-proses ekstraksi tersebut ditunjukkan pada tabel berikut.

**Tabel 4.2.** Hasil ekstraksi metode maserasi dengan 70 gram serbuk daun belimbing wuluh dan 700 ml pelarut campuran aseton aquades

Metode Ekstraksi	Volume ekstrak (ml)	Volume setelah dipekatkan (ml)
Maserasi	409	109,5
Refluks	449	140,5
MAE	430	111,5

Pada tabel 4.2 didapatkan bahwa ekstraksi berbagai metode dengan 70 gram serbuk daun belimbing wuluh direndam dengan pelarut campuran aseton dan aquades sebanyak 700 ml diperoleh ekstrak masing-masing maserasi, refluks, MAE sebanyak 409 ml, 449 ml, dan 430 ml. Kemudian setelah ekstrak dipekatkan adalah sebanyak 109,5 ml, 140,5 ml, dan 111,5 ml. dapat dilihat bahwa variasi metode ekstraksi menghasilkan ekstrak daun belimbing wuluh dengan kuantitas yang berbeda. Perbedaan hasil ini dikarenakan pada ekstraksi metode refluks dan MAE melibatkan temperatur tinggi. Menurut penelitian Widiastuti (2003) Semakin tinggi temperatur, semakin cepat pula gerakan molekulnya. Temperatur dapat meningkatkan laju perpindahan massa senyawa dari daun belimbing wuluh. Kontak solut dalam sampel dengan pelarut semakin sering sehingga diperoleh ekstrak lebih banyak dari pada metode maserasi.

#### 4.1.3. Hasil Pengujian Spektrofotometri

Pengujian spektrofotometri merupakan pengujian kuantitatif yang bertujuan untuk mengidentifikasi senyawa tanin

yang ada pada inhibitor daun belimbing wuluh hasil berbagai metode ekstraksi. Spektrofotometri ini menggunakan absorbansi sebesar 770 nm. Kandungan tanin dapat diidentifikasi melalui panjang gelombang absorbansi maksimal yang mampu diserap oleh sampel inhibitor.

#### 4.1.3.1. Hasil Uji Spektrofotometri Ekstrak Metode Maserasi, Refluks, dan MAE

Sebelum dilakukan pengujian spektrofotometri, maka perlu dilakukan pembuatan ekstrak daun belimbing wuluh. Daun belimbing wuluh dikeringkan terlebih dahulu selama 7 hari. Kemudian daun belimbing wuluh yang sudah kering dijuicer hingga menjadi serbuk. Setelah itu dilakukan proses ekstraksi maserasi, refluks, dan MAE. Pada pengujian spektrofotometri ini dilakukan pengulangan sebanyak 2 kali untuk masing-masing ekstrak. Berikut rata-rata yang didapatkan dari uji spektrofotometri diperoleh data sebagai berikut.

**Tabel 4.3.** Hasil perhitungan kadar tanin berbagai metode ekstraksi dengan sampel sebanyak 0,025 ml

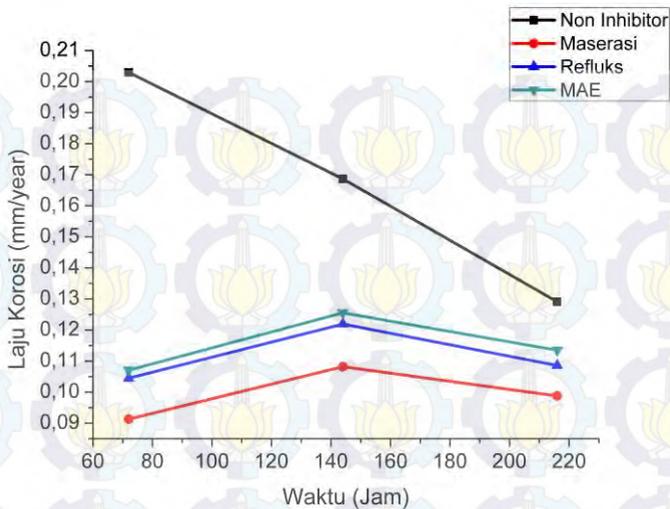
Metode Ekstraksi	Absorbansi	Mg/L	Kadar Tanin % (b/v)
Maserasi	0,860395	28,4045	1,14
Refluks	0,741905	24,493	0,98
MAE	0,65963	21,7765	0,87

Dari tabel 4.3 didapatkan bahwa pada sampel dengan volume masing-masing sebanyak 0,025 ml diperoleh absorbansi untuk metode maserasi, refluks, dan MAE yaitu sebesar 0,860395; 0,741905; dan 0,65963 dan diperoleh kadar tanin sebesar 1,14%, 0,98%, dan 0,87%. Hasil uji spektrofotometri menunjukkan bahwa variasi metode ekstraksi daun belimbing

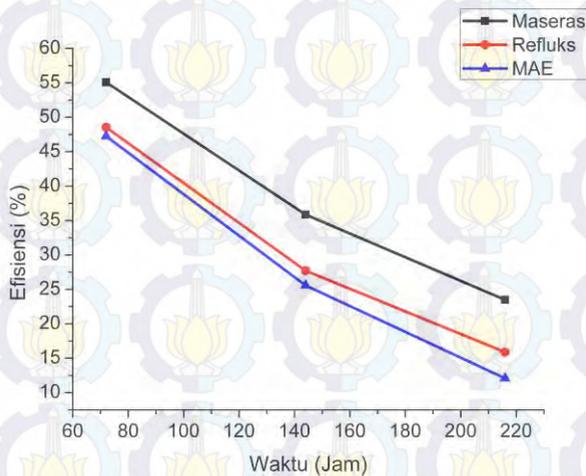
wuluh menghasilkan kadar tanin yang berbeda. Tanin merupakan salah satu senyawa antioksidan yang mampu berperan sebagai inhibitor korosi. Pada ekstraksi maserasi diperoleh kadar tanin sebanyak 1,14 %. Untuk ekstraksi refluks diperoleh sebanyak 0,98%. Sedangkan pada ekstraksi metode MAE diperoleh kadar tanin sebanyak 0,87%. Perbedaan ini dikarenakan pada proses ekstraksi refluks melibatkan temperatur tinggi hingga sedikit melebihi titik didih dari pelarut, pergerakan molekul terlalu cepat sehingga senyawa-senyawa didalam daun belimbing wuluh rusak. Sedangkan pada MAE, daya yang dipakai terlalu lemah dengan waktu ekstraksi yang sebentar.

#### 4.1.4. Hasil Pengujian *Weight Loss*

Pengujian *weight loss* merupakan pengujian untuk memperoleh nilai laju korosi sebuah material. Prinsip dasar dari uji *weight loss* adalah penghitungan kehilangan berat. Berat awal dari spesimen baja API 5L Grade B terlebih dahulu ditimbang, kemudian direndam dalam larutan 3,5% NaCl dengan penambahan konsentrasi inhibitor daun belimbing wuluh masing-masing hasil dari metode ekstraksi maserasi, refluks, dan MAE. sebanyak 0 dan 2000 mg/L. Perendaman dilakukan selama 72, 144, dan 216 jam. Pengujian *weight loss* ini bertujuan untuk mengetahui kualitas inhibitor daun belimbing wuluh hasil dari dari berbagai metode ekstraksi. Pengujian *weight loss* ini mengacu pada ASTM G31-72. Berikut grafik yang menunjukkan laju korosi dan efisiensi inhibitor.



**Gambar 4.1.** Grafik pengaruh inhibitor daun belimbing wuluh berbagai metode ekstraksi terhadap laju korosi API 5L Grade B



**Gambar 4.2.** Grafik pengaruh inhibitor daun belimbing wuluh berbagai metode ekstraksi terhadap efisiensi inhibisi API 5L Grade B

Pada gambar 4.2 Tampak bahwa inhibitor daun belimbing wuluh hasil dari berbagai metode ekstraksi yaitu maserasi, refluks, dan MAE dapat menurunkan laju korosi. Interval pengambilan data yaitu selama 72 jam. Konsentrasi yang ditambahkan pada lingkungan elektrolit adalah 2000 mg/L.

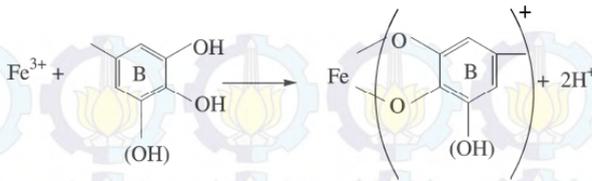
Laju korosi yang terjadi tanpa penambahan inhibitor adalah berturut-turut sebesar 0,2029 mm/tahun, 0,1686 mm/tahun, dan 0,1290 mm/tahun. Pada pengambilan data ke-72 jam diperoleh laju korosi terendah adalah pada penambahan inhibitor daun belimbing wuluh hasil metode maserasi yaitu sebesar 0,0912 mm/tahun. Pada pengambilan data ke-144 jam, laju korosi terendah didapatkan pada penambahan inhibitor daun belimbing wuluh hasil metode maserasi yaitu sebesar 0,1081 mm/tahun. Sedangkan untuk pengambilan data ke 216 jam diperoleh laju korosi terendah pada penambahan inhibitor daun belimbing wuluh hasil metode maserasi yaitu sebesar 0,09877 mm/tahun. Laju korosi terendah untuk inhibitor daun belimbing wuluh hasil metode maserasi, refluks dan MAE didapat pada pengambilan data ke-72 jam yaitu sebesar 0,0912 mm/tahun, 0,1044 mm/tahun, dan 0,10705 mm/tahun..

Dapat disimpulkan bahwa laju korosi terendah pada masing-masing pengambilan data dihasilkan oleh inhibitor daun belimbing wuluh hasil ekstraksi metode maserasi. Laju korosi terendah inhibitor daun belimbing wuluh hasil metode maserasi diperoleh pada pengambilan data ke-72 jam dengan laju korosi sebesar 0,09128 mm/tahun.

Pada gambar 4.2 Menunjukkan pengaruh inhibitor daun belimbing wuluh hasil berbagai metode terhadap efisiensi inhibisi baja API 5L grade B. Konsentrasi dari inhibitor yang ditambahkan adalah sama yaitu 2000 mg/L.

Efisiensi terbesar pada masing-masing pengambilan data dihasilkan oleh inhibitor daun belimbing wuluh hasil ekstraksi maserasi. Masing-masing pada pengambilan data ke 72, 144, dan 216 diperoleh efisiensi sebesar 55,08%, 35,86%, 23,48%. Efisiensi terbesar untuk inhibitor daun belimbing wuluh hasil refluks, dan MAE didapat pada pengambilan data ke-72 jam yaitu sebesar 48,53%, dan 47,24%. Dapat disimpulkan bahwa inhibitor daun belimbing wuluh hasil metode maserasi mampu menginhibisi secara efisien dengan efisiensi terbesar pada pengambilan data ke-72 jam yaitu 55,08%. Laju korosi terendah dan efisiensi terbesar dihasilkan oleh inhibitor hasil metode maserasi karena dari uji spektrofotometri didapatkan kandungan tanin paling banyak.

Dapat dilihat pada gambar 4.2 trend memperlihatkan bahwa terjadi penurunan efisiensi inhibisi dari masing-masing inhibitor daun belimbing wuluh hasil berbagai metode terhadap waktu perendaman. Efisiensi inhibitor dari hari ke hari menurun karena kemampuan inhibitor daun belimbing wuluh untuk menginhibisi akan habis pada waktu tertentu. Menurut Uhlig (1961), semakin lama waktunya, semakin habis pula inhibitor karena terserang oleh larutan. Didukung oleh penelitian Rafael (2012), pada baja selama 1 hari perendaman, tanin sudah membentuk *ferric-tannate* ini membuktikan bahwa tanin bereaksi cepat. Efisiensi terbesar didapatkan pada perendaman selama 3 hari. Namun mulai menurun dari titik tersebut dikarenakan *ferric-tannate* formasinya *non-adherent* dan berpori sehingga proteksi dari tanin merupakan proteksi jangka pendek. Berikut ini gambar reaksi antara Fe dengan tanin yang akan membentuk *ferric-tannate*



**Gambar 4.3.** Pembentukan *ferric-tannate*

Pada penelitian ini setelah baja mengalami beberapa hari perendaman, terdapat lapisan berwarna biru kehitaman. Menurut penelitian Afidah (2000) Pembentukan lapisan *ferric-tannate* dibuktikan dengan lapisan berwarna biru kehitaman. Tingkat efisiensi inhibitor bergantung pada adsorpsi molekul inhibitor. Dari efisiensi inhibitor yang diperoleh maka dapat diketahui derajat *surface coverage*-nya yaitu.

**Tabel 4.4.** Derajat *surface coverage* pada sampel uji dengan penambahan inhibitor daun belimbing wuluh hasil berbagai metode ekstraksi

Metode Ekstraksi Inhibitor	Efisiensi Inhibisi (%)	Derajat Surface Coverage ( $\theta$ )
Maserasi	55,08	0,5508
Refluks	48,53	0,4853
MAE	47,24	0,4724

Tabel 4.4 Menunjukkan bahwa semakin tinggi efisiensi inhibisi inhibitor daun belimbing wuluh maka semakin besar pula derajat *surface coverage* sampel uji baja API 5L Grade B. Masing-masing inhibitor hasil berbagai metode memberikan efisiensi yang berbeda karena kandungan yang terdapat dalam

masing-masing inhibitor juga berbeda. Derajat *surface coverage* terendah adalah 0,4724 dari metode MAE, sedangkan derajat *surface coverage* tertinggi adalah 0,5508 dari metode maserasi.

Dari data derajat *surface coverage* ini akan dapat diketahui interaksi antara baja dan inhibitor dengan menggunakan teori langmuir *adsorption isotherm*. Dari teori langmuir ini, fenomena adsorpsi dapat diidentifikasi.

**Tabel 4.5.** Energi bebas adsorpsi sampel uji terhadap penambahan inhibitor

Metode Ekstraksi Inhibitor	Konsentrasi Inhibitor (mg/l)	Surface Coverage ( $\theta$ )	$K_{ads}$	Energi Bebas Adsorpsi (kJ/mol K)
Maserasi	2000	0,5508	0,0006131	-8,37
Refluks	2000	0,4853	0,0004714	-9,02
MAE	2000	0,4724	0,0004477	-9,15

Dari tabel 4.5 menunjukkan nilai energi bebas dari adsorpsi spesimen uji terhadap inhibitor daun belimbing wuluh hasil berbagai metode. Semua nilai energi bebas adsorpsi kurang dari -20 kJ/mol K, sehingga adsorpsi yang terjadi adalah adsorpsi secara fisik. Mekanisme adsorpsi secara fisika mempunyai sifat yang lemah karena reaksi yang terjadi adalah spontan dan reversible. Tanda minus menunjukkan bahwa reaksi yang terjadi adalah reaksi spontan

#### 4.1.5. Hasil Pengujian FTIR

Pengujian FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada ekstrak daun belimbing wuluh (*Averhoa Bilimbi*) dan permukaan spesimen uji baja API 5L Grade B yang telah direndam pada metode *weight*

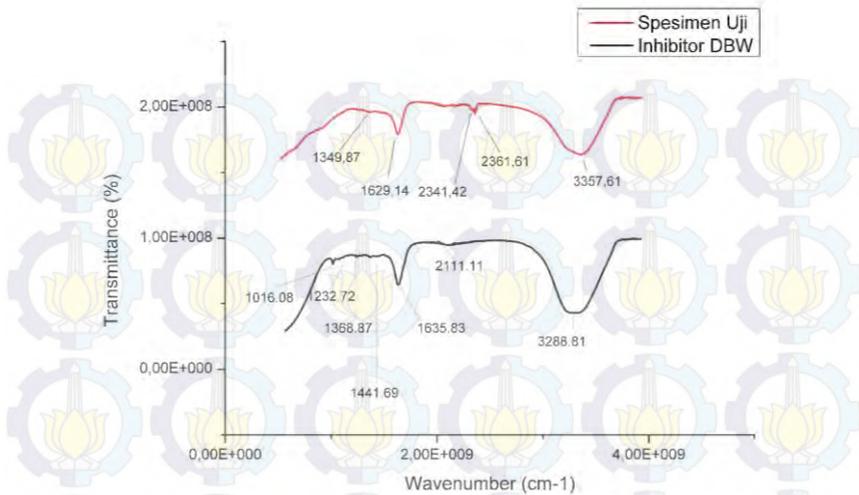
loss. Pengujian FTIR ini menggunakan metode absorptansi. Sampel uji akan menyerap radiasi *infrared*, perbedaan penyerapan akan menunjukkan senyawa organik dan inorganik yang terdapat pada sampel uji tersebut.

Pengujian ini dilakukan pada ekstrak daun belimbing hasil dari metode ekstraksi maserasi, MAE (*Microwave Assisted Extraction*), refluks dan spesimen yang direndam pada larutan elektrolit yang sudah diberi inhibitor daun belimbing wuluh hasil masing-masing metode ekstraksi. Keduanya akan dibandingkan untuk mengetahui senyawa apa yang berperan sebagai inhibitor. Berikut ini adalah analisa dari masing-masing uji FTIR.

#### **4.1.5.1. Hasil Pengujian FTIR Inhibitor Dari Metode Maserasi dan Sampel Uji Setelah Perendaman**

Pengujian ini meliputi inhibitor daun belimbing wuluh dan spesimen baja API 5L Grade B. Inhibitor daun belimbing wuluh diperoleh dari metode maserasi yaitu perendaman serbuk daun belimbing wuluh dengan pelarut campuran aseton dan aquades selama 72 jam. Pelarut campuran aseton aquades ini bertujuan untuk mengambil tanin yang terkandung dalam daun belimbing wuluh. Tanin merupakan senyawa yang mampu menghambat laju korosi.

Untuk mengetahui senyawa apa yang teradsorpsi pada permukaan spesimen baja API 5L, maka perlu dibandingkan antara hasil uji FTIR inhibitor daun belimbing wuluh dari metode maserasi dan spesimen yang sudah direndam selama 3 hari dalam larutan elektrolit dengan penambahan inhibitor daun belimbing wuluh hasil metode maserasi sebanyak 2000 mg/L. Berikut hasil uji FTIR inhibitor daun belimbing wuluh metode maserasi.



**Gambar 4.4.** Spektrum FTIR inhibitor daun belimbing wuluh metode maserasi dan sampel uji setelah perendaman

Pada gambar 4.4 Pada spektrum FTIR inhibitor daun belimbing wuluh metode maserasi. Terdapat beberapa peak yang memiliki nilai frekuensi yang akan dihubungkan dengan range frekuensi yang ada pada referensi. Pada peak 3288,81  $\text{cm}^{-1}$  terdapat ikatan asimetri O-H yang termasuk senyawa fenol. Ikatan pada 2111,11  $\text{cm}^{-1}$  adalah *charged amina derivative*  $\text{NH}^+$ . Terdapat pita serapan agak lebar pada bilangan gelombang 1635,83  $\text{cm}^{-1}$  dimungkinkan pita gabungan dari C=O atau ikatan rangkap C=C aromatik yang termasuk alkena. Terdapat peak juga pada pita serapan 1441,69  $\text{cm}^{-1}$  yang merupakan senyawa alkana (-CH<sub>3</sub>). Pada pita serapan 1368,87  $\text{cm}^{-1}$  terdapat pembentukan ikatan C-H yang termasuk senyawa alkana. Pita serapan pada daerah 1232,72  $\text{cm}^{-1}$  merupakan ikatan rentang R-O-Ar yang termasuk senyawa aromatik ester. Sedangkan pada pita serapan 1016,08 terdapat

ikatan C-OH yang termasuk senyawa alkohol. Puncak-puncak spesifik tersebut menunjukkan puncak dari senyawa tanin.

Pengujian FTIR juga dilakukan pada sampel uji yang merupakan baja API 5L Grade B direndam dahulu dalam lingkungan 3,5 % NaCl dengan penambahan inhibitor daun belimbing wuluh sebanyak 2000 mg/L selama 3 hari. Setelah itu, sampel dikeringkan dan dilakukan uji FTIR. Pengujian FTIR pada sampel uji ini bertujuan untuk mengetahui senyawa apa yang teradsorpsi pada sampel dimana senyawa ini yang melindungi sampel uji dari korosi. Pada gambar 4.4 spektrum FTIR terlihat beberapa peak dari sampel uji setelah perendaman yang konturnya hampir mirip dengan inhibitor daun belimbing wuluh. Beberapa peak yang sama tersebut menunjukkan tingkat adsorpsi dari sampel uji. Senyawa yang teradsorpsi oleh sampel ini yang akan melindungi sampel dari korosi karena membentuk lapisan proteksi. Berikut data yang menunjukkan senyawa apa saja yang teradsorpsi pada sampel uji.

**Tabel 4.6.** Data senyawa ekstrak maserasi yang teradsorpsi pada sampel uji

Bilangan gelombang ekstrak ( $\text{cm}^{-1}$ )	Bilangan Gelombang Sampel ( $\text{cm}^{-1}$ )	Referensi Bilangan Gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ )	Tipe dan Grup	Intensitas
3288,81	3357,61	3400-3230	Rentangan O-H. R-OH, Ar-OH. Polymeric	Strong
2111,11	2341,42 ; 2361,61	2500-1800	Charged Amina $\text{NH}^+$	Strong

1635,83	1629,14	1680 - 1580	Rentangannya C=C. Ikatan C=O	strong
1441,69		1470-1430	C-H def. Senyawa alkana	medium
1368,87	1349,87	1370-1300	Rentangannya NO <sub>2</sub> . Senyawa aromatik nitro	strong
1232,72		1260-1200	R-O-Ar. Senyawa aromatik ester	Variable intensity
1016,08		1075-1010	Rentangannya C-OH. Primary alkohol	Variable intensity

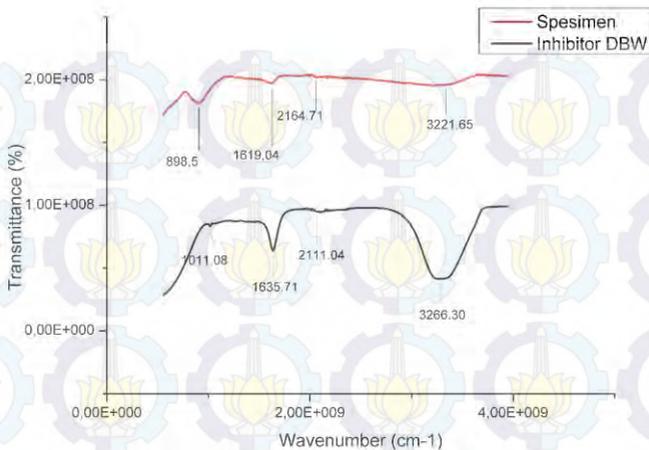
Dari tabel 4.6 menunjukkan bahwa ada senyawa yang teradsorpsi pada sampel uji setelah perendaman. Senyawa-senyawa tersebut yang berikatan dengan baja membentuk suatu ikatan kompleks. Terdapat rentangan O-H yang termasuk gugus hidroksil. Gugus hidroksil kaya akan pasangan elektron bebas sehingga dapat menyumbangkan elektron bebas untuk membentuk ikatan kovalen koordinasi dengan logam besi. Pelarut untuk proses ekstraksi adalah campuran aseton dan aquades yang bersifat sangat polar sehingga mempengaruhi serapan-serapan O-H. Kemudian terdapat rentangan C=O. Lalu ada senyawa NH<sup>+</sup> dan aromatik nitro yang teradsorpsi pada permukaan spesimen. Dari kemiripan-kemiripan yang muncul dapat disimpulkan bahwa

lapisan proteksi terbentuk pada permukaan baja sehingga baja terlindungi dari korosi.

#### 4.1.5.2 Hasil Pengujian FTIR Inhibitor Dari Metode MAE dan Sampel Uji Setelah Perendaman

Pengujian ini meliputi inhibitor daun belimbing wuluh hasil dari ekstraksi metode MAE (*Microwave Assisted Extraction*) dan spesimen baja API 5L yang sudah direndam pada larutan elektrolit dengan penambahan inhibitor daun belimbing wuluh hasil MAE. Inhibitor daun belimbing wuluh diperoleh dengan cara serbuk daun belimbing wuluh dilarutkan dengan campuran aseton dan aquades. Kemudian dipanaskan di dalam microwave dengan daya 100 watt selama 3 menit.

Untuk mengetahui senyawa apa yang teradsorpsi pada permukaan spesimen baja API 5L, maka perlu dibandingkan antara hasil uji FTIR inhibitor daun belimbing wuluh dari metode MAE dan spesimen yang sudah direndam selama 3 hari dalam larutan elektrolit dengan penambahan inhibitor daun belimbing wuluh hasil metode MAE sebanyak 2000 mg/L. Berikut hasil uji FTIR inhibitor daun belimbing wuluh metode MAE sampel uji setelah perendaman.



**Gambar 4.5.** Spektrum FTIR inhibitor daun belimbing wuluh metode MAE dan sampel uji setelah perendaman

Pada gambar 4.5 menunjukkan spektrum FTIR inhibitor daun belimbing wuluh hasil dari ekstraksi metode MAE. Peak-peak yang terbaca ini akan dihubungkan dengan range frekuensi yang ada pada referensi. Pita serapan sangat lebar terdapat pada bilangan gelombang  $3266,30 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan ikatan asimetri O-H. Pelarut yang digunakan adalah campuran aseton dan air yang bersifat polar yang mempengaruhi serapan-serapan O-H. Kemudian terdapat pita serapan pada bilangan gelombang  $2111,04 \text{ cm}^{-1}$  yang merupakan ikatan C=C yang merupakan gugus alkina. Sedangkan pada pita serapan yang agak lebar  $1635,71 \text{ cm}^{-1}$  merupakan pita gabungan dari C=O atau ikatan rangkap C=C. Lalu terdapat peak juga pada bilangan gelombang  $1011,08 \text{ cm}^{-1}$  yaitu ikatan C-OH yang merupakan primary alkohol.

Pengujian FTIR juga dilakukan pada sampel uji yang merupakan baja API 5L Grade B direndam dahulu dalam

lingkungan 3,5 % NaCl dengan penambahan inhibitor daun belimbing wuluh hasil ekstraksi MAE sebanyak 2000 mg/L selama 3 hari. Setelah itu, sampel dikeringkan dan dilakukan uji FTIR. Pengujian FTIR pada sampel uji ini bertujuan untuk mengetahui senyawa apa yang teradsorpsi pada sampel dimana senyawa ini yang melindungi sampel uji dari korosi. Pada gambar 4.5 spektrum FTIR sampel uji terbentuk beberapa peak.. Peak dari sampel uji setelah perendaman ini mempunyai kontur yang hampir mirip dengan inhibitor daun belimbing wuluh hasil ekstraksi MAE. Beberapa peak yang sama tersebut menunjukkan tingkat adsorpsi dari sampel uji. Senyawa yang teradsorpsi oleh sampel ini yang akan melindungi sampel dari korosi karena membentuk lapisan proteksi. Berikut data yang menunjukkan senyawa apa saja yang teradsorpsi pada sampel uji.

**Tabel 4.7.** Data senyawa ekstrak MAE yang teradsorpsi pada sampel

Bilangan gelombang ekstrak ( $\text{cm}^{-1}$ )	Bilangan Gelombang Sampel ( $\text{cm}^{-1}$ )	Referensi Bilangan Gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ )	Tipe dan Grup	Intensitas
3266.30	3221.65	3400-3230	Rentangan O-H, R-OH, Ar-OH. Polymeric	Strong
2111.04	2164.71	2200-1800	Vibrasi $\text{NH}^+$ , Charged Amine Derivative	Strong
1635.71	1619,04	1680 -	Rentangan	Strong

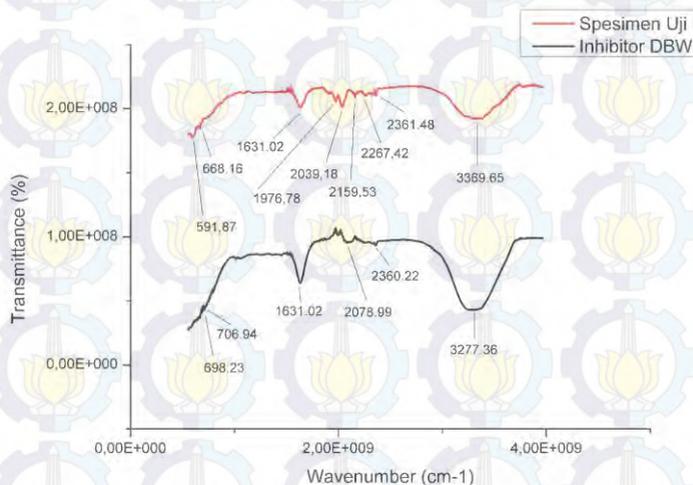
		1580	C=C. Ikatan C=O	
1011.08		1075-1010	Rentangan C-OH. Primary alkohol	Variable intensity

Tabel 4.7 menunjukkan bahwa terdapat senyawa yang teradsorpsi pada permukaan baja karena terdapat kemiripan kontur serta bilangan gelombang yang berada di rentang yang sama. Pada spesimen yang telah direndam terdapat rentangan O-H. Terdapat rentangan O-H yang termasuk gugus hidroksil. Gugus hidroksil kaya akan pasangan elektron bebas sehingga dapat menyumbangkan elektron bebas untuk membentuk ikatan kovalen koordinasi dengan logam besi. Kemudian ada gugus amina  $\text{NH}^+$ . Menurut penelitian Adia (2010) tiga gugus fungsi yang dapat berperan sebagai inhibitor korosi yaitu amina, imidazol, dan hidroksil alkohol. Kemudian terdapat rentangan C=O yang teradsorpsi pada permukaan baja. Dari kemiripan-kemiripan yang muncul dapat disimpulkan bahwa lapisan proteksi terbentuk pada permukaan baja sehingga baja terlindungi dari korosi.

#### 4.1.5.3. Hasil Pengujian FTIR Penambahan Inhibitor Hasil Metode Refluks dan Sampel Uji Setelah Perendaman

Pengujian ini meliputi inhibitor daun belimbing wuluh hasil dari ekstraksi metode refluks dan spesimen baja API 5L yang sudah direndam pada larutan elektrolit dengan penambahan inhibitor daun belimbing wuluh hasil refluks. Inhibitor daun belimbing wuluh diperoleh dari proses refluks yaitu proses pemanasan serbuk daun belimbing wuluh yang sudah dilarutkan dengan pelarut campuran aseton dan aquades dengan temperatur 55 – 60 °C selama 2 jam.

Untuk mengetahui senyawa apa yang teradsorpsi pada permukaan spesimen baja API 5L, maka perlu dibandingkan antara hasil uji FTIR inhibitor daun belimbing wuluh dari metode refluks dan spesimen yang sudah direndam selama 3 hari dalam larutan elektrolit dengan penambahan inhibitor daun belimbing wuluh hasil metode refluks sebanyak 2000 mg/L. Berikut hasil perbandingan spektra FTIR antara inhibitor daun belimbing wuluh metode refluks dan sampel uji perendaman



**Gambar 4.6.** Spektrum FTIR inhibitor daun belimbing wuluh metode refluks dan spesimen uji setelah perendaman

Pada gambar 4.6 menunjukkan spektrum FTIR daun belimbing wuluh hasil dari metode refluks dan sampel uji setelah perendaman. Terdapat beberapa peak yang terbaca oleh FTIR. Peak-peak ini akan dihubungkan dengan referensi. Terdapat pita serapan yang sangat lebar pada bilangan gelombang 3277,36 cm<sup>-1</sup> yang menunjukkan ikatan asimetri O-H. Pada bilangan gelombang 2360,22 cm<sup>-1</sup>. Bilangan gelombang 2078,99 cm<sup>-1</sup>

menunjukkan puncak serapan C-H deformasi keluar bidang. Terdapat pita serapan agak melebar pada  $1631,02\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan pita gabungan dari C=O atau ikatan rangkap C=C aromatik yang termasuk senyawa alkena. Melebarnya pita serapan pada daerah tersebut dikarenakan adanya senyawa glukosa yang terikat pada tanin (Markham, 1988). Kemudian pada pita serapan  $706,94\text{ cm}^{-1}$  dan  $698,23\text{ cm}^{-1}$  terdapat cincin aromatik yang tersubstitusi pada posisi orto. Pada gambar 4.6 terlihat bahwa gugus fungsi yang terbentuk pada spesimen setelah perendaman lebih banyak daripada ekstrak daun belimbing wuluh, hal ini diindikasikan terdapat senyawa-senyawa baru yang terbentuk pada permukaan baja setelah perendaman.

Pengujian FTIR juga dilakukan pada sampel uji yang merupakan baja API 5L Grade B direndam dahulu dalam lingkungan 3,5 % NaCl dengan penambahan inhibitor daun belimbing wuluh hasil ekstraksi refluks sebanyak 2000 mg/L selama 3 hari. Setelah itu, sampel dikeringkan dan dilakukan uji FTIR. Pengujian FTIR pada sampel uji ini bertujuan untuk mengetahui senyawa apa yang teradsorpsi pada sampel dimana senyawa ini yang melindungi sampel uji dari korosi. Pada gambar 4.6 spektrum FTIR sampel uji terbentuk beberapa peak.. Peak dari sampel uji setelah perendaman ini mempunyai kontur yang hampir mirip dengan inhibitor daun belimbing wuluh hasil ekstraksi MAE. Beberapa peak yang sama tersebut menunjukkan tingkat adsorpsi dari sampel uji. Senyawa yang teradsorpsi oleh sampel ini yang akan melindungi sampel dari korosi karena membentuk lapisan proteksi. Berikut data yang menunjukkan senyawa apa saja yang teradsorpsi pada sampel uji.

**Tabel 4.8.** Data senyawa ekstrak refluks yang teradsorpsi pada sampel uji

Bilangan gelombang ekstrak (cm <sup>-1</sup> )	Bilangan Gelombang Sampel (cm <sup>-1</sup> )	Referensi Bilangan Gelombang (cm <sup>-1</sup> )	Tipe dan Grup	Intensitas
3277.36	3369.65	3400-3230	Rentangan O-H, R-OH, Ar-OH. Polymeric	Strong
2360.22	2361.48	2500-2325	Rentangan NH <sup>+</sup> , Charged amines	Strong
2078.99	2039.18	2200-1800	Vibrasi NH <sup>+</sup> , Charged Amine Derivative	Strong
1631.02	1631.02	1680 - 1580	Rentangan C=C, Ikatan C=O	Strong
706.94, 698.23	668.16,	900-420	C-H Out of plane, p-substitusi benzene	Weak to medium

Dari table 4.8 menunjukkan bahwa ada senyawa yang teradsorpsi pada sampel uji setelah perendaman. Senyawa-

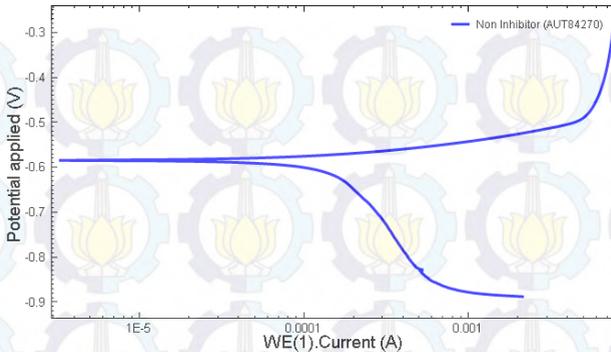
senyawa tersebut yang berikatan dengan baja membentuk suatu ikatan kompleks. Terdapat rentangan O-H yang termasuk gugus hidroksil. Gugus hidroksil kaya akan pasangan elektron bebas sehingga dapat menyumbangkan elektron bebas untuk membentuk ikatan kovalen koordinasi dengan logam besi. Pelarut untuk proses ekstraksi adalah campuran aseton dan aquades yang bersifat sangat polar sehingga mempengaruhi serapan-serapan O-H. Kemudian terdapat rentangan C=O yang termasuk senyawa alkena. Lalu ada senyawa aromatik nitro yang teradsorpsi pada permukaan spesimen. Dari kemiripan-kemiripan yang muncul dapat disimpulkan bahwa lapisan proteksi terbentuk pada permukaan baja sehingga baja terlindungi dari korosi. Kemudian ada gugus amina  $\text{NH}^+$ . Menurut penelitian Adia (2010) tiga gugus fungsi yang dapat berperan sebagai inhibitor korosi yaitu amina, imidazol, dan hidroksil alkohol. Lalu ada ikatan C-H, merupakan senyawa alkana yang bersifat hidrofobik yaitu sifat yang menolak air sehingga senyawa ini bereaksi dengan permukaan baja. Dapat disimpulkan bahwa ada lapisan proteksi yang terbentuk pada permukaan baja.

Ekstraksi daun belimbing wuluh ini menggunakan pelarut campuran aseton dan aquades yang bersifat sangat polar. Karena bersifat sangat polar maka memicu serapan-serapan O-H. Pada ketiga metode ekstraksi menghasilkan gugus hidroksil (O-H) dengan jumlah yang berbeda. Senyawa tanin merupakan senyawa yang memiliki banyak sekali ikatan O-H. Adanya ikatan  $\text{NH}^+$  menunjukkan bahwa proses ekstraksi tidak hanya menarik senyawa tanin namun juga senyawa alkaloid. Dikaitkan dengan uji spektrofotometri kadar tanin paling banyak adalah ekstrak dari metode maserasi. Sehingga otomatis ikatan O-H yang mengandung pasangan elektron bebas lebih banyak ketimbang ekstrak hasil metode refluks dan MAE. Sehingga ekstrak daun

belimbing wuluh metode maserasi lebih memproteksi baja dari korosi.

#### 4.1.6. Hasil Pengujian Tafel Polarisasi

Tujuan dari pengujian tafel polarisasi ini adalah untuk mengetahui laju korosi dari baja API 5L grade pada larutan elektrolit 3,5% NaCl dengan tanpa dan penambahan inhibitor daun belimbing wuluh hasil berbagai metode dengan konsentrasi 2000 mg/L. Pengujian tafel juga dapat mengetahui efisiensi dari inhibitor. Hasil dari uji tafel ini akan dibandingkan dengan uji *weight loss*. Uji tafel berbeda dengan *weight loss*, uji *weight loss* adalah keadaan sebenarnya, namun untuk uji tafel adalah keadaan sesaat setelah penambahan inhibitor. Sebelum dilakukan uji ini, spesimen perlu dibersihkan terlebih dahulu dari karat dengan menggunakan kertas gosok. Spesimen berukuran 20 x 20 x 3 sebagai elektroda kerja dan akan dihubungkan dengan alat potensiostat galvanostat. Elektroda acuan untuk uji ini adalah Ag/AgCl dan elektroda bantu adalah platina. Rentang *scan rate* potensial yang digunakan adalah -0,3 sampai 0,3 volt. Software yang digunakan adalah AUTOLAB PGSTAT. Setelah dilakukan pengujian tafel, akan muncul kurva pada software. Pada kurva tersebut menunjukkan *potensial applied* (V) terhadap *current* (A). Berikut ini adalah kurva hasil pengujian tafel pada baja API 5L yang direndam pada larutan elektrolit tanpa penambahan inhibitor



**Gambar 4.7.** Kurva tafel polarisasi tanpa penambahan inhibitor

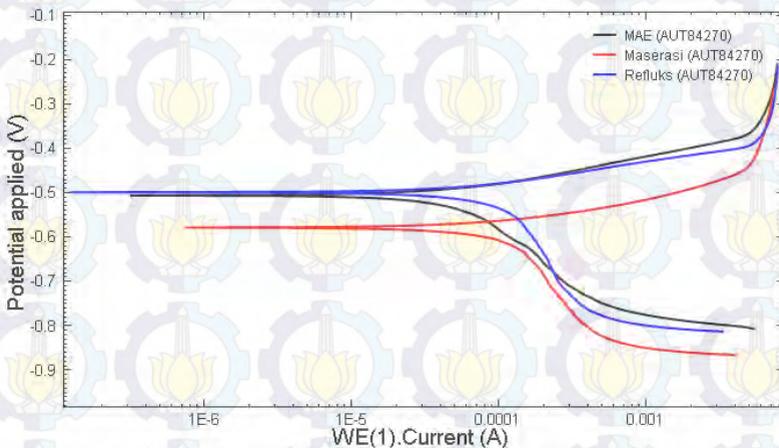
Pada gambar 4.7 menunjukkan hasil uji tafel polarisasi tanpa penambahan inhibitor untuk memperoleh data-data yang diperlukan maka perlu dilakukan penarikan garis secara linear pada kedua sisi kurva sehingga nilai  $b_a$  (slope anodik) dan  $b_c$  (slope katodik) serta  $R_p$  (tahanan polarisasi) akan diketahui secara otomatis dan didapatkan hasilnya masing-masing sebesar  $-181,93$  mV/dec,  $74,15$  mV/dec, dan  $107,46 \Omega$ .

Pengujian polarisasi mengacu pada ASTM G 102 – 89 *Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurement*. Untuk memperoleh nilai laju korosi maka terlebih dahulu menghitung nilai  $B$  (konstanta Stern-Geary) yang dapat diperoleh melalui persamaan (2.4). Setelah itu menghitung nilai  $i_{corr}$  (*corrosion current density*) yang dapat diperoleh dari persamaan (2.3). Dari  $i_{corr}$  yang sudah didapat, akan diperoleh nilai laju korosi melalui persamaan (2.5). Nilai  $i_{corr}$  yang didapat adalah  $505,95 \mu A$  sehingga laju korosinya didapatkan  $1,1316$  mm/tahun.

Nilai laju korosi dan kehilangan massa dari uji tafel baja API 5L grade B pada larutan elektrolit 3,5% tanpa penambahan inhibitor ini akan dibandingkan dengan hasil uji tafel dengan baja pada larutan elektrolit penambahan inhibitor daun belimbing wuluh ekstraksi berbagai metode sebesar 2000 mg/L.

#### 4.1.6.1. Hasil Uji Tafel Polarisasi Penambahan Inhibitor Hasil Ekstraksi Metode Maserasi, Refluks, dan MAE

Hasil uji tafel tanpa inhibitor akan dibandingkan dengan hasil uji tafel dengan penambahan inhibitor daun belimbing wuluh metode maserasi, refluks, dan MAE sebesar 2000 mg/L ke dalam larutan elektrolit 3,5% NaCl. Berikut ini kurva polarisasi dari penambahan inhibitor daun belimbing wuluh hasil berbagai metode



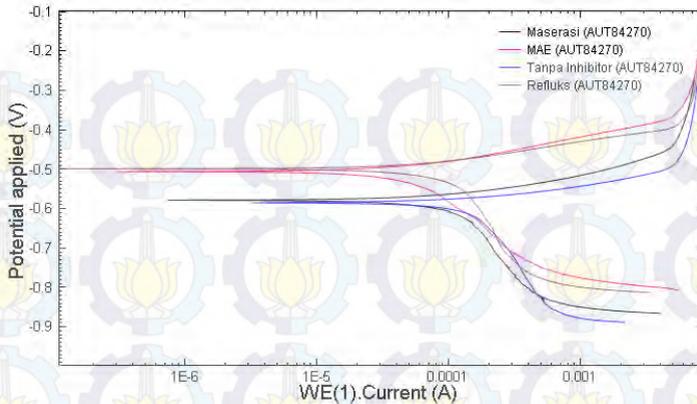
**Gambar 4.8.** Kurva tafel polarisasi penambahan inhibitor hasil metode maserasi, refluks, dan MAE

Dari gambar 4.8 Perlu ditarik garis linear di kedua sisi masing-masing kurva agar didapatkan data-data yang dibutuhkan secara otomatis. Dari penarikan garis tersebut didapatkan nilai  $b_a$  (slope anodik) dan  $b_c$  (slope katodik)  $R_p$  (tahanan polarisasi). Untuk memperoleh nilai laju korosi maka terlebih dahulu menghitung nilai B (konstanta Stern-Geary) yang dapat diperoleh melalui persamaan (2.4). Setelah itu menghitung nilai  $i_{corr}$  (*corrosion current density*) yang dapat diperoleh dari persamaan (2.3). Dari  $i_{corr}$  yang sudah didapat, akan diperoleh nilai laju korosi melalui persamaan (2.5). Nilai-nilai tersebut ditunjukkan oleh tabel berikut ini

**Tabel 4.9.** Data perhitungan hasil uji tafel polarisasi

Metode Ekstraksi	$b_a$ (mV/dec)	$b_c$ (mV/dec)	$I_{corr}(\mu A)$
Maserasi	194,13	53,314	89,534
Refluks	276,38	72,026	96,971
MAE	-4326,5	89,047	101,18

Pada tabel 4.9 menunjukkan bahwa masing-masing metode ekstraksi menghasilkan nilai densitas arus korosi yang berbeda-beda. Densitas arus korosi ini berkaitan dengan agresifitas dari larutan untuk menyerang baja. Bila kerapatan arus semakin kecil maka laju korosi akan semakin menurun begitu pula sebaliknya. Data pada tabel diatas akan dibandingkan dengan data yang dihasilkan oleh kurva tafel polarisasi tanpa penambahan inhibitor. Berikut ini adalah kurva tafel polarisasi gabungan antara tanpa inhibitor dan penambahan inhibitor hasil dari metode ekstraksi maserasi, refluks, dan MAE sebanyak 2000 mg/l.



**ambar 4.9.** Perbandingan kurva tafel polarisasi tanpa dan dengan penambahan inhibitor daun belimbing wuluh berbagai metode

**Tabel 4.10.** Perbandingan hasil uji tafel tanpa dan penambahan inhibitor daun belimbing wuluh berbagai metode

Metode Ekstraksi	$E_{corr}(V)$	$I_{corr}(\mu A)$	Laju Korosi (mm/tahun)	Efisiensi Inhibitor (%)
Tanpa inhibitor	-587,73	505,95	1,1316	0
Maserasi	-575,93	89,534	0,20025	82,69
Refluks	-497,47	96,971	0,21688	80,83
MAE	-506,01	101,18	0,2263	80

Dari gambar 4.9 dan tabel 4.10 Dapat dilihat bahwa ada perbedaan antara kurva tafel tanpa dan penambahan inhibitor berbagai metode ekstraksi. Terlihat bahwa pada penambahan inhibitor daun belimbing wuluh dengan konsentrasi 2000 mg/L dapat memberikan perlindungan pada baja API 5L grade B karena potensial korosi bergeser ke arah yang lebih positif daripada tanpa

inhibitor. Menurut Nofrizal (2012) Pergeseran ke arah positif menunjukkan bahwa inhibitor memproteksi pada daerah anodik. Nilai kerapatan arus dari penambahan inhibitor metode maserasi, refluks, dan MAE yaitu 89,534  $\mu\text{A}$ , 96,971  $\mu\text{A}$ , dan 101,18  $\mu\text{A}$ . Sedangkan tanpa inhibitor nilai kerapatan arusnya 505,95  $\mu\text{A}$ . Ada perbedaan nilai  $I_{\text{corr}}$  yang jauh antara tanpa dan penambahan inhibitor. Pada penambahan inhibitor, nilai kerapatan arusnya jauh lebih kecil daripada tanpa penambahan inhibitor. Nilai laju korosi tanpa inhibitor adalah 1,1316 mm/tahun. Sedangkan pada penambahan inhibitor metode maserasi, refluks, dan MAE adalah 0,20025 mm/tahun, 0,21688 mm/tahun, dan 0,2263 mm/tahun. Jadi terbukti bahwa penambahan inhibitor mampu menurunkan laju korosi. Menurut penelitian Akbar (2013), bahwa semakin kecil nilai kerapatan arus maka laju korosi akan semakin kecil. Nilai efisiensi inhibitor juga bisa diperoleh dengan persamaan (2.5). Masing-masing efisiensi inhibitor daun belimbing wuluh hasil ekstraksi maserasi, refluks, dan MAE adalah 82,69%, 80,83%, dan 80%. Nilai kerapatan arus terkecil dan efisiensi inhibisi terbesar dihasilkan oleh penambahan inhibitor hasil ekstraksi maserasi. Hal ini terjadi karena kadar senyawa tanin yang berperan sebagai penghambat korosi paling banyak daripada hasil ekstraksi lainnya.

Untuk menentukan golongan inhibitor apakah daun belimbing wuluh, dapat dilihat dari selisih nilai potensial korosi antara tanpa dan penambahan inhibitor. Menurut Ying Yan (2008), inhibitor dapat dikategorikan anodik atau katodik jika bergeser lebih dari 85 mV terhadap potensial korosi tanpa inhibitor. Nilai selisih potensial korosi antara penambahan inhibitor hasil maserasi dan tanpa penambahan adalah 11,8 mV, sedangkan inhibitor hasil refluks dan tanpa penambahan adalah 90,26 mV. Nilai selisih potensial korosi antara penambahan inhibitor hasil MAE dan tanpa penambahan adalah 81,72 mV.

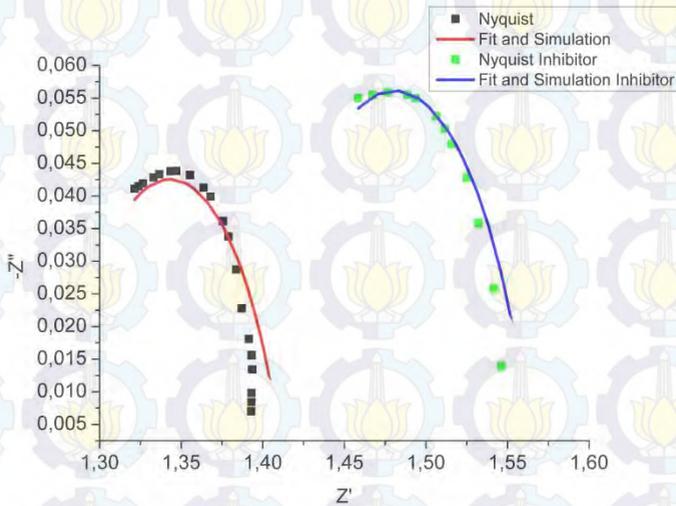
Dari nilai selisih potensial korosi yang didapat, maka inhibitor daun belimbing wuluh hasil metode maserasi dan MAE termasuk golongan inhibitor campuran atau *mixed inhibitor*. *Mixed inhibitor* teradsorpsi pada bagian anodik dan katodik. Sedangkan inhibitor daun belimbing wuluh hasil metode refluks merupakan inhibitor anodik dimana inhibitor ini lebih melindungi daerah anodik.

#### 4.1.7. Hasil Pengujian EIS

Pengujian EIS (*Electrochemical Impedansi Spectroscopy*) bertujuan untuk mengetahui mekanisme inhibisi ekstrak daun belimbing wuluh hasil metode maserasi terhadap spesimen uji baja API 5L grade B. Ekstrak daun belimbing wuluh hasil metode maserasi merupakan inhibitor yang memiliki efisiensi terbesar pada uji *weight loss*. Inhibitor yang ditambahkan dalam larutan elektrolit 3,5% NaCl adalah sebesar 2000 mg/l. Adapun hal yang penting pada EIS adalah Baja API 5L yang berperan sebagai elektroda kerja, Ag/AgCl berperan sebagai elektroda reference, dan platina sebagai elektroda bantu. Sebelum dilakukan pengujian spesimen uji terlebih dahulu dibersihkan dari karat.

Hasil dari pengujian ini adalah berupa kurva Nyquist, yaitu kurva dengan impedansi imajiner terhadap impedansi real (nyata). Kurva nyquist ini kemudian akan di analisa menggunakan analisa *electrochemical fit*. Berikut ini adalah hasil pengujian EIS tanpa dan penambahan inhibitor daun belimbing wuluh. Analisa ini menggunakan software NOVA. Nilai hambatan polarisasi, tahanan larutan, dan constant phase element dapat diperoleh dengan analisa *electrochemical fit*. Analisa *electrochemucal fit* didapatkan dengan cara menaruh 3 titik pada kurva nyquist. Analisa *electrochemical fit* merupakan analisa dengan menggunakan semua frekuensi. Lalu analisa *electrochemical fit* disatukan dengan analisa *fit and simulation*

yang terdapat pada *software*. Berikut ini adalah gambar analisa *fit and simulation* dan tabel yang menunjukkan nilai-nilai yang didapat.



**Gambar 4.10.** Kurva *fit and simulation* tanpa dan penambahan inhibitor

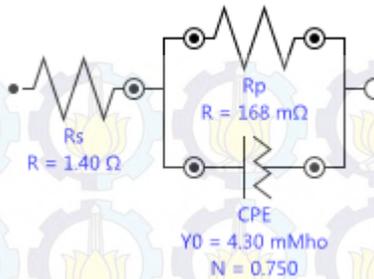
**Tabel 4.11.** Data elektrokimia analisa *fit and simulation*

Data Elektrokimia	Konsentrasi Inhibitor		Estimasi Eror (%)	
	0 mg/l	2000 mg/l	0 mg/l	2000 mg/l
$R_s$ ( $\Omega$ )	1,27	1,40	0.592	0.566
$R_p$ ( $\Omega$ )	0,137	0,168	6.602	5.851
Q (mMho)	8,88	4,30	23.141	21.823

Dari gambar 4.10 merupakan kurva antara nyquist dan setelah *fit and simulation*. Kurva *fit and simulation* hampir mirip dengan Nyquist maka dari itu error yang dihasilkan sedikit.

Gambar 4.10 dan tabel 4.12 menunjukkan bahwa nilai tahanan polarisasi pada penambahan inhibitor daun belimbing lebih besar daripada tanpa penambahan. Tahanan polarisasi ( $R_p$ ) menunjukkan ukuran transfer elektron pada permukaan logam, sedangkan  $R_s$  atau tahanan larutan berkaitan dengan jenis dan konsentrasi ion, serta luas permukaan arus. Nilai CPE ( $Q$ ) berperan sebagai kapasitor *double layer* yang ada di dalam rangkaian. Tahanan polarisasi berkaitan dengan transfer elektron. Semakin kecil tahanan polarisasi, maka semakin cepat transfer elektron yang terjadi, semakin cepat pula laju korosinya. Begitu juga sebaliknya, semakin besar hambatan polarisasinya, semakin lambat transfer elektron, dan laju korosi akan menurun. Tahanan polarisasi dari penambahan inhibitor meningkat karena adanya lapisan pelindung korosi yang terbentuk pada logam. Hal ini dibuktikan pada pengujian FTIR dengan adanya senyawa hidrofobik yang bergabung dengan ion Fe membentuk ikatan. Hasil uji EIS dimana nilai tahanan polarisasinya pada saat penambahan inhibitor lebih besar daripada tanpa penambahan. Dapat disimpulkan bahwa penambahan inhibitor dapat menurunkan kecepatan perpindahan elektron karena tahanan polarisasi yang meningkat, sehingga laju korosi menurun.

Pada pengujian EIS ini juga didapatkan *equivalent circuit* yang akan menunjukkan bagaimana terjadinya korosi pada baja API 5L, apakah akibat kinetika transfer muatan atau tidak. Berikut ini gambar *equivalent circuit* yang terbentuk. Dari analisa *equivalent circuit*, terjadinya korosi pada baja disebabkan karena adanya transfer elektron ditunjukkan oleh adanya nilai  $R_p$ .



**Gambar 4.11.** *Equivalent circuit* pada penambahan inhibitor

#### 4.1.8. Potensi Produksi Masal Inhibitor Daun Belimbing Wuluh

Dari berbagai pengujian yang sudah dilakukan maka dapat diketahui metode ekstraksi manakah yang paling efisien untuk memproduksi inhibitor daun belimbing wuluh secara masal. Variabel-variabel yang perlu diperhatikan untuk pemilihan metode yang tepat adalah lama waktu proses ekstraksi, biaya yang dikeluarkan, rendemen dan kualitas ekstrak, serta efisiensi inhibisi yang dihasilkan. Masing-masing metode menggunakan kuantitas bahan yang sama yaitu 70 gram serbuk daun belimbing wuluh dan 700 ml pelarut campuran aseton dan aquades dengan perbandingan (7:3). Hasil masing-masing metode ekstraksi untuk sekali proses dapat dilihat pada tabel berikut

**Tabel 4.12.** Data hasil masing-masing metode ekstraksi

<b>Metode Ekstraksi</b>	<b>Lama Proses Ekstraksi (menit)</b>	<b>Biaya</b>	<b>Rendemen Volume (%)</b>	<b>Kadar Tanin (% b/v)</b>	<b>Efisiensi Inhibisi (%)</b>
Maserasi	4320	Sangat rendah	15,64	1,14	55,08
Refluks	120	Rendah	20	0,98	48,53
MAE	3	Tinggi	15,92	0,87	47,24

Pada tabel 4.13 menunjukkan kelebihan dan kelemahan dari masing-masing metode ekstraksi. Pada ekstraksi maserasi dihasilkan kualitas ekstrak paling baik yaitu kadar tanin dan efisiensi inhibisi terbesar dengan biaya yang digunakan lebih murah dari proses ekstraksi lainnya. Namun, lama proses ekstraksi ini sangat lama yaitu sekitar 3 hari. Rendemen paling banyak dihasilkan oleh ekstraksi metode refluks dengan lama waktu sekitar 2 jam. Namun, kadar tanin dan efisiensi inhibisi lebih rendah daripada maserasi. Berkaitan dengan temperatur tinggi pada refluks dalam proses ekstraksinya. Temperatur menaikkan laju reaksi sehingga menghasilkan rendemen yang lebih banyak namun senyawa di dalamnya sedikit rusak. Pada proses ekstraksi MAE lama waktu ekstraksi hanya sebentar yaitu sekitar 3 menit. Namun, biaya yang diperlukan sangat tinggi dan kualitas dari ekstrak juga paling buruk daripada ekstrak yang dihasilkan dari metode lainnya. Dari pertimbangan ini, metode yang paling efisien adalah metode refluks karena rendemen yang dihasilkan paling banyak dan waktu yang diperlukan tidak lama walaupun menghasilkan kualitas ekstrak lebih rendah dari pada maserasi.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

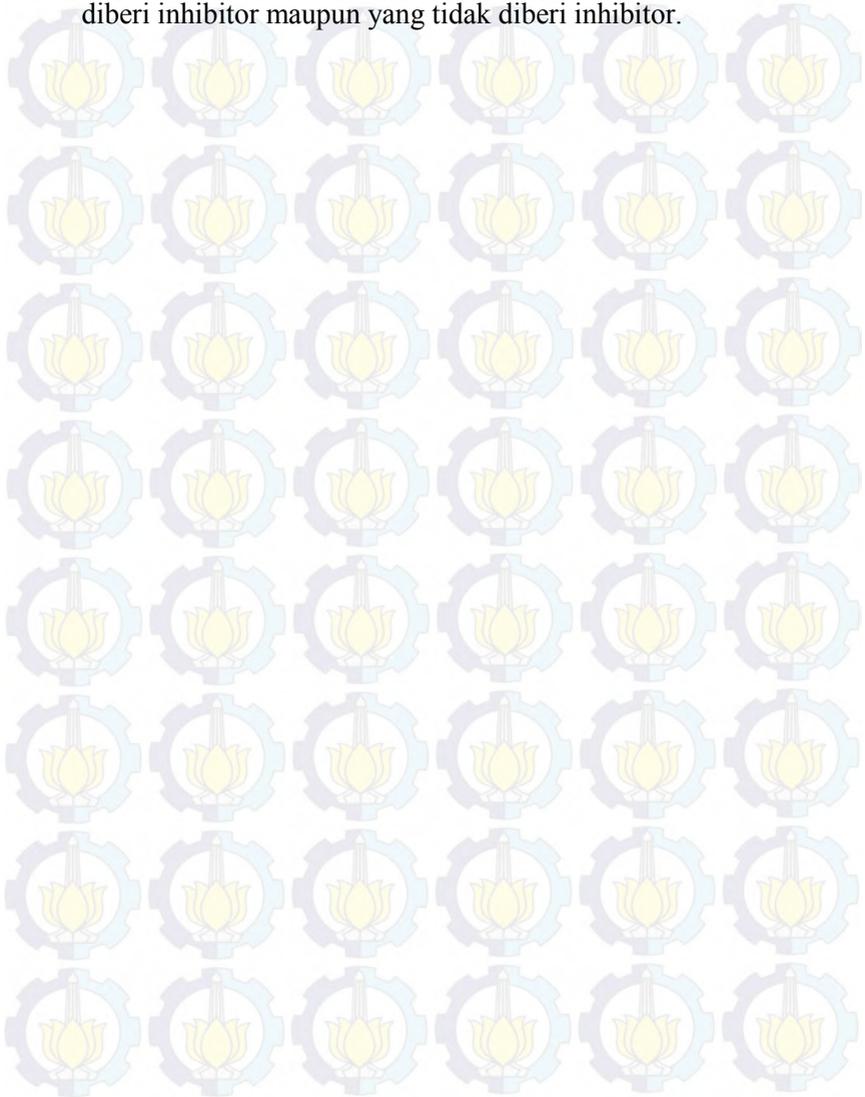
1. Metode ekstraksi maserasi menghasilkan ekstrak sebanyak 109,5 ml dengan kadar tanin 1,14%, ekstraksi refluks menghasilkan ekstrak sebanyak 140,5 ml dengan kadar tanin 0,98%, dan metode MAE menghasilkan ekstrak sebanyak 111,5 ml dengan kadar tanin 0,87%.
2. Penambahan 2000 mg/L inhibitor daun belimbing wuuluh (*Averrhoa bilimbi l.*) hasil metode ekstraksi maserasi, refluks, dan MAE dapat menurunkan laju korosi baja API 5L grade B dengan efisiensi maksimal masing-masing sebesar 55,08%, 48,53%, dan 47,28%.
3. Metode yang paling efisien ditinjau dari lama waktu proses ekstraksi, biaya yang dikeluarkan, rendemen dan kualitas ekstrak, serta efisiensi inhibisi yang dihasilkan adalah metode refluks. Lama waktu yang diperlukan yaitu 2 jam, biaya rendah, rendemen 20%, kadar tanin 0,98%, dan efisiensi inhibisi 48,53%.

#### **5.2. Saran**

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka berikut adalah beberapa saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Perlu adanya variasi konsentrasi penambahan inhibitor pada pengujian selanjutnya agar didapatkan efisiensi inhibisi yang lebih baik.
2. Perlu adanya lebih banyak variasi metode ekstraksi dan variabel yang digunakan dalam proses pengekstraksian.

3. Diperlukan karakterisasi lebih lanjut untuk melihat produk korosi yang terbentuk pada permukaan logam yang telah diberi inhibitor maupun yang tidak diberi inhibitor.



---

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahamad, Istiaque, Prasad, R., Quraishi, M.A. 2010. *Adsorption and inhibitive properties of some new Mannich bases of Isatin derivatives on corrosion of mild steel in acidic media*, Corrosion science 4: 1472-1481
- Anonim, 1979, Farmakope Indonesia, Edisi III, 12, Departemen Kesehatan RI., Jakarta.
- ASM Handbook. 2005. *Corrosion Materials volume 13B*. USA: ASTM International.
- ASTM G 1-02. 1999. “*Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements*”.
- API 5L. 2004. *Specification For Line Pipe*. API Publishing Services, Washington.
- Barsoukov, Evgenij dan Ross Macdonald. 2005. *Impedance Spectroscopy Theory, Experiment, and Applications*. New York : John Wiley & Sons.
- Callister, Jr, William D. 2007. *Materials Science and Engineering An Introduction Seven Edition*. John Wiley and Sons, Inc, United States of America.
- Candra, Fiki Maizal. 2014. *Pemanfaatan Buah Mahkota Dewa (Phaleria Macrocarpha) Sebagai Green Corrosion Inhibitor Pada Baja API 5l Grade B Di Lingkungan 3,5% NaCl Dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1M*. Skripsi, Teknik Material dan Metalurgi, ITS, Surabaya.
- Dalimarta, S. 2008. *36 Resep Tumbuhan Obat Untuk Menurunkan Kolesterol*. Jakarta: Penebar Swadaya

- Dariva, Camila G., Alexandre, F. Galio. 2014. *Corrosion Inhibitors-Principles, Mechanisms And Applications*. In tech.
- Dasuki, U. 1991. *Sisitematika Tumbuhan Tinggi*. Bandung: Pusat Universitas Ilmu Hayati ITB.
- Erlina, Diyah., Elisabeth, Ratnawati., Setyo, Budi Utomo. 2004. *Pengaruh Inhibitor Korosi Terhadap Bahan Sistem Pendingin Sekunder RSG-GAS*. Prosiding Seminar Hasil Penelitian P2TRR ISSN : 0854-5278.
- Faharani, G.B. 2009. *Uji Aktifitas Antibakteri Daun Belimbing Wuluh Terhadap Bakteri Streptococcus Aureus dan Achercia Coli secara Bioautografi*. FMIPA UI Jakarta.
- Fardhyanti, Dewi Selvia. 2004. *Uji Efektivitas Natrium Fosfat Sebagai Inhibitor Pada Korosi Baja Tulangan Beton*. Artikel Ilmiah JKSA Volume VII, No. 2.
- Firdaus, M.T., A. Izam, and R.P. Rosli. 2010. *Ultrasonic-assisted Extraction of Triterpenoid Saponins from Mangrove Leaves*. The 13th Asia Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress, Taipei.
- Griffith, P. 1975. *Chemical Infrared Fourier Transform Spectroscopy*. New York : John Wiley & Sons.
- Gunaatmaja, Andhi. 2011. *Pengaruh Waktu Perendaman Terhadap Laju Korosi Pada Baja Karbon Rendah Dengan Pemmambahan Ekstrak Ubi Ungu Sebagai Inhibitor Organik Di linhgkungan NaCl 3,5%*. Universitas Indonesia : Depok

- Haryono, Gogot., Bambang, Sugiarto., Haniman, Farid., & Yudi, Tanoto. 2010. *Ekstrak Bahan Alam Sebagai Inhibitor Korosi*. Jurusan Teknik Kimia, UPN “Veteran”, Yogyakarta.
- Haslim, Alfonsius Billy. 2012. Studi Inhibisi Korosi Baja API 5L (ASTM A53) Dalam Air Formasi (Connate Water) Dengan Ekstrak Kulit Buah Sawo (Manilkara Zapota) Menggunakan Metode Polarisasi. Fakultas Teknik Universitas Indonesia : Depok.
- Irawan, Bambang dan Jos, Bakti. 2010. *Peningkatan Mutu Minyak Nilam dengan Ekstraksi dan Destilasi Pada Berbagai Komposisi Pelarut*. Seminar Rekayasa Kimia dan Proses, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang.
- J., Buchweishaija. *Phytochemicals as Green Corrosion Inhibitors in various Corrosive Media a Review*. Chemistry Department, College of Natural and Applied Sciences, University of Dares Salaam.
- Jeffers, Kenneth. 1999. *Electrochemical Impedance Spectroscopy For The Characterization Of Corrosion And Cathodic Protection Of Buried Pipelines*. Thesis, University of Florida.
- Jones, Denny A. 1997. *Principles and Prevention of Corrosion*. Singapore: Prentice Hall International.
- Kerem,Z. 2005. *Microwave Assisted Extraction of Saponin*. Journal Food Science.
- Kresnanugraha, Yudhi. 2012. *Uji Penghambatan Aktivitas Enzim Xantin Oksidase Dari Ekstrak Daun Belimbing Wuluh (Averrhoa Bilimbi L.) Dan Identifikasi Senyawa Dari Fraksi Aktif*. Skripsi, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Depok, Jakarta.

- Kurniasari, L., Hartati, I., R.D. Ratnani., & I., Sumantri. 2008. *Kajian Ekstraksi Minyak Jahe Menggunakan Microwave Assisted Extraction (MAE)*. Momentum, Volume 4, No. 2.
- Macdonald, J. Ross., Evgenji, Barsoukov. 2005. *Impedance Spectroscopy Theory, Experiment, And Applications*. John Wiley and Sons, Inc, United States of America.
- Macfudzoh, Putri Avnita., Muhammad, Nurul A., Leliana, S.D.P. 2014. *Efektivitas Ekstrak Daun Belimbing Wuluh Sebagai Bahan Inhibitor Korosi Pada Kawat Ortodonsi*. Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Jember, Jember.
- Martinez dan Stern. 2001. *Inhibitory Mechanism Of Low-Carbon Steel Corrosion By Mimosa Tannin In Sulphuric Acid Solutions*. Faculty Of Chemical Engineering And Technology University Of Zagreb, Croatia.
- Nainwal, Pankaj. 2013. *Morphological And Biochemical Characteristics Of Averrhoa Fruits*. Yenepoya University : India.
- Nicolet. 2001. *Introduction To Fourier Transform Infrared Spectrometry*. Thermo Nicolet Corporation.
- NIST. 2011. *Chemistry Webbook*. United States Of America.
- Pan, N. 2003. *Microwave Assisted Extraction of Caffeine and Polyphenol of Camelia Sinensis*. Ind.Eng.Chem
- Pendit, Putu Ayu Chintia Devi., Elok, Zubaidah., & Feronika, Heppy Sriherfyna. 2015. *Karakteristik Fisik-Kimia Dan Aktivitas Antibakteri Ekstrak Daun Belimbing Wuluh (Averrhoa Bilimbi L.)*. Jurnal Pangan dan Agroindustri Vol. 4 No 1 p. 400-409.

- Péres, V.L., J. Saffia, M.I.S. Melecchi, F.C. Abade, R.A. Jacques, M.M. Martinez, E.C. Oliveira, and E.B. Caramao. 2006. *Comparison of Soxhlet, Ultrasound-assisted and Pressurized Liquid Extraction of Terpenes, Fatty Acids and Vitamin E from Piper gaudichaudianum Kunth*. Journal of Chromatography A 1105 : 115–118.
- Rafael et. al. 2012. Black Wattle Tannin As Steel Corrosion Inhibitor. International Scholarly Research Network Volume 2012, Article ID 937920.
- Ramjan Ali, md., Marjan, Hossain., Jannatul, F.R., & Md., Hasanuzzaman. 2013. *Preliminary Cytotoxic Activity Of Different Extracts Of Averrhoa Bilimbi (Fruits)*. International Current Pharmaceutical Journal 2(3) : 83-84.
- Revie, Winston dan Herbert Uhlig. 2008. Corrosion And Corrosion Control. John Wiley & Sons, New York.
- Roberge, Pierre R. 1999. *Handbook of Corrosion Engineering*. New York: Mc Graw-Hill Book Company.
- Sa'adah, Lailis. 2010. *Isolasi Dan Identifikasi Senyawa Tanin Dari Daun Belimbing Wuluh (Averrhoa bilimbi L.)*. Fakultas Sains Dan Teknologi UIN, Malang.
- Sandy, Sheby Sara. 2014. *Pengaruh Penambahan Ekstrak Ampas Anggur (Vitis vinifera) Dan Daun Kumis Kucing (Orthosiphon stamineus) Sebagai Green Corrosion Inhibitor Pada Baja API 5L Grade B Di Lingkungan 3,5% NaCl*. Skripsi, Teknik Material dan Metalurgi, ITS, Surabaya.
- Sankara Papavinasam ,Michael Attard and R.Winston Revie. *External Polymeric Pipeline Coating Failure Modes. Material Performance Magazine*. October, 2006, Vol. 10.

- Saputro, Roni. 2011. *Studi Pengaruh Konsentrasi Ekstrak Teh Rosella (Hibiscus sabdariffa) Sebagai Green Corrosion Inhibitor Untuk Material Baja Karbon Rendah Di Lingkungan NaCl 3,5% Pada Temperatur 40 Derajat Celsius*. Skripsi, Departemen Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia, Depok.
- Sastri V. 1998. *Corrosion Inhibitors; Principles and Application*, JohnWiley & Son Inc, New York
- Sharma MR dan Chaturvedi TP. 2008. *An Overview of biocompatibility of Orthodontic Materials*. International Scientific Journals from Jaypee.
- Sharmin E, Ahmad S, Zafar F. 2012. *Renewable Resources in Corrosion Resistance*. Corrosion Resistance, Dr Shih (Ed.), InTech.
- Sidiq, M. Fajar. 2013. *Analisa Korosi dan Pengendaliannya*. Journal Foundry vol. 3 No. 1 ISSN: 2087-2259.
- Solomons, G.T. 1976. *Organic Chemistry*, 4 th ed, john wiley and sons. New York. hal 838-839
- Soni, M., K. Patidar, D. Jain, dan S. Jain. 2010. Ultrasound Assisted Extraction (UAE): A Novel Extraction Technique for Extraction of Neutraceuticals from Plants. *Journal of Pharmacy Research* 3 (3) : 636–638.
- Standard API. 2004. *API Spcification 5L, Specification for Line Pipe*. 43rd edition
- Surya, Indra. 2004. *Kimia Dari Inhibitor Korosi*. UNSUD, Sumatra Utara.

Tahid. 1994. *Spektroskopi Inframerah Transformasi Fourier No II th VIII*. Bandung : Warta Kimia Analitis.

Tiwari P, kumar B, Kaur M, Kaur G, Kaur H. 2011. *Phytochemical screening and extraction: A Review*. International Pharmaceutical sciencia, 1(1): 98-106.

Uhlig, H. H., 1961, *Corrosion Handbook*, John Willey & Sons Inc., London.

Ummah, M.K. 2010. *Ekstraksi dan Pengujian Aktivitas Antibakteri Senyawa Tanin pada Daun Belimbing Wuluh (Averrhoa bilimbi L.) (Kajian Variasi Pelarut)*. Skripsi Jurusan Kimia Universitas Islam Negeri Mualana Malik Ibrahim Malang

Utomo, Budi. 2009. *Jenis Korosi Dan Penanggulangannya*. KAPAL Volume 6, No.2.

Veggi, Priscilla et al. 2013. *Fundamentals Of Microwave Extraction*. University Of Campinas, Brazil.

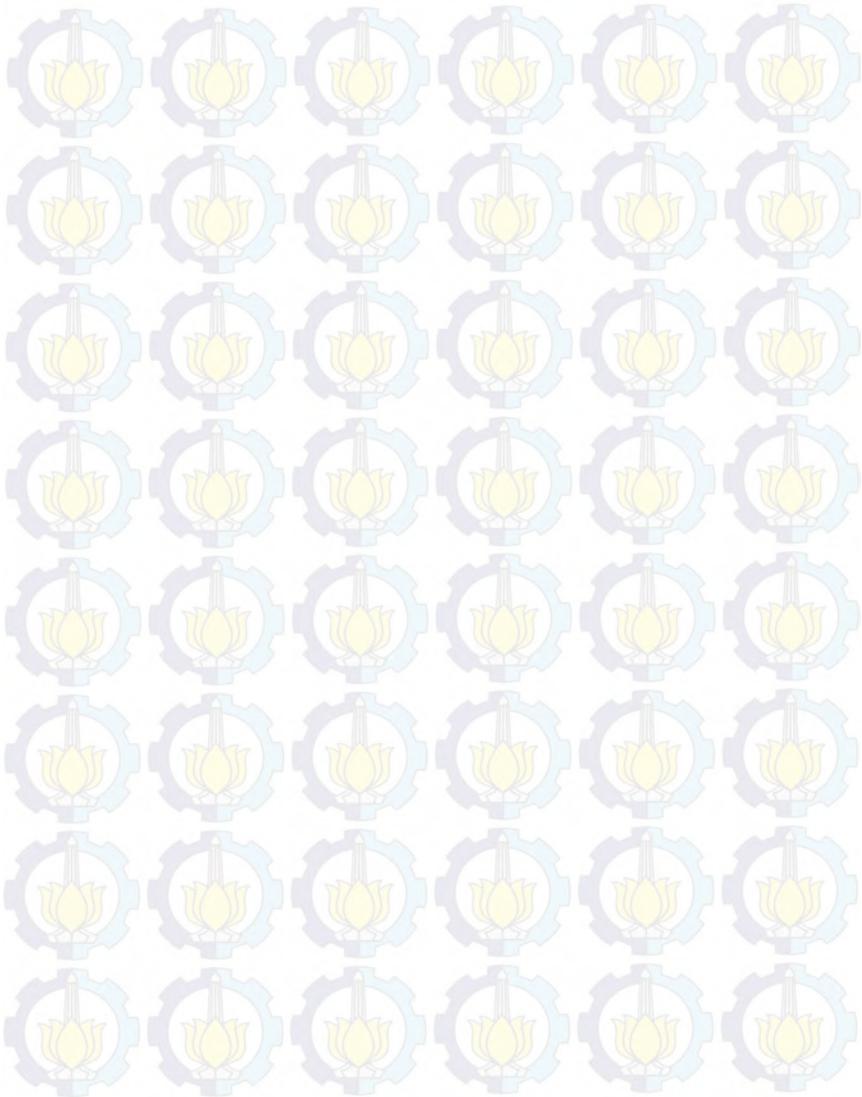
Voight. 1994. Buku Pelajaran Teknologi Farmasi. Edisi 5. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Widiastuti et. al. 2013. Pengaruh Metode Ekstraksi Terhadap Aktivitas Antioksidan Kulit Buah Durian (*Durio zibethinus murr*) Varietas Petruk. PMIPA FKIP UNS, Surakarta.

Wirman, Adia Putra et al. 2010. Sintesis Eter Metil Histidin Sebagai Inhibitor Korosi Pada Baja Karbon Dalam Larutan NaCl 1 %. Institut Teknologi Bandung, Bandung.

Yan, Y. Li, Weihua. Cai, Lankun. Hou, Baorong. 2007. *“Electrochemical and Quantum Chemical Study of Purines*

*as Corrosion Inhibitors for Mild Steel in 1M HCl solution”.*  
Electrochimica Acta 53 (2008): 5953-5960.



## LAMPIRAN A

### Skema Kerja

#### 1. Pembuatan Ekstrak Inhibitor Daun Belimbing Wuluh Metode Maserasi

Bahan  
Daun Belimbing Wuluh : 1 kg

- Memilih daun yang hijau dan segar
- Mancuci bersih daun belimbing wuluh

Pengeringan dan Penyerbukan

- Mengeringkan daun belimbing wuluh tanpa terkena sinar matahari langsung selama 7 hari
- Men-juicer daun belimbing wuluh kering hingga menjadi serbuk halus

Maserasi

- Menimbang serbuk daun belimbing wuluh sebanyak 70 gram
- Menambahkan 700 ml campuran aseton dan aquades (7:3)

A

A

- Merendam selama 3 x 24 jam sambil diaduk sesekali
- Menyaring hasil ekstrak dengan residu menggunakan kertas saring
- Memekatkan hasil ekstrak hingga kental dengan temperatur maksimal 60°C.

Ekstrak Kental

## 2. Pembuatan Ekstrak Inhibitor Daun Belimbing Wuluh Metode MAE

Bahan  
Daun Belimbing Wuluh : 1 kg

- Memilih daun yang berwarna hijau segar
- Membersihkan Daun

Pengeringan dan Penyerbukan

- Mengeringkan daun tanpa terkena sinar matahari langsung selama 7 hari
- Men-juicer daun kering hingga menjadi serbuk halus.

MAE

- Menimbang serbuk daun sebanyak 70 gram
- Menambahkan 700 ml campuran aseton dan

A

A

aquades (7:3)

- Memasukkan ke dalam microwave dan menyetting daya sebanyak 100 watt selama 3 menit.
- Menyaring hasil ekstrak dengan residu menggunakan kertas saring.
- Memekatkan hasil ekstrak hingga kental dengan temperatur maksimal 60°C.

Ekstrak Kental

### 3. Pembuatan Ekstrak Inhibitor Daun Belimbing Wuluh Metode Refluks

Bahan  
Daun Belimbing Wuluh : 1 kg

- Memilih daun yang berwarna hijau segar
- Membersihkan Daun

Pengeringan dan Penyerbukan

- Mengeringkan daun tanpa terkena sinar matahari langsung selama 7 hari
- Men-juicer daun kering hingga menjadi serbuk halus

A

### Refluks

- Menimbang serbuk daun sebanyak 70 gram
- Menambahkan 700 ml campuran aseton dan aquades (7:3)
- Memanaskan dengan temperatur 55-60 °C selama 2 jam.
- Menyaring hasil ekstrak dengan residu menggunakan kertas saring.
- Memekatkan hasil ekstrak hingga kental dengan temperatur maksimal 60°C.

### Ekstrak Kental

## 4. Pembuatan Coupon

### Baja API 5L Grade B

- Memotong dengan ukuran 20 mm x 20 mm x 3 mm
- Grinding permukaan specimen dari grade 80 hingga 1000
- Membor sisi atas specimen dengan diameter 3 mm

### Coupon

## 5. Pembuatan Larutan NaCl 3,5%

Padatan NaCl

- Menimbang sebanyak 35,24 gram
- Memasukkan dalam labu ukur 1000 ml dan diencerkan hingga tanda batas menggunakan aquades

Larutan NaCl 3,5%

## 6. Prosedur Uji Tafel Polarisasi

Spesimen dan Larutan Elektrolit

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

Menjalankan program Nova 1.7

- Menyalakan program Nova 1.7
- Memilih program Polarisasi Linear sebagai program yang diinginkan

A

- Memasukkan parameter parameter pengujian

yang diperlukan, seperti densitas, range pengujian dan lain lain.

A

- Melakukan pengujian dengan mengklik *run*
- Didapatkan kurva polarisasi
- Melakukan fitting pada kurva polarisasi untuk menentukan nilai  $E_{corr}$ ,  $I_{corr}$ , Laju korosi, Beta katodik, dan beta anodik

Diperoleh data korosi yang diperlukan

## 7. Prosedur Uji EIS

Spesimen dan Larutan Elektrolit

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

Menjalankan program Nova 1.7

- Menyalakan program Nova 1.7
- Memilih program EIS sebagai program yang diinginkan
- Memilih *setup view* lalu pilih *measurement*

Δ

*impedance* untuk mengisi parameter pada EIS

A

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

Equivalent circuit dan Parameter elektrokimia

## LAMPIRAN B

### Pembuatan Larutan NaCl 3,5%

Diketahui : massa pelarut = 1000 mL

Ditanya : massa NaCl yang dilarutkan ?

Jawab :

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

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

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

$$m = \rho \times V$$

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

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

sehingga massa NaCl yang dilarutkan adalah

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

## Perhitungan konsentrasi Inhibitor

Diketahui : Konsentrasi inhibitor = 2000 ppm

$$= 2000 \text{ mg/l}$$

$$\rho \text{ larutan} = 1,007 \text{ g/ml}$$

$$\text{Volume elektrolit} = 500 \text{ ml}$$

Ditanya : Massa inhibitor yang ditambahkan dalam pelarut ?

Jawab :

$$\frac{X \text{ mg}}{500000 \times 1,007} \times 1000000 = 2000$$

$$X = 1007,049 \text{ mg}$$

$$X = 1,007 \text{ gram}$$

# LAMPIRAN C

## 1. Hasil Pengujian Spektrometer



**barata indonesia** PT. (PERSERO)

UNIT FOUNDRY GRESIK

### Chemical Results

Sample No : API 5L Grade B

Customer : ITS

Furnace : NA

Name of Equipment : NA

Heat No : NA

Order No : NA

Lab. No : 28102016/00

Material :

Spektralanalyzer Foundry-MASTER

Grade :

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	N	Pb	Sn
1	99,1	0,116	0,222	0,378	0,0289	0,0076	0,0331	0,0027	0,0073	0,0023	0,0048	0,0092	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	0,0182	< 0,0025	0,0013
Ave	99,1	0,116	0,222	0,378	0,0289	0,0076	0,0331	0,0027	0,0073	0,0023	0,0048	0,0092	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	0,0182	< 0,0025	0,0013
	B	Ca	Zr	Ba	As	H	Sb											
1	< 0,0003	0,0006	< 0,0015	0,0140	0,0028	0,0296	< 0,0030											
Ave	< 0,0003	0,0006	< 0,0015	0,0140	0,0028	0,0296	< 0,0030											

Town  
Gresik

Date  
28/10/2015

Tester  
M. Widi Susanto

QC. Manager  
Beny Andika ST

**barata indonesia**  
PT. (PERSERO)

Jl. VETERAN No. 241 - GRESIK 61123  
Telp. (031) 3990555 Fax. (031) 3990666  
Web: www.barata.co.id e-mail: info@barata.co.id

## 2. Hasil Pengujian Spektrofotometri

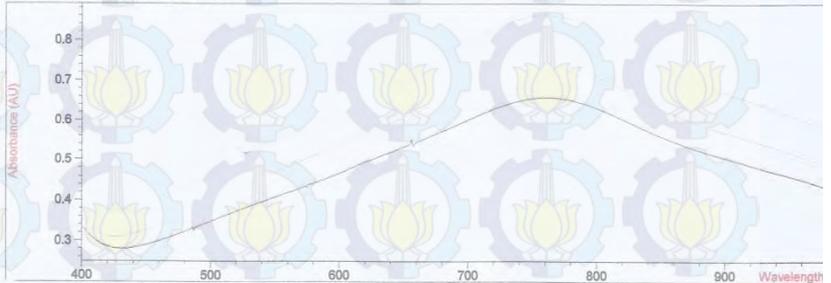
Quantification Report

Date 12/10/2015 Time 13:46:21 Page 1 of

Method file : <untitled>  
Information : Default Method

Data File : <untitled>

Overlaid Sample Spectra



Analyte name : Tanin  
Calibration equation: Conc. = 33.01300 ppm \* Abs

Calibrated at : Date 12/10/2015 Time 12:11:06 PM Operator: C

#	Name	Dilut. Factor	Tanin (ppm)	Abs<765nm>
1	Tanin 12-133a	1.00000	21.71200	0.65768
2	Tanin 12-133b	1.00000	21.84100	0.66158
3	Tanin 12-134a	1.00000	28.39000	0.85996
4	Tanin 12-134b	1.00000	28.41900	0.86083
5	Tanin 12-135a	1.00000	24.49600	0.74199
6	Tanin 12-135b	1.00000	24.49000	0.74182

Report generated by : Octa

Signature: 

\*\*\* End Quantification Report \*\*\*

### 3. Hasil Pengujian Weight Loss

#### a. Perendaman 72 jam

Jenis Inhibitor Daun Belimbing Wuluh		Wo (gram)	W1 (gram)	Selisih (gram)	Weight Loss (mm/year)	Rata-rata (mm/year)	Efisiensi Inhibitor (%)
Tanpa Inhibitor	A	10,998	10,9778	0,0202	3,082713725	0,202951	0
	B	12,5786	12,5682	0,0104	1,42716708		
	C	12,186	12,1748	0,0112	1,578656399		
Maserasi	A	11,0599	11,0528	0,0071	1,051293479	0,091287	55,0815376
	B	12,5499	12,5437	0,0062	0,842278974		
	C	12,1955	12,1893	0,0062	0,841304841		
MAE	A	11,1479	11,1414	0,0065	0,944664645	0,107058	47,2492686
	B	11,3253	11,3167	0,0086	1,220572128		
	C	11,5147	11,5076	0,0071	1,0465105		
Refluks	A	11,5816	11,5735	0,0081	1,148474919	0,104459	48,5301759
	B	10,5636	10,5568	0,0068	1,005850186		
	C	11,0568	11,0501	0,0067	0,979433667		

## b. Perendaman 144 jam

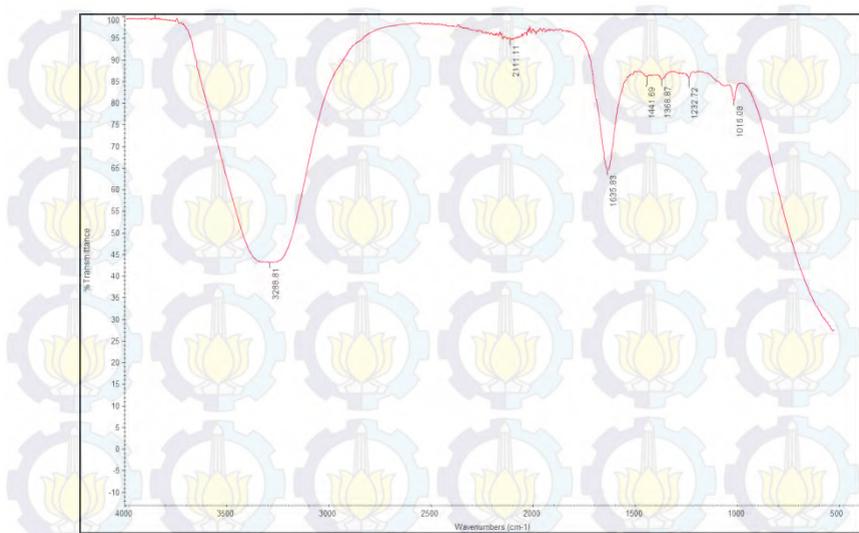
Jenis Inhibitor		W <sub>0</sub> (gram)	W <sub>1</sub> (gram)	Selisih (gram)	Weight Loss (mm/year)	Rata-rata (mm/year)	Efisiensi Inhibitor (%)
Tanpa Inhibitor	A	12,1337	12,1146	0,0191	1,24512609	0,168663	0
	B	12,9737	12,9526	0,0211	1,384496978		
	C	11,7826	11,7628	0,0198	1,386041354		
Maserasi	A	12,3015	12,2863	0,0152	1,032905575	0,10817	35,866
	B	12,3569	12,3431	0,0138	0,901856418		
	C	11,0558	11,0457	0,0101	0,657647373		
MAE	A	11,8376	11,8247	0,0129	0,905003665	0,125522	25,578
	B	11,9808	11,9644	0,0164	1,116053791		
	C	12,4873	12,4736	0,0137	0,961284567		
Refluksi	A	10,1129	10,1005	0,0124	0,965533987	0,121923	27,711
	B	12,247	12,233	0,014	0,946645409		
	C	12,7272	12,7125	0,0147	0,960520858		

### c. Perendaman 216 jam

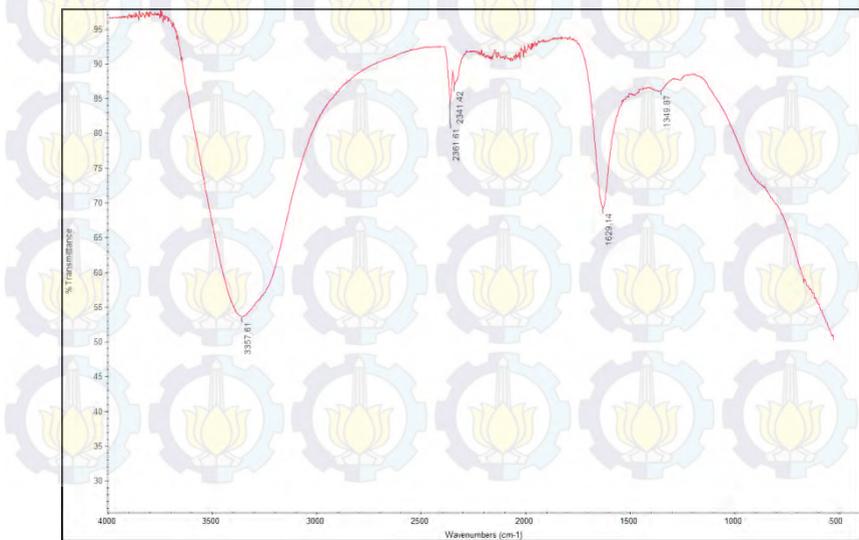
Jenis Inhibitor		Wo (gram)	W1 (gram)	Selisih (gram)	Weight Loss (mm/year)	Rata-rata (mm/year)	Efisiensi Inhibitor (%)
Tanpa Inhibitor	A	10,9197	10,8935	0,0262	1,277911379	0,129079	0
	B	10,8672	10,8434	0,0238	1,150327205		
	C	10,744	10,7156	0,0284	1,444135337		
Maserasi	A	11,7	11,6759	0,0241	1,102896031	0,098771	23,48
	B	11,9772	11,9546	0,0226	1,019812766		
	C	12,4213	12,3983	0,023	1,022664204		
MAE	A	11,4016	11,3798	0,0218	1,040437764	0,113498	12,0708137
	B	12,2595	12,2344	0,0251	1,138781812		
	C	12,289	12,2614	0,0276	1,225726491		
Refluksi	A	10,8642	10,8401	0,0241	1,14730993	0,10856	15,8963817
	B	12,9273	12,9046	0,0227	0,972201458		
	C	11,015	10,9912	0,0238	1,137294419		

## 4. Hasil Pengujian FTIR

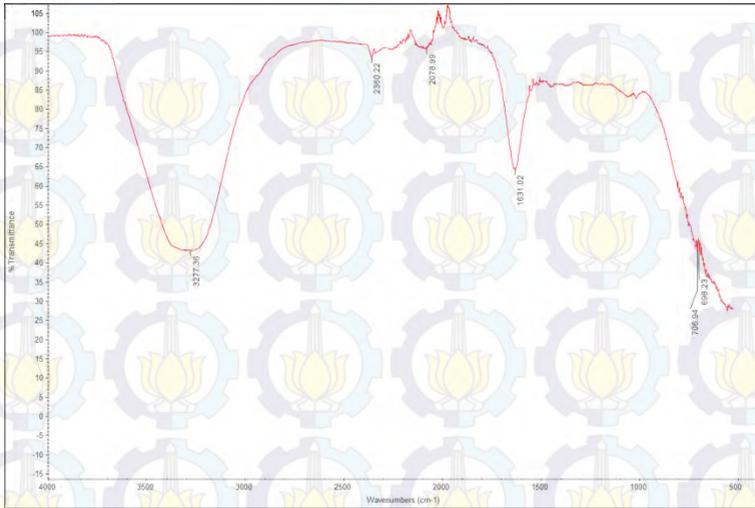
### a. Ekstrak Maserasi



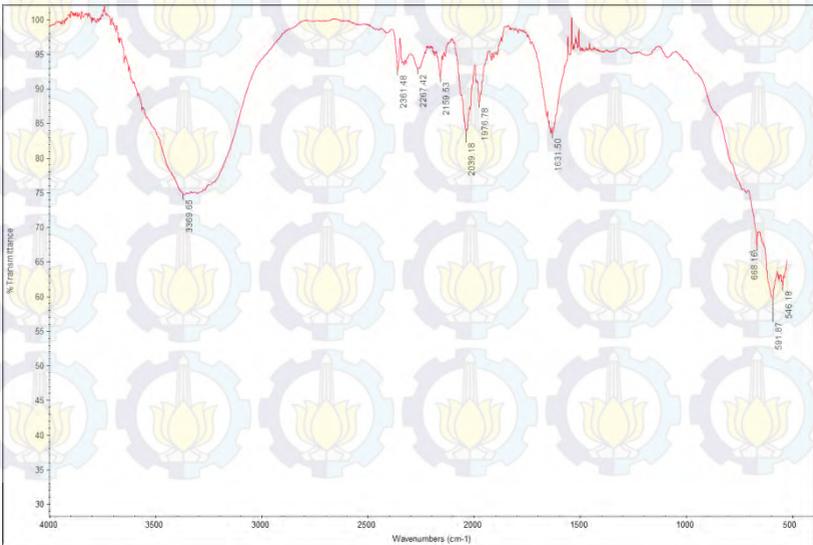
### Spesimen Uji setelah perendaman



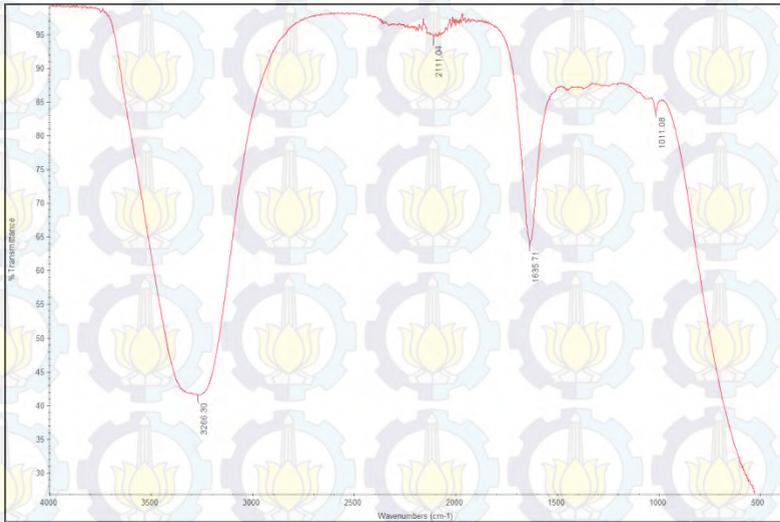
## b. Ekstrak Refluks



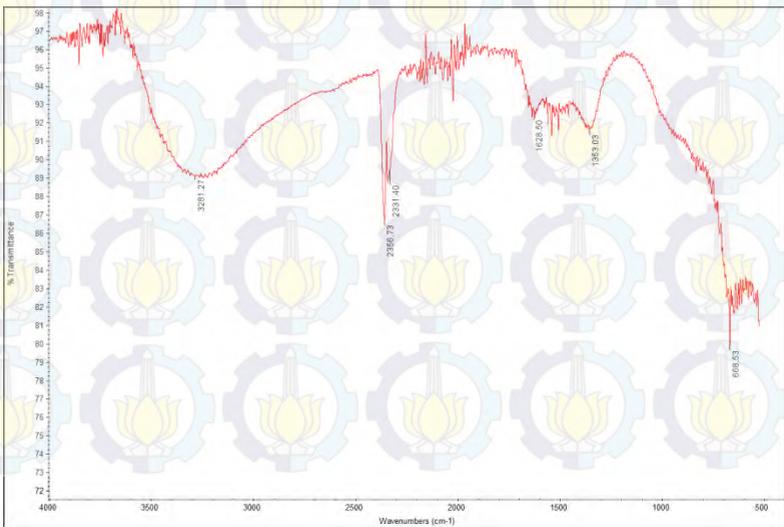
## Spesimen Uji setelah perendaman



### C. Ekstrak MAE



### Spesimen uji setelah perendaman



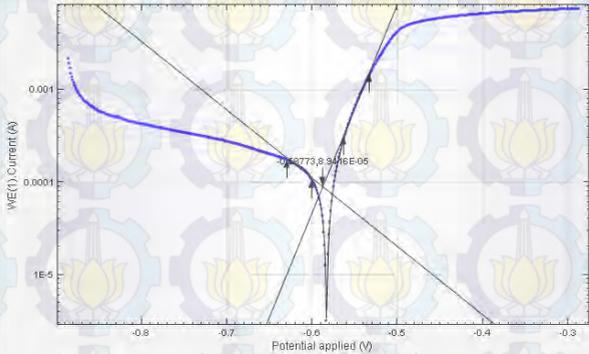
## 5. Hasil Pengujian Polarisasi

### • Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : API 5L Grade B non inhibitor

Larutan elektrolit : NaCl 3,5%

Linear polarization Base API 5L Grade B Non Inhibit  
DCP determination  
DCP value = -0.587  
LSV staircase  
Log(I) vs E  
Corrosion rate, fit  
Corrosion rate, fit  
ba (V/dec) = -181.330 mV/dec  
bc (V/dec) = 74.1590 mV/dec  
Ecorr, Calc (V) = -587.730 mV  
Ecorr, Obs (V) = -583.280 mV  
icorr (A/cm<sup>2</sup>) = 97.2380  $\mu$ A/cm<sup>2</sup>  
icorr (A) = 505.950  $\mu$ A  
Corrosion rate (mm/year) = 1.1316  
Polarization resistance (Ω) = 107.460 Ω  
E Begin (V) = -623.580 mV  
E End (V) = -532.380 mV  
 $\chi^2$  = 1.9104E-9  
Iterations = 52



Density (g/cm<sup>3</sup>)

Equivalent weight (g/mol)

Surface area (cm<sup>2</sup>)

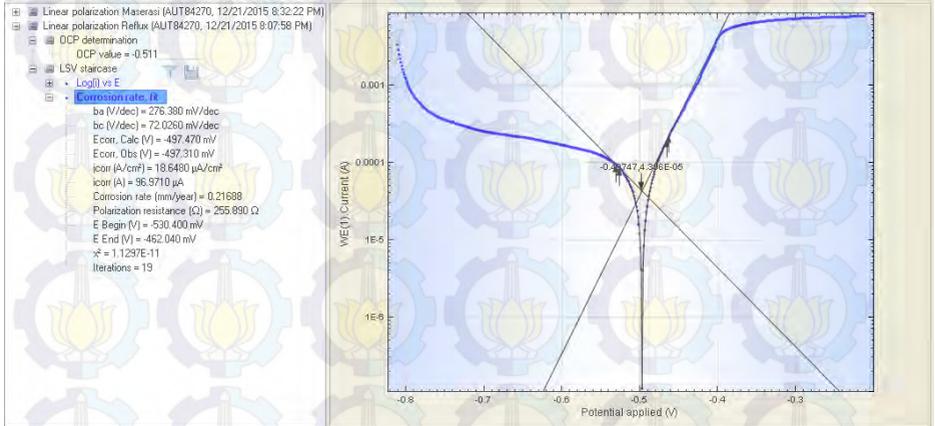
Number of significant digits



- Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)**

Nama Sample : API 5L Grade B Refluks

Larutan elektrolit : NaCl 3,5%



Density (g/cm<sup>3</sup>)

7.853

Equivalent weight (g/mol)

27.925

Surface area (cm<sup>2</sup>)

5.2

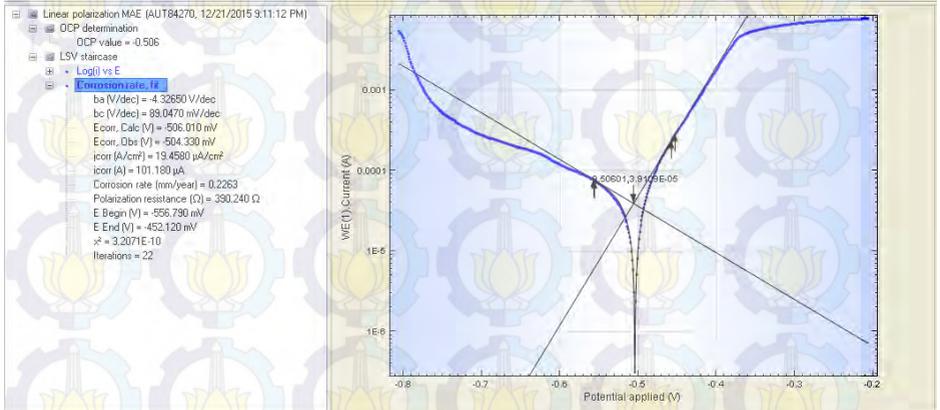
- Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)**

Nama Sample

: API 5L Grade B MAE

Larutan elektrolit

: NaCl 3,5%



Density (g/cm<sup>3</sup>)

7.853

Equivalent weight (g/mol)

27.925

Surface area (cm<sup>2</sup>)

5.2

## 6. Hasil Pengujian EIS

### a. Uji EIS Tanpa Inhibitor

Index	Frequency (Hz)	Z' ( $\Omega$ )	-Z'' ( $\Omega$ )	Z ( $\Omega$ )	-Phase ( $^{\circ}$ )	Time (s)
24	4036,9	1,32919	0,041103	1,32983	1,77122	110,38
25	3511,13	1,33162	0,041473	1,33227	1,78387	113,181
26	3053,84	1,33432	0,041909	1,33498	1,79897	115,929
28	2310,04	1,34091	0,042844	1,34159	1,83005	121,321
29	2009,15	1,34436	0,043327	1,34505	1,84596	124,101
31	1519,92	1,35122	0,043787	1,35192	1,85606	131,63
32	1321,91	1,35475	0,043843	1,35546	1,85358	134,307
34	999,987	1,36321	0,043206	1,36389	1,81534	139,821
36	756,457	1,37145	0,041271	1,37207	1,72369	145,292
37	657,931	1,3758	0,03989	1,37638	1,66076	148,07
39	497,699	1,38334	0,036131	1,38381	1,49613	153,589
40	432,879	1,38672	0,033773	1,38714	1,39512	156,37
42	327,446	1,39152	0,028736	1,39182	1,18303	161,834
44	247,709	1,39483	0,022781	1,39502	0,935712	167,354

46	187,378	1,39928	0,018095	1,3994	0,740873	172,994
47	162,978	1,40086	0,015648	1,40095	0,639965	175,728
48	141,747	1,40126	0,013547	1,40132	0,553895	178,574
50	107,229	1,40084	0,009819	1,40088	0,401595	184,276
51	93,2589	1,40086	0,008416	1,40089	0,344218	187,103
52	81,1126	1,40063	0,007002	1,40065	0,286441	189,966
24	4036,9	1,32919	0,041103	1,32983	1,77122	110,38
25	3511,13	1,33162	0,041473	1,33227	1,78387	113,181
26	3053,84	1,33432	0,041909	1,33498	1,79897	115,929
28	2310,04	1,34091	0,042844	1,34159	1,83005	121,321
29	2009,15	1,34436	0,043327	1,34505	1,84596	124,101
31	1519,92	1,35122	0,043787	1,35192	1,85606	131,63
32	1321,91	1,35475	0,043843	1,35546	1,85358	134,307
34	999,987	1,36321	0,043206	1,36389	1,81534	139,821
36	756,457	1,37145	0,041271	1,37207	1,72369	145,292
37	657,931	1,3758	0,03989	1,37638	1,66076	148,07
39	497,699	1,38334	0,036131	1,38381	1,49613	153,589
40	432,879	1,38672	0,033773	1,38714	1,39512	156,37

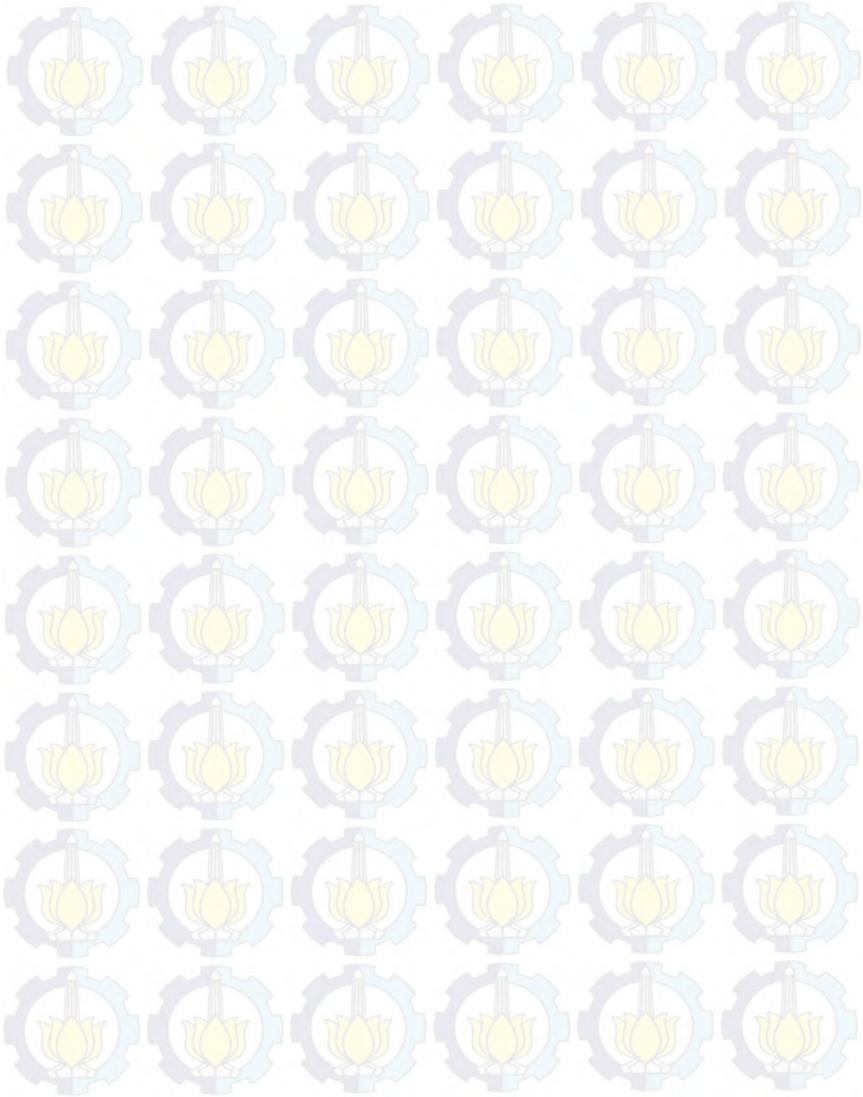
42	327,446	1,39152	0,028736	1,39182	1,18303	161,834
44	247,709	1,39483	0,022781	1,39502	0,935712	167,354
46	187,378	1,39928	0,018095	1,3994	0,740873	172,994
47	162,978	1,40086	0,015648	1,40095	0,639965	175,728
48	141,747	1,40126	0,013547	1,40132	0,553895	178,574
50	107,229	1,40084	0,009819	1,40088	0,401595	184,276
51	93,2589	1,40086	0,008416	1,40089	0,344218	187,103
52	81,1126	1,40063	0,007002	1,40065	0,286441	189,966

**b. Hasil Uji EIS Penambahan Inhibitor**

Frequency (Hz)	Z' ( $\Omega$ )	-Z'' ( $\Omega$ )	Z ( $\Omega$ )	-Phase ( $^\circ$ )	Time (s)
4036,9	1,4644	0,054993	1,46543	2,15062	96,0097
3053,84	1,47313	0,05549	1,47417	2,15722	101,508
2310,04	1,48261	0,055857	1,48367	2,15757	106,898
1747,52	1,49454	0,055507	1,49557	2,127	112,448
1519,92	1,4996	0,054945	1,50061	2,09835	115,135

<b>1149,8</b>	<b>1,51225</b>	<b>0,052222</b>	<b>1,51315</b>	<b>1,97777</b>	<b>120,602</b>
<b>999,987</b>	<b>1,51752</b>	<b>0,050312</b>	<b>1,51836</b>	<b>1,89889</b>	<b>123,324</b>
<b>869,751</b>	<b>1,52155</b>	<b>0,047976</b>	<b>1,5223</b>	<b>1,80599</b>	<b>126,116</b>
<b>657,931</b>	<b>1,53095</b>	<b>0,042799</b>	<b>1,53155</b>	<b>1,60132</b>	<b>131,62</b>
<b>497,699</b>	<b>1,53804</b>	<b>0,035851</b>	<b>1,53846</b>	<b>1,33531</b>	<b>137,149</b>
<b>327,446</b>	<b>1,54736</b>	<b>0,025755</b>	<b>1,54757</b>	<b>0,953587</b>	<b>145,399</b>
<b>187,378</b>	<b>1,55208</b>	<b>0,013907</b>	<b>1,55215</b>	<b>0,513369</b>	<b>156,603</b>
<b>4036,9</b>	<b>1,4644</b>	<b>0,054993</b>	<b>1,46543</b>	<b>2,15062</b>	<b>96,0097</b>
<b>3053,84</b>	<b>1,47313</b>	<b>0,05549</b>	<b>1,47417</b>	<b>2,15722</b>	<b>101,508</b>
<b>2310,04</b>	<b>1,48261</b>	<b>0,055857</b>	<b>1,48367</b>	<b>2,15757</b>	<b>106,898</b>
<b>1747,52</b>	<b>1,49454</b>	<b>0,055507</b>	<b>1,49557</b>	<b>2,127</b>	<b>112,448</b>
<b>1519,92</b>	<b>1,4996</b>	<b>0,054945</b>	<b>1,50061</b>	<b>2,09835</b>	<b>115,135</b>
<b>1149,8</b>	<b>1,51225</b>	<b>0,052222</b>	<b>1,51315</b>	<b>1,97777</b>	<b>120,602</b>
<b>999,987</b>	<b>1,51752</b>	<b>0,050312</b>	<b>1,51836</b>	<b>1,89889</b>	<b>123,324</b>
<b>869,751</b>	<b>1,52155</b>	<b>0,047976</b>	<b>1,5223</b>	<b>1,80599</b>	<b>126,116</b>
<b>657,931</b>	<b>1,53095</b>	<b>0,042799</b>	<b>1,53155</b>	<b>1,60132</b>	<b>131,62</b>
<b>497,699</b>	<b>1,53804</b>	<b>0,035851</b>	<b>1,53846</b>	<b>1,33531</b>	<b>137,149</b>
<b>327,446</b>	<b>1,54736</b>	<b>0,025755</b>	<b>1,54757</b>	<b>0,953587</b>	<b>145,399</b>

<b>187,378</b>	<b>1,55208</b>	<b>0,013907</b>	<b>1,55215</b>	<b>0,513369</b>	<b>156,603</b>
----------------	----------------	-----------------	----------------	-----------------	----------------



## BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama Yoshua Kusuma Putra. Lahir di Gresik pada tanggal 21 Mei 1993. Penulis merupakan anak ketiga dari pasangan Ir. Andreas Sugiarto dan Tatik Mulyati. Penulis telah menempuh jenjang pendidikan di SDN Pongangan 1 Gresik, SMPN 3 Gresik, SMAN 1 Gresik, dan hingga sekarang menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS.

Selama masa perkuliahan penulis aktif berorganisasi. Pada tahun 2013/2014 penulis menjadi staff BSO Material Techno Club Divisi Unit Kerja Antasena HMMT FTI-ITS.. Pada tahun 2014/2015 penulis menjadi Penanggung Jawab Forum Musik Material BSO Minat Bakat HMMT FTI-ITS.

Penulis melakukan kerja praktik di PT Petrokimia Gresik dengan penelitian mengenai analisa kegagalan superheater watertube boiler. Kemudian penulis meneliti green corrosion inhibitor di bidang korosi dan kegagalan material sebagai bahan tugas akhir. Email yang dapat dihubungi yaitu [yoshuakusuma@yahoo.com](mailto:yoshuakusuma@yahoo.com).