



TUGAS AKHIR - TL 091584

**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 NaCl 3,5%**

SHEBY SARA SANDY NRP. 2711 100 107

**DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA.
NIP. 19620326 1987 01 1 001**

**MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2015**



FINAL PROJECT - TL 141584

THE ADDITION EFFECT OF GRAPE POMACE (*Vitis vinifera*) AND KUMIS KUCING LEAVES (*Orthosiphon stamineus*) EXTRACTS AS GREEN CORROSION INHIBITORS ON API 5L GRADE B STEEL IN THE NaCl 3,5% MEDIA

SHEBY SARA SANDY NRP. 2711 100 107

LECTURER

Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA.

NIP. 19620326 1987 01 1 001

**MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2015**

**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 NaCl 3,5%**

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 :

SHEBY SARA SANDY
NRP. 2711 100 107

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

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



**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 NaCl 3,5%**

Nama : Sheby Sara Sandy
NRP : 2711100107
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA

Abstrak

Ekstrak ampas anggur (*Vitis vinifera*) dan daun kumis kucing (*Orthosiphon stamineus*) merupakan bahan organik yang dapat digunakan sebagai bio-inhibitor korosi. Dalam penelitian ini diaplikasikan pada baja API 5L grade B dalam lingkungan NaCl 3,5%. Variasi konsentrasi dari inhibitor ampas anggur dan daun kumis kucing adalah 0, 100, 200, 300, 400, dan 500 mg/L serta 0, 1000, 2000, 3000, 4000, dan 5000 mg/L. Untuk menganalisa pengaruh penambahan dari kedua inhibitor tersebut, maka dilakukan serangkaian pengujian. Uji spectrometer untuk mengetahui komposisi kimia baja, uji Uv-Vis untuk mengetahui total flavonoid inhibitor, uji FTIR, uji weight loss, Tafel polarisasi, dan EIS. Dari hasil uji weight loss diperoleh laju korosi terendah pada penambahan inhibitor ampas anggur dan daun kumis kucing masing-masing sebesar 1,4826 mpy dan 0,3432 mpy. Efisiensi inhibisi tertinggi diperoleh ketika penambahan inhibitor ampas anggur sebanyak 400 mg/L dan daun kumis kucing sebanyak 3000 mg/L.

Kata Kunci: baja karbon rendah, inhibitor organik, NaCl 3,5%,
orthosiphon stamineus, *vitis vinifera*



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**THE ADDITION EFFECT OF GRAPE POMACE (*Vitis vinifera*)
AND KUMIS KUCING LEAVES (*Orthosiphon stamineus*)
EXTRACTS AS GREEN CORROSION INHIBITOR ON
API 5L GRADE B STEEL IN THE NaCl 3,5% MEDIA**

Name : Sheby Sara Sandy
NRP : 2711100107
Department : Materials and Metallurgical Engineering
Lecturer : Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA

Abstract

Grape pomace (*Vitis vinifera*) and kumis kucing leaves (*Orthosiphon stamineus*) extracts are organic substances which can be used as bio-corrosion inhibitor. In this study, each of extract is applied for API 5L grade B steel in 3,5% NaCl. The variations of concentration for each grape pomace and kumis kucing leaves extract are 0, 100, 200, 300, 400, 500 mg/L, and also 0, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 mg/L. To analyze the addition effect for each inhibitor, then performed a series of examination. The spectrometer test is used to determine the chemical composition of specimen, Uv-Vis test to determine total flavonoid, FTIR, weight loss, tafel polarization and EIS. From the weight loss result is obtained by the lowest corrosion rate for the addition of grape pomace and kumis kucing leaves are 1,4826 mpy and 0,3432 mpy, respectively. The highest inhibition efficiency obtained at 400 mg/L for grape pomace and 3000 mg/L for kumis kucing leaves inhibitors.

Keywords: low carbon steel, NaCl 3,5%, organic inhibitors, orthosiphon stamineus, Vitis vinifera



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul **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 NaCl 3,5%**. 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 kerja praktik ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah memberi dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga laporan kerja praktik ini dapat diselesaikan berikut:

1. Allah SWT karena dengan rahmat dan kuasa-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan kerja praktik ini dengan baik dan tepat waktu.
2. Papa dan Mama, Bapak M. Nur dan Ibu Erni Sri Kuswati yang telah memberikan banyak doa, dukungan, semangat, cinta kasih motivasi dan inspirasi.

3. Dr. Sungging Pintowantoro, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.
4. Yuli Setyorini, ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.
5. Prof. Dr. Ir. Sulistijono selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir penulis.
6. Seluruh dosen Teknik Material dan Metalurgi yang telah membimbing penulis hingga terciptanya laporan ini.
7. Fiki Maizal Candra yang telah menjadi kekasih dan partner tugas akhir selama ini. Terima kasih telah menjadi motivator dan inspirator bagi penulis.
8. Teman-teman Laboratorium Korosi dan Analisa Kegagalan yang telah menemani penulis selama melaksanakan kegiatan praktikum, Terima kasih Naufal, Kikin, Trendy, Zakky, Duo Fariz, Yusli, dan Jimmy.
9. Teman-teman seperjuangan MT 13.
10. 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,

Sheby Sara Sandy

2711100107



DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	v
Abstrak	vii
Kata Pengantar	ix
Daftar Isi	xiv
Daftar Gambar	xviii
Daftar Tabel	xxii
Bab I Pendahuluan	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan	5
1.5. Manfaat Penelitian	5
1.6. Sistematika Penulisan	6
Bab II Tinjauan Pustaka	
2.1. Definisi dan Mekanisme Korosi	9
2.2. Baja API 5L Grade B	13
2.3. Korosi pada Baja Karbon Rendah	15
2.4. Air Laut	16
2.5. Korosi Baja pada Lingkungan NaCl 3,5%	19
2.6. Pengendalian Korosi	19
2.7. Mekanisme Kerja Inhibitor Korosi	22
2.8. Inhibitor Organik	24

2.8.1. Inhibitor Daun Teh (<i>Camelia sinensis</i>).....	28
2.8.2. Inhibitor Grape Pomace	30
2.9. Buah Anggur	33
2.10. Daun Kumis Kucing	34
2.11. Pengujian Uv-Vis	35
2.12. Pengujian FTIR	38
2.13. Pengujian Weight Loss	42
2.14. Pengujian Tafel Polarisasi.....	46
2.15. Pengujian	48

Bab III Metode Penelitian

3.1. Diagram Alir Penelitian	51
3.2. Material dan Komposisi Kimia	51
3.3. Prosedur Penelitian	53
3.3.1. Pemilihan Buah Anggur, Daun Kumis Kucing dan Larutan Elektrolit	54
3.3.2. Preparasi	55
3.3.2.1. Preparasi Buah Anggur dan Daun Kumis Kucing ..55	
3.3.2.2. Preparasi Spesimen Baja API 5L grade B.....	60
3.3.2.3. Preparasi Larutan Elektrolit	62
3.4. Pengujian	63
3.4.1. Pengujian Spektrofotometri Uv-Vis	63
3.4.2. Pengujian Weight Loss	65
3.4.3. Pengujian FTIR	67
3.4.4. Pengujian Tafel Polarisasi.....	68
3.4.5. Pengujian EIS.....	70

Bab IV Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil	73
4.1.1. Hasil Pengujian Spektrometer.....	73
4.1.2. Hasil Pengujian Uv-Vis.....	75
4.1.3. Hasil Pengujian FTIR.....	79
4.1.4. Hasil Pengujian Weight Loss.....	90
4.1.5. Hasil Pengujian Tafel Polarisasi	103
4.1.6. Hasil Pengujian EIS	111
4.2. Pembahasan	123

Bab V Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan	124
5.2. Saran.....	123

Daftar Pustaka..... 126

Lampiran

Biografi Penulis



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Komposisi Kimia Pipa API 5L Grade B.....	15
Tabel 2.2. Konsentrasi Rata-Rata dari 11 Ion dan Molekul Terbanyak dalam Air Laut Bersih	18
Tabel 2.3. Data weight loss baja karbon dalam 1 M HCl setelah perendaman 4 dan 24 jam pada 25 ⁰ C.....	32
Tabel 2.4. Pita absorpsi UV dari Flavonoid	38
Tabel 2.5. Konstanta Laju Korosi.....	44
Tabel 3.1. Komposisi Kimia Baja API 5L Grade B	53
Tabel 4.1. Komposisi Kimia Baja API 5L Grade B	74
Tabel 4.2. Total Flavonoid pada Inhibitor Ampas Anggur	77
Tabel 4.3. Total Flavonoid pada Inhibitor Daun Kumis Kucing	79
Tabel 4.4. Analisa Gugus Fungsi FTIR pada Penambahan Inhibitor Ampas Anggur	85
Tabel 4.5. Analisa Gugus Fungsi FTIR pada Penambahan Inhibitor Daun Kumis Kucing	89
Tabel 4.6. Derajat Surface Coverage pada API 5 L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Ampas Anggur.....	94
Tabel 4.7. Energi Bebas Adsorpsi pada Penambahan Inhibitor Ampas Anggur	95
Tabel 4.8. Nilai pH pada Penambahan Inhibitor Ampas Anggur	96

Tabel 4.9. Derajat Surface Coverage pada API 5 L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Daun Kumis Kucing.....	101
Tabel 4.10. Energi Bebas Adsorpsi pada Penambahan Inhibitor Daun Kumis Kucing	102
Tabel 4.11. Nilai pH pada Penambahan Inhibitor Daun Kumis Kucing	102
Tabel 4.12. Hasil Analisa Tafel pada Penambahan Inhibitor Ampas Anggur	108
Tabel 4.13. Tabel Analisa Tafel pada Penambahan Inhibitor Daun Kumis Kucing	110
Tabel 4.14. Parameter Elektrokimia dari Electrochemical Circle Fit dengan Penambahan Inhibitor Ampas Anggur	114
Tabel 4.15. Parameter Elektrokimia dari Fit and Simulation dengan Penambahan Inhibitor Ampas Anggur	116
Tabel 4.16. Parameter Elektrokimia dari Electrochemical Circle Fit dengan Penambahan Inhibitor Daun Kumis Kucing	120
Tabel 4.17. Parameter Elektrokimia dari Fit and Simulation dengan Penambahan Inhibitor Daun Kumis Kucing	122

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Skema Sel Korosi	11
Gambar 2.2. Diagram Polarisasi Potensiostat: Perilaku Elektrokimia Logam dalam Larutan yang mengandung Inhibitor Katodik dan Anodik (a) perbandingan Larutan yang sama tanpa Inhibitor (b)	25
Gambar 2.3. Ilustrasi Mekanisme Inhibitor Organik, berperan melalui Adsorpsi Inhibitor diatas permukaan Logam	26
Gambar 2.4. Grafik Pengaruh Konsentrasi Inhibitor terhadap Laju Korosi Baja Karbon Schedule 40 Gr B dalam NaCl 3%	29
Gambar 2.5. Spektra FT-IR dari ekstrak crude (A) dan concentrated (B) grape pomace.....	30
Gambar 2.6. Ikatan dalam Flavonoid untuk transisi logam	32
Gambar 2.5. Struktur Proantocyanidin pada Ekstrak Kulit <i>Vitis vinifera</i>	34
Gambar 2.6. Skema Kurva Polarisasi yang Menunjukkan Ekstrapolasi Tafel.....	46
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	51
Gambar 3.2. Serbuk Ampas Anggur.....	56
Gambar 3.3. Serbuk Daun Kumis Kucing	57
Gambar 3.4. Rangkaian Peralatan Ekstrak.....	59

Gambar 3.5. Spesimen Uji Weight Loss	60
Gambar 3.6. Spesimen Uji Tafel Polarisasi.....	61
Gambar 3.7. Spesimen Uji EIS.....	62
Gambar 3.8. Peralatan Uv-Vis untuk Uji Flavonoid Total	65
Gambar 3.9. Pengujian Weight Loss	66
Gambar 3.10. Peralatan Uji FTIR.....	68
Gambar 3.11. Peralatan Polarisasi Linear	70
Gambar 3.12. Alat Uji EIS	71
Gambar 4.1. Overlaid Spectra pada Inhibitor Ampas Anggur	76
Gambar 4.2. Overlaid Spectra pada Daun Kumis Kucing.....	78
Gambar 4.3. Spektrum FTIR Ekstrak Ampas Anggur	81
Gambar 4.4. Spektrum FTIR Baja API 5L grade B dengan Penambahan Inhibitor Ampas Anggur 400 mg/L.....	83
Gambar 4.5. Gabungan Spektrum FTIR Inhibitor Ampas Anggur dan Baja API 5L grade B.....	84
Gambar 4.6. Spektrum FTIR Ekstrak Ampas Anggur	86
Gambar 4.7. Spektrum FTIR Baja API 5L grade B dengan Penambahan Inhibitor Daun Kumis Kucing 3000 mg/L.....	88
Gambar 4.8. Gabungan Spektrum FTIR Inhibitor Daun Kumis Kucing dan Baja API 5L grade B.....	88
Gambar 4.9. Grafik Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Ampas Anggur terhadap Laju Korosi API 5L Grade B.....	91

Gambar 4.10. Grafik Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Ampas Anggur terhadap Efisiensi Inhibisi API 5L Grade B	91
Gambar 4.11. Grafik Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Daun Kumis Kucing terhadap Laju Korosi API 5L Grade B.....	98
Gambar 4.12. Grafik Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Daun Kumis Kucing terhadap Efisiensi Inhibisi API 5L Grade B.....	99
Gambar 4.13. Kurva Polarisasi NaCl 3,5% tanpa Inhibitor	105
Gambar 4.14. Kurva Polarisasi NaCl 3,5% dengan Penambahan Inhibitor Ampas Anggur 400 mg/L	107
Gambar 4.15. Kurva Polarisasi NaCl 3,5% dengan Penambahan Inhibitor Daun Kumis Kucing 3000 mg/L.....	110
Gambar 4.16. Nyquist Plot API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Ampas Anggur dalam NaCl 3,5%	112
Gambar 4.17. Analisa Fitting pada Electrochemical Circle Fit dengan Penambahan Inhibitor Ampas Anggur	113
Gambar 4.18. Analisa Fitting pada Fit and Simulation dengan Penambahan Inhibitor	

Ampas Anggur	115
Gambar 4.19. Equivalent circuit pada Penambahan Inhibitor Ampas Anggur dalam larutan NaCl 3,5%	118
Gambar 4.20. Nyquist Plot API 5L grade B dengan Penambahan Inhibitor Daun Kumis Kucing dalam NaCl 3,5%.....	119
Gambar 4.21. Analisa Fitting pada Electrochemical Circle Fit dengan Penambahan Inhibitor Daun Kumis Kucing	119
Gambar 4.22. Analisa Fitting pada Fit and Simulation dengan Penambahan Inhibitor Daun Kumis Kucing	121
Gambar 4.23. Equivalent circuit pada Inhibitor Daun Kumis Kucing 3000 mg/L dalam larutan NaCl 3,5%.....	123

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Penggunaan material logam dalam dunia industry sangat beragam. Pada industry minyak dan gas, terdapat banyak sekali aplikasi material logam khususnya baja karbon yang digunakan sebagai material pipa untuk proses distribusi minyak dari sumur hingga ke *plant*. Baja karbon merupakan material yang sangat umum untuk diaplikasikan karena selain ekonomis, juga mudah dalam proses pemesinan. Namun, baja karbon ini mudah terkena serangan korosi akibat lingkungannya.

Korosi adalah kerusakan material akibat interaksi kimia antara logam atau paduan logam dengan lingkungannya. Istilah korosi kadang-kadang juga diterapkan pada degradasi plastik, beton, dan kayu, tetapi umumnya mengacu pada logam. Korosi dapat menyebabkan kerusakan struktur logam dan paduan yang berakibat pada konsekuensi ekonomi dalam hal kerugian perbaikan, penggantian produk, keselamatan, dan pencemaran lingkungan. Oleh karena efeknya cukup berbahaya, korosi merupakan fenomena yang tidak diinginkan yang seharusnya bisa dicegah^[1].

Hampir semua material apabila berinteraksi dengan lingkungannya secara perlahan tapi pasti, akan mengalami degradasi mutu bahan, pengertian ini didefinisikan sebagai

korosi. Proses korosi merupakan suatu gejala alamiah yang merupakan konsekuensi dari siklus hidup^[2]. Dalam mencegah korosi dan laju korosi dapat digunakan penambahan inhibitor. Inhibitor korosi adalah zat yang, ketika ditambahkan dalam konsentrasi kecil untuk lingkungan, efektif mengurangi laju korosi logam terkena lingkungan tersebut. Salah satu alternatif dari inhibitor adalah ekstrak bahan alam khususnya senyawa yang mengandung atom N, O, P, S, dan atom-atom yang memiliki pasangan elektron bebas. Unsur-unsur yang mengandung pasangan elektron bebas ini nantinya dapat berfungsi sebagai ligan yang akan membentuk senyawa kompleks dengan logam. Sejauh ini penggunaan inhibitor merupakan salah satu cara yang paling efektif untuk mencegah korosi, karena biayanya yang relatif murah dan prosesnya yang sederhana^[3].

Inhibitor yang digunakan adalah ekstrak ampas anggur (*Vitis vinifera*) dan daun kumis kucing (*Orthosiphon stamineus*). Dalam beberapa tahun belakangan ini, sejumlah penelitian ilmiah menyebutkan bahwa kulit anggur memiliki kandungan resveratrol dan biji anggur memiliki kandungan proantosianidin, flavonoid serta polifenol yang cukup tinggi. Beberapa kandungan tersebut adalah golongan antioksidan yang terkandung dalam anggur, dimana kandungan antioksidannya 50 kali lebih besar daripada vitamin C biasa^[4]. Sedangkan pada daun kumis kucing memiliki kandungan fenolik, flavonoid dan tannin yang termasuk ke dalam golongan antioksidan^[5].

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh ekstrak ampas anggur (*Vitis vinifera*) dan daun kumis kucing (*Orthosiphon stamineus*) sebagai *green corrosion inhibitor* dalam media korosif 3,5% NaCl. Material yang digunakan adalah baja API 5L grade B dengan variasi konsentrasi inhibitor ampas anggur adalah 0, 100, 200, 300, 400 dan 500 mg/L. Sedangkan variasi konsentrasi inhibitor daun kumis kucing adalah 0, 1000, 2000, 3000, 4000, dan 5000 mg/L.

1.2. Perumusan Masalah

Salah satu pengendalian korosi adalah dengan penambahan inhibitor dalam lingkungannya. Terdapat dua macam inhibitor yang hingga saat ini digunakan di industri-industri, yaitu inhibitor anorganik (kimiawi) dan inhibitor organik (ekstrak bahan alam). Dalam pengaplikasian inhibitor anorganik terdapat beberapa kendala misalnya, tidak ramah lingkungan sehingga berpotensi merusak lingkungan sekitar. Oleh karena kendala tersebut, maka digunakan inhibitor organik dari ekstrak bahan alam yang *biodegradable* dan ekonomis. Pemilihan inhibitor ini berdasarkan kandungan antioksidannya, sehingga pada penelitian ini menggunakan ekstrak ampas anggur dan daun kumis kucing. Berdasarkan permasalahan diatas, maka berikut adalah perumusan masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini:

1. Bagaimana pengaruh penambahan ekstrak ampas anggur (*Vitis vinifera*) dengan variasi konsentrasi 0, 100, 200,

300, 400, dan 500 mg/L terhadap efisiensi inhibitor pada baja API 5L grade B di lingkungan NaCl 3,5%.

2. Bagaimana pengaruh penambahan ekstrak daun kumis kucing (*Orthosiphon stamineus*) dengan variasi konsentrasi 0, 1000, 2000, 3000, 4000, dan 5000 mg/L terhadap efisiensi inhibitor pada baja API 5L grade B di lingkungan NaCl 3,5%.
3. Bagaimana mekanisme inhibisi dari ekstrak ampas anggur (*Vitis vinifera*) dan daun kumis kucing (*Orthosiphon stamineus*) yang diaplikasikan sebagai inhibitor korosi pada baja API 5L grade B di lingkungan NaCl 3,5%.

1.3. Batasan Masalah

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

1. Komposisi kimia, dimensi dan kehalusan permukaan tiap spesimen baja karbon API 5L grade B dianggap homogen.
2. Perubahan terhadap temperatur, volume, dan pH larutan sepanjang penelitian diabaikan.
3. Kecepatan fluida diabaikan.

1.4. Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini dijelaskan sebagai berikut:

1. Menganalisa pengaruh penambahan ekstrak ampas anggur (*Vitis vinifera*) dengan variasi konsentrasi 0, 100, 200, 300, 400, dan 500 mg/L terhadap efisiensi inhibitor pada baja API 5L grade B di lingkungan NaCl 3,5%.
2. Menganalisa pengaruh penambahan ekstrak daun kumis kucing (*Orthosiphon stamineus*) dengan variasi konsentrasi 0, 1000, 2000, 3000, 4000, dan 5000 mg/L terhadap efisiensi inhibitor pada baja API 5L grade B di lingkungan NaCl 3,5%.
3. Menganalisa mekanisme inhibisi dari ekstrak ampas anggur (*Vitis vinifera*) dan daun kumis kucing (*Orthosiphon stamineus*) yang diaplikasikan sebagai inhibitor korosi pada baja API 5L grade B di lingkungan NaCl 3,5%.

1.5. Manfaat Penelitian

Berikut adalah manfaat yang diperoleh dari penelitian ini:

1. Pemanfaatan ekstrak ampas anggur (*Vitis vinifera*) dan daun kumis kucing (*Orthosiphon stamineus*) sebagai bio inhibitor yang diaplikasikan pada baja karbon dalam dunia industri minyak dan gas.

2. Memberikan pengetahuan mengenai potensi inhibisi yang diperoleh dari ekstrak ampas anggur (*Vitis vinifera*) dan daun kumis kucing (*Orthosiphon stamineus*) berdasarkan kandungan gugus fungsi serta mekanisme proteksinya melalui pengujian elektrokimia dan karakterisasinya.
3. Sebagai penambah wawasan mengenai pengendalian korosi dengan bahan *green inhibitor* yang dapat diperoleh dari alam Indonesia.
4. Memberikan motivasi bagi peneliti lainnya agar terus menggali potensi alam Indonesia khususnya inhibitor organic ini.

1.6. Sistematika Penulisan

Berikut adalah sistematika penulisan pada penelitian ini.

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

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

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi diagram alir penelitian, prosedur pelaksanaan, spesifikasi peralatan dan material uji.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

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

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

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



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi dan Mekanisme Korosi

Korosi merupakan penurunan kualitas yang disebabkan oleh reaksi kimia bahan logam dengan unsur-unsur lain yang terdapat di alam^[6].

Untuk terjadinya suatu peristiwa korosi terdapat beberapa elemen utama yang harus dipenuhi agar reaksi tersebut dapat berlangsung. Elemen-elemen utama yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut^[7]:

1. Material

Dalam suatu peristiwa korosi, suatu material akan bersifat sebagai anoda. Anoda adalah suatu bagian dari suatu reaksi yang akan mengalami oksidasi. Akibat reaksi oksidasi, suatu logam akan kehilangan elektron, dan membentuk ion logam yang bermuatan positif.

2. Lingkungan

Dalam suatu peristiwa korosi, suatu lingkungan akan bersifat katoda. Katoda adalah suatu bagian dari reaksi yang akan mengalami reaksi reduksi. Akibat reaksi reduksi tersebut, lingkungan yang bersifat sebagai katoda akan membutuhkan elektron yang diambil dari anoda. Lingkungan yang dimaksud yaitu lingkungan air, atmosfer, gas, *mineral acid*, tanah, dan minyak.

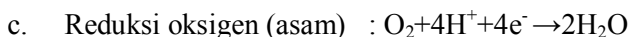
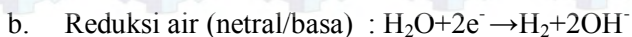
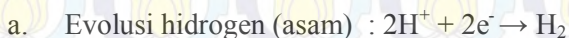
3. Reaksi antara material dan lingkungan

Reaksi antara suatu material dengan lingkungannya merupakan suatu persyaratan yang sangat penting dalam terjadinya suatu peristiwa korosi. Reaksi korosi hanya terjadi jika ada hubungan atau kontak langsung antara material dengan lingkungannya. Akibat hubungan tersebut, terjadi reaksi reduksi dan oksidasi yang terjadi secara spontan.

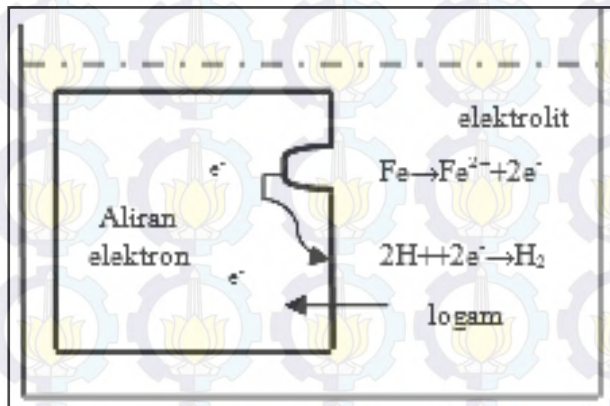
4. Elektrolit

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

Reaksi korosi pada logam melibatkan dua reaksi setengah sel, yaitu reaksi oksidasi pada anoda dan reaksi reduksi pada katoda. Reaksi katoda dan anoda yang terjadi dalam suatu proses korosi adalah sebagai berikut^[8]:



- d. Reduksi oksigen (netral/basa) : $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$
 e. Reduksi ion logam : $M^{3+} + e^- \rightarrow M^{2+}$

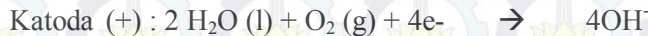


Gambar 2.1. Skema Sel Korosi^[2]

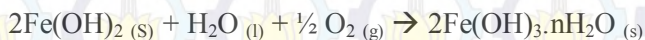
Gambar 2.1 menjelaskan skema tentang keseluruhan proses yang terjadi pada korosi. Pada bagian anoda terjadi reaksi oksidasi dimana logam Fe yang ada pada logam berubah menjadi Fe^{2+} dan menghasilkan dua buah elektron. Kedua elektron ini bermigrasi ke arah katoda yang kemudian digunakan untuk mereduksi dua ion H^+ yang berkumpul pada permukaan katoda sehingga menjadi gas hidrogen.

Reaksi korosi yang paling dominan tergantung pada variabel lingkungan elektrolit, seperti temperatur dan konsentrasi. Persamaan reaksi dibawah menggambarkan mekanisme pembentukan karat besi. Besi mempunyai potensial elektroda sebesar $-0,44$ Volt. Apabila membentuk Fe^{2+} kemudian akan teroksidasi lebih lanjut menjadi Fe^{3+} , elektron-elektronnya dapat

digunakan. Pembentukan hidroksil merupakan reaksi katodik yang artinya membutuhkan elektron. Oleh karena itu terjadi reaksi di dalam air yang kaya akan oksigen. Reaksinya adalah sebagai berikut :



Senyawa Fe(OH)_2 yang dihasilkan akan mengendap pada permukaan logam membentuk lapisan. Lapisan yang terbentuk bersifat porous sehingga oksigen dapat berdifusi ke dalam lapisan, yang pada gilirannya proses oksidasi akan berlangsung secara perlahan. Fe(OH)_2 merupakan senyawa yang kurang stabil, dengan adanya oksigen, senyawa Fe(OH)_2 akan teroksidasi lebih lanjut membentuk oksida besi yang lebih stabil atau disebut juga karat besi.



Dalam mempelajari fenomena korosi, haruslah melibatkan beberapa pertimbangan dari fitur struktural suatu logam, lingkungan, dan reaksi yang terjadi pada *interface* logam maupun lingkungan. Berikut ini faktor penting yang terlibat dalam fenomena korosi^[9]:

1. Logam-komposisi yaitu berupa struktur atom, heterogenitas mikroskopik maupun makroskopik, tegangan (tarik, tekan, berulang), dan lain lain.

2. Lingkungan-sifat kimia, konsentrasi reaktif, pengotor yang bersifat merusak, tekanan, temperatur, kecepatan, impingement, dan lain-lain.
3. *Interface* logam / lingkungan-kinetika oksidasi logam dan disolusi, kinetika reduksi *species* dalam larutan, sifat dan lokasi dari produk korosi, pertumbuhan lapisan dan disolusi lapisan, dan lain-lain.

Dari beberapa pertimbangan diatas, jelas bahwa mekanisme dari korosi logam adalah sesuatu yang sangat kompleks dan pemahaman mengenai berbagai fenomena korosi akan melibatkan banyak cabang ilmu murni dan terapan.

2.2. Baja API 5L Grade B

Pipa adalah istilah untuk benda silinder yang berlubang dan digunakan untuk memindahkan zat hasil pemrosesan seperti cairan, gas, uap, zat padat yang dicairkan maupun serbuk halus. Material yang digunakan sebagai pipa sangat banyak diantaranya adalah: beton cor, gelas, timbal, kuningan (brass), tembaga, plastik, aluminium, besi tuang, baja karbon, dan baja paduan. Pemilihan material pipa akan sangat membingungkan sehingga perlu pemahaman mendalam untuk apa saluran/sistem pipa itu dibuat, mengingat setiap material memiliki keterbatasan dalam setiap aplikasinya. Material yang paling umum digunakan adalah pipa baja karbon^[10].

Pemilihan bahan untuk tujuan pemipaan khususnya pipa minyak dan gas adalah suatu proses yang memerlukan pertimbangan yang tepat untuk pelayanan yang diperlukan. Bahan yang dipilih harus benar-benar aman dan tahan terhadap kondisi operasi, suhu, dan tekanan selama umur perancangan yang diinginkan. Kekuatan mekanik harus memadai untuk pelayanan jangka panjang dan mampu menahan perubahan operasi, misalnya siklus panas atau mekanis. Selain itu lingkungan sekitar sistem pemipaan dan komponennya beroperasi juga harus dipertimbangkan. Perubahan sifat-sifat bahan atau hilangnya beban efektif yang merubah luas penampang dapat terjadi melalui korosi, erosi atau kombinasi keduanya. Kemampuan bahan yang dipilih untuk dibengkokkan atau dibentuk, kecocokan untuk pengelasan atau metoda penyambungan lainnya, kemudahan perlakuan panas, keseragaman atau homogenitas dan kestabilan dari struktur mikro dan sifat-sifat bahan memberikan andil pada kelayakan ekonomis dari pipa yang dipilih^[11].

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

cocok bagi pipa untuk digunakan dalam transmisi gas, air, dan minyak baik bagi perusahaan minyak maupun gas alam^[10].

API adalah kependekan dari *American Petroleum Institute*, yaitu standarisasi yang digunakan sebagai acuan untuk industri perminyakan dangas bumi. Baja API 5L ini sering diaplikasikan pada pipa untuk industry minyak dan gas.

Dalam penelitian ini, material pipa yang digunakan adalah baja karbon rendah API 5 L *grade B*. Spesifikasi dari baja API 5L *grade B* dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut^[12].

Tabel 2.1. Komposisi Kimia Pipa API 5 L *Grade B*^[12]

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

2.3. Korosi pada Baja Karbon Rendah

Baja karbon merupakan jenis baja yang sering dipakai untuk material keteknikan. Walaupun terdapat kekurangan dalam ketahanan korosinya, sebagian besar masyarakat di dunia masih tetap menggunakan baja karbon contohnya untuk aplikasi nuklir, proses kimia, industri perminyakan, pipa saluran, konstruksi pertambangan dan peralatan logam.

Baja karbon rendah adalah baja yang memiliki kadar karbon kurang dari sama dengan 0,25% dan biasanya digunakan dalam aplikasi pipa saluran air. Untuk meningkatkan sifat mekanisnya, baja karbon rendah dapat ditambahkan paduan lain. Baja karbon rendah sering digunakan karena harganya relatif murah, mudah difabrikasi, dan memiliki sifat mekanis yang dapat disesuaikan. Namun, baja terdiri dari beberapa fasa dan terdapat ketidakhomogenan pada permukaannya, sehingga dapat menyebabkan lokal sel elektrokimia. Hal tersebut menyebabkan rendahnya ketahanan korosi pada baja karena reduksi katodik mudah untuk terjadi sehingga menyebabkan porous sebagai produk korosi dan tidak terbentuk produk sampingan seperti lapisan pasif^[13]. Produk korosi yang dihasilkan pada baja antara lain:



Penambahan elemen paduan pada baja karbon rendah seperti Cu, Ni, dan Cr, dapat meningkatkan ketahanan baja karbon rendah terhadap korosi. Sedangkan penambahan unsur seperti Si, Ti, S, Se, dan C akan menurunkan ketahanan terhadap korosi^[11].

2.4. Air Laut

Sistem air laut digunakan oleh banyak industri, seperti pengapalan, produksi minyak dan gas lepas pantai, pembangkit

listrik, dan pabrik-pabrik industri pesisir. Kegunaan utama dari air laut bertujuan untuk pendinginan, tetapi juga digunakan untuk pemadam kebakaran, injeksi air pada ladang minyak, dan desalinasi plant. Masalah korosi dalam sistem ini telah diteliti dengan baik selama bertahun-tahun, tetapi meskipun informasi mengenai perilaku material dalam air laut telah dipublikasikan, kegagalannya pun masih terjadi. Sebagian besar 17emper yang dapat ditemukan di bumi terdapat pada air laut. Namun, 11 dari jumlah konstituen untuk 99.95 persen total zat terlarut, diindikasikan pada tabel 2.2, dengan ion klorida sebagai konstituen terbanyak.

Konsentrasi bahan terlarut di laut sangat bervariasi bergantung dengan lokasi dan waktu karena sungai mengalirkan air laut, hujan, atau lelehan es, dan air laut dapat terkonsentrasi akibat penguapan.

Karakteristik terpenting dari air laut adalah:

- ❖ Memiliki rasio konsentrasi yang konstan dari kebanyakan konstituen di seluruh dunia.
- ❖ Konsentrasi garam yang tinggi, terutama natrium klorida.
- ❖ Konduktivitas listrik tinggi.
- ❖ pH yang relative tinggi dan konstan.
- ❖ Kapasitas buffering.
- ❖ Kelarutan gas, dimana oksigen dan karbondioksida berpengaruh terhadap korosi.
- ❖ Memiliki banyak senyawa organik.

- ❖ Keberadaan kehidupan biologis, untuk lebih jauh dibedakan sebagai microfouling (misalnya, bakteri, lendir) dan macrofouling (misalnya, rumput laut, kerang, teritip, dan berbagai jenis hewan atau ikan).

Tabel 2.2. Konsentrasi Rata-Rata dari 11 Ion dan Molekul Terbanyak dalam Air Laut Bersih (35.00 % Salinitas, Densitas 1.023 g.cm^{-3} pada 25°C)^[13]

Spesies	Konsentrasi	
	$\text{mmol}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$	g.kg^{-1}
Na^{+}	468,5	10,77
K^{+}	10,21	0,399
Mg^{2+}	53,08	1,290
Ca^{2+}	10,28	0,4121
Sr^{2+}	0,090	0,0079
Cl^{-}	545,9	19,354
Br^{-}	0,842	0,0673
F^{-}	0,0068	0,0013
HCO_3^{-}	2,30	0,140
SO_4^{2-}	28,23	2,712
B(OH)_3	0,416	0,0257

Beberapa faktor tersebut saling berkaitan dan bergantung pada variable fisik, kimia, dan biologi, seperti kedalaman, temperatur, intensitas cahaya, dan ketersediaan *nutrient*^[13].

2.5. Korosi Baja pada Lingkungan NaCl 3,5%

Korosi pada baja karbon dipengaruhi oleh konsentrasi ion agresif, seperti ion klorida (Cl^-) dan ion sulfat (SO_4^{2-}). Ion klorida dapat merusak lapisan pasif yang menghalangi korosi. Mekanisme tersebut dapat menghasilkan *pitting corrosion* dimana lapisan pasif yang pecah akan memberikan jalan bagi H^+ menuju logam yang sudah tidak terlindungi lagi.

Ion klorida dikenal sebagai ion yang memiliki efek perusak terhadap baja karbon. Kebanyakan ion tersebut memiliki kemampuan untuk terserap di permukaan logam dan berinterferensi membentuk lapisan pasif. *Pitting* merupakan jenis serangan utama yang terjadi akibat ion klorida. Ketika proses korosi dimulai, reaksi hidrolisis logam dari reaksi anodik menyebabkan penurunan pH, yang dapat menghambat perbaikan lapisan pasif dan mempercepat serangan. Baja karbon akan terkorosi di dalam air yang mengandung klorida terutama dalam bentuk korosi *uniform* dibandingkan dalam bentuk *localized attack*^[11].

2.6. Pengendalian Korosi

Dengan dasar pengetahuan tentang proses korosi yang dapat menjelaskan mekanisme dari korosi, dapat dilakukan usaha-usaha untuk pencegahan terbentuknya korosi, yaitu:

a) Pengubahan Media

Korosi merupakan interaksi antara logam dengan media sekitarnya, maka pengubahan media sekitarnya akan dapat mengubah laju korosi. Ada tiga situasi yang dapat terjadi yaitu:

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

b) Seleksi Material

Metode umum yang sering digunakan dalam pencegahan korosi yaitu pemilihan logam atau paduan dalam suatu lingkungan korosif tertentu untuk mengurangi resiko terjadinya korosi.

c) Proteksi Katodik (Cathodic Protection)

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

d) Proteksi Anodik (Anodic Protection)

Adanya arus anodik akan meningkatkan laju ketidaklarutan logam dan menurunkan laju pembentukan hidrogen. Hal ini bisa terjadi untuk logam-logam “active-passive” seperti Ni, Fe, Cr, Ti dan paduannya. Jika arus yang lewat logam dikontrol seksama (dengan potentiostat) maka

logam akan bersifat pasif dan pembentukan logam-logam tak terlarut akan berkurang.

e) Inhibitor Korosi

Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya korosi adalah dengan penggunaan inhibitor korosi.

Secara umum suatu inhibitor adalah suatu zat kimia yang dapat menghambat atau memperlambat suatu reaksi kimia.

Sedangkan inhibitor korosi adalah suatu zat kimia yang bila ditambahkan kedalam suatu lingkungan, dapat menurunkan laju penyerangan korosi lingkungan itu terhadap suatu logam. Mekanisme penghambatannya terkadang lebih dari satu jenis. Sejumlah inhibitor menghambat korosi melalui cara adsorpsi untuk membentuk suatu lapisan tipis yang tidak nampak dengan ketebalan beberapa molekul saja, ada pula yang karena pengaruh lingkungan membentuk endapan yang nampak dan melindungi logam dari serangan yang mengkorosi logamnya dan menghasilkan produk yang membentuk lapisan pasif, dan ada pula yang menghilangkan konstituen yang agresif.

g) Pelapisan (Coatings)

Prinsip umum dari pelapisan yaitu melapiskan logam induk dengan suatu bahan atau material pelindung^[14].

2.7. Mekanisme Kerja Inhibitor Korosi

Suatu inhibitor kimia adalah suatu zat kimia yang dapat menghambat atau memperlambat suatu reaksi kimia. Secara khusus, inhibitor korosi merupakan suatu zat kimia yang bila ditambahkan kedalam suatu lingkungan tertentu, dapat menurunkan laju penyerangan lingkungan itu terhadap suatu logam. Pada prakteknya, jumlah yang ditambahkan adalah sedikit, baik secara kontinu maupun periodic menurut suatu selang waktu tertentu.

Adapun mekanisme kerjanya dapat dibedakan sebagai berikut:

- 1) Inhibitor teradsorpsi pada permukaan logam, dan membentuk suatu lapisan tipis dengan ketebalan beberapa molekul inhibitor. Lapisan ini tidak dapat dilihat oleh mata biasa, namun dapat menghambat penyerangan lingkungan terhadap logamnya.
- 2) Melalui pengaruh lingkungan (misal pH) menyebabkan inhibitor dapat mengendap dan selanjutnya teradsorpsi pada permukaan logam serta melindunginya terhadap korosi. Endapan yang terjadi cukup banyak, sehingga lapisan yang terjadi dapat teramati oleh mata.
- 3) Inhibitor lebih dulu mengkorosi logamnya, dan menghasilkan suatu zat kimia yang kemudian melalui peristiwa adsorpsi dari produk korosi tersebut membentuk suatu lapisan pasif pada permukaan logam.

4) Inhibitor menghilangkan kontituen yang agresif dari lingkungannya.

Berdasarkan sifat korosi logam secara elektrokimia, inhibitor dapat mempengaruhi polarisasi anodik dan katodik. Bila suatu sel korosi dapat dianggap terdiri dari empat komponen yaitu: anoda, katoda, elektrolit dan penghantar elektronik, maka inhibitor korosi memberikan kemungkinan menaikkan polarisasi anodik, atau menaikkan polasisasi katodik atau menaikkan tahanan listrik dari rangkaian melalui pembentukan endapan tipis pada permukaan logam. Mekanisme ini dapat diamati melalui suatu kurva polarisasi yang diperoleh secara eksperimentil^[15].

Daya inhibisi dari suatu senyawa organik terhadap korosi pada logam bergantung pada kemampuannya melepas elektron, jumlah elektron yang tidak berpasangan, kabut π elektron, sistem cincin aromatik, atau jenis grup fungsional yang mengandung unsur - unsur grup V dan VI dalam tabel periodik. Grup fungsional yang biasanya dipakai sebagai inhibitor adalah gugus hydroxi (-OH), epoxy (-C-O-C-), amine (-C-N-C-), amino (-NH₂), thiol (-C=S-), dan gugus fungsi lainnya^[10].

Molekul organic dapat teradsorbsi ke dalam permukaan logam melalui salah satu dari empat mekanisme berikut:

a) Interaksi elektrostatik antara muatan pada permukaan logam dan muatan pada inhibitor,

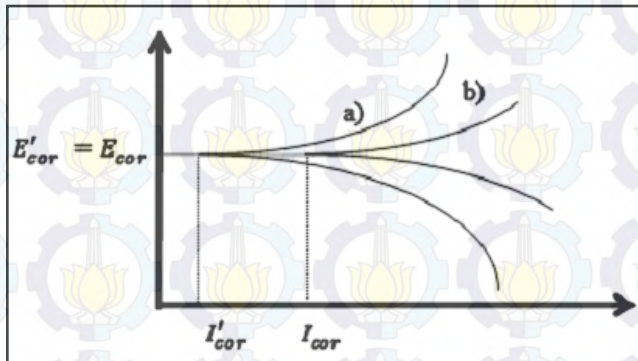
- b) Interaksi dari pasangan electron dalam molekul inhibitor dengan logamnya,
- c) Interaksi electron π dengan logam,
- d) Kombinasi dari tipe (a-c).

Pemilihan inhibitor yang tepat untuk lingkungan dan pengkorosian logam tertentu merupakan hal yang penting, dikarenakan inhibitor yang dapat melindungi satu jenis logam memungkinkan untuk mempercepat korosi pada logam lain. Terdapat banyak komposisi heterosiklik yang mengandung atom hetero, seperti N, O, dan S yang telah diteliti menjadi inhibitor yang efektif untuk korosi logam dalam media asam. Beragam-macam komposisi organik memiliki dua atau lebih atom hetero, seperti N, O, S dan ikatan ganda dalam struktur molekulnya, yang menjadi ketertarikan penelitian karena efisiensi inhibisinya lebih baik bila dibandingkan dengan komposisi yang ada atom N atau S saja^[16].

2.8. Inhibitor Organik

Inhibitor ini bekerja dengan membentuk senyawa kompleks yang mengendap pada permukaan logam sebagai lapisan pelindung yang bersifat hidrofobik yang dapat menghambat reaksi logam dengan lingkungannya. Reaksi yang terjadi berupa reaksi anodic, katodik, maupun keduanya. Hal ini bergantung dari reaksi pada permukaan logam dan potensial logam tersebut. Selain itu, juga dapat berfungsi untuk menetralkan

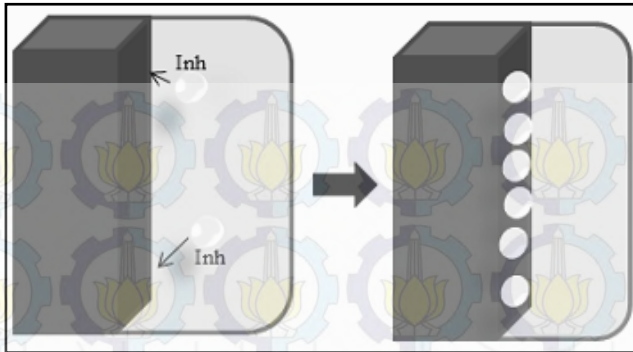
konstituen korosif dan mengabsorpsi konstituen korosif tersebut. Penggunaan dengan konsentrasi yang tepat dapat mengoptimalkan perlindungan pada seluruh logam^[17].



Gambar 2.2. Diagram Polarisasi Potensiostat: Perilaku Elektrokimia Logam dalam Larutan yang mengandung Inhibitor Katodik dan Anodic (a) perbandingan larutan yang sama tanpa inhibitor (b)^[18].

Pada gambar 2.2, menunjukkan teori kurva polarisasi potensiostat, terlihat bahwa pengaruh larutan yang mengandung inhibitor organik pada logam menghadirkan perilaku anodic dan katodik. Setelah penambahan inhibitor, potensial korosi hampir sama, tetapi arus menurun dari I_{cor} menjadi I'_{cor} ^[18].

Seperti pada gambar 2.3, mekanisme inhibitor organik, ketika teradsorpsi pada permukaan logam dan membentuk lapisan protector di atasnya.



Gambar 2.3. Ilustrasi Mekanisme Inhibitor Organic, berperan melalui Adsorpsi Inhibitor diatas Permukaan Logam, dimana „inh“ menunjukkan molekul inhibitor.

Efisiensi inhibitor organic bergantung pada:

- Struktur kimia, seperti ukuran molekul organic;
- Ikatan aromatic dan/atau konjugasi, seperti panjang rantai karbon;
- Tipe dan jumlah ikatan atom atau grup molekul (baik π atau σ);
- Muatan permukaan logam dari tipe adsorpsi seperti kekuatan ikatan terhadap substrat logam;
- Kemampuan lapisan menjadi compact;
- Kapabilitas untuk membentuk ikatan kompleks dengan atom sebagai padatan antara kisi logam;
- Jenis larutan elektrolit^[19].

Inhibitor organik akan teradsorpsi pada permukaan tergantung dari muatan inhibitor dan muatan logam untuk membentuk ikatan dari senyawa kompleks tersebut. Sebagai contoh kation inhibitor seperti amine atau anion inhibitor seperti sulfonat akan teradsorpsi tergantung muatan logam tersebut apakah negative atau positif. Efektivitas dari inhibitor organik dipengaruhi oleh komposisi kimia, struktur molekul, dan gugus fungsi, ukuran, dan berat molekul, serta afinitas inhibitor terhadap logamnya^[17].

Menurut Maryati, flavonoid adalah suatu kelompok senyawa fenol yang terbesar ditemukan di alam. Senyawa-senyawa ini merupakan zat warna merah, ungu, dan biru, dan sebagian zat warna kuning yang ditemukan dalam tumbuh-tumbuhan. Flavonoid mempunyai kerangka dasar karbon yang terdiri dari 15 atom karbon, dimana dua cincin benzene (C_6) terikat pada suatu rantai propan (C_3) sehingga membentuk suatu susunan $C_6-C_3-C_6$. Susunan ini dapat menghasilkan tiga jenis struktur, yakni 1,3-diarilpropan atau neoflavonoid. Senyawa-senyawa flavonoid terdiri dari beberapa jenis tergantung pada tingkat oksidasi dari rantai propane dari sistem 1,3-diarilpropana. Flavon, flavonol dan antosianidin adalah jenis yang banyak ditemukan dialam sehingga sering disebut sebagai flavonoida utama. Banyaknya senyawa flavonoida ini disebabkan oleh berbagai tingkat hidroksilasi, alkoksilasi atau glikosilasi dari struktur tersebut. Penggolongan flavonoid berdasarkan

penambahan rantai oksigen dan perbedaan distribusi dari gugus hidroksil^[20].

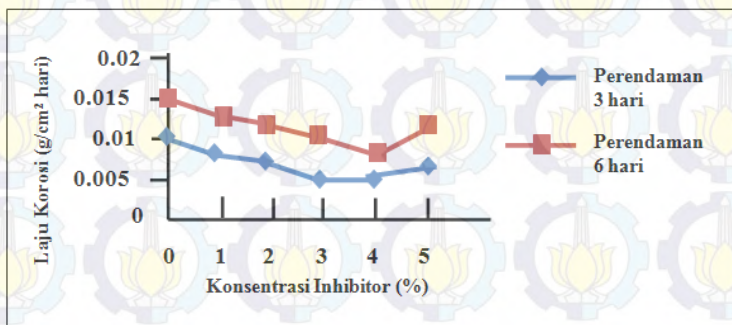
Menurut Rijke (2005), flavonoid merupakan senyawa polar karena memiliki sejumlah gugus hidroksil yang tidak tersubstitusi. Pelarut polar seperti etanol, metanol, etilasetat, atau campuran dari pelarut tersebut dapat digunakan untuk mengekstrak flavonoid dari jaringan tumbuhan. Pengambilan bahan aktif dari suatu tanaman, dapat dilakukan dengan ekstraksi. Dalam proses ekstraksi ini, bahan aktif akan terlarut oleh zat penyari yang sesuai sifat kepolarannya^[21].

2.8.1. Inhibitor Daun Teh (*Camelia sinensis*)

Menurut Yonna (2012), penggunaan ekstrak daun teh (*Camelia sinensis*), karena tanaman teh selain harganya relative murah, mudah didapat, daun the juga mempunyai kandungan tannin yang lebih besar dari kopi yaitu sekitar 7-15%, dan tidak beracun. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan konsentrasi optimum inhibitor ekstrak daun teh dalam larutan NaCl.

Dari gambar 2.4 pada perendaman 3 hari dapat dilihat bahwa pada konsentrasi 0 %, nilai laju korosinya besar, setelah pemberian inhibitor dengan berbagai konsentrasi, grafiknya semakin menurun sampai pada konsentrasi 4 %, ini karena lapisan yang terbentuk sudah sempurna yang ditandai dengan tertutupnya seluruh permukaan sampel baja, sedangkan pada konsentrasi larutan inhibitor 5 % laju korosinya sudah mulai naik

lagi, ini disebabkan karena garam (NaCl) merupakan zat yang membentuk ikatan logam dengan ion sehingga dapat mengurangi kekuatan ikatan antara atom-atom logam. Melemahnya ikatan-ikatan logam disebabkan oleh tereduksinya ion hidrogen dalam larutan, sehingga molekul hidrogen yang terbentuk diabsorpsi oleh logam, sehingga mengakibatkan laju korosi naik. Begitu juga pada perendaman selama 6 hari, pada berbagai variasi konsentrasi larutan inhibitor yang diberikan terlihat adanya indikasi pengurangan laju korosi sebelum dan setelah dilapisi larutan inhibitor. Laju korosi pada perendaman 6 hari lebih besar dari pada perendaman 3 hari, ini karena semakin lama perendaman, semakin besar juga ion yang teroksidasi, sehingga mengakibatkan laju korosinya besar^[12].

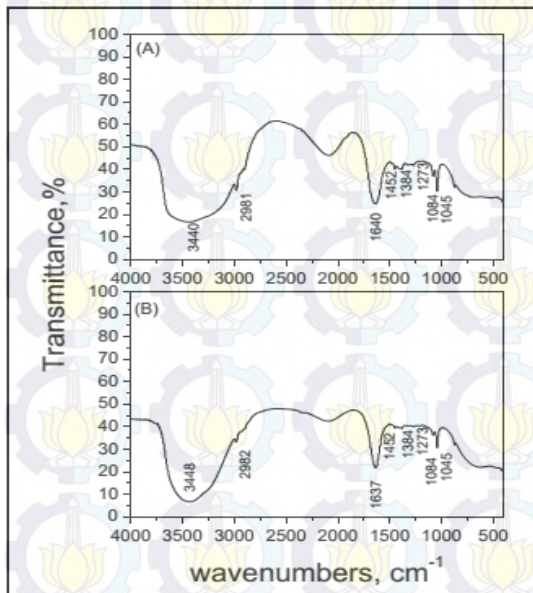


Gambar 2.4. Grafik pengaruh Konsentrasi Inhibitor terhadap Laju Korosi Baja Karbon *Schedule 40 Gr B ERW* dalam NaCl 3%.

2.8.2. Inhibitor *Grape Pomace*

Menurut penelitian J.C. Rocha (2012), reaksi inhibisi dari ekstrak *grape pomace* dalam menghalangi korosi baja karbon di lingkungan 1 M HCl diteliti menggunakan EIS, kurva polarisasi potensiodinamik, pengukuran *weight loss* dan analisis permukaan.

Grape pomace adalah sisa produk dari proses pembuatan wine dan jus, yang kebanyakan terdiri dari biji, kulit, dan batang anggur (~18-20 kg/100 kg anggur). Flavonoid –anthocyanidins, flavonol, flavanol dan tannin- dan non-flavonoid, seperti asam fenolik berasal dari asam benzonat dan stilben yang merupakan komposisi utama dari fenolik dalam *grape pomace*.



Gambar 2.5. Spektra FT-IR dari ekstrak crude (A) dan concentrated (B) grape pomace.

Gambar 2.5 menunjukkan spectra FT-IR dari ekstrak crude (A) dan concentrated (B) grape pomace. Ikatan pada 3440 cm^{-1} terhubung dengan O–H stretching dari grup fenolik. Ikatan pada 2981 cm^{-1} terhubung dengan C–H stretching vibration. Ikatan kuat pada 1640 cm^{-1} ditandai oleh konjugasi C=O stretching vibration. Ikatan pada 1452 cm^{-1} berarti C=C-C aromatic ring stretching. Ikatan antara 1310 dan 1390 cm^{-1} merupakan susunan melingkar dari C-O-H dalam fenol. Ikatan pada 1273 cm^{-1} diartikan C-O stretching dari struktur cincin pyran yang menunjukkan adanya flavonoid. Ikatan pada 1045 dan 1087 cm^{-1} diidentifikasi sebagai deformasi cincin aromatic C-H.

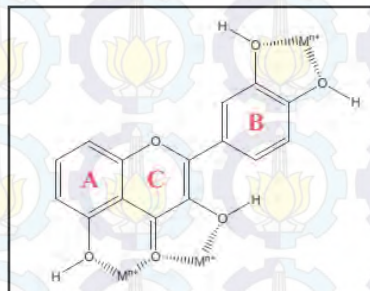
Ekstrak hidroalkoholik *grape pomace* merupakan matriks kompleks yang mungkin mengandung asam organik, gula, komposisi nitrogen, air dan etanol, tetapi penelitian ini terfokus pada flavonoid dalam analisis spectra FT-IR. Hasil ini mengindikasikan bahwa ekstrak *grape pomace* mengandung flavonoid dalam komposisinya, yang berperan sebagai inhibitor korosi.

Hasil pengukuran weight loss pada baja karbon dalam larutan 1 M HCl tanpa inhibitor dan ekstrak grape pomace dari 2% crude dan concentrated, imersi dua kali (4 dan 24 jam) pada 25°C ditampilkan pada tabel 2.3.

Tabel 2.3. Data weight loss baja karbon dalam 1 M HCl setelah perendaman 4 dan 24 jam pada 25⁰C

Immersion time (hours)	Medium	W _{corr} (mg/cm ² h)	Inhibition Efficiency (%)
4	Blank	1.98	
	Crude grape pomace	0.33	84
	Concentrated grape pomace	0.09	95
24	Blank	1.74	
	Crude grape pomace	0.11	94
	Concentrated grape pomace	0.05	97

Komposisi kimia kompleks pada ekstrak ini menimbulkan kesulitan dalam menunjukkan reaksi inhibisi dari komponen tertentu. *Grape pomace* kaya akan kandungan polifenol. Flavonoid adalah antioksidan penting yang berpengaruh terhadap kenaikan potensial redox, yang berperan sebagai agent reduksi, dan donor hydrogen.



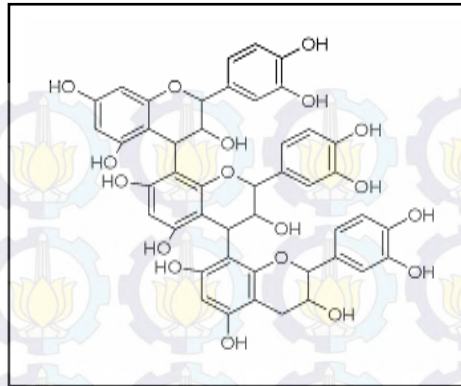
Gambar 2.6. Ikatan dalam flavonoid untuk transisi logam

Ekstrak *grape pomace* berperan sebagai inhibitor korosi untuk baja karbon dalam larutan 1 M HCl. Efisiensi inhibisi baja karbon dalam 1 M HCl meningkat seiring dengan konsentrasi ekstrak *grape pomace* baik *crude* maupun *concentrated*, dan

berbanding terbalik dengan temperature. Efek inhibisi ditunjukkan oleh adsorpsi dari komposisi yang ada dalam ekstrak pada permukaan baja. Flavonoid merupakan alasan yang tepat untuk menjelaskan efek inhibisi korosi dalam ekstrak *grape pomace*. Adsorpsi ekstrak *grape pomace* mengikuti adsorpsi isotherm Langmuir^[23].

2.9. Buah Anggur

Vitis vinifera (anggur) adalah salah satu buah yang paling banyak dikonsumsi di dunia dan kaya akan bioflavonoid terlarut dalam air (90%) yang disebut dengan *Proanthocyanidins* dan termasuk ke dalam *family flavonoid*. Dapat juga dikenal sebagai "OPCs" untuk oligomer procyanidins oligomer atau "PCOs" untuk oligomer procyanidolic. Proanthocyanidins memiliki aktivitas antioksidan yang kuat. Aktivitas anti-oksidasinya dua puluh kali lebih kuat dari Vitamin C dan Vitamin E. Dua sumber yang paling umum dari proantosianidin adalah biji anggur (*Vitis vinifera*) dan pinus putih (*Pinus maritima*, *P. pinaster*) dari Eropa selatan. Resveratrol (trans-3, 5, stilbene 4'-trihidroksi), termasuk dalam kelas senyawa polifenol yang disebut stilbenes, ditemukan sebagian besar dalam kulit anggur merah. Kulit anggur segar mengandung sekitar 50-100 micro gram dari *Resveratrol* per gram. Juga memiliki polifenol anti-oksidan^[24].



Gambar 2.5. Struktur Proanthocyanidin pada Ekstrak Kulit *Vitis vinifera*^[24]

2.10. Daun Kumis Kucing

Tanaman kumis kucing atau *Orthosiphon stamineus Benth.* adalah termasuk familia Libiatae, tempat pertumbuhannya di beberapa daerah di Tanah Air kita, suka sekali akan keadaan yang agak basah. Daun-daunnya berkhasiat obat, pengumpulan daun biasanya dilakukan ketika tanaman ini berbunga, daun-daun ini berbau aromatic, lemah, rasanya kalau diperhatikan benar agak asin, agak pahit dan sepet. Uraian makroskopik:

1. Daunnya berwarna hijau, merupakan daun tunggal, bertangkai, berbentuk bulat telur, ada pula yang belah ketupat memanjang seperti lidah tombak.
2. Keadaan daun agak rapuh, panjang 4cm-12cm, lebar 5cm-8cm.
3. Tepi-tepinya bergerigi kasar tidak beraturan, ujung daun dan pangkalnya meruncing

4. Tepi daun dan tulang daun berbulu, warna tulang daun ini hijau, tetapi ada pula yang keunguan^[25].

Daun kumis kucing berkhasiat sebagai peluruh air seni (deuretik), radang kandung kemih, ginjal, dan untuk obat rematik. Senyawa kimia yang terdapat dalam daun kumis, antara lain garam kalium dan senyawa saponin. Kandungan utama yang paling stabil dalam daun kumis kucing ialah sinesetin. Komponen yang terdapat dalam daun kumis kucing hasil ekstraksi dalam methanol dan air ialah 9 plafonplafon lipofilik, di antaranya sinensetin, 2 flavonol glikosida dan 9 turunan dari asam kaffeik. Daun orthosiphon spicatus berkhasiat sebagai peluru air seni, obat batu ginjal, obat kencing manis, obat tekanan darah tinggi, dan obat untuk peluruh seni^[26]. Kandungan kimia orthosiphon mengandung alkaloid, saponin, flavonoida, dan polifenol^[27] (Hutapea, 1993).

2.11. Pengujian Uv-Vis

Spektrofotometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur energi secara relatif jika energi tersebut ditransmisikan, direfleksikan, atau diemisikan sebagai fungsi dari panjang gelombang. Spektrofotometer menghasilkan sinar dari spektrum dengan panjang gelombang tertentu, dan fotometer adalah alat pengukur intensitas cahaya yang ditransmisikan atau yang diabsorpsi.

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

Atas dasar inilah spektrofotometri dirancang untuk mengukur konsentrasi yang ada dalam suatu sampel, dimana molekul yang ada dalam sel sampel disinari dengan cahaya yang memiliki panjang gelombang tertentu. Ketika cahaya mengenai sampel, sebagian akan diserap, sebagian akan dihamburkan dan sebagian lagi akan diteruskan.

Spektrofotometer ultraviolet (UV) dapat digunakan untuk analisa kualitatif dan analisa kuantitatif, tapi penggunaannya dalam penentuan struktur senyawa organik masih terbatas. Pengukuran dilakukan pada panjang gelombang 190-380 nm pada daerah UV dekat dan 380-780 nm pada cahaya tampak menggunakan sumber cahaya yang mendekati monokromatik. Senyawa-senyawa yang dapat dianalisa dengan spektroskopi UV

adalah senyawa-senyawa yang mempunyai gugus kromofor. Spektrofotometer UV digunakan untuk mengukur transisi-transisi diantara tingkatan-tingkatan elektronik. Transisi tersebut biasanya antara orbital ikatan π (orbital pasangan bebas) dengan orbital non ikatan π^* (orbital anti ikatan) sehingga analisis kualitatif flavonoid dapat dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Spektrum serapan ultra violet dan serapan tampak merupakan cara tunggal yang paling bermanfaat untuk mengidentifikasi struktur flavonoid. Flavonoid mengandung sistem aromatis yang terkonjugasi dan dapat menunjukkan pita serapan kuat pada daerah UV-Vis. Metode tersebut juga dapat digunakan untuk melakukan uji secara kuantitatif untuk menentukan jumlah flavonoid yang terdapat dalam ekstrak metanol juga dilakukan dengan spektrofotometer UV-Vis yaitu dengan mengukur nilai absorbansinya.

Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk menentukan total flavonoid dari sample.

$$\% \text{ Flavonoid} = \text{Absorbansi sample} \times 1,25/\text{g sample} \dots\dots\dots(2.1)$$

Spektrum flavonoid biasanya ditentukan dalam larutan dengan pelarut metanol atau etanol. Spektrum khas flavonoid terdiri atas dua maksimal pada rentang 230-295 nm (pita II) dan 300-560 nm (pita I)^[28].

Tabel 2.4. Pita absorpsi UV dari Flavonoid^[28]

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

2.12. Pengujian FTIR

Fourier Transformed Infrared (FTIR) merupakan metode spektroskopi infrared modern yang dilengkapi dengan teknik transformasi fourier, untuk mendeteksi dan menganalisis hasil spektrumnya. Spektrum infrared yang dihasilkan dari suatu senyawa adalah khas untuk masing-masing senyawa, seperti sebuah fingerprint untuk senyawa tersebut. Metode spektroskopi yang digunakan adalah metode spektroskopi absorpsi, yaitu metode spektroskopi yang didasarkan atas perbedaan penyerapan radiasi infrared oleh molekul dari suatu senyawa. Prinsip kerja dari FTIR menggunakan prinsip interferometer, yang berarti sampel dilewati radiasi infrared, kemudian radiasi infrared diabsorpsi oleh sampel dan sebagian dilewatkan atau ditransmisikan^[29].

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

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

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

Hasil analisa dari FTIR adalah sebuah grafik absorbansi yang terdiri dari nilai absorbansi pada sumbu Y dan bilangan gelombang cm^{-1} atau frekuensi pada sumbu X. Analisis gugus

fungsi suatu sampel dilakukan dengan membandingkan pita absorpsi yang terbentuk pada spektrum inframerah^[30].

Berdasarkan daerah bilangan gelombang, sinar infrared terbagi menjadi tiga daerah, yaitu daerah infrared dekat ($4.000\text{-}14.000\text{ cm}^{-1}$), daerah infrared pertengahan ($400\text{-}4000\text{cm}^{-1}$), dan daerah infrared jauh ($10\text{-}400\text{ cm}^{-1}$). Daerah yang paling banyak digunakan untuk berbagai analisis molekul adalah daerah infrared pertengahan ($400\text{-}4000\text{cm}^{-1}$), karena daerah tersebut cocok untuk mempelajari energi vibrasi dalam molekul. Identifikasi suatu senyawa organik atau anorganik, baik dalam bentuk padat, cair, maupun gas dapat dideteksi melalui metode^[29].

Sampel yang dianalisis menggunakan FTIR akan menghasilkan sebuah spektrum. Spektrum tersebut terdiri dari berbagai puncak yang menunjukkan suatu gugus spesifik tertentu dari suatu senyawa pada frekuensi tertentu. Suatu senyawa yang memiliki struktur kimia yang berbeda, akan memiliki jenis ikatan dan frekuensi gugus fungsi yang berbeda^[29].

FTIR merupakan metode analisis material dengan menggunakan spektroskopi sinar infra merah. Sinar infra merah memiliki rentang panjang gelombang dari $2.5\mu\text{m}$ sampai $25\mu\text{m}$. Radiasi infrared (IR) pada dasarnya mengacu pada bagian spektrum elektromagnetik antara daerah yang tampak dengan daerah microwave. Penggunaan IR yang paling banyak adalah pada kimia organik dengan pembatasan spektrum antara 4000 sampai 400 cm^{-1} . Spektrum yang dihasilkan oleh radiasi IR dapat

digunakan untuk mengetahui identitas dari suatu kimia organik, hal ini didasarkan pada molekul dapat memberikan suatu spektrum yang sangat kompleks meskipun merupakan molekul yang sederhana. Oleh karena itu ketika suatu kimia organik bertemu dengan spektrum dan dibandingkan dengan suatu sampel yang otentik, maka akan menghasilkan puncak-puncak yang ketika dihubungkan akan menjadi identitas dari kimia organik tersebut. Spektrum IR merupakan karakteristik dari seluruh molekul, disebabkan oleh suatu gugus atom dapat menimbulkan band di atau dekat dengan frekuensi yang sama tanpa memperhatikan struktur dari keseluruhan molekul. Radiasi IR akan diabsorpsi dan dirubah oleh molekul organik menjadi energi getaran molekul (*molecular vibration*) pada frekuensi 4000 dan 400 cm^{-1} . Spektra dari getaran muncul dalam bentuk band karena satu perubahan energi getaran disertai dengan sejumlah perubahan energi rotasi (*rotational energy change*). Posisi serapan dalam spektra IR dinyatakan sebagai wavenumber atau frekuensi dengan unit dinyatakan dalam cm^{-1} . Sedangkan intensitas serapan dinyatakan salah satunya dengan *transmittance* (T) atau *absorbance* (A). *Transmittance* adalah perbandingan dari daya radiasi yang ditransmisikan oleh sampel menuju ke daya radiasi yang terjadi pada sampel. Absorbance adalah logaritma yang sesuai dengan transmittance; $A = \log_{10}(1/T)^{[31]}$.

Molekul memiliki dua tipe vibrasi/getaran yaitu regang dan tekuk. getaran regang adalah gerakan secara berirama

(rhythmical) sepanjang sumbu ikat, seperti adanya jarak antar atom yang naik atau turun. getaran tekuk mungkin terdiri dari perubahan sudut ikatan antara ikatan dengan atom pada umumnya atau pergerakan dari gugus atom terhadap beda molekul tanpa adanya pergerakan dari atom dalam gugus terhadap atom lain. Frekuensi dari regang dapat diperkirakan dengan menggunakan hukum hooke. Sedangkan untuk perkiraan frekuensi dimana gugus fungsi organik yang dapat diserap oleh radiasi IR disebut sebagai frekuensi gugus. Frekuensi gugus jarang sekali memiliki nilai sama disebabkan frekuensi gugus tersebut terjadi sebagai interaksi dengan getaran lain yang terkait dengan satu atau dua atom yang menyusun gugus. Oleh karena itu serapan maksimum untuk gugus fungsi dapat ditentukan. Untuk mengetahui gugus fungsi dapat dilihat pada referensi tabel dari buku berjudul “Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies”^[32].

2.13. Pengujian Weight Loss

Metode paling mendasar yang digunakan untuk mengukur korosi adalah dengan mengekspose sampel material ke dalam lingkungan korosi. Dalam hal ini pengukurannya ditekankan pada laju korosi seragam dari sampel (coupon) yang mengalami kehilangan berat. Sebelum dilakukan proses pengujian, terlebih dahulu dilakukan preparasi terhadap sampel yang akan digunakan. Pada umumnya sampel yang digunakan berbentuk segiempat atau lingkaran. Permukaan sampel kemudian

dibersihkan dari oksida-oksida yang menempel menggunakan kertas ampelas dan dilanjutkan dengan melakukan penimbangan berat awal sampel. Kemudian sampel direndam kedalam larutan selama waktu yang telah ditentukan. Setelah proses perendaman selesai, dilakukan pembersihan dan penimbangan berat akhir sampel. Hasil pengurangan berat awal dan berat akhir digunakan untuk mengukur laju korosi.

Dalam penentuan laju korosi suatu logam, maka digunakan persamaan berikut ini^[33]:

$$CR = \frac{K.W}{D.A.T} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

W = Berat yang hilang (gram)

D = Berat jenis logam (gram/cm³)

A = Luas permukaan kontak (cm²)

T = Waktu paparan (jam)

K = Konstanta laju korosi (mpy = 3,45x10⁶)

Sedangkan persamaan untuk menghitung efisiensi inhibisi dijelaskan berikut ini.

$$IE (\%) = \frac{(CR_{uninhibited} - CR_{inhibited})}{CR_{uninhibited}} \times 100 \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

CR_{uninhibited} = laju korosi tanpa inhibitor

CR_{inhibited} = laju korosi dengan inhibitor

Tabel 2.5. Konstanta Laju Korosi

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

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

$$\theta = \frac{IE\%}{100} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

θ = derajat surface coverage

IE% = efisiensi inhibitor (%)

Berikut adalah persamaan yang digunakan dalam teori Langmuir.

$$\frac{C}{\theta} = \frac{1}{K_{ads}} + C \dots\dots\dots (2.5)$$

$$K_{ads} = \frac{1}{55,5} \exp\left(\frac{-\Delta G^0}{RT}\right) \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana:

C = konsentrasi inhibitor (mg/L)

K_{ads} = konstanta kesetimbangan adsorpsi

θ = derajat surface coverage

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

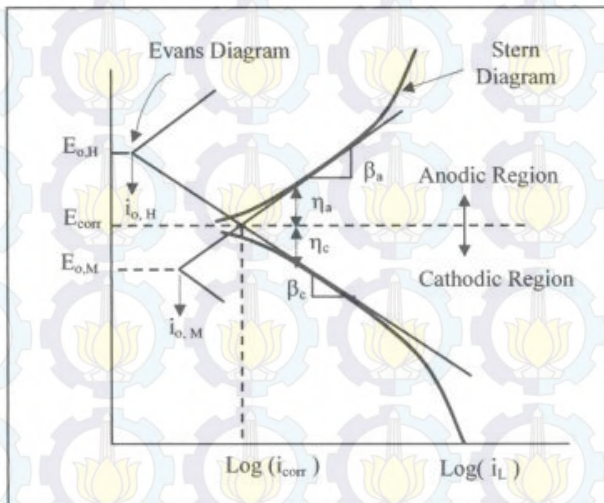
T = temperatur (K)

ΔG^0 = Standart Energi Bebas Adsorpsi (kJ/mol)

2.14. Pengujian Tafel Polarisasi

Polarisasi merupakan suatu fenomena dimana terjadi penyimpangan potensial dari kondisi kesetimbangannya. Dengan metoda polarisasi, laju korosi dapat ditentukan oleh kerapatan arus yang timbul (*current density*) untuk menghasilkan suatu kurva polarisasi (tingkat perubahan potensial sebagai fungsi dari besarnya arus yang digunakan) untuk permukaan yang laju korosinya sedang ditentukan. Semakin tinggi kerapatan arus yang timbul, maka korosi akan semakin hebat begitupula sebaliknya^[35]. Ketika potensial pada logam terpolarisasi menggunakan arus pada arah positif, maka hal ini disebut sebagai terpolarisasi secara anodik. Apabila potensial pada permukaan logam terpolarisasi menggunakan arus pada arah negatif, maka disebut terpolarisasi secara katodik.

Pada gambar 2.6 menjelaskan bahwa $E_{o,M}$ dan $E_{o,H}$ adalah open sirkuit potensial untuk logam dan hidrogen. Kemudian nilai $i_{o,H}$ dan $i_{o,M}$ adalah perubahan kerapatan arus dan i_L adalah kerapatan arus terbatas. Untuk elektroda yang *reversible*, Evans diagram dapat digunakan untuk menentukan titik korosi dimana garis antara katodik hidrogen dan anodik logam berpotongan. Disisi lain, perilaku elektrokimia yang tidak *reversible* ditunjukkan oleh katodik dan anodik dari Stern Diagram yang juga digunakan untuk menentukan titik korosi dengan ekstrapolasi sisi linear kedua kurva hingga berpotongan.



Gambar 2.6. Skema Kurva Polarisasi yang Menunjukkan Ekstrapolasi Tafel^[34]

Berikut adalah persamaan yang akan digunakan dalam menentukan laju korosi dan laju kehilangan massa.

$$B = \frac{b_a \cdot b_c}{2,303 (b_a + b_c)} \dots\dots\dots(2.7)$$

dimana:

B = Stern-Geary constant (V)

b_a = slope of anodic Tafel reaction (V/decade)

b_c = slope of cathodic Tafel reaction (V/decade)

Setelah dilakukan perhitungan i_{cor} dengan persamaan dibawah ini.

$$i_{cor} = \frac{B}{R_p} \dots\dots\dots(2.8)$$

dimana:

i_{cor} = corrosion current density ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

R_p = polarization resistance ($\Omega \text{ cm}^2$)

Kemudian dilakukan perhitungan *corrosion rate* dengan persamaan berikut.

$$CR = K_1 \frac{i_{cor}}{\rho} EW \dots\dots\dots(2.9)$$

dimana:

CR = corrosion rate (mpy)

$K_1 = 0,1288$ (mpy g/ $\mu\text{A cm}$)

ρ = densitas logam (g/cm^3)

EW = equivalent weight (g/mol)

Setelah nilai *corrosion rate* diperoleh, maka mencari nilai *mass loss rate* dengan persamaan berikut ini.

$$MR = K_2 \cdot i_{cor} \cdot EW \dots\dots\dots(2.10)$$

dimana:

MR = mass loss rate ($\text{g/m}^2 \text{ d}$)

$K_2 = 8,954 \times 10^{-3} \text{ (g cm}^2/\mu\text{A m}^2 \text{ d)}$

2.15. Pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS)

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

EIS bekerja berdasarkan respon terhadap sirkuit yang setara untuk *interface* elektroda/larutan. EIS digunakan untuk menentukan parameter kinetika elektrokimia berkaitan dengan unsur-unsur listrik seperti tahanan, R, kapasitansi, C, dan induktansi, L. Tahanan listrik dalam EIS dinyatakan dengan impedansi (Z). Impedansi adalah ukuran kemampuan suatu rangkaian dalam menahan arus listrik. Dalam impedansi, sinyal potensial dan arus AC berada dalam fasa yang berbeda, dan nilainya dipengaruhi oleh frekuensi. Impedansi elektrokimia diukur melalui potensial AC yang diterapkan pada sel elektrokimia untuk mengukur arus dengan asumsi bahwa potensial yang dibangkitkan sinusoidal^[34].

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

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

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

dimana :

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

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

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

f = frekuensi sinyal (Hz)

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

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

t = waktu (s)

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

$j^2 = -1$

Untuk mengetahui besarnya efisiensi inhibisi maka digunakan persamaan berikut ini.

$$\%EI = \frac{R_{p(inh)} - R_{p(uninh)}}{R_{p(inh)}} \times 100 \dots\dots\dots(4.11)$$

dimana:

$R_{p(inh)}$ = hambatan polarisasi inhibitor (Ω)

$R_{p(uninh)}$ = hambatan polarisasi tanpa inhibitor (Ω)

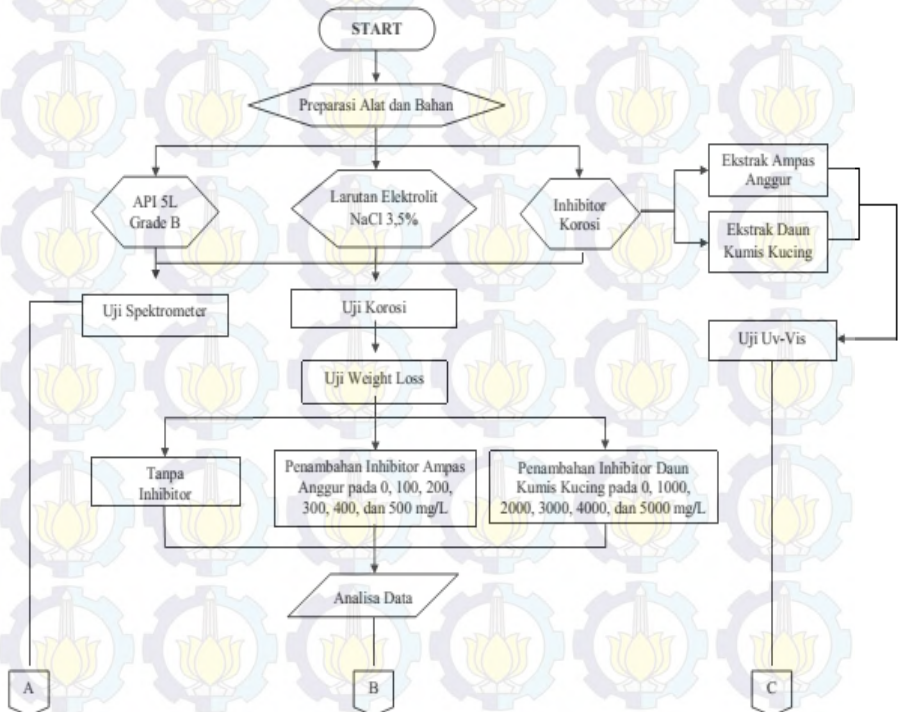


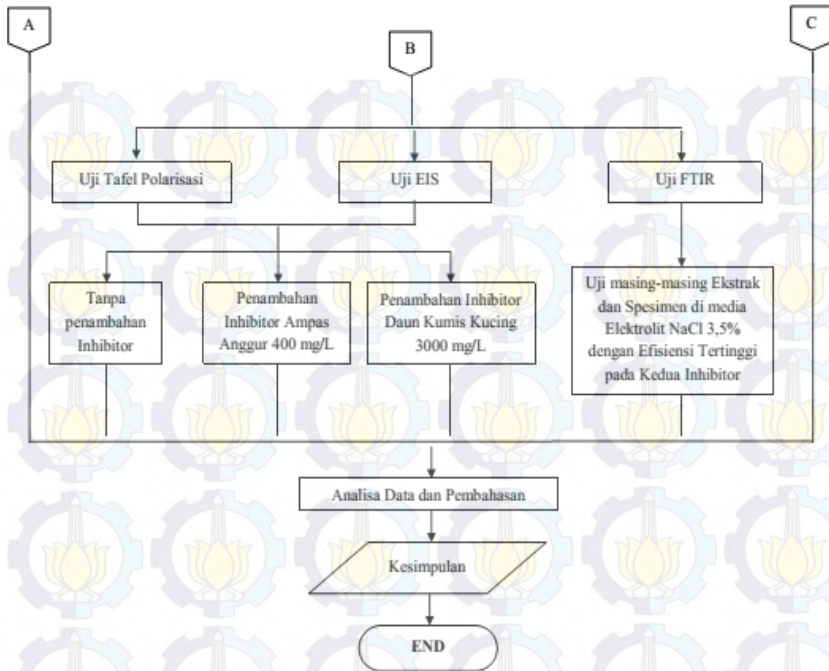
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah diagram alir penelitian mengenai inhibitor korosi ini dilakukan.





Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

3.2. Material dan Komposisi Kimia

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja API 5L grade B yang termasuk ke dalam *low carbon steel*. Berikut adalah komposisi dari baja API 5L grade B tersebut.

Tabel 3.1. Komposisi Kimia Baja API 5L Grade B

Unsur	% Komposisi
C	0,09
Mn	0,49
P	0,014
S	0,007
Si	0,011
Sn	0,002
Cr	0,026
Cu	0,018
Ni	0,011
Nb	0,0026
Mo	0,016
N	0,0037
Ti	0,00031
B	0,00002
W	0,0053
Fe	99,27

3.3. Prosedur Penelitian

Penelitian mengenai inhibitor korosi ini memiliki langkah-langkah atau prosedur yang harus dilakukan secara sistematis. Berikut adalah prosedur dari penelitian ini.

3.3.1. Pemilihan Buah Anggur, Daun Kumis Kucing dan Larutan Elektrolit

Pada penelitian ini digunakan inhibitor dari buah anggur dan daun kumis kucing. Buah anggur (*Vitis vinifera*) yang digunakan adalah jenis anggur Bali. Anggur Bali ini dipilih dari buah yang masih segar, kemudian di-juicer untuk memisahkan air anggur dengan ampas anggur. Dari ampas anggur inilah yang akan dijadikan ekstrak sebagai inhibitor korosi. Pemilihan ekstrak ampas anggur sebagai inhibitor korosi adalah anggur kaya akan zat antioksidan, terutama flavonoid yang terdapat pada kulit dan biji buah. Sedangkan daun kumis kucing diambil langsung dari tanaman kumis kucing di daerah Mojokerto. Kandungan terbanyak dari daun kumis kucing adalah flavonoid dan polifenol yang tergolong dalam grup antioksidan. Pemilihan inhibitor dari ampas anggur dan daun kumis kucing ini didasarkan atas kandungan antioksidan yang tinggi sehingga berperan dalam proteksi korosi pada logam.

Larutan elektrolit yang digunakan dalam penelitian adalah larutan NaCl 3,5%. Pemilihan larutan NaCl 3,5% dikarenakan kadar tersebut dapat mewakili kandungan air laut serta memiliki konduktivitas tinggi, sehingga tingkat korosivitasnya pun juga tinggi. Sebagai ilustrasi, pada dunia industry minyak digunakan pipa eksplorasi dari baja API 5L grade B sebagai *crude oil service*. Pipa service minyak mentah yang didistribusi dari perut

bumi hingga ke plant ini berisi 70% air laut sehingga dibutuhkan inhibitor korosi sebagai proteksi dari korosi internal.

3.3.2. Preparasi

Pada penjelasan dibawah ini dibahas secara detail bagaimana preparasi dari buah anggur dan daun kumis kucing sehingga menjadi ekstrak, preparasi dari specimen, dan preparasi dari larutan elektrolit.

3.3.2.1. Preparasi Buah Anggur dan Daun Kumis Kucing

Dalam penggunaan inhibitor ampas anggur, maka buah anggur dilakukan dengan beberapa preparasi berikut ini.

1. Proses preparasi inhibitor menjadi serbuk

Berikut adalah langkah untuk memproses ampas anggur menjadi serbuk:

- Memilih buah anggur Bali yang masih segar kemudian mencuci bersih buah anggur tersebut.
- Untuk memisahkan sari buah (juice) dengan ampasnya, digunakan juicer. Ampas anggur yang didapatkan dari hasil juicer pertama, dimasukkan ke dalam juicer untuk diproses kembali. Proses *juicing* ini dilakukan sebanyak tiga kali hingga ampas anggur yang didapatkan tidak mengandung banyak air atau sari.

- Setelah ampas anggur didapatkan, maka dikeringkan dengan udara (tidak langsung terkena sinar matahari) selama 5 hari.
- Untuk mendapatkan serbuk ampas anggur, maka ampas yang telah kering tersebut dilakukan *crusher*.



Gambar 3.2. Serbuk Ampas Anggur

Sedangkan langkah untuk memproses daun kumis kucing menjadi serbuk dijelaskan berikut ini.

- Memilih daun kumis kucing yang masih berwarna hijau segar, dipisahkan dari daun yang berwarna agak kecoklatan.
- Mengeringkan daun yang berwarna hijau tersebut tanpa terkena sinar matahari langsung selama 7 hari.
- Setelah daun kumis kucing tersebut kering, maka dijadikan serbuk dengan cara di-*crusher*.



Gambar 3.3. Serbuk Daun Kumis Kucing

2. Proses ekstrak

Metode ekstrak yang digunakan untuk mendapatkan ekstrak ampas anggur dan daun kumis kucing adalah metode refluks. Peralatan yang digunakan pada metode ini antara lain:

- | | |
|------------------------------------|---------|
| 1. Labu leher 2 | 1 buah |
| 2. Bulb kondensor | 1 buah |
| 3. Magnetik strirer | 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 plastic | 1 buah |

Sedangkan bahan yang diperlukan pada penelitian ini adalah:

- | | |
|-----------------------------|------------|
| 1. Metanol 70% | 6 liter |
| 2. Serbuk ampas anggur | 750 gram |
| 3. Serbuk daun kumis kucing | 750 gram |
| 4. Air pendingin | secukupnya |
| 5. Plastisin | secukupnya |

Setelah semua peralatan dan bahan tersedia, berikut adalah langkah mengekstrak inhibitor ampas anggur maupun daun kumis kucing:

1. Memasukkan serbuk ampas anggur ke dalam labu leher dua sebanyak 75 gram.
2. Menuang metanol 70% sebanyak 750 ml kedalam labu leher dua sambil diaduk merata.
3. Menghubungkan selang air ke bulb kondensor dan ke pompa aquarium dalam ember plastic.
4. Mengisi ember plastic dengan air pendingin (air es) secukupnya.
5. Memasang bulb kondensor dan termometer pada masing masing leher labu (seperti Gambar 3.4).
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 60°C dan diekstrak selama 90 menit.



Gambar 3.4. Rangkaian Peralatan Ekstrak

8. Setelah 90 menit, ekstrak ampas anggur disaring menggunakan kertas saring, kemudian dipekatkan menggunakan wadah aluminium dengan temperatur 60°C , dilakukan hingga ekstrak menjadi pekat.
9. Pada langkah 1-8 dilakukan sebanyak 4 kali dengan menggunakan ampas anggur yang masih kering, untuk mendapatkan ekstrak yang lebih banyak.
10. Pada langkah 1-9 dilakukan untuk mengekstrak daun kumis kucing dengan cara yang sama.

3.3.2.2. 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.

A. Spesimen Uji Weight Loss

1. Memotong specimen dengan ukuran 20x20x3 mm sebanyak 180 buah, dengan pembagian masing-masing 90 buah untuk specimen yang direndam 3,5% NaCl dengan penambahan inhibitor ampas anggur maupun inhibitor daun kumis kucing.
2. Menggerinda specimen agar coating serta pengotor pada permukaan dapat dihilangkan.
3. Membor specimen baja API 5L grade B pada salah satu sisi dengan diameter bor 3 mm.



Gambar 3.5. Spesimen Uji *Weight loss*

B. Spesimen Uji Tafel Polarisasi

1. Memotong spesimen berdiameter 10 mm dan tebal 3 mm.

2. Menggerinda specimen agar coating serta pengotor pada permukaan dapat dihilangkan.
3. Menyambung spesimen dengan kawat tembaga menggunakan timah.
4. Memounting spesimen dengan campuran resin dan katalis dalam cetakan PVC dengan diameter setengah inchi.
5. Setelah kering, spesimen dilepas dari cetakan.
6. Menggrinding spesimen dengan kertas amplas grade 80, 200, 400, 800, dan 1000.

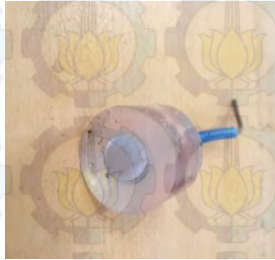


Gambar 3.6. Spesimen Uji Tafel Polarisasi

C. Spesimen Uji EIS

1. Memotong spesimen menjadi berdiameter 10 mm dan tebal 3 mm.
2. Menyambung spesimen dengan kawat tembaga menggunakan timah.
3. Memounting spesimen dengan campuran resin dan katalis dalam cetakan PVC dengan diameter setengah inchi.
4. Setelah kering, spesimen dilepas dari cetakan.

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



Gambar 3.7. Spesimen Uji EIS

3.3.2.3. Preparasi Larutan Elektrolit

Pada penelitian ini larutan elektrolit yang digunakan adalah larutan elektrolit NaCl 3,5%. Berikut adalah langkah-langkah pembuatan larutan NaCl.

1. Menimbang kristal NaCl sebanyak 35,24 gram.
2. Melarutkan kristal NaCl ke dalam labu ukur dengan menambahkan aquades hingga 1000 ml, sehingga diperoleh konsentrasi NaCl 3,5%.
3. Agar larutan tercampur secara homogen, maka menuang larutan tersebut ke dalam wadah di atas *magnetic stirrer* dengan setting kecepatan vibrasi
4. Setelah garam terlarut sempurna, larutan siap digunakan untuk pengujian selanjutnya.

3.4 Pengujian

3.4.1. Pengujian Spektrofotometri UV-Vis

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

A. Preparasi Sampel

1. Timbang seksama 1g bahan baku, masukkan ke dalam labu alas bulat.
2. Tambahkan 1,0 mL larutan 0,5% (b/v) hexamethylenetetramine, 20 ml aseton dan 2,0 ml HQ 25% (b/v), refluks selama 2 jam sejak mendidih.
3. Saring campuran menggunakan kapas ke dalam labu ukur 100 ml.
4. Bilas kapas dengan aseton, tambahkan aseton sampai 100 ml, kocok homogen.
5. Masukkan 20 ml filtrat ke dalam corong pisah, tambahkan 20 ml air.
6. Tambahkan 15 ml etil asetat, kocok 10 menit, biarkan memisah.ambil fase etil asetat,
7. Lanjutkan ekstraksi (3x) masing-masing dengan 10 ml etil asetat.
8. Gabung fase etil asetat, cuci 2x masing-masing dengan 50 ml air.
9. Masukkan hasil ekstraksi ke dalam labu ukur 50 ml.

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

B. Prosedur penetapan kadar :

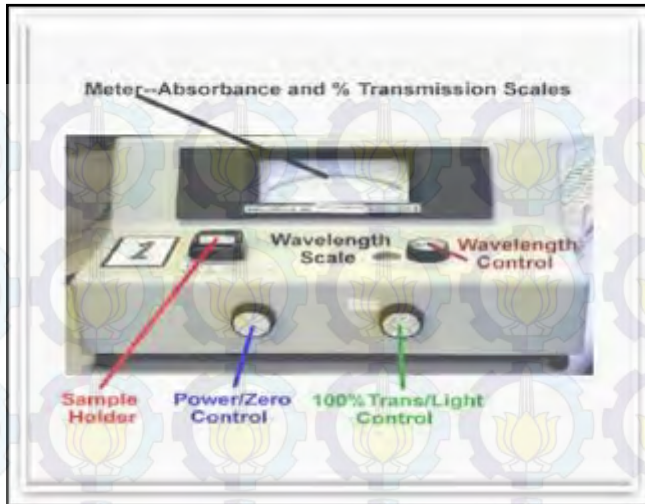
1. Masukkan 10,0 ml fraksi etil asetat ke dalam labu ukur 25 ml .
2. Tambahkan 1 ml larutan AlCl_3 (2 g dalam 100 ml asamasetat glasial - metanol(5+95)) .
3. Tambahkan asamasetat glasial-metanol (5+95) sampai tanda batas volume.

C. Larutan blanko:

1. 10 mL larutan fraksi etil asetat masukkan ke dalam labu ukur 25 ml.
2. Tambahkan larutan asam asetat glasial-metanol (5+95) sampai tanda batas volume.

D. Pengukuran :

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



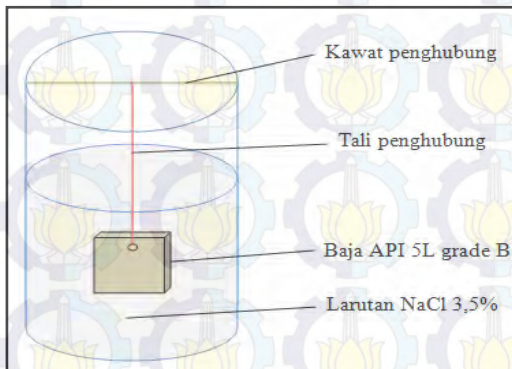
Gambar 3.8. Peralatan UV-Vis untuk uji *Flavonoid Total*

3.4.2. Pengujian *Weight Loss*

Uji *weight loss* atau metode pengurangan berat adalah sebuah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui laju korosi (mpy) suatu benda kerja dengan menggunakan cara menimbang berat awal dan berat akhir setelah dilakukan pengujian *weight loss* ini. Pengujian *weight loss* ini dilakukan dengan mencelupkan benda kerja kedalam larutan atau lingkungan dengan konsentrasi inhibitor yang berbeda. Konsentrasi inhibitor ampas anggur yang dimasukkan kedalam larutan NaCl 3,5% adalah 0, 100, 200, 300, 400, dan 500 mg/L. Sedangkan untuk konsentrasi inhibitor daun kumis kucing adalah 0, 1000, 2000, 3000, 4000, dan 5000 mg/L. Langkah-langkah pengujian *weight loss* dapat dijelaskan sebagai berikut yang mengacu pada standar ASTM (*American Standard*

and Testing Material) G-31 “Laboratory Corrosion Testing of Metals:”

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



Gambar 3.9. Pengujian *Weight Loss*

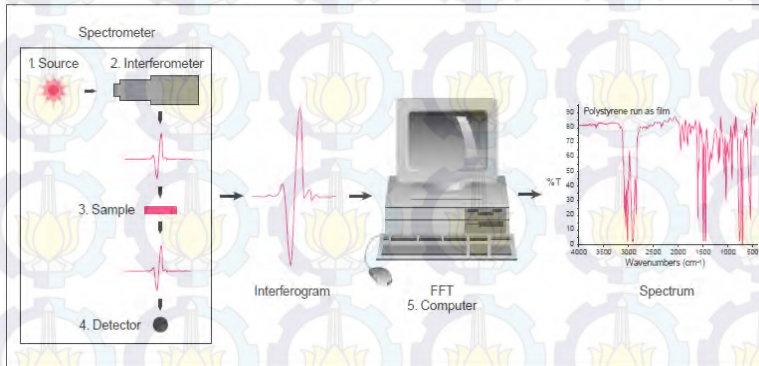
Mekanisme pencucian spesimen pengujian *weight loss* mengarah pada standar ASTM G1-02 “*Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimen*”:

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

3.4.3. Uji *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus gugus fungsi yang terbentuk pada inhibitor ekstrak buah mahkota dewa dan baja API 5L *Grade B* yang telah dilakukan perendaman dengan uji *weight loss*. Langkah langkah nya adalah merendam spesimen ke dalam larutan elektrolit yang telah ditambahkan konsentrasi 3000 mg/L ekstrak daun kumis kucing dan konsentrasi 400 mg/L untuk ekstrak ampas anggur. Untuk NaCl 3,5% lama waktu perendamannya adalah 30 hari dengan tujuan supaya pada waktu 30 hari tersebut diharapkan kinerja dari inhibitor sudah stabil. Metode spektroskopi yang digunakan dalam pengujian FTIR adalah metoda absorpsi yaitu suatu metoda yang didasarkan atas perbedaan penyerapan radiasi inframerah. Spektrum inframerah tersebut dihasilkan dari pentransmisiian cahaya yang melewati *sample*, pengukuran intensitas cahaya dengan detektor dan dibandingkan dengan intensitas tanpa sampel

sebagai fungsi dari panjang gelombang. Dari panjang gelombang tersebut, akan dapat ditentukan gugus fungsi yang bersesuaian dengan panjang gelombang yang terekam pada masing-masing sampel.



Gambar 3.10. Peralatan Uji FTIR

3.4.4. Pengujian Tafel Polarisasi

Pada prinsipnya polarisasi adalah suatu instrumen yang digunakan untuk mengatur beda potensial antara spesimen (elektroda kerja) dengan elektroda acuan (*reference electrode*) dan menggunakan variabel arus antara elektroda kerja dengan elektroda bantu (*auxiliary electrode*). Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM G 5 (*Standart Reference Method for Making Potensiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurement*). Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui laju korosi material pada larutan elektrolit NaCl 3,5% dengan konsentrasi inhibitor ampas anggur yaitu 0, dan 400 ppm. Sedangkan konsentrasi inhibitor daun kumis kucing adalah 3000

mg/L. Dari laju korosi material tersebut juga bisa didapatkan efisien dari inhibitor yang digunakan.

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

a. Elektroda Kerja

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

b. Elektroda Bantu

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

c. Elektroda Acuan

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

Prosedur pengujian polarisasi potensiodinamik adalah sebagai berikut:

- a. Mempersiapkan alat dan bahan yaitu spesimen baja API 5L grade B dengan *surface* kontak sebesar 10 mm x10 mm dan larutan elektrolit NaCl 3,5% dan penambahan inhibitor ampas

anggur 400 mg/L serta penambahan inhibitor daun kumis kucing 3000 mg/L.

- b. Memasukkan larutan elektrolit kedalam gelas sebanyak 150 ml.
- c. Memasang elektroda kerja pada rangkaian alat polarisasi.
- d. Menjalankan pengujian polarisasi dengan bantuan software AUTOLAB PGSTAT.



Gambar 3.11. Peralatan Polarisasi Linear

3.4.5. Uji Impedansi dengan Metode EIS

Pengujian EIS dilakukan dengan menggunakan software AUTOLABPGSTAT128N yang terdiri dari elektroda kerja, elektroda acuan dan elektroda bantu. Electrochemical Impedance Spectroscopy adalah suatu metode untuk menganalisis respon suatu electrode yang terkorosi terhadap sinyal potensial AC sebagai fungsi frekuensi. Metode EIS dimaksudkan untuk mengetahui

inhibisi pada logam dengan inhibitor apakah secara kinetika dikontrol oleh transfer muatan atautkah transfer massa. Pada prinsipnya EIS digunakan untuk menentukan parameter kinetika elektrokimia berkaitan dengan elemen-elemen listrik seperti tahanan, R , kapasitansi, C , dan induktansi, L . Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian EIS dengan variasi media korosif NaCl 3,5% serta konsentrasi inhibitor ampas anggur pada efisiensi tertinggi yang didapatkan dari metode *weight loss* yaitu 400 mg/L dan inhibitor daun kumis kucing sebesar 3000 mg/L.



Gambar 3.12. Alat Uji EIS



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian yang sesuai pada prosedur penelitian bab 3, maka diperoleh sejumlah data berupa: komposisi kimia baja API 5L Grade B dengan uji *Spectrometer*, kadar flavonoid total pada ekstrak ampas anggur (*Vitis vinifera*) maupun daun kumis kucing (*Orthosiphon stamineus*) dengan uji UV-Vis, senyawa yang terkandung dalam masing-masing ekstrak maupun senyawa yang terdapat pada permukaan spesimen dengan uji FTIR, laju korosi dan efisiensi inhibisi dengan uji *weight loss* dan tafel polarisasi, serta mekanisme inhibisi dengan uji EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*).

4.1. Hasil

4.1.1. Hasil Pengujian Spektrometer

Pengujian spectrometer ini bertujuan untuk mengidentifikasi komposisi kimia pada baja API 5L grade B. Unsur pembentuk suatu material mempengaruhi sifat mekanik, sehingga perlu diketahui komposisi kimianya. Sebelum pengujian, material uji harus dipreparasi terlebih dahulu dengan cara menggerinding permukaan hingga menjadi datar dan halus. Pengujian ini menggunakan ukuran logam 20 x 20 x 3 mm. Metode uji yang digunakan adalah JIS G 1253 : 2002. Berikut adalah komposisi kimia dari baja API 5L Grade B.

Tabel 4.1. Komposisi Kimia Baja API 5L Grade B

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

Dari pengujian spectrometer, baja API 5L grade B tergolong kedalam *low carbon steel* dikarenakan kadar karbon kurang dari 0,30%. Adanya unsur tambahan dapat mempengaruhi sifat mekanik dan ketahanan korosi terhadap lingkungan kerja. Unsur paduan mangan (Mn) memiliki ketahanan *impact* yang baik. Namun, persentase mangan dari baja API 5L grade B sebesar 0,37488% atau dapat dikatakan kurang dari 12%, maka adanya unsur mangan ini tidak terlalu berpengaruh terhadap sifat mekanik material. Sedangkan penambahan unsur silicon (Si) mempengaruhi sifat mekanik yaitu menaikkan kekuatan serta ketangguhan material bila penambahannya lebih dari 0,6%. Oleh

karena baja API 5L grade B memiliki kadar Mn sebesar 0,37488%, maka unsur Mn tidak begitu mempengaruhi ketangguhan baja ini. Baja API 5L ini memiliki kadar krom (Cr) sebesar 0,04622%. Persentase krom yang sangat sedikit ini tidak begitu baik dalam hal ketahanan korosinya, dimana untuk memiliki sifat tahan korosi yang baik dibutuhkan penambahan sedikitnya 5%. Oleh karena sifat ketahanan korosi baja API 5L grade B tersebut, maka dibutuhkan penelitian mengenai inhibitor korosi.

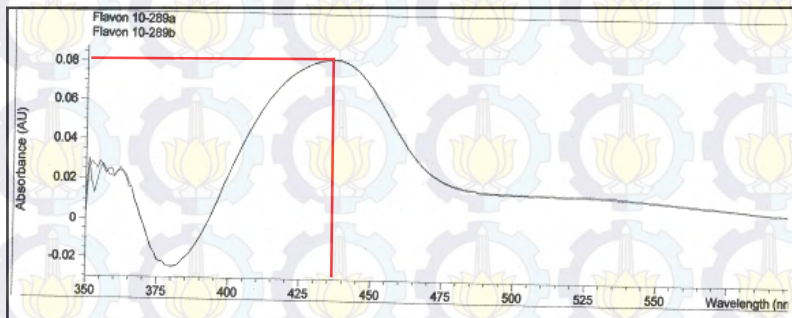
4.1.2. Hasil Pengujian UV-Vis

Pengujian Uv-Vis atau Ultraviolet Visible ini bertujuan untuk mengidentifikasi kadar flavonoid total pada inhibitor ampas anggur maupun daun kumis kucing. Dalam penentuan kadar flavonoid ini digunakan metode spektrofotometri. Pada pengujian ini digunakan analisa kuantitatif, dimana spektrofotometri Uv-Vis adalah pengukuran serapan cahaya di daerah ultraviolet (200–350 nm) dan sinar tampak (350 – 800 nm) oleh suatu senyawa. Adanya kandungan flavonoid teridentifikasi melalui panjang gelombang absorbansi maksimal yang diserap oleh sample masing-masing inhibitor. Setelah running pengujian tersebut, maka digunakan persamaan (2.1) untuk menentukan kadar flavonoid dalam tiap gram sample.

4.1.2.1. Hasil Pengujian UV-Vis pada Inhibitor Ampas Anggur

Sebelum dilakukan pengujian Uv-Vis, pertama kali adalah preparasi ekstrak. Pada mulanya memilih anggur bali segar, kemudian di-juicer untuk memisahkan air dengan ampasnya. Proses *juicer* pada ampas anggur ini dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan agar didapatkan ampas yang mengandung sedikit air. Setelah itu dilakukan proses pengeringan selama lima hari dan dilakukan penghalusan ampas anggur hingga menjadi bubuk.

Setelah didapatkan bubuk ampas anggur, dilakukan proses ekstrak dengan metode reflux. Kemudian dilakukan pemekatan hingga menjadi ekstrak kental dari ampas anggur. Dari ekstrak inilah yang diuji Uv-Vis, sehingga dapat diidentifikasi total flavonoidnya. Berikut adalah overlaid spectra dari ekstrak ampas anggur seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. Overlaid Spectra pada Inhibitor Ampas Anggur

Dari gambar 4.1 terlihat bahwa puncak tertinggi dari panjang gelombang adalah pada 435 nm. Pengujian ini dilakukan pengulangan dua kali pada panjang gelombang yang sama dan menghasilkan intensitas absorbansi sebesar 0,081981 dan 0,082196.

Tabel 4.2. Total Flavonoid pada Inhibitor Ampas Anggur

Gram Sample	Absorbansi	% Flavonoid
1,0050	0,081981	0,102
1,0247	0,082196	0,100
Rata-rata		0,101

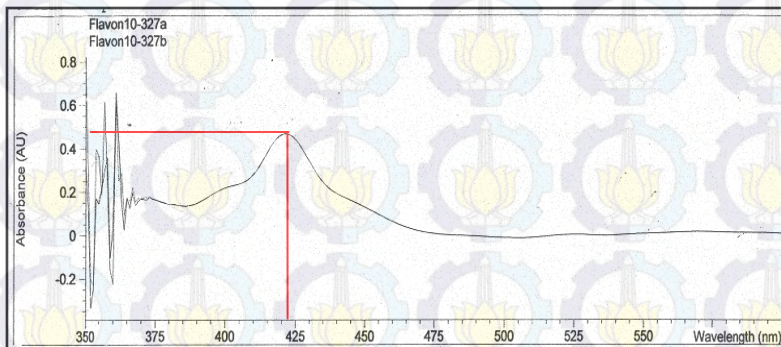
Dari tabel 4.2, pada jumlah sample seberat 1,005 gram, nilai absorbansinya adalah 0,081981. Dengan menggunakan persamaan (2.1), maka flavonoidnya sebesar 0,102%. Sedangkan pada pengulangan sample berikutnya digunakan 1,0247 gram dan nilai absorbansinya sebesar 0,082196 serta flavonoidnya adalah 0,1%. Dari kedua nilai flavonoid tersebut didapatkan rata-ratanya adalah 0,101%.

4.1.1.2. Hasil Pengujian UV-Vis pada Inhibitor Daun Kumis Kucing

Seperti hal sebelumnya, pertama kali dilakukan adalah preparasi ekstrak. Pada mulanya memilih daun kumis kucing yang masih segar. Daun kumis kucing ini tersedia melimpah di

daerah Mojokerto. Setelah dilakukan pemilihan daun, kemudian memotong kecil-kecil daun tersebut. Lalu dilakukan pengeringan selama 7 hari. Setelah daun menjadi kering, dilakukan crusher agar menjadi powder.

Setelah didapatkan powder daun kumis kucing, dilakukan proses ekstrak dengan metode reflux. Lalu dipekatkan hingga menjadi ekstrak kental dari daun kumis kucing. Ekstrak inilah yang dilakukan pengujian total flavonoid. Berikut adalah overlaid spectra dari ekstrak daun kumis kucing seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2. Overlaid Spectra pada Inhibitor Daun Kumis Kucing

Dari gambar 4.2 dengan pengulangan pengujian sebanyak dua kali menghasilkan nilai absorbansi 0,46675 dan 0,46691. Pada kedua nilai absorbansi tersebut terdapat dalam range panjang gelombang yang sama, yaitu 421 nm. Berikut adalah

tabel 4.3 mengenai total flavonoid pada inhibitor daun kumis kucing.

Tabel 4.3. Total Flavonoid pada Inhibitor Daun Kumis Kucing

Gram Sample	Absorbansi	% Flavonoid
1,0939	0,46675	0,533
1,0907	0,46691	0,535
Rata-rata		0,534

Pada massa sample sebesar 1,0939 gram, nilai absorbansinya adalah 0,46675 dan flavonoidnya sebesar 0,533%. Sedangkan massa sample seberat 1,0907 gram, nilai absorbansinya sebesar 0,46691 dan flavonoidnya adalah 0,535%. Jadi, rata-rata flavonoidnya sebesar 0,534%.

Pada tabel 2.4 mengenai pita absorpsi UV dari flavonoid dapat diketahui bahwa ekstrak daun kumis kucing termasuk ke dalam jenis auron, karena wavelength 421 nm termasuk ke dalam range 370-430 nm.

4.1.3. Hasil Pengujian FTIR

Pengujian FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) bertujuan untuk mengetahui gugus fungsional pada inhibitor ekstrak ampas anggur (*Vitis vinifera*), daun kumis kucing (*Orthosiphon stamineus*) serta baja API 5L grade B yang telah dilakukan perendaman dengan metode weight loss. Cara kerja dari uji FTIR

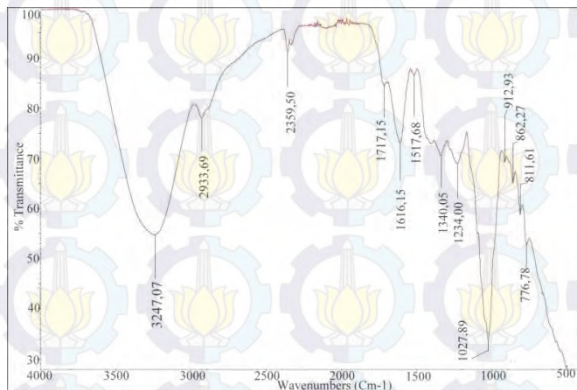
adalah metode absorpsi, dimana terdapat perbedaan penyerapan dari radiasi *infrared* yang diserap oleh sample uji. Perbedaan panjang gelombang ini yang dapat menunjukkan senyawa organik maupun inorganik pada sample tersebut, sehingga dapat diketahui gugus fungsional yang ada pada permukaan baja.

Pengujian ini dilakukan pada masing-masing ekstrak dan specimen yang telah direndam, kemudian didapatkan kurva FTIR yang nantinya akan dibandingkan antara keduanya untuk mengetahui senyawa organik yang berfungsi sebagai penghambat laju korosi. Berikut adalah analisa dari masing-masing pengujian FTIR dengan penambahan kedua inhibitor tersebut. Analisa ini berdasarkan referensi "*Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies*" oleh George Socrates (2001).

4.1.3.1. Hasil Pengujian FTIR pada Penambahan Inhibitor Ampas Anggur

Pengujian FTIR ini meliputi ekstrak ampas anggur dan baja API 5L yang telah direndam dengan NaCl 3,5% beserta inhibitor ampas anggur. Pada penelitian ini, inhibitor yang digunakan adalah ampas anggur, dimana ampas anggur ini terdiri dari kulit, biji, dan sedikit daging buah anggur. Anggur memiliki kandungan antioksidan yang tinggi, misalnya flavonoid dan polifenol. Kandungan-kandungan tersebut merupakan antioksidan yang baik dalam menghambat laju korosi.

Untuk mengetahui senyawa apakah yang terabsorpsi pada permukaan baja API 5L maka perlu dibandingkan hasil FTIR antara ekstrak ampas anggur dengan baja API 5L yang telah direndam. Berikut adalah analisis dari hasil FTIR dengan penambahan inhibitor ampas anggur.



Gambar 4.3. Spektrum FTIR Ekstrak Ampas Anggur

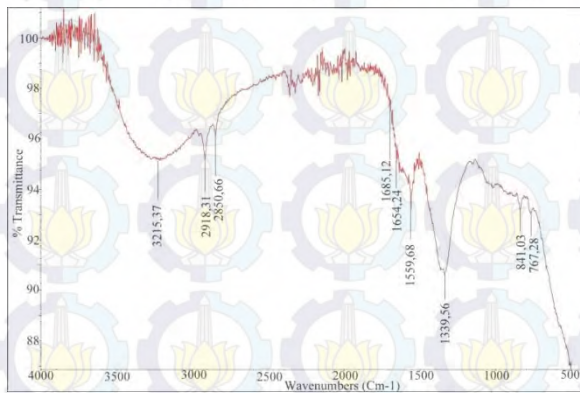
Pada gambar 4.3 mengenai spektrum FTIR ampas anggur terdapat beberapa peak. Peak ini masing-masing memiliki nilai frekuensi yang akan dihubungkan dengan range frekuensi pada referensi. Ikatan pada $3247,07 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan senyawa fenol O-H yang termasuk ke dalam grup hidroksil dan senyawa oxima C=N-OH. Ikatan pada $2933,68 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan senyawa methyl ketone C=O yang termasuk ke dalam grup karbonil, amida CO.NH.CH₃ dimana termasuk ke dalam grup karbonil, dan ethyl ester O-CH₂CH₃. Kemudian wavenumber $2359,50 \text{ cm}^{-1}$

menunjukkan adanya senyawa fosfor organik $R(OH)_2P=O$. Ikatan pada $1717,15\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan senyawa haloformat $H-C=CCOOR$ dan senyawa diaryl dithiolkarbonat $Ar-S-CO-S-Ar$, dimana kedua senyawa tersebut tergolong ke dalam grup karbonil. Ikatan pada $1616,15\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan senyawa nitrat $O-NO_2$ dimana tergolong ke dalam nitrogen organik, naftalen aromatik $C=C$, dan lipid $cis-C=C-$. Ikatan pada $1517,68\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan senyawa lipid R_2NH . Ikatan pada $1340,05\text{ cm}^{-1}$ adalah senyawa alkana CH_3 . Ikatan pada 1234 cm^{-1} adalah senyawa aromatic benzene $=C-H$. Kemudian pada $1027,89\text{ cm}^{-1}$ adalah senyawa nitroamin $N-NO_2$. Ikatan pada $912,93\text{ cm}^{-1}$ adalah senyawa selenon R_2SeO_2 . Ikatan pada $862,27\text{ cm}^{-1}$ adalah senyawa nitrat $O-NO_2$. Ikatan pada $811,61\text{ cm}^{-1}$ adalah senyawa vinil $-CH=CH_2$ yang termasuk dalam grup alkena $C-H$. Sedangkan ikatan pada $776,78\text{ cm}^{-1}$ adalah senyawa saturated aliphatic acid chloride $C-Cl$.

Menurut penelitian J.C. da Rocha (2012), karakterisasi FTIR dari ekstrak ampas anggur yang berasal dari pengolahan wine, dimana ampas ini terdiri dari kulit, biji, dan batang buah anggur. Ikatan kuat pada 3440 cm^{-1} adalah gugus fenolik $O-H$. Ikatan pada 2981 cm^{-1} adalah $C-H$. Ikatan kuat pada 1640 cm^{-1} adalah $C=O$. Ikatan pada 1452 cm^{-1} adalah cincin aromatic $C=C-C$. Ikatan antara 1310 dan 1390 cm^{-1} adalah senyawa fenol $C-O-H$. Ikatan pada 1273 cm^{-1} adalah senyawa $C-O$ dari struktur cincin piran yang menunjukkan adanya flavonoid. Ikatan pada 1045 dan

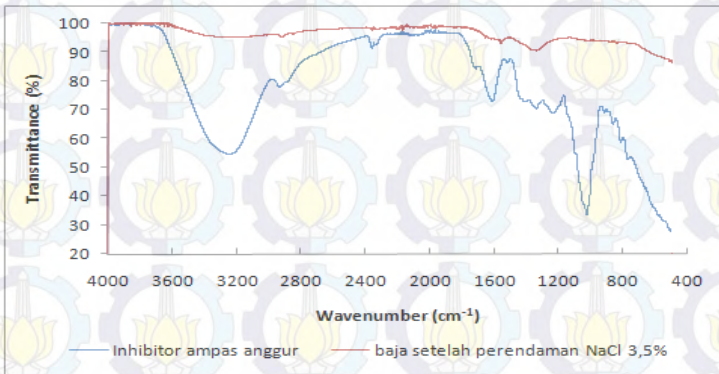
1087 cm^{-1} adalah deformasi C-H dari cincin aromatic. Hasil ini mengindikasikan bahwa ekstrak ampas anggur mengandung flavonoid dalam komposisinya, yang dapat berperan sebagai inhibitor korosi^[36].

Pada gambar 4.4 mengenai spectrum FTIR baja API 5L dengan penambahan inhibitor ampas anggur sebanyak 400 mg/L ke dalam larutan NaCl 3,5% maka didapatkan frekuensi peak seperti diatas. Frekuensi peak ini dihubungkan dengan range frekuensi pada referensi, sehingga dapat diketahui senyawa yang terbentuk pada permukaan baja tersebut. Berikut dijelaskan detail mengenai ikatan-ikatan yang terbentuk pada permukaan baja API 5L grade B dengan penambahan inhibitor ampas anggur.



Gambar 4.4. Spektrum FTIR Baja API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Ampas Anggur 400 mg/L Ikatan pada 3215,37 cm^{-1} adalah senyawa fenol O-H. Ikatan pada 2918,31 cm^{-1} dan 2850,66 cm^{-1} adalah senyawa metil

keton C=O. Ikatan pada $1685,12\text{ cm}^{-1}$ adalah senyawa aliphatic amine tersier C=C-N. Ikatan pada $1654,24\text{ cm}^{-1}$ adalah senyawa nitrat O-NO₂. Ikatan pada $1559,56\text{ cm}^{-1}$ adalah senyawa lipid R₂NH. Ikatan pada $1339,56\text{ cm}^{-1}$ adalah senyawa alkana CH₃. Ikatan pada $841,03\text{ cm}^{-1}$ adalah senyawa nitrat O-NO₂. Sedangkan ikatan pada $767,26\text{ cm}^{-1}$ adalah senyawa saturated aliphatic acid chlorides C-Cl.



Gambar 4.5. Gabungan Spektrum FTIR Inhibitor Ampas Anggur dan Baja API 5L Grade B

Dari gambar 4.5 terlihat bahwa terdapat beberapa peak dari baja yang konturnya hampir sama dengan peak pada inhibitor ampas anggur. Beberapa peak yang sama tersebut menunjukkan tingkat adsorpsi permukaan baja terhadap inhibitor ampas anggur, dimana adsorpsi ini berfungsi sebagai pembentuk lapisan proteksi terhadap serangan korosi. Walaupun sekilas terlihat sedikit peak yang sama, tetapi bila diamati dari sisi frekuensi peak masing-

masing didapatkan data seperti pada tabel 4.4. Data dibawah ini menunjukkan senyawa-senyawa yang teradsorpsi pada permukaan baja API 5L yang memungkinkan untuk menghambat laju korosi.

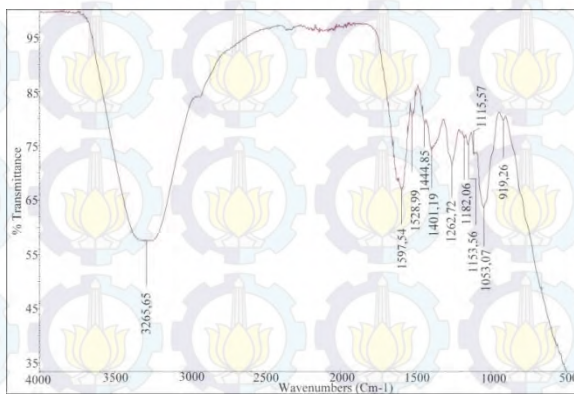
Tabel 4.4. Analisa Gugus Fungsi FTIR pada Penambahan Inhibitor Ampas Anggur

No.	Ikatan	Tipe Senyawa	Range Frekuensi (cm ⁻¹)	Inhibitor Ampas Anggur	Baja API 5L
1	O-H	Fenol	3270-3000	3247,07	3215,37
	C=N-OH	Oxima	3300-3130		
2	C=O	Methyl ketone	2940-2840	2933,69	2918,31 2850,66
	O-CH ₂ CH ₃	Ethyl ester	2995-2930		
	CO.NH.CH ₃	Amida	3000-2930		
3	R(OH) ₂ P=O	Fosfor organik	2360-2200	2359,50	
4	H-C=CCOOR	Haloformat	1720-1705	1717,15	
	Ar-S-CO-S-Ar	Diaryl thiolkarbonat	1720-1715		
5	C=C	Naftalen (aromatic)	1620-1580	1616,15	1654,24
	O-NO ₂	Nitrat	1660-1615		
	Cis-C=C-	Lipid	1680-1600		
6	R ₂ NH	Lipid	1650-1520	1517,68	1559,68
7	CH ₃	Alkana	1385-1335	1340,05	1339,56
8	=C-H	Benzena (aromatic)	1250-1230	1234	
9	N-NO ₂	Nitroamin	1030-980	1027,89	
10	O-NO ₂	Nitrat	870-840	862,27	841,03
11	C-Cl	Saturated aliphatic acid chlorides	780-560	776,78	767,26

Dari tabel 4.4 diperoleh senyawa fenol, metil keton, nitrat, lipid, alkana, dan saturated aliphatic acid chloride terdapat pada kedua spectrum, sehingga inhibitor ampas anggur ini memungkinkan untuk menghambat laju korosi dengan cara membentuk senyawa seperti yang telah disebutkan diatas.

4.1.3.2. Hasil Pengujian FTIR pada Penambahan Inhibitor Daun Kumis Kucing

Seperti hal sebelumnya, inhibitor daun kumis kucing juga memiliki beberapa senyawa yang juga berperan dalam melindungi baja terhadap korosi. Berikut adalah analisis hasil pengujian FTIR dengan penambahan inhibitor daun kumis kucing.



Gambar 4.6. Spektrum FTIR Daun Kumis Kucing

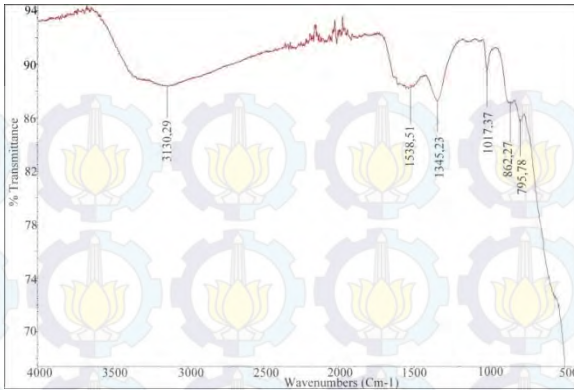
Pada gambar 4.6 mengenai spektrum pada daun kumis kucing memperlihatkan adanya nilai peak. Pada setiap peak tersebut menunjukkan senyawa tertentu yang terkandung dalam ekstrak daun kumis kucing. Ikatan pada $3265,65 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan senyawa fenol O-H, dan ketone C=O. Ikatan pada $1597,54 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan senyawa lipid R_2NH dan cincin aromatic $-C=C-$. Ikatan pada $1444,85 \text{ cm}^{-1}$ adalah senyawa alkana $C(CH_3)_3$. Ikatan pada $1401,19 \text{ cm}^{-1}$ adalah senyawa alkana CH_3 .

Ikatan pada $1262,72\text{ cm}^{-1}$ dan $1153,56\text{ cm}^{-1}$ adalah senyawa aromatic benzene $=\text{C-H}$. Ikatan pada $1115,57\text{ cm}^{-1}$ adalah senyawa fluorin organic $-\text{CH}_2\text{F}$. Ikatan pada $1053,07\text{ cm}^{-1}$ adalah senyawa sulfur organic $\text{C}=\text{S}$. Sedangkan ikatan pada $919,26\text{ cm}^{-1}$ adalah senyawa selenium organic $\text{C}=\text{Se}$.

Menurut penelitian M. Amzad Hossain (2011), spectra IR menunjukkan frekuensi pada 3435 cm^{-1} dan $2954\text{-}2832\text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan adanya gugus hidroksil dan konjugasi C-H, peak absorpsi pada $1649, 1610$ dan 1595 cm^{-1} mengindikasikan kehadiran gugus $\text{C}=\text{O}$ dan ikatan ganda etilen tak simetri serta cincin aromatic^[37].

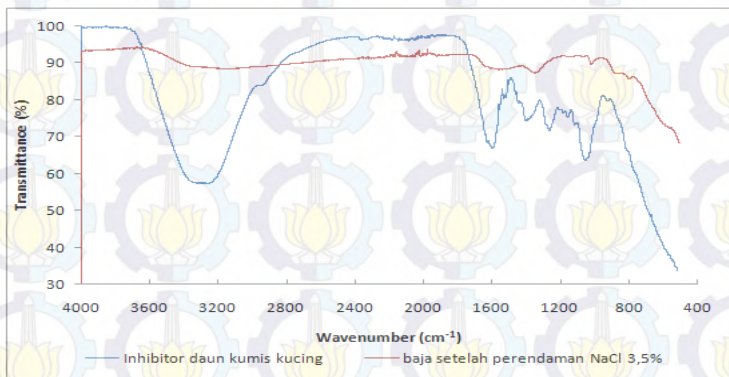
Terdapat beberapa kandungan senyawa yang sama dalam ekstrak daun kumis kucing (*Orthosiphon stamineus*) pada penelitian ini maupun penelitian yang dilakukan oleh M. Amzad Hossain, yakni adanya gugus hidroksil, cincin aromatic, serta gugus $\text{C}=\text{O}$.

Pada gambar 4.7 mengenai spectrum FTIR baja API 5L dengan penambahan inhibitor daun kumis kucing sebanyak 3000 mg/L ke dalam larutan $\text{NaCl } 3,5\%$ maka didapatkan frekuensi peak seperti diatas. Ikatan pada $3130,29\text{ cm}^{-1}$ adalah senyawa fenol O-H dan juga termasuk senyawa vinil $\text{CH}=\text{CH}_2$. Ikatan pada $1538,51\text{ cm}^{-1}$ adalah senyawa lipid R_2NH . Ikatan pada $1345,23\text{ cm}^{-1}$ adalah senyawa alkana $\text{CH}_3\text{-CO}$. Ikatan pada $862,27\text{ cm}^{-1}$ adalah senyawa selenium organic $\text{C}=\text{Se}$. Sedangkan ikatan pada $795,76\text{ cm}^{-1}$ adalah senyawa asam karboksilat C-Cl .



Gambar 4.7. Spektrum FTIR Baja API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Daun Kumis Kucing 3000 mg/L

Berikut adalah gabungan spectrum dari inhibitor daun kumis kucing maupun baja API 5L grade B setelah dilakukan perendaman seperti pada gambar 4.8.



Gambar 4.8. Gabungan Spektrum FTIR Inhibitor Daun Kumis Kucing dan Baja API 5L Grade B

Pada gambar 4.8 terlihat bahwa terbentuk beberapa peak dari baja API 5L yang konturnya hampir sama dengan peak pada inhibitor daun kumis kucing. Beberapa peak yang sama tersebut menunjukkan adanya adsorpsi permukaan baja terhadap inhibitor. Data pada tabel 4.5 menunjukkan senyawa-senyawa yang teradsorpsi pada permukaan baja API 5L yang memungkinkan untuk menghambat laju korosi.

Pada tabel 4.5 diperoleh senyawa fenol, lipid, dan selenium organik terdapat pada kedua spectrum, sehingga inhibitor daun kumis kucing ini memungkinkan untuk menghambat laju korosi dengan cara membentuk senyawa seperti yang telah disebutkan diatas.

Tabel 4.5. Analisa Gugus Fungsi FTIR pada Penambahan Inhibitor Daun Kumis Kucing

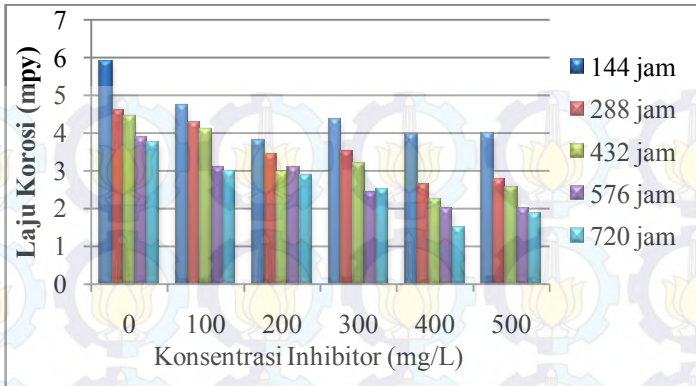
No.	Ikatan	Tipe Senyawa	Range Frekuensi (cm ⁻¹)	Inhibitor Daun Kumis Kucing	Baja API 5L
1	O-H	Fenol	3270-3000	3265,65	3130,29
	C=O	Ketone	3550-3200		
2	CH=CH ₂	Vinil	3150-3000		3130,29
3	R ₂ NH	Lipid	1650-1520	1597,54	1538,51
	-C=C-	Cincin aromatic	1625-1590		
4	C(CH ₃) ₃	Alkana	1475-1435	1444,85	
5	CH ₃	Alkana	1410-1350	1401,19	
6	CH ₃ -CO	Alkana	1365-1345		1345,23
7	=C-H	Benzena (aromatic)	1270-1250	1262,72	
			1170-1150	1153,56	
8	-CH ₂ F	Florin organik	1295-1115	1115,57	
9	C=S	Sulfur organik	1075-1050	1053,07	
10	C=Se	Selenium organik	950-800	919,26	862,27
11	C-Cl	Asam karboksilat	800-600		795,76

4.1.4. Hasil Pengujian Weight Loss

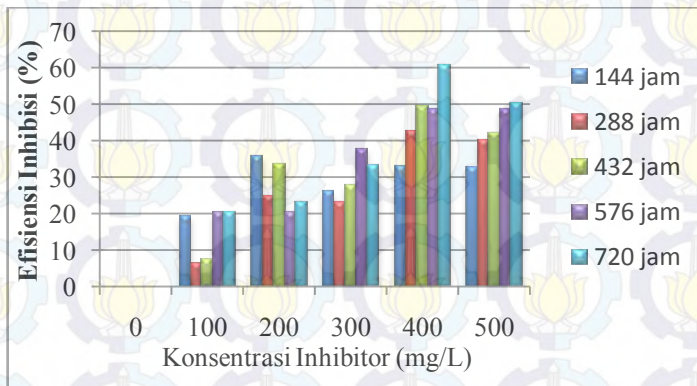
Pengujian *weight loss* merupakan pengujian kehilangan berat, dimana berat awal dari masing-masing logam API 5L grade B tersebut ditimbang terlebih dahulu kemudian dilakukan perendaman (*immersion*) ke dalam larutan 3,5% NaCl dengan penambahan konsentrasi inhibitor yang berbeda. Pada inhibitor ampas anggur digunakan konsentrasi 0, 100, 200, 300, 400, dan 500 mg/L. Sedangkan pada inhibitor daun kumis kucing digunakan konsentrasi 0, 1000, 2000, 3000, 4000, dan 5000 mg/L. Setelah dilakukan perendaman selama masing-masing 144, 288, 432, 576, dan 720 jam maka dilakukan penimbangan berat akhir specimen. Prosedur pengujian *weight loss* ini berdasarkan standar ASTM G31-72.

4.1.4.1. Hasil Uji Weight Loss terhadap Penambahan Inhibitor Ampas Anggur

Pada pengujian *weight loss* dengan cara menambahkan inhibitor ampas anggur masing-masing sebanyak 0, 100, 200, 300, 400, dan 500 mg/L, maka diperoleh grafik laju korosi serta efisiensi inhibisi yang ditunjukkan pada gambar 4.9 dan gambar 4.10.



Gambar 4.9. Grafik Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Ampas Anggur terhadap Laju Korosi API 5L Grade B



Gambar 4.10. Grafik Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Ampas Anggur terhadap Efisiensi Inhibisi API 5L Grade B

Pada gambar 4.9 mengenai pengaruh konsentrasi inhibitor ampas anggur terhadap laju korosi terlihat bahwa

penambahan inhibitor dapat menurunkan laju korosi secara signifikan. Adapun pengambilan data weight loss yaitu pada interval waktu 144 jam.

Pada pengambilan data ke-144 jam, laju korosi terendah adalah 3,7906 mpy dengan konsentrasi inhibitor 200 mg/L. Pada pengambilan data ke-288 jam, laju korosi terendah sebesar 2,6299 mpy dengan konsentrasi 400 mg/L. Kemudian pada data ke-432 jam, laju korosi terendah sebesar 2,2392 mpy dengan konsentrasi 400 mg/L. Pada pengambilan data ke-576 jam, laju korosi terendah sebesar 1,9906 mpy dengan konsentrasi 400 mg/L. Sedangkan pada pengambilan data ke-720 jam, laju korosi terendah sebesar 1,4826 mpy dengan konsentrasi 400 mg/L. Dapat disimpulkan bahwa laju korosi terendah terletak pada penambahan inhibitor sebesar 400 mg/L dengan lama waktu perendaman specimen adalah 720 jam.

Pada gambar 4.10 mengenai pengaruh konsentrasi inhibitor ampas anggur terhadap efisiensi inhibisi terlihat bahwa penambahan konsentrasi inhibitor ini menaikkan efisiensi inhibisi baja API 5L grade B secara signifikan. Pengambilan data weight loss dilakukan dengan interval 144 jam.

Pada pengambilan data ke-144 jam, efisiensi terbesar adalah 35,74% dengan konsentrasi 200 mg/L. Pengambilan data saat data ke-288 jam, efisiensi terbesar adalah 42,73% dengan konsentrasi 400 mg/L. Kemudian pengambilan data ke-432 jam, efisiensi terbesar adalah 49,41% dengan konsentrasi 400 mg/L.

Pengambilan data ke-576 jam, efisiensi terbesar adalah 48,70% dengan konsentrasi 400 mg/L. Sedangkan pada pengambilan di 720 jam, efisiensi tertingginya adalah 60,49% dengan konsentrasi inhibitor 400mg/L. Dapat disimpulkan bahwa efisiensi tertinggi pada penambahan inhibitor ampas anggur adalah 400 mg/L dengan lama waktu perendaman adalah 720 jam.

Pada gambar 4.9 memperlihatkan adanya trend penurunan laju korosi pada seluruh specimen uji weight loss terhadap besarnya konsentrasi inhibitor dan waktu pengambilan specimen. Trend laju korosi tersebut mengalami penurunan hingga pada penambahan konsentrasi inhibitor ampas anggur sebesar 400 mg/L. Ini merupakan titik laju korosi tersebut dapat dihambat dengan adanya inhibitor pada konsentrasi maksimal sebesar 400 mg/L dikarenakan pada penambahan konsentrasi 500 mg/L maka laju korosinya meningkat dari 1,4826 mpy ke 1,8862 mpy dengan lama perendaman 720 jam. Pemberian inhibitor dengan konsentrasi tertentu dapat menurunkan laju korosi tetapi apabila konsentrasinya melebihi batas maksimum, maka akan menaikkan laju korosinya.

Begitu pula pada gambar 4.10 yang memperlihatkan adanya trend kenaikan efisiensi inhibisi terhadap waktu perendaman. Dari seluruh specimen yang direndam, mengalami efek proteksinya hingga pada efisiensi 60,49% dengan konsentrasi 400 mg/L pada 720 jam. Semakin lama waktu perendamannya, maka efisiensi inhibisinya semakin meningkat.

Hal ini dikarenakan adanya pembentukan lapisan proteksi yang menjadi penghambat korosi tersebut terserap dengan baik pada permukaan specimen. Dengan semakin lama waktu perendaman, maka lapisan proteksinya akan meningkat hingga mencapai batas optimal yang dapat menurunkan efisiensi inhibisi tersebut.

Tingkat efisiensi pada inhibitor bergantung terhadap adsorpsi dari molekul inhibitor. Untuk itu, kita perlu mengetahui derajat surface coverage sebagai hubungan fraksi molekulnya dengan menggunakan persamaan (2.4).

Tabel 4.6. Derajat *Surface Coverage* pada API 5 L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Ampas Anggur

Konsentrasi Inhibitor (mg/L)	Efisiensi Inhibitor (%)	Derajat Surface Coverage (θ)
0	0	0
100	14,79	0,1479
200	27,49	0,2749
300	29,58	0,2958
400	46,84	0,4684
500	42,74	0,4274

Pada tabel 4.6 memperlihatkan hubungan antara efisiensi inhibitor dengan derajat surface coverage. Semakin tinggi efisiensinya, maka semakin naik derajat surface coverage dari baja API 5L grade B ini. Tinggi konsentrasi inhibitor yang ditambahkan hingga batas tertentu menaikkan sejumlah molekul

inhibitor yang teradsorbsi pada permukaan baja API 5L grade B. Nilai terendah dari derajat surface coverage adalah 0,1479 dengan konsentrasi 100 mg/L. Sedangkan nilai derajat surface coverage tertinggi adalah 0,4684 dengan konsentrasi 400 mg/L.

Untuk mengidentifikasi interaksi antara inhibitor dengan permukaan baja digunakan teori Langmuir *adsorption isotherm*. Teori Langmuir ini dapat menunjukkan fenomena adsorbsi apakah yang terdapat pada permukaan baja, baik secara *physisorption* maupun *chemisorption* dengan menggunakan persamaan (2.5) dan (2.6).

Tabel 4.7. Energi Bebas Adsorpsi pada Penambahan Inhibitor Ampas Anggur

Konsentrasi (mg/L)	Surface Coverage (θ)	K_{ads}	Energi Bebas Adsorpsi (kJ/mol K)
0	0	0	0
100	0,1479	0,001736	-5,79699
200	0,2749	0,001896	-5,57857
300	0,2958	0,0014	-6,32995
400	0,4684	0,002203	-5,20675
500	0,4274	0,001493	-6,1706

Pada tabel 4.7 menunjukkan besarnya energi bebas adsorbsi masing-masing penambahan konsentrasi inhibitor ampas anggur. Menurut Taleb Ibrahim (2011), nilai energi bebas adsorpsi yang kurang dari -20 kJ/ mol mengindikasikan terjadi

adsorpsi fisik pada permukaan logam. Sedangkan apabila nilainya lebih dari -40 kJ/mol, proses adsorpsinya melibatkan transfer atau *sharing* dari molekul inhibitor kepada permukaan logam untuk membentuk ikatan koordinat. Artinya proses adsorpsi yang terjadi berjalan secara kimiawi^[38]. Dapat disimpulkan bahwa adsorpsi secara fisik terjadi pada permukaan logam dikarenakan nilai energy bebas adsorpsi rata-rata kurang dari 20 kJ/mol K. Adsorpsi secara fisik ini bersifat *reversible* sehingga dapat dikatakan sebagai adsorpsi yang bersifat lemah. Sedangkan tanda negative pada nilai energy bebas adsorpsi mengindikasikan bahwa reaksi terjadi secara spontan.

Tabel 4.8. Nilai pH pada Penambahan Inhibitor Ampas Anggur

No.	Konsentrasi Inhibitor (mg/L)	pH
1	0	7,2
2	100	5,54
3	200	5,51
4	300	5,48
5	400	5,58
6	500	5,45

Pada tabel 4.8 menunjukkan pengaruh trend pH yang berkaitan dengan konsentrasi inhibitor ampas anggur. Terlihat bahwa pada larutan 3,5% NaCl tanpa penambahan inhibitor, nilai pH adalah 7,2. Nilai pH semakin turun bila konsentrasi inhibitor

semakin naik, tetapi nilai pH ini kembali naik saat diberikan konsentrasi sebesar 400 mg/L. Hal ini dikarenakan kondisi inhibitor dapat bekerja dengan stabil pada konsentrasi dan waktu tertentu, dimana dapat dilihat dari hasil *weight loss* yang menyatakan efisiensi tertinggi saat konsentrasi 400 mg/L dengan lama perendaman 720 jam.

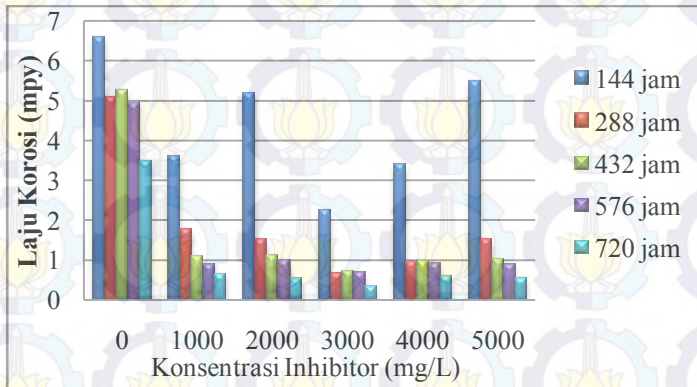
4.1.4.2. Hasil Uji Weight Loss Penambahan Inhibitor Daun Kumis Kucing

Pada pengujian *weight loss* ini larutan NaCl 3,5% ditambahkan inhibitor daun kumis kucing sebanyak 0, 1000, 2000, 3000, 4000, dan 5000 mg/L. Dari hasil perendaman specimen API 5L Grade B dengan penambahan konsentrasi inhibitor ke dalam larutan NaCl 3,5%, diperoleh grafik laju korosi serta efisiensi inhibisi yang ditunjukkan pada gambar 4.11 dan gambar 4.12.

Pada gambar 4.11 mengenai pengaruh konsentrasi inhibitor daun kumis kucing terhadap efisiensi inhibisi terlihat bahwa penambahan konsentrasi inhibitor ini menaikkan efisiensi inhibisi baja API 5L grade B secara signifikan. Pengambilan data *weight loss* dilakukan dengan interval 144 jam.

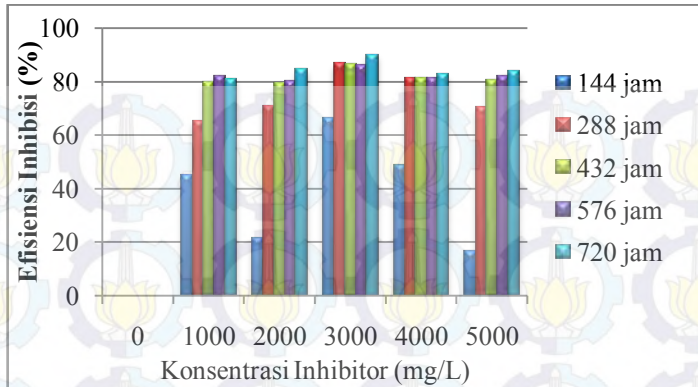
Pada pengambilan data ke-144 jam, laju korosi terendah adalah 2,2318 mpy dengan konsentrasi 3000 mg/L. Pada pengambilan data ke-288 jam, laju korosi terendah adalah 0,6841 mpy dengan konsentrasi 3000 mg/L. Kemudian pada

pengambilan data ke-432 jam, laju korosi terendah sebesar 0,7252 mpy dengan konsentrasi 3000 mg/L. Pada pengambilan data ke-576 jam, laju korosi terendah sebesar 0,6973 mpy dengan konsentrasi 3000 mg/L. Sedangkan pengambilan data ke-720 jam, laju korosi terendah sebesar 0,3432 mpy dengan konsentrasi 3000 mg/L. Dari data diatas tersebut dapat disimpulkan bahwa laju korosi terendah adalah saat penambahan inhibitor dengan konsentrasi 3000 mg/L dengan lama waktu perendaman adalah 720 jam.



Gambar 4.11. Grafik Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Daun Kumis Kucing terhadap Laju Korosi API 5L Grade B

Menurut gambar 4.11 menunjukkan pengurangan laju korosi ketika penambahan inhibitor daun kumis kucing. Bila ditinjau dari kenaikan efisiensi inhibisi yang berbanding terbalik dengan laju korosi, dapat dilihat pada gambar 4.12.



Gambar 4.12. Grafik Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Daun Kumis Kucing terhadap Efisiensi Inhibisi API 5L Grade B

Pada gambar 4.12 mengenai pengaruh konsentrasi inhibitor daun kumis kucing terhadap efisiensi inhibisi, terlihat trend kenaikan efisiensi inhibisi dengan ditambahkan konsentrasi tertentu. Kenaikan efisiensi inhibisi ini sangat signifikan bila dibandingkan dengan tanpa penambahan inhibitor.

Pada pengambilan data ke-144 jam, efisiensi tertinggi adalah 48,64% dengan konsentrasi 3000 mg/L. Pada pengambilan data ke-288 jam, efisiensi terbesar adalah 86,57% dengan konsentrasi 3000 mg/L. Lalu, pada pengambilan data ke-432 jam, efisiensi tertinggi sebesar 86,20% dengan konsentrasi 3000 mg/L. Pada pengambilan data ke-576 jam, efisiensi terbesar adalah 85,94% dengan konsentrasi 3000 mg/L. Sedangkan pada pengambilan data ke-720 jam, efisiensi tertinggi adalah 90,08%

dengan konsentrasi 3000 mg/L. Pemberian inhibitor daun kumis kucing ini sangat optimal pada konsentrasi 3000 mg/L sehingga penurunan laju korosinya juga signifikan.

Pada gambar 4.11 memperlihatkan trend penurunan laju korosi yang signifikan. Hal ini dikarenakan sifat antioksidan yang terdapat pada ekstrak daun kumis kucing dapat berperan sebagai penghambat korosi suatu specimen. Pada grafik tersebut, terlihat bahwa laju korosi di 144 jam mengalami kenaikan dan penurunan berulang kali dikarenakan efek antioksidan yang belum stabil memproteksi specimen. Kemudian pada interval waktu selanjutnya, terlihat bahwa grafik-grafik yang terbentuk mulai konstan mengalami penurunan. Hal ini disebabkan kandungan antioksidan dari daun kumis kucing tersebut mulai menunjukkan efek proteksinya.

Pada gambar 4.12 terlihat bahwa efisiensi inhibisinya berangsur-angsur meningkat. Walaupun pada grafik terlihat bahwa garis yang terbentuk di 144 jam tidaklah konstan meningkat, dikarenakan pada awal pemberian inhibitor memang belum menunjukkan kestabilan efek proteksi saat itu. Sedangkan di interval selanjutnya menunjukkan grafik yang signifikan meningkat efisiensinya, dikarenakan kestabilan kerja dari antioksidan ini berpengaruh dalam penurunan laju korosi.

Berikut ini akan dipaparkan besarnya nilai derajat surface coverage berdasarkan persamaan (2.4) seperti pada tabel 4.9.

Nilai derajat surface coverage dihubungkan dengan energy bebas adsorpsi dengan menggunakan persamaan (2.4) dan (2.5).

Pada tabel 4.9 menunjukkan bahwa semakin tinggi efisiensinya, maka semakin naik pula derajat surface coverage. Tinggi konsentrasi inhibitor yang ditambahkan hingga batas tertentu menaikkan sejumlah molekul inhibitor yang teradsorpsi pada permukaan baja API 5L grade B. Nilai terendah dari derajat surface coverage adalah 0,1479 dengan konsentrasi 100 mg/L. Sedangkan nilai derajat surface coverage tertinggi adalah 0,4684 dengan konsentrasi 400 mg/L.

Tabel 4.9. Derajat *Surface Coverage* pada API 5 L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Daun Kumis Kucing

Konsentrasi Inhibitor (mg/L)	Efisiensi Inhibitor (%)	Derajat Surface Coverage (θ)
0	0	0
1000	70,60	0,7060
2000	67,12	0,6712
3000	83,01	0,8301
4000	75,10	0,7510
5000	66,75	0,6675

Dalam menentukan tipe adsorpsi dari inhibitor kumis kucing terhadap baja API 5L grade B ini menggunakan persamaan (4.6), sehingga diperoleh data pada tabel 4.10.

Tabel 4.10. Energi Bebas Adsorpsi pada Penambahan Inhibitor Daun Kumis Kucing

Konsentrasi (mg/L)	Surface Coverage (θ)	K_{ads}	Energi Bebas Adsorpsi (kJ/mol K)
0	0	0	0
1000	0,7060	0,002401	-4,99314
2000	0,6712	0,001021	-7,11287
3000	0,8301	0,001629	-5,95521
4000	0,7510	0,000754	-7,8631
5000	0,6675	0,000402	-9,42446

Dari tabel 4.10 dapat disimpulkan bahwa adsorpsi yang terjadi pada permukaan baja API 5L grade B dengan penambahan inhibitor daun kumis kucing adalah adsorpsi secara fisik. Hal ini dibuktikan dari nilai energy bebas adsorpsi rata-ratanya kurang dari -20 kJ/mol K. Kemudian reaksi yang terjadi merupakan reaksi spontan dan bersifat reversible.

Tabel 4.11. Nilai pH pada Penambahan Inhibitor Daun Kumis Kucing

No.	Konsentrasi Inhibitor (mg/L)	pH
1	0	7
2	1000	5,82
3	2000	5,84
4	3000	5,92
5	4000	5,82
6	5000	5,83

Pada tabel 4.11 menunjukkan pengaruh trend pH yang berkaitan dengan konsentrasi inhibitor daun kumis kucing. Pada pemberian konsentrasi inhibitor yang semakin besar menyebabkan turunnya nilai pH, tetapi saat konsentrasi 3000 mg/L menjadikan nilai pH naik. Hal ini berkaitan dengan kestabilan kerja dari inhibitor pada konsentrasi dan waktu tertentu serta dapat dibuktikan dari hasil weight loss yang menunjukkan kenaikan

Nilai pH semakin turun bila konsentrasi inhibitor semakin naik, tetapi nilai pH ini kembali naik saat diberikan konsentrasi sebesar efisiensi tertinggi saat konsentrasi 3000 mg/L dengan lama perendaman 720 jam.

4.1.5. Hasil Pengujian Tafel Polarisasi

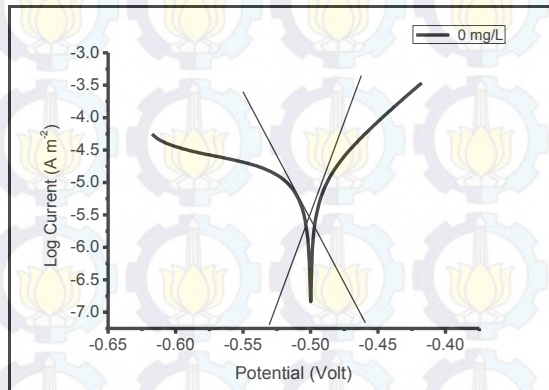
Pengujian Tafel Polarisasi ini bertujuan untuk mengetahui laju korosi maupun laju kehilangan massa dari specimen baja API 5L dengan penambahan inhibitor maupun tanpa inhibitor. Dari pengujian tersebut, maka kita dapat mengetahui simulasi perilaku sesaat dari corrosion rate dan mass loss rate yang terjadi ketika penambahan inhibitor. Hal ini dimaksudkan agar dapat diketahui bagaimana proteksi dari inhibitor ini ketika sesaat setelah ditambahkan ke dalam larutan elektrolit.

Pengujian tafel polarization ini menggunakan alat Potensiostat Galvanostat yang dihubungkan dengan software Potensiostat Autolab. Dari pengujian ini didapatkan potential

applied (volt) dan log current (ampere) yang menggambarkan grafik nilai arus untuk tiap perubahan potensialnya. Pada pengujian ini, specimen yang digunakan adalah baja API 5L grade B. Kemudian larutan yang digunakan adalah NaCl 3,5% tanpa maupun dengan penambahan inhibitor. Untuk inhibitor ampas anggur digunakan konsentrasi 400 mg/L dan inhibitor daun kumis kucing digunakan konsentrasi 3000 mg/L. Penggunaan konsentrasi inhibitor ini didasarkan pada hasil perhitungan efisiensi tertinggi dari pengujian *weight loss*. Penentuan hanya dari efisiensi tertinggi bertujuan untuk mengetahui bagaimana proteksi inhibitor ini bekerja ketika sesaat setelah dicampurkan ke dalam larutan elektrolit.

Sebelum dilakukan pengujian, pertama-tama mempersiapkan specimen berukuran 1 cm x 1 cm yang telah diperhalus satu sisi permukaannya dengan cara diampas. Kemudian larutan elektrolit dengan atau tanpa penambahan inhibitor seperti yang telah disebutkan diatas. Lalu, pertama kali diuji adalah specimen API 5L grade B tanpa penambahan inhibitor. Spesimen tersebut dicelupkan hanya 0,5 cm² atau setengah dari luas specimen agar mudah dalam *handling*. Setelah itu, meng-input data pada tampilan software Autolab dengan surface area sebesar 0,5 cm² dan density sebesar 7,86 g/cm³. Kemudian klik *start* untuk *running* pengujian. Dari hasil pengujian selama sekitar 10 menit untuk tiap specimen, didapatkan kurva potential applied (volt) terhadap current

(ampere). Berikut adalah kurva polarisasi dari specimen baja API 5L grade B dengan larutan NaCl 3,5% tanpa inhibitor seperti pada gambar 4.13.



Gambar 4.13. Kurva Polarisasi NaCl 3,5% tanpa Inhibitor

Penggunaan tabel fit dengan cara menarik garis linier di kedua sisi kurva bagian dalam dihasilkan nilai i_{cor} secara otomatis, sehingga nilai b_a dan b_c serta polarization resistance juga diketahui. Besarnya nilai b_a (*slope of anodic tafel reaction*), b_c (*slope of cathodic tafel reaction*) dan *polarization resistance* dari kurva diatas masing-masing adalah 264,190 mV/dec, 70,2710 mV/dec, dan 1,14240 k Ω .

Dari data tersebut dapat ditentukan *corrosion rate* dan *mass loss rate* yang mengacu pada standar ASTM G 102-89 mengenai *calculation of corrosion rates and related information from electrochemical measurements*.

Konstanta Stern-Geary yang dihitung menurut persamaan (27) tersebut dihitung untuk mengkonversi nilai *polarization resistance* ke dalam nilai *current density*. Perhitungan konstanta B ini dari slope yang terbentuk pada reaksi katodik dan anodic yang terkontrol. Dari persamaan tersebut didapatkan nilai B sebesar 0,024102 Volt.

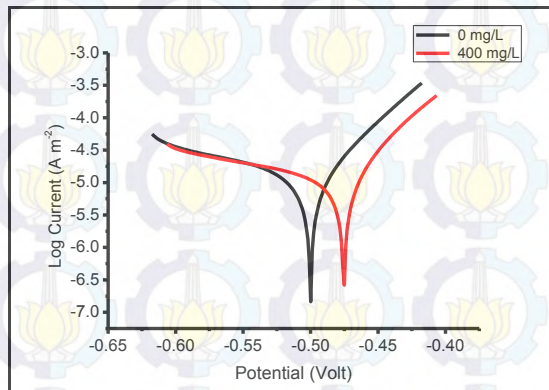
Dari perhitungan Stern-Geary constant dan dengan *polarization resistance* sebesar 1,14240 k Ω atau 1142,4 Ω , diperoleh *corrosion current density* sebesar $2,10976 \times 10^{-5}$ A cm⁻² atau 21,0976 μ A cm⁻² dengan menggunakan persamaan (2.8).

Dengan menggunakan persamaan (2.9), besarnya densitas logam baja karbon API 5L grade B adalah 7,86 g/cm³ dan nilai EW sebesar 27,925 g/mol maka didapatkan CR sebesar 9,654 mpy.

Dari persamaan (2.10), didapatkan nilai *mass loss rate* sebesar 5,27 g/m² d. Setelah diketahui nilai dari *corrosion rate* dan *mass loss rate* pada larutan elektrolit NaCl 3,5% tanpa inhibitor yang kemudian dibandingkan kedua nilai tersebut untuk larutan elektrolit dengan penambahan inhibitor.

4.1.5.1. Hasil Pengujian Tafel Polarisasi Penambahan Inhibitor Ampas Anggur

Pengujian Tafel Polarization dengan larutan NaCl 3,5% dan penambahan inhibitor ampas anggur sebesar 400 mg/L ditunjukkan pada kurva polarisasi gambar 4.14 berikut ini.



Gambar 4.14. Kurva Polarisasi NaCl 3,5% dengan Penambahan Inhibitor Ampas Anggur 400 mg/L

Pada gambar 4.14 untuk mengetahui nilai b_a dan b_c maka dilakukan penarikan garis linier pada kedua sisi kurva, sehingga secara otomatis nilainya dapat ditampilkan. Setelah diketahui nilai b_a dan b_c , lalu mencari besarnya laju korosi menggunakan persamaan (2.7) hingga persamaan (2.10). Nilai *polarization resistance* (R_p) pada penambahan inhibitor ampas anggur adalah 1,3906 k Ω atau 1390,60 Ω . Tabel 4.12 menunjukkan nilai hasil analisis tafel dengan tambahan inhibitor ampas anggur.

Tabel 4.12. Hasil Analisa Tafel pada Penambahan Inhibitor Ampas Anggur

Konsentrasi (mg/L)	b_a (mV/dec)	b_c (mV/dec)	B (V)	E_{cor} (mV)	i_{cor} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	CR (mpy)	MR ($\text{g}/\text{m}^2 \text{ d}$)
0	264,19	70,271	0,024102	-499,080	21,0976	9,654	5,27
400	-230,67	76,357	0,049561	-473,210	35,640	16,308	8,91

Dari tabel 4.12 diketahui nilai E_{cor} pada penambahan inhibitor ampas anggur lebih positif dibandingkan tanpa inhibitor dimana selisihnya sebesar 25,87 mV. Dengan demikian inhibitor ini cenderung mengarah pada polarisasi katodik. Menurut Ying Yan (2008), inhibitor dapat dikategorikan anodik atau katodik jika potensial korosi bergeser lebih dari 85 mV terhadap potensial korosi tanpa inhibitor^[40]. Jadi, dapat disimpulkan bahwa inhibitor ampas anggur termasuk *mixed inhibitor* karena memiliki selisih potensial korosi tidak melebihi 85 mV dan juga dapat dilihat dari bentuk kurva polarisasi penambahan inhibitor ampas anggur ini terjadi pergeseran kurva ke arah anodik dan katodik.

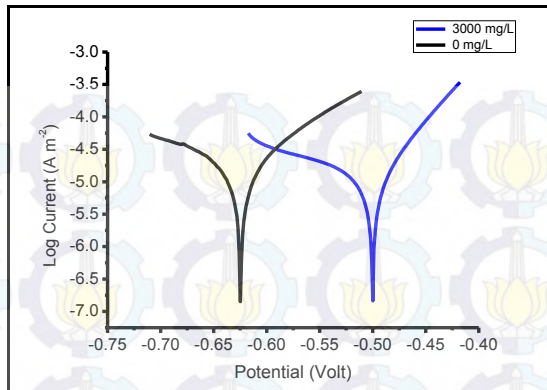
Perbedaan efisiensi inhibisi dari inhibitor ini terlihat sangat signifikan antara hasil uji tafel polarisasi dengan weight loss. Pengujian weight loss menghasilkan kondisi real dari proses inhibisi suatu inhibitor terhadap logamnya, sehingga diperoleh kesimpulan bahwa semakin lama waktu perendaman maka semakin stabil pula inhibitor bekerja. Kestabilan inhibitor dalam perannya sebagai penghambat laju korosi menimbulkan efisiensi inhibisi yang semakin besar. Hal ini dibuktikan dengan uji weight

loss dimana efisiensi terbesar adalah 60,49% pada perendaman 720 jam. Sedangkan pengujian tafel polarisasi merupakan kondisi sesaat mengenai perilaku inhibisi suatu inhibitor. Pada pengujian tafel polarisasi ini dihasilkan nilai laju korosi dari inhibitor ampas anggur jauh lebih besar daripada tanpa penambahan inhibitor. Logamnya sedemikian rupa tidak terproteksi atau dengan kata lain lebih terkorosi karena penambahan inhibitor ampas anggur. Pengaruh ini terjadi akibat inhibitor ampas anggur belum mencapai kestabilan dalam memproteksi logam, dikarenakan waktu yang diperlukan inhibitor untuk mencapai kondisi setimbang memang cukup lama.

4.1.5.2. Hasil Pengujian Tafel Polarisasi Penambahan Inhibitor Daun Kumis Kucing

Pengujian Tafel Polarization dengan larutan NaCl 3,5% dan penambahan inhibitor daun kumis kucing sebesar 3000 mg/L ditunjukkan pada kurva polarisasi gambar 4.16 berikut ini.

Pada gambar 4.16 diketahui nilai *polarization resistance* (R_p) dari penambahan inhibitor daun kumis kucing adalah 1,2388 k Ω atau 1238,80 Ω . Tabel 4.13 menunjukkan nilai hasil analisis tafel dengan tambahan inhibitor daun kumis kucing.



Gambar 4.15. Kurva Polarisis NaCl 3,5% dengan Penambahan Inhibitor Daun Kumis Kucing 3000 mg/L

Tabel 4.13. Tabel Analisa Tafel pada Penambahan Inhibitor Daun Kumis Kucing

Konsentrasi (mg/L)	b_a (mV/dec)	b_c (mV/dec)	B (V)	E_{cor} (mV)	i_{cor} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	CR (mpy)	MR ($\text{g}/\text{m}^2 \text{ d}$)
0	264,19	70,271	0,024102	-499,080	21,0976	9,654	5,27
3000	66,297	61,37	0,013838	-625,830	11,170	5,111	2,79

Dari tabel 4.13 diperoleh nilai E_{cor} dari penambahan inhibitor ini jauh lebih negatif daripada tanpa inhibitor, dimana selisihnya sebesar 126,75 mV. Menurut Ying Yan (2008), inhibitor dapat dikategorikan anodik atau katodik jika potensial korosi bergeser lebih dari 85 mV terhadap potensial korosi tanpa inhibitor^[40]. Dari pernyataan sebelumnya disimpulkan bahwa inhibitor ini tergolong anodik atau katodik.

Seperti halnya inhibitor ampas anggur, inhibitor daun kumis kucing juga memiliki perbedaan hasil efisiensi antara uji

weight loss dengan uji tafel polarisasi. Perbedaan tersebut dapat dilihat dalam tabel 4.13 dimana efisiensi pada tafel polarisasi sebesar 47,06% dan pada weight loss sebesar 90,08%. Perbedaan ini terjadi karena pada weight loss menggunakan waktu perendaman selama 720 jam. Hal ini memungkinkan suatu inhibitor bekerja dengan baik dan stabil ketika diberikan waktu yang cukup untuk bekerja. Sedangkan pada uji tafel polarisasi ini merupakan hasil dari kondisi sesaat ketika inhibitor ditambahkan ke dalam larutan NaCl 3,5%.

4.1.6. Hasil Pengujian EIS

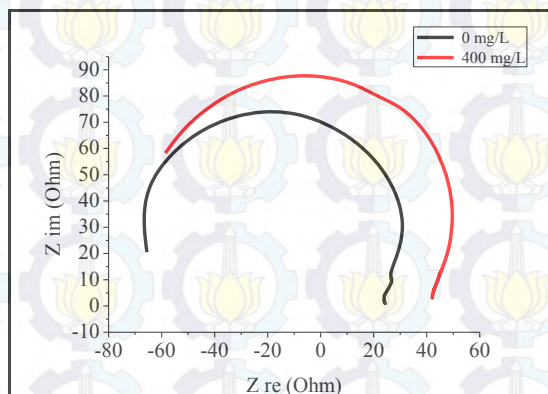
Pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) bertujuan untuk mengetahui mekanisme inhibisi dari inhibitor ampas anggur dan daun kumis kucing terhadap baja API 5L grade B. Konsentrasi inhibitor ampas anggur dan daun kumis kucing yang digunakan masing-masing adalah 400 mg/L dan 3000 mg/L. Alasan penggunaan inhibitor pada konsentrasi tersebut karena memiliki efisiensi proteksi tertinggi dengan pengujian *weight loss*.

Pengujian EIS ini menggunakan baja API 5L grade B sebagai elektroda kerja, platina sebagai elektroda bantu, dan Ag/AgCl sebagai elektroda reference. Hasil pengujian ini berupa kurva Nyquist yang digambarkan dengan sumbu x adalah impedansi nyata (R real) dan sumbu y adalah impedansi imajiner

(R imajiner). Berikut adalah analisa hasil uji EIS pada penambahan inhibitor ampas anggur dan daun kumis kucing.

4.1.6.1. Hasil Pengujian EIS Penambahan Inhibitor Ampas Anggur

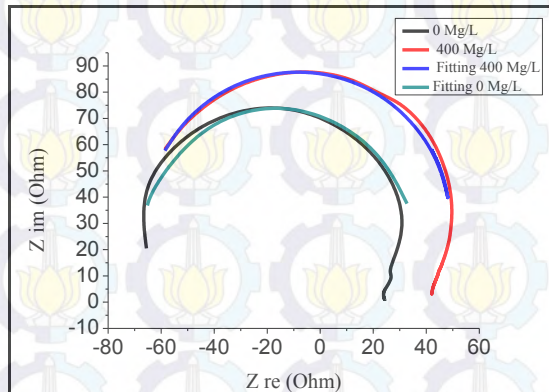
Hasil uji EIS dengan penambahan inhibitor ampas anggur sebesar 0 mg/L dan 400 mg/L dapat dilihat pada gambar 4.16.



Gambar 4.16. Nyquist Plot API 5L grade B dengan Penambahan Inhibitor Ampas Anggur dalam NaCl 3,5%

Dari gambar 4.16 diatas diketahui diameter kurva Nyquist pada penambahan 400 mg/L ekstrak ampas anggur lebih besar daripada tanpa penambahan inhibitor. Hal ini disebabkan oleh hambatan yang terbentuk pada penambahan inhibitor 400 mg/L lebih besar dari pada tanpa penambahan inhibitor. Hambatan ini terjadi karena adanya transfer muatan pada permukaan baja API

5L grade B, ion ion antioksidan yang terdapat pada ampas anggur membentuk lapisan pasif dipermukaan specimen, sehingga lapisan ini akan menaikkan nilai hambatan pada gambar 4.16.



Gambar 4.17. Analisa Fitting pada Electrochemical Circle Fit dengan Penambahan Inhibitor Ampas Anggur

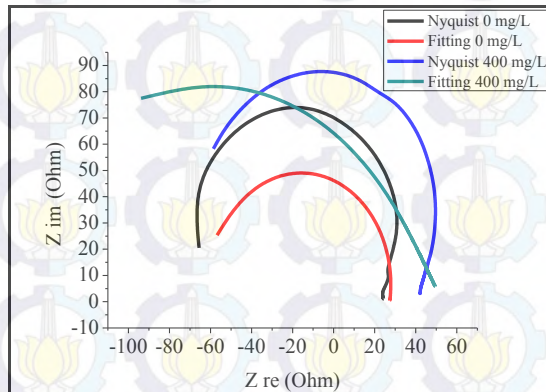
Dengan pengujian EIS bisa diketahui parameter parameter elektrokimia seperti tahanan larutan, tahanan polarisasi. Constant phase element (Q) dengan analisa electrochemical circle fit bisa diketahui nilai-nilai tersebut. Electrochemical circle fit dilakukan dngan cara melakukan fitting di 3 atau lebih titik pada kurva, sehingga akan muncul kurva fitting seperti yang terdapat pada gambar 4.17. Dari kurva fitting diatas diketahui nilai R_s , R_p , dan CPE (Q) seperti yang terdapat pada tabel 4.14 dibawah ini.

Tabel 4.14. Parameter Elektrokimia dari *Electrochemical Circle* Fit dengan Penambahan Inhibitor Ampas Anggur

Parameter	Konsentrasi Penambahan Inhibitor	
	0 mg/L	400 mg/L
R_s (Ω)	-57,547	-56,245
R_p (Ω)	82,71	96,016
Q (nF)	6,7327	5,801

Dari tabel 4.14 diatas diketahui nilai R_p pada penambahan inhibitor lebih besar daripada tanpa penambahan inhibitor. Menurut Wahyuningsih (2010), hal ini berkaitan dengan perpindahan electron, semakin cepat electron berpindah maka tahanan yang terbentuk akan semakin kecil dan laju korosi akan tinggi. Begitu juga bila semakin lambat electron berpindah maka tahanan yang terbentuk akan semakin besar dan laju korosinya tinggi^[39]. Nilai tahanan polarisasi tergantung pada lapisan pasif yang terbentuk di permukaan logam. Berdasarkan pengujian FTIR diketahui senyawa-senyawa organic dari ampas anggur yang terdapat pada permukaan baja API 5L grade B. Senyawa fenol O-H bersifat hidrofilik tersebut berikatan dengan ion negative pada larutan sehingga Fe tidak berikatan dengan ion negative. Sedangkan senyawa CH_3 (tergolong ikatan C-H) yang bersifat hidrofobik berikatan dengan Fe, sehingga ketika ada ion negatif dalam larutan tidak jadi berikatan dengan Fe karena sifatnya

tersebut. Untuk senyawa C=O dan C-Cl teradsorpsi ke permukaan sehingga membentuk lapisan proteksi untuk melindungi permukaan logam. Semakin tebal lapisan yang terbentuk, maka nilai tahanan transfer muatan (R_p) juga semakin besar.



Gambar 4.18. Analisa Fitting pada *Fit and Simulation* dengan Penambahan Inhibitor Ampas Anggur

Pada gambar 4.18 terdapat beberapa parameter yang berubah disebabkan oleh penggunaan opsi *fit and simulation*. Opsi ini running pada frekuensi rendah yaitu 0,1-10 Hz. Sedangkan pada penggunaan *electrochemical circle fit* running di seluruh frekuensi yaitu 0,1-10⁶ Hz. Penggunaan *fit and simulation* ini menghasilkan error yang tinggi bila dibandingkan dengan hasil *electrochemical circle fit*. Parameter-parameter elektrokimia hasil *fit and simulation* pada kurva diatas terdapat pada tabel 4.15.

Tabel 4.15. Parameter Elektrokimia dari *Fit and Simulation* dengan Penambahan Inhibitor Ampas Anggur

Parameter	Konsentrasi Penambahan Inhibitor	
	0 mg/L	400 mg/L
R_s (Ω)	-58,167	-933,75
R_p (Ω)	85,491	986,85
L (H)	$2,03 \times 10^{-6}$	0,00203
Q (Mho)	$4,47 \times 10^{-10}$	$3,27 \times 10^{-9}$
C (F)	0.009186	1.1×10^5

Dari tabel 4.15 diatas diketahui nilai tahanan polarisasi dengan penambahan ampas anggur lebih besar daripada tanpa penambahan. Menurut Wahyuningsih (2010), R_p adalah tahanan transfer muatan yang menggambarkan pada saat logam berinteraksi dengan larutan elektrolit dan terjadi pelarutan ion-ion logam. R_p diperoleh dari perbedaan impedansi pada frekuensi rendah dan frekuensi tinggi (diameter semi-lingkar kurva). R_p berkaitan dengan perpindahan elektron, semakin cepat elektron berpindah maka tahanan akan semakin kecil dan laju korosi semakin meningkat. Atau sebaliknya, semakin lambat elektron berpindah maka tahanan akan semakin besar dan laju korosi semakin menurun. Nilai R_p merupakan ukuran transfer elektron pada permukaan logam yang secara proporsional kebalikan dari arus korosi (I_0). Sedangkan Q (constant phase element) berperan sebagai kapasitor dalam rangkaian ini. Permukaan yang tidak rata

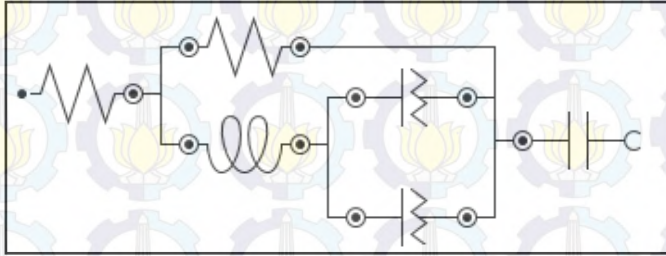
akan menyebabkan kapasitas double layer muncul sebagai Q . Nilai C_{dl} dapat dihubungkan dengan adsorpsi senyawa inhibitor pada permukaan logam^[39]. Dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan inhibitor ampas anggur ini menurunkan kecepatan perpindahan electron, sehingga tahanan semakin besar dan laju korosinya semakin kecil.

Dari persamaan (2.11) diperoleh efisiensi inhibisi berdasarkan *electrochemical circle fit* sebesar 13,85% dan berdasarkan *fit and simulation* sebesar 91,33%. Terdapat perbedaan yang sangat besar antara kedua fitting tersebut dikarenakan pada *electrochemical circle fit* merupakan kondisi saat frekuensi tinggi. Sedangkan *fit and simulation* merupakan kondisi seluruh frekuensi dan juga pada penggunaan opsi ini memiliki error yang cukup tinggi.

Untuk mengetahui *equivalent circuit* yang terbentuk pada larutan NaCl 3,5% dapat dilihat pada gambar 4.19. *Equivalent circuit* ini mengindikasikan bahwa terjadinya korosi pada baja API 5L grade B akibat kinetika transfer muatan dan ditunjukkan oleh nilai R_p . Sedangkan nilai R_s atau tahanan larutan berhubungan dengan jenis dan konsentrasi ion, temperatur, serta luas permukaan arus.

Equivalent circuit pada gambar 4.19 awalnya membentuk tahanan larutan (R_s) saat arus listrik melalui larutan NaCl 3,5%. Arus listrik tersebut mengalir menuju ke permukaan baja API 5L grade B. Kemudian pada frekuensi tinggi, terdapat nilai C yang

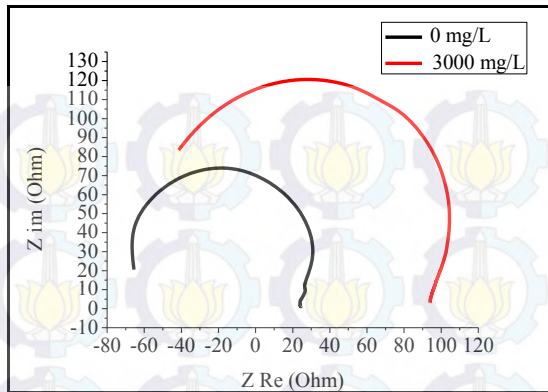
berada di luar surface logam. Terjadinya tahanan transfer muatan (R_p) berada diantara surface logam dengan electrode kerja dalam larutan elektrolit.



Gambar 4.19. *Equivalent circuit* pada Penambahan Inhibitor Ampas Anggur dalam larutan NaCl 3,5%

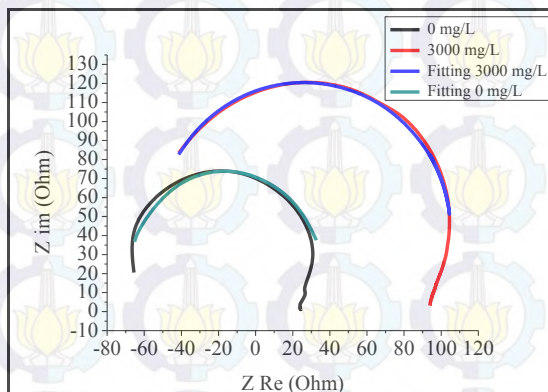
4.1.6.2. Hasil Pengujian EIS Penambahan Inhibitor Daun Kumis Kucing

Hasil pengujian EIS dengan penambahan inhibitor daun kumis kucing sebesar 3000 mg/L dapat dilihat pada gambar 4.20. Pada gambar 4.20 diketahui bahwa diameter kurva Nyquist dari penambahan inhibitor daun kumis kucing lebih besar dibandingkan tanpa inhibitor, dikarenakan adanya transfer muatan pada surface logam. Sedangkan ion-ion yang berperan sebagai inhibitor korosi tersebut membentuk lapisan pasif untuk memproteksi surface logam, sehingga tahanan yang terbentuk akan semakin besar.



Gambar 4.20. Nyquist Plot API 5L grade B dengan Penambahan Inhibitor Daun Kumis Kucing dalam NaCl 3,5%

Berikut adalah analisa fitting menggunakan opsi *electrochemical circle fit* seperti pada gambar 4.21.



Gambar 4.21. Analisa Fitting pada Electrochemical Circle Fit dengan Penambahan Inhibitor Daun Kumis Kucing

Dari penggunaan *electrochemical circle fit* pada gambar 4.21 dapat diketahui nilai parameter elektrokimia seperti tahanan larutan, tahanan polarisasi, dan CPE (Q). Untuk parameter elektrokimia tanpa penambahan inhibitor dengan penambahan sebesar 3000 mg/L akan dilakukan perbandingan, sehingga dapat dianalisis bagaimana transfer muatannya serta bagaimana efisiensi inhibisi dari suatu inhibitor. Berikut parameter elektrokimia dari opsi *electrochemical circle fit*.

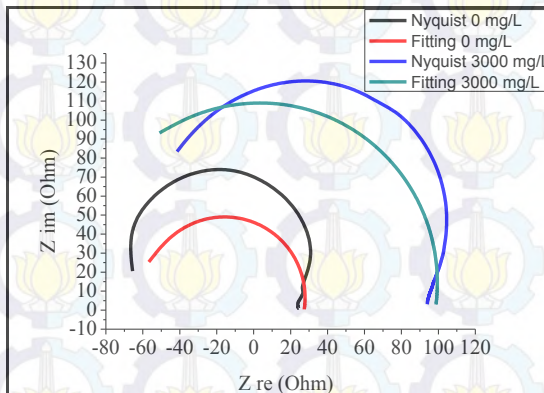
Tabel 4.16. Parameter Elektrokimia dari *Electrochemical Circle Fit* dengan Penambahan Inhibitor Daun Kumis Kucing

Parameter	Konsentrasi Penambahan Inhibitor	
	0 mg/L	3000 mg/L
R_s (Ω)	-57,547	-40,56
R_p (Ω)	82,71	133,49
Q (nF)	6,7327	4,1666

Pada tabel 4.16 didapatkan bahwa nilai R_p saat penambahan inhibitor jauh lebih besar dibandingkan tanpa inhibitor. Oleh karena tahanan polarisasinya besar, maka laju korosinya akan menurun. Selain itu, pada surface logam juga akan terbentuk lapisan pasif. Berdasarkan pengujian FTIR pada inhibitor daun kumis kucing terhadap logamnya, terdapat senyawa fenolik O-H yang bersifat hidrofilik. Senyawa ini menjadikan Fe tidak berikatan dengan ion-ion negative yang ada

dalam larutan, karena senyawa tersebut yang akan berikatan dengan ion negative.

Untuk mengetahui perilaku korosi yang ada pada frekuensi rendah, yaitu 0,1-10 Hz dapat digunakan opsi *fit and simulation*. Berikut adalah gambar 4.22 mengenai analisa fitting menggunakan opsi *fit and simulation*.



Gambar 4.22. Analisa Fitting pada *Fit and Simulation* dengan Penambahan Inhibitor Daun Kumis Kucing

Gambar 4.22 menunjukkan perbedaan hasil kurva dari *fit and simulation* yang cukup signifikan bila dibandingkan dengan hasil *electrochemical circle fit*. Pada kenyataannya, dihasilkan error yang tinggi pada penggunaan *fit and simulation* dikarenakan susah dalam pengontrolan saat frekuensi rendah.

Besarnya tahanan polarisasi dari opsi *fit and simulation* pada penambahan inhibitor daun kumis kucing menghasilkan

nilai yang cukup besar dibandingkan tanpa inhibitor, seperti pada tabel 4.17.

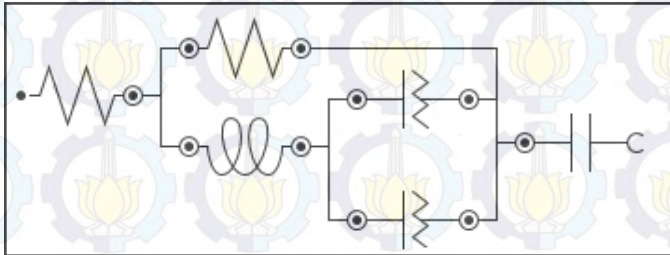
Tabel 4.17. Parameter Elektrokimia dari *Fit and Simulation* dengan Penambahan Inhibitor Daun Kumis Kucing

Parameter	Konsentrasi Penambahan Inhibitor	
	0 mg/L	3000 mg/L
R_s (Ω)	-58,167	-82,98
R_p (Ω)	85,491	181,29
L (H)	$2,03 \times 10^{-6}$	$1,45 \times 10^{-5}$
Q (Mho)	$4,47 \times 10^{-10}$	$2,44 \times 10^{-10}$
C (F)	0,009186	$1,1 \times 10^5$

Dari tabel 4.17 dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan inhibitor daun kumis kucing ini menurunkan kecepatan perpindahan electron, sehingga tahanan semakin besar dan laju korosinya semakin menurun. Sedangkan efisiensi inhibisi berdasarkan *electrochemical circle fit* sebesar 38,04% dan berdasarkan *fit and simulation* sebesar 52,84%. Terdapat perbedaan antara kedua hasil opsi tersebut karena adanya error yang terjadi

Untuk mengetahui *equivalent circuit* pada kedua kondisi tersebut dapat dilihat pada gambar 4.23. Hal ini mengindikasikan adanya kinetika transfer muatan pada permukaan baja API 5L

grade B atau dengan kata lain berhubungan dengan nilai R_p . Berikut adalah rangkaian sirkuit ekuivalensinya.



Gambar 4.23. *Equivalent circuit* pada Penambahan Inhibitor Daun Kumis Kucing 3000 mg/L dalam larutan NaCl 3,5%

Untuk mengetahui *equivalent circuit* yang terbentuk pada larutan NaCl 3,5% dapat dilihat pada gambar 4.19. *Equivalent circuit* ini mengindikasikan bahwa terjadinya korosi pada baja API 5L grade B akibat kinetika transfer muatan dan ditunjukkan oleh nilai R_p . Sedangkan nilai R_s atau tahanan larutan berhubungan dengan jenis dan konsentrasi ion, temperatur, serta luas permukaan arus.

4.2. Pembahasan

Hasil pengujian spectrometer menyatakan bahwa baja API 5L grade B merupakan *low carbon steel* karena kadar karbonnya 0,19526%. Sedangkan kadar krom sebesar 0,04622% menjadikan baja jenis ini ketahanannya terhadap korosi kurang

begitu baik, sehingga salah satu upaya dalam mengendalikan laju korosi adalah dengan penambahan inhibitor organik. Inhibitor yang digunakan adalah ekstrak ampas anggur (*Vitis vinifera*) dan daun kumis kucing (*Orthosiphon stamineus*).

Hasil pengujian Uv-Vis membuktikan bahwa inhibitor ampas anggur dan daun kumis kucing memiliki total kandungan flavonoid masing-masing sebesar 0,101% dan 0,534%. Flavonoid merupakan salah satu senyawa antioksidan yang dapat berperan sebagai inhibitor korosi. Penelitian ini membuktikan bagaimana kedua ekstrak ini berperan sebagai inhibitor korosi pada baja API 5L grade B, sehingga dilakukan uji FTIR antara inhibitor dengan logam yang telah direndam agar diketahui senyawa inhibitor yang terbentuk pada permukaan logam. Dari hasil FTIR menyatakan bahwa penambahan inhibitor ampas anggur sebanyak 400 mg/L ke dalam larutan NaCl 3,5% membentuk senyawa tertentu pada permukaan logam. Senyawa O-H, C=O, O-NO₂, CH₃, dan C-Cl berada pada permukaan logam, sehingga dapat dikatakan bahwa senyawa-senyawa tersebut teradsorpsi. Senyawa fenolik O-H ini terutama dapat berperan sebagai inhibitor korosi. Hal ini telah dibuktikan oleh peneliti J.C. da Rocha bahwa gugus fenolik O-H, C=O, senyawa fenol C-O-H, dan senyawa C-O mengindikasikan bahwa ekstrak ampas anggur mengandung flavonoid dalam komposisinya, yang dapat berperan sebagai inhibitor korosi^[4a]. Sedangkan hasil FTIR pada inhibitor daun

kumis kucing terdapat beberapa senyawa yang teradsorpsi pada permukaan logam yaitu senyawa O-H, R-NH dan C=Se.

Dari hasil pengujian weight loss membuktikan bahwa inhibitor ampas anggur dan daun kumis kucing ini dapat menurunkan laju korosi secara signifikan terhadap laju korosi tanpa adanya inhibitor. Pengujian weight loss ini mengindikasikan keadaan real dari proses korosivitas yang terjadi. Pada penambahan inhibitor ampas anggur sebanyak 400 mg/L, laju korosi terendah adalah 1,4826 mpy dengan efisiensi inhibisi sebesar 60,49%. Sedangkan pada penambahan inhibitor daun kumis kucing sebanyak 3000 mg/L, laju korosi terendah adalah 0,3432 mpy dengan efisiensi sebesar 90,08%. Efisiensi inhibisi tertinggi pada uji weight loss diperoleh ketika waktu perendaman 720 jam, sehingga dapat dikatakan bahwa semakin lama waktu perendaman maka semakin besar pula tingkat efisiensi proteksinya. Menurut teori Langmuir *adsorbtion isotherm*, inhibitor ampas anggur dan daun kumis kucing ini tergolong ke dalam *physical adsorbtion* dikarenakan nilai dari ΔG° yang tidak lebih dari -20 kJ/mol K.

Hasil pengujian tafel polarisasi menunjukkan bahwa inhibitor ampas anggur tergolong ke dalam *mixed inhibitor* bila dilihat dari pergeseran nilai potensial korosinya. Pada penambahan inhibitor ampas anggur menghasilkan efisiensi inhibisi yang sangat jauh berbeda bila dibandingkan dengan hasil

weight loss. Pengaruh ini terjadi akibat inhibitor ampas anggur belum mencapai kestabilan dalam memproteksi logam, dikarenakan waktu yang diperlukan inhibitor untuk mencapai kondisi setimbang memang cukup lama. Sedangkan pada inhibitor daun kumis kucing tergolong ke dalam inhibitor anodic atau katodik. Besarnya efisiensi inhibisi dari uji tafel ini tidak terpaut jauh dibandingkan hasil weight loss. Efisiensi inhibisi sebesar 47,08% pada tafel polarisasi dan 90,08% pada weight loss.

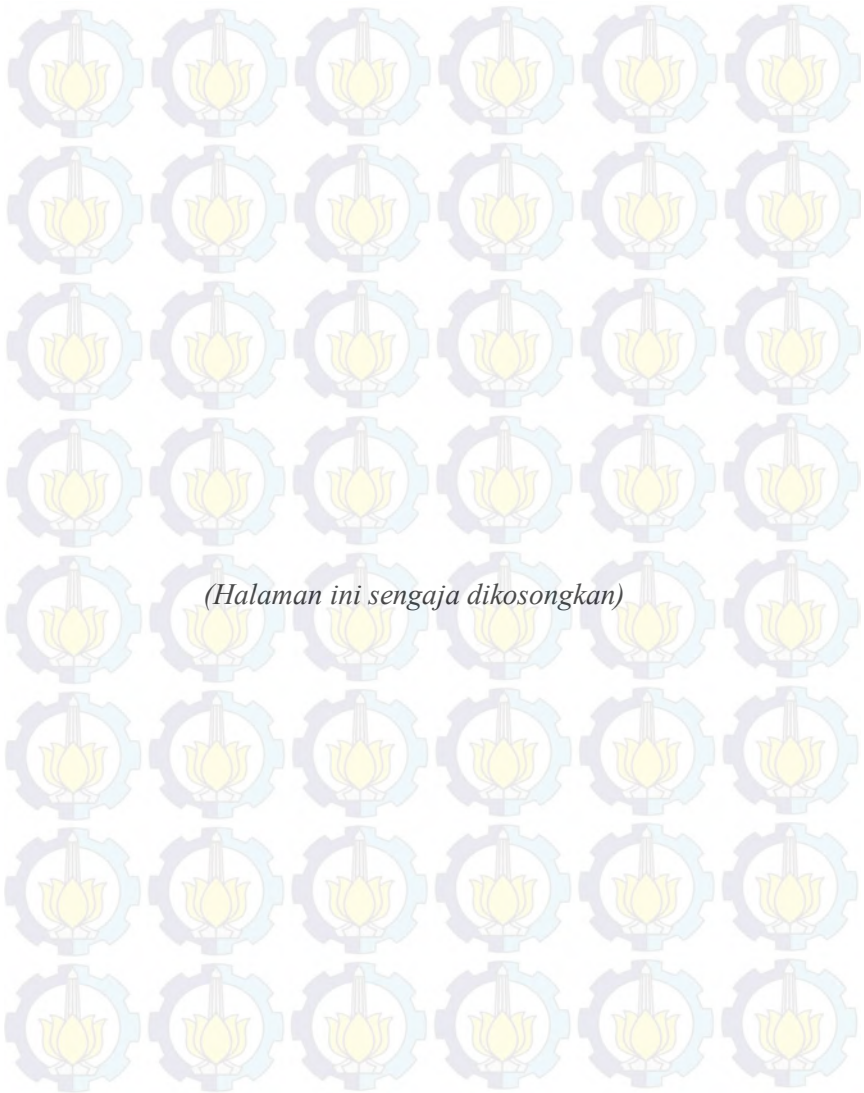
Mekanisme ikatan gugus fungsi dari inhibitor ampas anggur maupun daun kumis kucing terhadap baja API 5L grade B mengikuti adsorpsi secara fisik dan diilustrasikan seperti berikut ini:



Ikatan adsorpsi tersebut yang berperan dalam memproteksi permukaan logam sehingga laju korosinya cenderung menurun.

Hasil pengujian EIS didasarkan terhadap opsi *electrochemical circle fit* saat frekuensi rendah hingga tinggi opsi *fit and simulation* saat frekuensi rendah saja. Hal ini memperkuat bagaimana mekanisme inhibisi terjadi saat diberikan frekuensi rendah maupun tinggi. Besarnya nilai efisiensi inhibisi pada penambahan inhibitor ampas anggur berdasarkan *electrochemical circle fit* sebesar 13,85% dan berdasarkan *fit and simulation* sebesar 91,33%. Terjadinya efek proteksi pada surface logam dikarenakan senyawa organik yang teruji secara FTIR dapat

berperan sebagai inhibitor korosi. Senyawa tersebut adalah fenol O-H, C-H, C=O, dan C-Cl. Sedangkan pada penambahan inhibitor daun kumis kucing efisiensi inhibisi dari *electrochemical circle fit* sebesar 38,04% dari *fit and simulation* sebesar 52,84%. Senyawa organic yang berperan adalah senyawa fenol O-H yang bersifat hidrofilik. Untuk penambahan inhibitor dapat menaikkan nilai tahanan transfer muatan dikarenakan adanya senyawa organic tersebut, sehingga dapat menurunkan laju korosi pada baja API 5L grade B.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

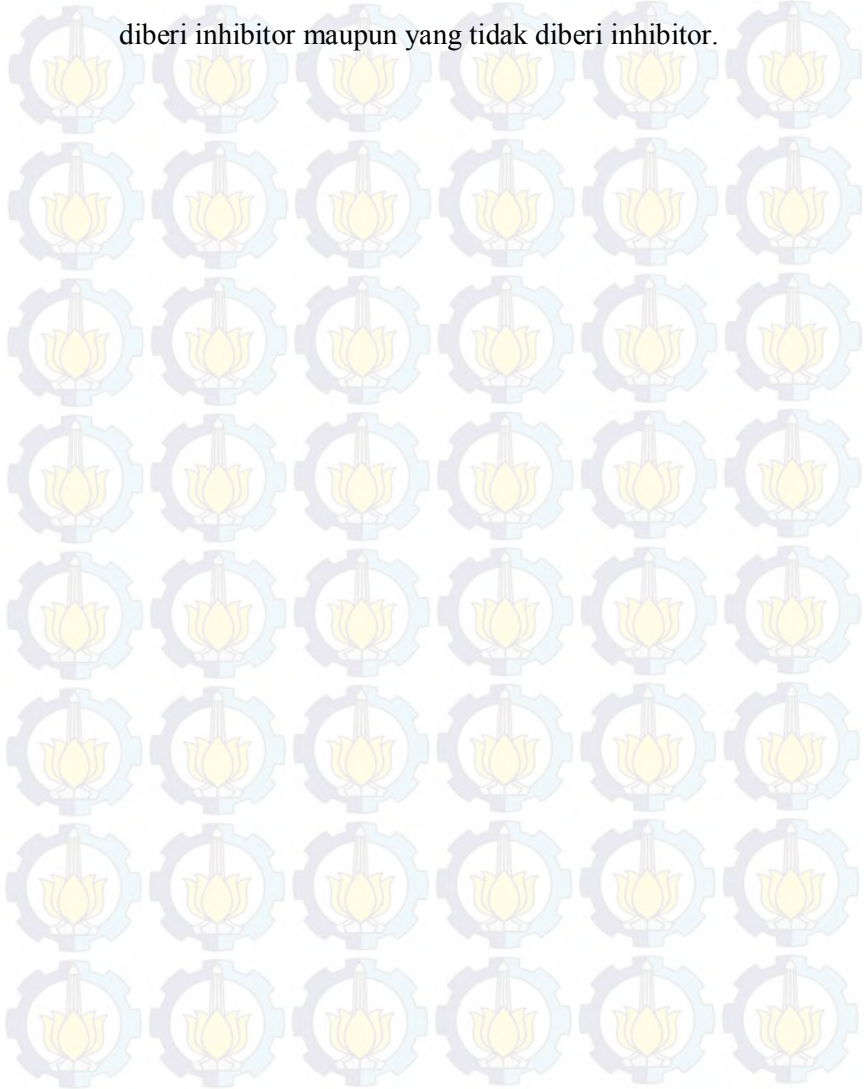
1. Penambahan inhibitor ampas anggur (*Vitis vinifera*) dapat menurunkan laju korosi baja API 5L grade B dengan efisiensi maksimal sebesar 60,49% pada konsentrasi inhibitor 400 mg/L.
2. Penambahan inhibitor daun kumis kucing (*Orthosiphon stamineus*) dapat menurunkan laju korosi baja API 5L grade B dengan efisiensi maksimal sebesar 90,08% pada konsentrasi inhibitor 3000 mg/L.
3. Mekanisme inhibisi dari inhibitor ampas anggur (*Vitis vinifera*) dan daun kumis kucing (*Orthosiphon stamineus*) adalah transfer muatan dengan tipe proteksi *physical adsorption* menurut teori Langmuir.

5.2. Saran

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

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

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



DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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.
- [2] Jones, Denny A. 1997. *Principles and Prevention of Corrosion*. Singapore: Prentice Hall International.
- [3] Hermawan, B. 2007. *Ekstrak Bahan Alami sebagai Inhibitor Korosi*. <http://www.chem-istry.org/author/BeniHermawan.com>
- [4] Gamonski, William. 2013. *Grapes: Rich in Polyphenols*. Life Extension Magazine.
- [5] Chew, K. K., Khoo, M. Z., Ng, S. Y., Thoo, Y. Y. 2011. *Effect of Ethanol Concentration, Extraction Time and Extraction Temperature on the Recovery of Phenolic Compounds and Antioxidant Capacity of Orthosiphon stamineus Extracts*. International Food Research Journal 18(4): 1427-1435.
- [6] Sidiq, M. Fajar. 2013. *Analisa Korosi dan Pengendaliannya*. Journal Foundry vol. 3 No. 1 ISSN: 2087-2259.
- [7] Fontana, Mars G. 1986. *Corrosion Engineering 3rd Edition*. Houston: Mc Graw-Hill Book Company.
- [8] Jones, Denny A. 1997. *Principles and Prevention of Corrosion*. Singapore: Prentice Hall International.

- [9] Shreir, L. L. Jarman R. A. Burstein G. T. 1994. *Corrosion Volume 1-Metal/Environment Reactions*. Third Edition.
- [10] Jaya, H. Rini Riastuti. 2011. *Pengaruh Komposisi Kimia Terhadap Ketahanan Korosi Pada Material API 5L Grade B Seamless*. Skripsi Teknik Metalurgi Dan Material. Depok: Universitas Indonesia.
- [11] ASM Handbook. 2005. *Corrosion Materials volume 13B*. USA: ASTM International.
- [12] Standard API. 2004. *API Spcification 5L, Specification for Line Pipe*. 43rd edition.
- [13] Pierre R. Roberge. 2000. *Handbook of Corrosion Engineering*. New York : Mc Graw Hill Company.
- [14] Sidiq, M. Fajar. 2013. *Analisa Korosi dan Pengendaliannya*. Journal Foundry vol. 3 No. 1 ISSN: 2087-2259.
- [15] Dalimunthe, Indra Surya. 2004. *Kimia dari Inhibitor Korosi*. Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.
- [16] Bhat, J. Ishwara. Alva, Vijaya D. P. 2011. *Inhibition Effect of Miconazole Nitrate on the Corrosion of Mild Steel in Hydrochloric Acid Medium*. International Journal of Electrochemistry, Hindawi Access to Research.
- [17] Roberge. 2000. *Handbook of Corrosion Engineering*. USA: Mc Graw Hill.

- [18] Dariva, Camila G. Galio, Alexandre F. *Corrosion Inhibitors-Principles, Mechanisms and Applications*.
- [19] B. Sanyal. *Organic Compounds as Corrosion Inhibitors in Different Environments*. A review Progress in Organic Coatings, vol. 9, pp. 165-236, 1981.
- [20] Maryati Abd. Isa, Ishak. Bialangi, Nurhayati. *Isolasi dan Identifikasi Senyawa Flavonoid dari Daun Jamblang (Syzygium cumini)*. Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Gorontalo.
- [21] Rijke E. 2005. *Trace-level Determination of Flavonoids and their Conjugates Application the Plants of the Leguminosae Family*. Amsterdam: University of Amsterdam.
- [22] Ludiana, Yonna. Handani. Sri. *Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Ekstrak Daun Teh (Camelia sinensis) terhadap Laju Korosi Baja Karbon Schedule 40 Grade B ERW*. Jurnal Fisika Unand Vol. 1, No. 1, Oktober 2012.
- [23] Rocha, J. C. Ponciano Gomes, J. A. C. *Grape Pomace Extracts as Green Corrosion Inhibitors for Carbon Steel in Hydrochloric Acid Solutions*. International Journal of Electrochemical Science 2012, 1194e1-11956.
- [24] Rani, P. Deepa. Selvaraj. 2010. *Inhibitive Action of Vitis vinifera (Grape) on Copper and Brass in Natural Sea Water Environment*. Rasayan Journal Chem. Vol. 3 No.3.

- [25] G. Kartasapoetra. 1992. *Budidaya Tanaman Berkhasiat Obat*. Jakarta: Rineka Cipta.
- [26] Wulandari, Intan. 2011. *Teknologi Ekstraksi dengan Metode Maserasi dalam Etanol 70% pada Daun Kumis Kucing (Orthosiphon stamineus Benth) di Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Tanaman Obat dan Obat Tradisional Tawangmangu*. Fakultas Pertanian. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- [28] Neldawati. Ratnawulan. Gusnedi. 2013. *Analisis Nilai Absorbansi dalam Penentuan Kadar Flavonoid untuk Berbagai Jenis Daun Tanaman Obat*. Jurusan Fisika, Universitas Negeri Padang.
- [29] Prayogha, P. K. G. 2012. *Profil Hormon Ovari Sepanjang Siklus Estrus Tikus (Rattus norvegicus) Betina Menggunakan Fourier Transform Infrared (FTIR)*. Departemen Biologi. Universitas Indonesia.
- [30] Azzis, S. N. 2012. *Deteksi Hormon Kortikosteron Dalam Sampel Urine Tikus (Rattus norvegicus) Betina Menggunakan Teknologi Fourier Transform Infrared (FTIR)*. Departemen Biologi, Universitas Indonesia.
- [31] Silverstein, R. M. Webster, F. X. Kiemle, D. J. 2005. *Spectrometric Identification of Organic Compounds 7th edition*. USA: JohnWiley & Sons.

- [32] Socrates, George. 2001. *Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies Tables and Charts 3rd edition*. New York: John Wiley & Sons.
- [33] ASTM G 31-72. *Laboratory Corrosion Testing of Metals*.
- [34] Perez, Nestor. 2004. *Electrochemistry and Corrosion Science*. Kluwer Academic Publisher.
- [35] Trethewey and Chamberlain. 1991. *Korosi Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- [36] Rocha, J. C. Ponciano Gomes, J. A. C. *Grape Pomace Extracts as Green Corrosion Inhibitors for Carbon Steel in Hydrochloric Acid Solutions*. International Journal of Electrochemical Science 2012, 1194e1-11956.
- [37] Hossain, M. Amzad. Rahman, S. M. Mizanur. 2011. *Isolation and Characterization of Flavonoids from the leaves of Medicinal Plant Orthosiphon stamineus*. Arabian Journal of Chemistry.
- [38] Ibrahim, Taleb. Alayan, Hisham. Al Mowaqet, Yasmin. 2011. *The Effect of Thyme leaves Extract on Corrosion of Mild Steel in HCl*. Progress in Organic Coating 75 (2012): 456-462.
- [39] Wahyuningsih A. Sunarya, Y., Aisyah S. 2010. *Merenamina sebagai inhibitor korosi baja karbon dalam*

lingkungan sesuai kondisi pertambangan minyak bumi.

Jurusan pendidikan kimia. Universitas pendidikan Indonesia.

- [40] 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.

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama Sheby Sara Sandy. Lahir di Surabaya pada tanggal 10 Oktober 1993. Penulis merupakan anak tunggal dari pasangan Drs. M. Nur dan Erni Sri Kuswati, SH. Penulis telah menempuh jenjang pendidikan di SDN Sidotopo III/50 Surabaya, SMPN 37 Surabaya, SMAN 2 Surabaya, dan hingga sekarang menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS.

Selama masa perkuliahan penulis aktif berorganisasi. Pada tahun 2011/2012 penulis menjadi anggota aktif UKM IFLS (ITS Foreign Language Society). Pada tahun 2012/2013 penulis menjadi staff Departemen Hubungan Masyarakat di LMB (Lembaga Minat Bakat) ITS. Pada tahun 2012/2013 penulis menjadi sekretaris umum BSO Kewirausahaan HMMT FTI-ITS.

Penulis melakukan kerja praktik di PT Badak NGL dengan penelitian mengenai controlled deposition welding sebagai alternatif post weld. Kemudian penulis meneliti green corrosion inhibitor di bidang korosi dan kegagalan material sebagai bahan tugas akhir. Email yang dapat dihubungi yaitu shebysandy@yahoo.com.

LAMPIRAN A

Skema Kerja

1. Pembuatan Ekstrak Inhibitor Ampas Anggur

Bahan
Buah Anggur Bali : 5 kg

- Mencuci bersih buah anggur
- Men-juicer buah anggur
- Mengambil ampas anggur dalam wadah juicer
- Men-juicer ulang ampas anggur sebanyak 3-4kali hingga ampasnya mengandung sedikit air

Pengeringan dan Penyerbukan

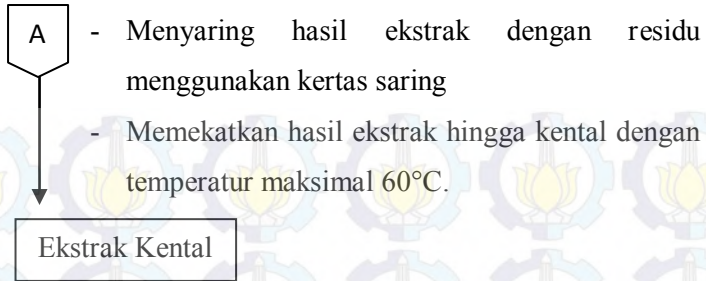
- Mengeringkan ampas anggur tanpa terkena sinar matahari langsung selama 5 hari
- Men-crusher ampas anggur kering hingga menjadi serbuk halus

Refluks

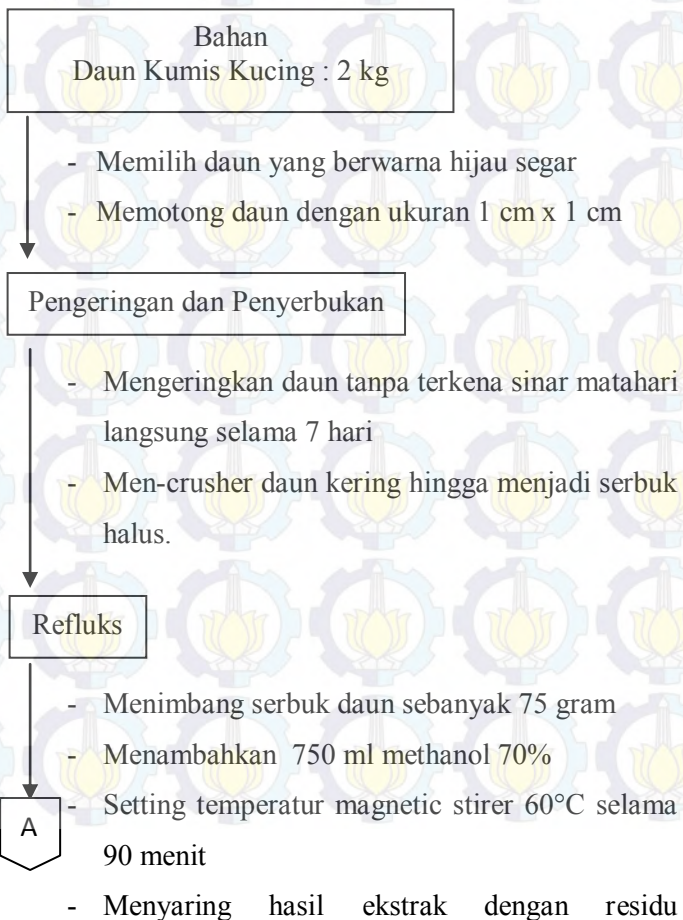
- Menimbang serbuk ampas anggur sebanyak 75 gram
- Menambahkan 750 ml methanol 70%

A

- Setting temperatur magnetic stirer 60°C selama 90 menit



2. Pembuatan Ekstrak Inhibitor Daun Kumis Kucing



A

menggunakan kertas saring.

- Memekatkan hasil ekstrak hingga kental dengan temperatur maksimal 60°C.

Ekstrak Kental

3. 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

4. Pembuatan Elektroda Kerja

Baja API 5L Grade B

- Memotong dengan ukuran diameter 14 mm
- Menyolder untuk disambung ke kawat tembaga
- Moulding spesimen dengan resin epoksi
- Grinding permukaan dari grade 80 sampai 1000

Elektroda Kerja

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

A

pengujian dan lain lain.

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

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 impedance* untuk mengisi parameter pada EIS

A

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 :

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

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

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

$$m = \rho \times V$$

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

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

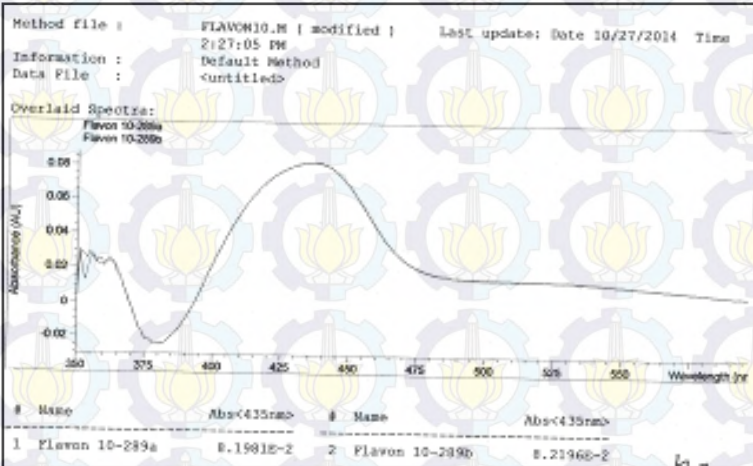
sehingga massa NaCl yang dilarutkan adalah

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

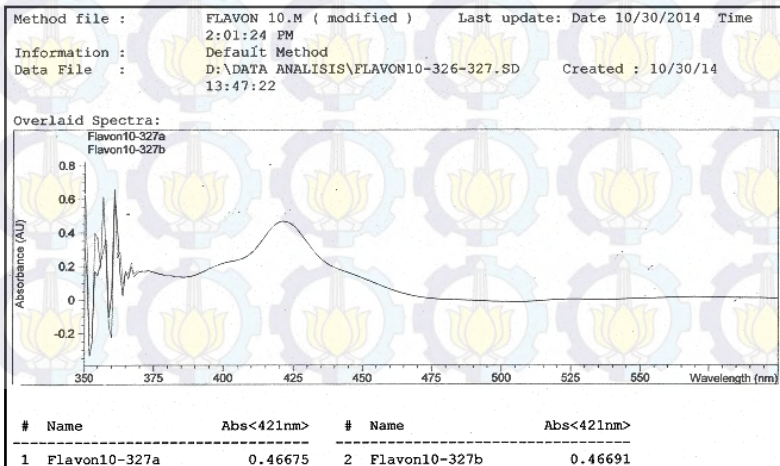
LAMPIRAN C

1. Hasil Pengujian Uv-Vis

a. Ekstrak Ampas Anggur



b. Ekstrak Daun Kumis Kucing



2. Hasil Pengujian Weight Loss

a. Penambahan Inhibitor Ampas Anggur

6 hari

Konsentrasi (mg/L)		Berat awal	Berat akhir	selisih berat	laju korosi	efisiensi
0	1	9.1904	9.1732	0.0172	5.78689416	*
	2	9.3583	9.3400	0.0183	6.15698623	
	3	9.0166	8.9995	0.0171	5.75324943	
100	1	9.9177	9.9037	0.0140	4.71026269	19.39163498
	2	9.3383	9.3245	0.0138	4.64297322	
	3	9.3852	9.3706	0.0146	4.91213109	
200	1	9.774	9.7619	0.0121	4.07101275	35.74144487
	2	9.1352	9.1242	0.0110	3.70092069	
	3	9.2588	9.2481	0.0107	3.59998648	
300	1	9.9263	9.9120	0.0143	4.81119689	26.04562738
	2	9.2793	9.2675	0.0118	3.97007855	
	3	9.371	9.3582	0.0128	4.30652589	
400	1	9.8916	9.8802	0.0114	3.83549962	32.88973384
	2	9.5373	9.5251	0.0122	4.10465749	
	3	9.3827	9.3710	0.0117	3.93643382	
500	1	9.2365	9.2250	0.0115	3.86914435	32.69961977
	2	9.5573	9.5457	0.0116	3.90278909	
	3	9.2661	9.2538	0.0123	4.13830222	

12 hari

Konsentrasi (mg/L)		Berat awal	Berat akhir	selisih berat	laju korosi	efisiensi
0	1	8.6562	8.6308	0.0254	4.2728812	*
	2	9.7449	9.7146	0.0303	5.0971771	

	3	8.5415	8.5153	0.0262	4.4074601	
100	1	9.8173	9.7930	0.0243	4.0878351	6.4713
	2	9.6433	9.6165	0.0268	4.5083943	
	3	9.1852	9.1597	0.0255	4.2897035	
200	1	9.9964	9.9764	0.0200	3.3644734	24.78632479
	2	9.0819	9.0608	0.0211	3.5495194	
	3	9.2849	9.2644	0.0205	3.4485852	
300	1	9.2014	9.1791	0.0223	3.7513878	23.32112332
	2	9.7300	9.7080	0.0220	3.7009207	
	3	8.4443	8.4258	0.0185	3.1121378	
400	1	9.7682	9.7526	0.0156	2.6242892	42.73504274
	2	9.5814	9.5653	0.0161	2.708401	
	3	9.0789	9.0637	0.0152	2.5569997	
500	1	9.4488	9.4347	0.0141	2.3719537	40.04884005
	2	10.1099	10.0879	0.0220	3.7009207	
	3	9.0142	9.0012	0.0130	2.1869077	

18 hari

Konsentrasi (mg/L)		Berat awal	Berat akhir	selisih berat	laju korosi	efisiensi
0	1	9.2632	9.2247	0.0385	4.317740799	*
	2	8.5068	8.4698	0.0370	4.149517132	
	3	9.5598	9.5169	0.0429	4.811196891	
100	1	9.6242	9.589	0.0352	3.947648731	7.43243243
	2	9.8893	9.8518	0.0375	4.205591688	
	3	8.593	8.5561	0.0369	4.138302221	
200	1	9.4422	9.4163	0.0259	2.904661992	33.3614865
	2	10.647	10.6259	0.0211	2.366346256	
	3	9.5522	9.5203	0.0319	3.577556662	
300	1	10.2585	10.231	0.0275	3.084100571	27.6182432

	2	9.8198	9.7879	0.0319	3.577556662	
	3	10.0203	9.994	0.0263	2.949521637	
400	1	9.6631	9.6437	0.0194	2.175692766	49.4087838
	2	9.1525	9.1339	0.0186	2.085973477	
	3	9.4556	9.4337	0.0219	2.456065546	
500	1	9.4618	9.4414	0.0204	2.287841878	42.0608108
	2	9.9903	9.9646	0.0257	2.88223217	
	3	9.5504	9.5279	0.0225	2.523355013	

24 hari

Konsentrasi (mg/L)		Berat awal	Berat akhir	selisih berat	laju korosi	efisiensi
0	1	9.2746	9.2317	0.0429	3.608397668	*
	2	9.5962	9.5461	0.0501	4.214002871	
	3	9.5179	9.4725	0.0454	3.818677252	
100	1	9.1322	9.0972	0.0350	2.943914181	20.23121387
	2	9.5208	9.483	0.0378	3.179427316	
	3	10.1909	10.1533	0.0376	3.162604949	
200	1	10.0155	9.979	0.0365	3.070081932	20.44797688
	2	10.1351	10.0989	0.0362	3.044848382	
	3	10.1501	10.1127	0.0374	3.145782582	
300	1	9.6207	9.5928	0.0279	2.346720162	37.64450867
	2	9.5686	9.5404	0.0282	2.371953712	
	3	9.4991	9.4689	0.0302	2.540177379	
400	1	9.892	9.8672	0.0248	2.085973477	48.69942197
	2	9.9077	9.8859	0.0218	1.833637976	
	3	10.1369	10.1125	0.0244	2.052328744	
500	1	9.8507	9.8249	0.0258	2.170085311	48.62716763
	2	9.6909	9.6673	0.0236	1.985039277	
	3	9.7839	9.7622	0.0217	1.825226792	

30 hari

Konsentrasi (mg/L)		Berat awal	Berat akhir	Selisih berat	Laju korosi	Effisiensi
0	1	8.917	8.8662	0.0508	3.418304924	*
	2	8.9964	8.9375	0.0589	3.963349606	
	3	8.7816	8.724	0.0576	3.875873299	
100	1	10.523	10.4826	0.0404	2.718494467	20.4423192
	2	10.3816	10.3376	0.0440	2.960736548	
	3	10.0784	10.0297	0.0487	3.276997043	
200	1	9.8216	9.8058	0.0158	1.063173579	23.132098
	2	10.2762	10.217	0.0592	3.983536446	
	3	10.1943	10.1407	0.0536	3.606715431	
300	1	8.7871	8.7513	0.0358	2.408962919	33.2934848
	2	8.9206	8.8793	0.0413	2.779054987	
	3	9.104	9.0695	0.0345	2.321486612	
400	1	9.3374	9.317	0.0204	1.372705127	60.4901375
	2	9.6206	9.5985	0.0221	1.487097221	
	3	9.5696	9.546	0.0236	1.588031421	
500	1	9.9366	9.9095	0.0271	1.823544556	50.2689779
	2	9.2959	9.2699	0.0260	1.749526142	
	3	9.4435	9.4134	0.0301	2.025412957	

b. Penambahan Inhibitor Daun Kumis Kucing

6 hari

Konsentrasi (mg/l)		Berat awal	Berat akhir	selisih berat	laju korosi	efisiensi
0	1	9.6998	9.6833	0.0165	5.551381	*
	2	9.3717	9.3515	0.0202	6.7962362	
	3	10.4209	10.3986	0.0223	7.5027756	

1000	1	9.918	9.9096	0.0084	2.8261576	45.25423729
	2	9.5305	9.5164	0.0141	4.7439074	
	3	9.1982	9.1884	0.0098	3.2971839	
2000	1	9.3936	9.3802	0.0134	4.5083943	21.52542373
	2	9.1798	9.1638	0.0160	5.3831574	
	3	9.4475	9.4306	0.0169	5.68596	
3000	1	8.366	8.3608	0.0052	1.7495261	66.27118644
	2	9.4264	9.4199	0.0065	2.1869077	
	3	9.0667	9.0585	0.0082	2.7588681	
4000	1	9.7799	9.7699	0.0100	3.3644734	48.6440678
	2	9.087	9.0768	0.0102	3.4317628	
	3	9.2528	9.2383	0.0145	4.8784864	
5000	1	9.0186	9.0029	0.0157	5.2822232	16.77966102
	2	9.9167	9.9010	0.0157	5.2822232	
	3	10.3584	10.3407	0.0177	5.9551178	

12 Hari

Konsentrasi (mg/l)		Berat awal	Berat akhir	selisih berat	laju korosi	efisiensi
0	1	9.117	9.0889	0.0281	4.7270851	*
	2	9.437	9.4044	0.0326	5.4840916	
	3	9.4699	9.4397	0.0302	5.0803548	
1000	1	8.9655	8.9573	0.0082	1.3794341	65.18151815
	2	8.8139	8.8010	0.0129	2.1700853	
	3	9.4804	9.4673	0.0131	2.20373	
2000	1	9.1337	9.1245	0.0092	1.5476577	70.4070407
	2	8.8161	8.8067	0.0094	1.5813025	
	3	9.9442	9.9359	0.0083	1.3962564	
3000	1	9.5109	9.5080	0.0029	0.4878486	86.57865787

	2	9.2445	9.2389	0.0056	0.9420525	
	3	9.2234	9.2197	0.0037	0.6224276	
4000	1	9.9315	9.9238	0.0077	1.2953222	81.29812981
	2	8.5873	8.5834	0.0039	0.6560723	
	3	9.6317	9.6263	0.0054	0.9084078	
5000	1	8.9767	8.9675	0.0092	1.5476577	70.2970297
	2	8.8282	8.8188	0.0094	1.5813025	
	3	9.494	9.4856	0.0084	1.4130788	

18 hari

Konsentrasi (mg/l)		Berat awal	Berat akhir	selisih berat	laju korosi	efisiensi
0	1	9.4658	9.4228	0.0430	4.822411802	
	2	9.228	9.1759	0.0521	5.842968718	
	3	9.1391	9.0936	0.0455	5.102784581	
1000	1	9.7607	9.7498	0.0109	1.222425317	79.51635846
	2	9.7362	9.7268	0.0094	1.05420165	
	3	9.1826	9.1741	0.0085	0.953267449	
2000	1	9.2248	9.2154	0.0094	1.05420165	79.08961593
	2	9.3585	9.3494	0.0091	1.020556916	
	3	9.538	9.5271	0.0109	1.222425317	
3000	1	9.9764	9.9710	0.0054	0.605605203	86.20199147
	2	9.6882	9.6804	0.0078	0.874763071	
	3	9.837	9.8308	0.0062	0.695324492	
4000	1	9.4197	9.4126	0.0071	0.796258693	81.50782361
	2	9.9462	9.9365	0.0097	1.087846383	
	3	9.7435	9.7343	0.0092	1.031771827	
5000	1	10.2182	10.2047	0.0135	1.514013008	80.65433855
	2	9.069	9.0609	0.0081	0.908407805	
	3	9.8839	9.8783	0.0056	0.628035025	

24 hari

Konsentrasi (mg/l)		Berat awal	Berat akhir	selisih berat	laju korosi	efisiensi
0	1	10.110	10.0519	0.0590	4.9625981	*
	2	9.7598	9.6995	0.0603	5.0719435	
	3	9.1421	9.0850	0.0571	4.8027857	
1000	1	9.3047	9.2935	0.0112	0.9420525	82.1995464
	2	9.0589	9.0495	0.0094	0.7906512	
	3	9.0627	9.0519	0.0108	0.9084078	
2000	1	9.6063	9.5934	0.0129	1.0850426	80.1587301
	2	10.082	10.0715	0.0111	0.9336413	
	3	9.7275	9.7165	0.0110	0.9252301	
3000	1	9.5085	9.5021	0.0064	0.5383157	85.9410430
	2	9.8323	9.8230	0.0093	0.7822400	
	3	9.0983	9.0892	0.0091	0.7654176	
4000	1	9.8772	9.8668	0.0104	0.8747630	81.4625850
	2	9.5718	9.5613	0.0105	0.8831742	
	3	8.8462	8.8344	0.0118	0.9925196	
5000	1	8.4253	8.4149	0.0104	0.8747630	82.1995464
	2	9.5103	9.5002	0.0101	0.8495295	
	3	9.4297	9.4188	0.0109	0.9168189	

30 hari

Konsentrasi (mg/l)		Berat awal	Berat akhir	selisih berat	laju korosi	efisiensi
0	1	9.2925	9.2424	0.0501	3.37120229	*
	2	10.2959	10.2442	0.0517	3.47886544	
	3	9.5259	9.4734	0.0525	3.53269701	
1000	1	8.9856	8.9768	0.0088	0.59214731	80.881399

	2	9.3783	9.3697	0.0086	0.57868941	
	3	9.2432	9.2311	0.0121	0.81420255	
2000	1	10.106 7	10.0989	0.0078	0.52485784	84.445884
	2	9.5377	9.5300	0.0077	0.51812889	
	3	10.057	10.0485	0.0085	0.57196047	
3000	1	10.231 5	10.2250	0.0065	0.43738153	90.084251
	2	9.8804	9.8742	0.0062	0.41719469	
	3	10.011 6	10.0090	0.0026	0.17495261	
4000	1	9.7483	9.7388	0.0095	0.63924993	82.631237
	2	9.2007	9.1934	0.0073	0.49121310	
	3	9.864	9.8540	0.0100	0.67289467	
5000	1	9.1216	9.1125	0.0091	0.61233415	83.862605
	2	9.4346	9.4270	0.0076	0.51139994	
	3	9.7736	9.7654	0.0082	0.55177362	

3. Hasil Pengujian Polarisasi

Penambahan 3000 mg/L ekstrak kumis kucing		Penambahan 400 mg/L ekstrak ampas anggur		Tanpa inhibitor	
Potential (V)	Log Current (A)	Potential (V)	Log Current (A)	Potential (V)	Log Current (A)
-0,7103	-4,26723162	-0,60638	-4,40287877	-0,61737	-4,2504
-0,70923	-4,27840947	-0,60532	-4,42062918	-0,6163	-4,27465
-0,70816	-4,28628019	-0,60425	-4,4354736	-0,61523	-4,2943
-0,70709	-4,29429619	-0,60318	-4,44804403	-0,61417	-4,31206
-0,70602	-4,30034175	-0,60211	-4,45904019	-0,6131	-4,3272
-0,70496	-4,30700863	-0,60104	-4,46872039	-0,61203	-4,3411
-0,70389	-4,31252633	-0,59998	-4,47694844	-0,61096	-4,35372
-0,70282	-4,31916339	-0,59891	-4,48586283	-0,60989	-4,36494

-0,70175	-4,32464241	-0,59784	-4,49252734	-0,60883	-4,37601
-0,70068	-4,33021931	-0,59677	-4,49954533	-0,60776	-4,38634
-0,69962	-4,33523772	-0,5957	-4,5057438	-0,60669	-4,3956
-0,69855	-4,34028626	-0,59464	-4,51216194	-0,60562	-4,40446
-0,69748	-4,34430848	-0,59357	-4,51775832	-0,60455	-4,41247
-0,69641	-4,35035365	-0,5925	-4,52316113	-0,60349	-4,4208
-0,69534	-4,35567271	-0,59143	-4,52854399	-0,60242	-4,42902
-0,69428	-4,3605693	-0,59036	-4,53435695	-0,60135	-4,43638
-0,69321	-4,3618793	-0,58929	-4,53946748	-0,60028	-4,44401
-0,69214	-4,36888817	-0,58823	-4,54403504	-0,59921	-4,45133
-0,69107	-4,37381161	-0,58716	-4,54935528	-0,59815	-4,45759
-0,69	-4,37999936	-0,58609	-4,55402859	-0,59708	-4,46465
-0,68893	-4,38501952	-0,58502	-4,55899337	-0,59601	-4,47126
-0,68787	-4,39146755	-0,58395	-4,56391849	-0,59494	-4,47762
-0,6868	-4,39728472	-0,58289	-4,56880194	-0,59387	-4,48428
-0,68573	-4,40287877	-0,58182	-4,57344157	-0,5928	-4,48924
-0,68466	-4,40806989	-0,58075	-4,57798172	-0,59174	-4,49579
-0,68359	-4,41380554	-0,57968	-4,58231744	-0,59067	-4,50156
-0,68253	-4,4185749	-0,57861	-4,58689982	-0,5896	-4,50796
-0,68146	-4,42395827	-0,57755	-4,59132596	-0,58853	-4,51311
-0,68039	-4,42522701	-0,57648	-4,59537835	-0,58746	-4,51916
-0,67932	-4,41473446	-0,57541	-4,60026053	-0,5864	-4,52453
-0,67825	-4,41930534	-0,57434	-4,60413217	-0,58533	-4,52828
-0,67719	-4,42788152	-0,57327	-4,60879134	-0,58426	-4,5339
-0,67612	-4,43819048	-0,57221	-4,61246781	-0,58319	-4,53919
-0,67505	-4,44878917	-0,57114	-4,61732751	-0,58212	-4,54413
-0,67398	-4,45808768	-0,57007	-4,62118981	-0,58106	-4,54898
-0,67291	-4,46599929	-0,569	-4,62592469	-0,57999	-4,55412
-0,67184	-4,47480743	-0,56793	-4,63031484	-0,57892	-4,55875
-0,67078	-4,48319369	-0,56686	-4,63452138	-0,57785	-4,56343
-0,66971	-4,49219808	-0,5658	-4,63830993	-0,57678	-4,56792

-0,66864	-4,50172805	-0,56473	-4,64282774	-0,57571	-4,572
-0,66757	-4,51099971	-0,56366	-4,64686501	-0,57465	-4,57643
-0,6665	-4,52086828	-0,56259	-4,65064281	-0,57358	-4,5808
-0,66544	-4,53029283	-0,56152	-4,65487143	-0,57251	-4,58445
-0,66437	-4,53335922	-0,56046	-4,65902276	-0,57144	-4,58947
-0,6633	-4,5450561	-0,55939	-4,6629083	-0,57037	-4,59382
-0,66223	-4,55545558	-0,55832	-4,66682891	-0,56931	-4,598
-0,66116	-4,5650369	-0,55725	-4,67016499	-0,56824	-4,60243
-0,6601	-4,57768106	-0,55618	-4,67334059	-0,56717	-4,60718
-0,65903	-4,58343271	-0,55512	-4,67754501	-0,5661	-4,61122
-0,65796	-4,59376308	-0,55405	-4,68173001	-0,56503	-4,6159
-0,65689	-4,60264408	-0,55298	-4,68640272	-0,56397	-4,62025
-0,65582	-4,6162313	-0,55191	-4,68976352	-0,5629	-4,62531
-0,65476	-4,63309538	-0,55084	-4,69387104	-0,56183	-4,63065
-0,65369	-4,64874884	-0,54977	-4,69748725	-0,56076	-4,63555
-0,65262	-4,66535528	-0,54871	-4,70073683	-0,55969	-4,6401
-0,65155	-4,68358091	-0,54764	-4,70454506	-0,55862	-4,64487
-0,65048	-4,69960671	-0,54657	-4,70859119	-0,55756	-4,64999
-0,64941	-4,71397714	-0,5455	-4,71178879	-0,55649	-4,65439
-0,64835	-4,73390948	-0,54443	-4,71562793	-0,55542	-4,65951
-0,64728	-4,7538216	-0,54337	-4,72005715	-0,55435	-4,66554
-0,64621	-4,7754022	-0,5423	-4,72446061	-0,55328	-4,6701
-0,64514	-4,78807092	-0,54123	-4,72841394	-0,55222	-4,67516
-0,64407	-4,81086917	-0,54016	-4,7334085	-0,55115	-4,68103
-0,64301	-4,83457166	-0,53909	-4,7372998	-0,55008	-4,6857
-0,64194	-4,86069721	-0,53803	-4,74086024	-0,54901	-4,69204
-0,64087	-4,88563258	-0,53696	-4,74437779	-0,54794	-4,69802
-0,6398	-4,9170962	-0,53589	-4,74814529	-0,54688	-4,703
-0,63873	-4,94654507	-0,53482	-4,7509754	-0,54581	-4,70913
-0,63767	-4,96989435	-0,53375	-4,75480083	-0,54474	-4,71556
-0,6366	-5,01535074	-0,53268	-4,7587375	-0,54367	-4,72173

-0,63553	-5,05741658	-0,53162	-4,76278814	-0,5426	-4,72792
-0,63446	-5,09864304	-0,53055	-4,76702929	-0,54153	-4,73484
-0,63339	-5,14198644	-0,52948	-4,77115582	-0,54047	-4,74159
-0,63232	-5,19613541	-0,52841	-4,77595667	-0,5394	-4,74837
-0,63126	-5,26017775	-0,52734	-4,78104983	-0,53833	-4,75661
-0,63019	-5,33503759	-0,52628	-4,78620343	-0,53726	-4,76386
-0,62912	-5,42745598	-0,52521	-4,79158283	-0,53619	-4,7721
-0,62805	-5,53435695	-0,52414	-4,79578774	-0,53513	-4,78113
-0,62698	-5,72193954	-0,52307	-4,80036548	-0,53406	-4,78954
-0,62592	-6,09138525	-0,522	-4,80533306	-0,53299	-4,79911
-0,62485	-6,84987013	-0,52094	-4,81095628	-0,53192	-4,80916
-0,62378	-6,21659672	-0,51987	-4,81665327	-0,53085	-4,81892
-0,62271	-5,83303438	-0,5188	-4,82216349	-0,52979	-4,82971
-0,62164	-5,61486402	-0,51773	-4,82801042	-0,52872	-4,84105
-0,62058	-5,48708225	-0,51666	-4,83366759	-0,52765	-4,85269
-0,61951	-5,38537378	-0,51559	-4,83994585	-0,52658	-4,86378
-0,61844	-5,30754615	-0,51453	-4,84613333	-0,52551	-4,87766
-0,61737	-5,23464368	-0,51346	-4,85241023	-0,52445	-4,89169
-0,6163	-5,16890164	-0,51239	-4,85935057	-0,52338	-4,90639
-0,61523	-5,10959128	-0,51132	-4,86621208	-0,52231	-4,9205
-0,61417	-5,05365141	-0,51025	-4,87357959	-0,52124	-4,93715
-0,6131	-5,00490472	-0,50919	-4,88067151	-0,52017	-4,95399
-0,61203	-4,96448621	-0,50812	-4,88829065	-0,5191	-4,97387
-0,61096	-4,93247908	-0,50705	-4,89635703	-0,51804	-4,99183
-0,60989	-4,89489876	-0,50598	-4,9044715	-0,51697	-5,01412
-0,60883	-4,85935057	-0,50491	-4,91339106	-0,5159	-5,03746
-0,60776	-4,82747588	-0,50385	-4,92205463	-0,51483	-5,06213
-0,60669	-4,79570362	-0,50278	-4,93202577	-0,51376	-5,08943
-0,60562	-4,76811517	-0,50171	-4,94176763	-0,5127	-5,11838
-0,60455	-4,74093199	-0,50064	-4,95279914	-0,51163	-5,15353
-0,60349	-4,71425146	-0,49957	-4,96326733	-0,51056	-5,19137

-0,60242	-4,69047842	-0,49851	-4,97449342	-0,50949	-5,23192
-0,60135	-4,667507	-0,49744	-4,9861478	-0,50842	-5,27891
-0,60028	-4,64557268	-0,49637	-4,99983934	-0,50736	-5,33303
-0,59921	-4,62352159	-0,4953	-5,01370625	-0,50629	-5,39752
-0,59815	-4,60211385	-0,49423	-5,02944486	-0,50522	-5,47095
-0,59708	-4,58262132	-0,49316	-5,0454806	-0,50415	-5,57008
-0,59601	-4,56333653	-0,4921	-5,06350988	-0,50308	-5,7018
-0,59494	-4,54496318	-0,49103	-5,08296159	-0,50201	-5,87398
-0,59387	-4,52693512	-0,48996	-5,10602419	-0,50095	-6,22408
-0,5928	-4,50984058	-0,48889	-5,12895099	-0,49988	-6,83784
-0,59174	-4,49343409	-0,48782	-5,1546675	-0,49881	-6,04138
-0,59067	-4,47643301	-0,48676	-5,18523915	-0,49774	-5,77762
-0,5896	-4,46068423	-0,48569	-5,21856562	-0,49667	-5,60419
-0,58853	-4,44518993	-0,48462	-5,25705189	-0,49561	-5,48364
-0,58746	-4,43015927	-0,48355	-5,30246379	-0,49454	-5,38964
-0,5864	-4,41408153	-0,48248	-5,35408182	-0,49347	-5,30246
-0,58533	-4,39877574	-0,48142	-5,41473446	-0,4924	-5,23215
-0,58426	-4,38412041	-0,48035	-5,49010289	-0,49133	-5,17027
-0,58319	-4,36895012	-0,47928	-5,5866449	-0,49027	-5,11147
-0,58212	-4,35417212	-0,47821	-5,7196402	-0,4892	-5,06091
-0,58106	-4,34066388	-0,47714	-5,92039552	-0,48813	-5,01289
-0,57999	-4,32714048	-0,47607	-6,30674012	-0,48706	-4,96891
-0,57892	-4,31293412	-0,47501	-6,58044736	-0,48599	-4,92729
-0,57785	-4,30007646	-0,47394	-5,9747433	-0,48492	-4,88829
-0,57678	-4,28628019	-0,47287	-5,72005715	-0,48386	-4,85147
-0,57571	-4,27340563	-0,4718	-5,55526526	-0,48279	-4,81692
-0,57465	-4,25993589	-0,47073	-5,4350039	-0,48172	-4,78314
-0,57358	-4,2475743	-0,46967	-5,33503759	-0,48065	-4,75038
-0,57251	-4,23418919	-0,4686	-5,25157705	-0,47958	-4,71929
-0,57144	-4,22010278	-0,46753	-5,17919056	-0,47852	-4,6897
-0,57037	-4,20667208	-0,46646	-5,11439399	-0,47745	-4,65939

-0,56931	-4,19364431	-0,46539	-5,05650994	-0,47638	-4,63122
-0,56824	-4,18200253	-0,46433	-5,00316579	-0,47531	-4,60387
-0,56717	-4,16948832	-0,46326	-4,95351264	-0,47424	-4,57613
-0,5661	-4,15637361	-0,46219	-4,90660283	-0,47318	-4,5502
-0,56503	-4,14475168	-0,46112	-4,86407584	-0,47211	-4,52449
-0,56397	-4,13199366	-0,46005	-4,82322021	-0,47104	-4,49846
-0,5629	-4,11959976	-0,45898	-4,78466652	-0,46997	-4,47394
-0,56183	-4,10737955	-0,45792	-4,74762763	-0,4689	-4,45129
-0,56076	-4,09532935	-0,45685	-4,71212888	-0,46783	-4,42692
-0,55969	-4,08360396	-0,45578	-4,67805171	-0,46677	-4,40278
-0,55862	-4,07187413	-0,45471	-4,64504685	-0,4657	-4,37933
-0,55756	-4,06014792	-0,45364	-4,61355633	-0,46463	-4,3563
-0,55649	-4,04858233	-0,45258	-4,58292542	-0,46356	-4,33335
-0,55542	-4,03717198	-0,45151	-4,55336499	-0,46249	-4,31119
-0,55435	-4,02563202	-0,45044	-4,52453366	-0,46143	-4,28885
-0,55328	-4,01452772	-0,44937	-4,49658251	-0,46036	-4,26625
-0,55222	-4,00316579	-0,4483	-4,46958001	-0,45929	-4,24431
-0,55115	-3,99222236	-0,44724	-4,44301643	-0,45822	-4,22275
-0,55008	-3,98104166	-0,44617	-4,41701332	-0,45715	-4,20116
-0,54901	-3,97001998	-0,4451	-4,39117349	-0,45609	-4,17979
-0,54794	-3,95890748	-0,44403	-4,36616911	-0,45502	-4,15828
-0,54688	-3,94807223	-0,44296	-4,3414773	-0,45395	-4,13723
-0,54581	-3,93589408	-0,4419	-4,31728827	-0,45288	-4,11612
-0,54474	-3,92494235	-0,44083	-4,29351436	-0,45181	-4,09516
-0,54367	-3,91458454	-0,43976	-4,26969022	-0,45075	-4,07407
-0,5426	-3,90383414	-0,43869	-4,24663836	-0,44968	-4,0535
-0,54153	-3,89313285	-0,43762	-4,22363738	-0,44861	-4,03272
-0,54047	-3,88268892	-0,43655	-4,20095046	-0,44754	-4,01234
-0,5394	-3,87239314	-0,43549	-4,17858998	-0,44647	-3,9917
-0,53833	-3,86252562	-0,43442	-4,15637361	-0,4454	-3,97126
-0,53726	-3,8523144	-0,43335	-4,13451522	-0,44434	-3,95102

-0,53619	-3,84233777	-0,43228	-4,1130166	-0,44327	-3,93066
-0,53513	-3,83222203	-0,43121	-4,09171287	-0,4422	-3,91047
-0,53406	-3,82216349	-0,43015	-4,0707809	-0,44113	-3,89045
-0,53299	-3,81198604	-0,42908	-4,05006722	-0,44006	-3,87032
-0,53192	-3,80187649	-0,42801	-4,02972846	-0,439	-3,85034
-0,53085	-3,79191084	-0,42694	-4,00948622	-0,43793	-3,8306
-0,52979	-3,78193213	-0,42587	-3,98962795	-0,43686	-3,81078
-0,52872	-3,77186153	-0,42481	-3,96977281	-0,43579	-3,79109
-0,52765	-3,76194386	-0,42374	-3,95030916	-0,43472	-3,77163
-0,52658	-3,7520979	-0,42267	-3,93111686	-0,43366	-3,75202
-0,52551	-3,74181065	-0,4216	-3,91208732	-0,43259	-3,73233
-0,52445	-3,73204724	-0,42053	-3,89323473	-0,43152	-3,71295
-0,52338	-3,72221894	-0,41946	-3,87447319	-0,43045	-3,69341
-0,52231	-3,71226543	-0,4184	-3,85572476	-0,42938	-3,67403
-0,52124	-3,7022023	-0,41733	-3,83729523	-0,42831	-3,65469
-0,52017	-3,69243337	-0,41626	-3,81891996	-0,42725	-3,63538
-0,5191	-3,6824297	-0,41519	-3,80078529	-0,42618	-3,61618
-0,51804	-3,67290274	-0,41412	-3,78281622	-0,42511	-3,59705
-0,51697	-3,66278641	-0,41306	-3,76486563	-0,42404	-3,57788
-0,5159	-3,65331849	-0,41199	-3,74703295	-0,42297	-3,5589
-0,51483	-3,64492988	-0,41092	-3,72919543	-0,42191	-3,53997
-0,51376	-3,63549403	-0,40985	-3,71158308	-0,42084	-3,52113
-0,5127	-3,62614866	-0,40878	-3,69374014	-0,41977	-3,5024
-0,51163	-3,61645032	-0,40772	-3,67603463	-0,4187	-3,48368
-0,51056	-3,60658977	-0,40665	-3,65841909	-0,41763	-3,46515



4. Hasil Pengujian EIS

a. 0 ppm

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

24,3154	1,07514	24,3154	57,0478	27,3686	0,294637
24,4247	1,06848	24,4247	56,8951	27,3553	0,209604
24,5305	1,21641	24,5305	56,7463	27,3459	0,152155
24,7107	1,36135	24,7107	56,4901	27,3393	0,114586
24,8296	1,5856	24,8296	56,3191	27,3347	0,091798
24,9198	1,92864	24,9198	56,1884	27,3314	0,08061
25,1941	2,49903	25,1941	55,7853	27,3292	0,079318
25,5491	3,11525	25,5491	55,2508	27,3276	0,087451
25,8898	3,85826	25,8898	54,7233	27,3265	0,105661
26,4413	5,17071	26,4413	53,8372	27,3258	0,135776
28,3477	6,79303	28,3477	50,4043	27,3252	0,180974
27,5642	8,34088	27,5642	51,8932	27,3249	0,246108
25,8123	8,93477	25,8123	54,8446	27,3246	0,338241
31,1817	12,2557	31,1817	43,5761	27,3244	0,467395
32,3448	15,8403	32,3448	39,4786	27,3243	0,647641

b. 3000 mg/L ekstrak kumis kucing

Hasil Pengujian		Electrochemical Circle Fit		Fit & Simulation	
Z' (Ω)	-Z'' (Ω)	Z' (Ω)	-Z'' (Ω)	Z' (Ω)	-Z'' (Ω)
-41,4341	83,3972	-41,4341	82,6037	-50,962	93,2323
-36,028	90,2753	-36,028	90,4845	-	100,569
-29,4612	97,1481	-29,4612	97,9007	-	105,628
-21,4342	103,974	-21,4342	104,881	-	108,478

				9,63265	
-11,7854	110,246	-11,7854	111,137	3,94073	109,295
-0,50272	115,568	-0,50272	116,227	16,7799	108,333
12,3481	119,347	12,3481	119,656	28,6506	105,895
26,315	121	26,315	120,879	39,4009	102,297
40,7836	119,994	40,7836	119,516	48,9743	97,8379
54,9392	116,257	54,9392	115,451	57,3677	92,7937
67,4021	109,431	67,4021	109,252	64,6314	87,3978
78,4134	103,794	78,4134	101,107	70,8495	81,8393
88,0287	94,0956	88,0287	90,9543	76,1188	76,2703
94,7574	84,1515	94,7574	80,9711	80,5474	70,8022
99,4554	74,5606	99,4554	71,1911	84,24	65,5182
102,294	65,5115	102,294	62,6866	87,2979	60,4735
103,925	57,3912	103,925	55,2945	89,8164	55,6978
104,517	50,2003	104,517	51,1808	91,8744	51,2182
104,491	43,8537	104,491	51,3957	93,5495	47,0319
104,002	38,4	104,002	54,8374	94,9023	43,1437
103,229	33,779	103,229	58,8694	95,9867	39,5478
102,808	30,197	102,808	60,6916	96,8512	36,226
101,658	26,6013	101,658	64,8981	97,5336	33,1675
100,829	23,7169	100,829	67,473	98,0669	30,3564
99,9521	21,0482	99,9521	69,9115	98,4785	27,7758
98,9982	18,9751	98,9982	72,3141	98,791	25,4105
98,3401	17,0366	98,3401	73,8493	99,0235	23,2428
97,3082	14,4036	97,3082	76,0923	99,1914	21,2593
97,1369	14,0131	97,1369	76,4476	99,3076	19,4436
96,8791	12,8305	96,8791	76,9738	99,3827	17,7832
96,4266	11,6906	96,4266	77,8742	99,4253	16,2647
96,0082	10,6736	96,0082	78,6822	99,4425	14,8761
95,6408	9,7402	95,6408	79,3734	99,44	13,6069
95,3749	8,97448	95,3749	79,8636	99,4225	12,4466

95,1148	8,24706	95,1148	80,3352	99,3937	11,3856
94,9594	7,58964	94,9594	80,6134	99,3567	10,4162
94,7502	7,05203	94,7502	80,9839	99,314	9,52949
94,5632	6,49692	94,5632	81,311	99,2675	8,7192
94,4289	6,03029	94,4289	81,5438	99,2187	7,97824
94,2215	5,63874	94,2215	81,8996	99,1687	7,3004
94,2716	5,24145	94,2716	81,8141	99,1187	6,68067
94,1488	4,89878	94,1488	82,0233	99,0693	6,11418
94,0618	4,62831	94,0618	82,1708	99,021	5,59584
94,0842	4,27886	94,0842	82,1329	98,9743	5,12174
94,0995	4,01148	94,0995	82,107	98,9293	4,68806
94,0665	3,77562	94,0665	82,1628	98,8864	4,29124
93,9995	3,55724	93,9995	82,276	98,8456	3,92818
94,0031	3,37955	94,0031	82,2698	98,8069	3,59606
93,9745	3,20703	93,9745	82,318	98,7705	3,29218
94,0418	3,20188	94,0418	82,2045	98,7363	3,01412

c. 400 mg/L ekstrak ampas anggur

Hasil Pengujian		Electrochemical Circle Fit		Fit & Simulation	
Z' (Ω)	-Z'' (Ω)	Z' (Ω)	-Z'' (Ω)	Z' (Ω)	-Z'' (Ω)
-58,6042	58,2578	-58,6042	57,7124	-93,7916	77,4795
-54,2282	64,3771	-54,2282	64,6654	-66,6331	82,5255
-49,3941	69,6756	-49,3941	70,4096	-45,5313	81,6549
-43,4403	74,8476	-43,4403	75,7918	-29,4528	78,156
-36,3496	79,6581	-36,3496	80,5378	-17,146	73,665
-28,0202	83,7223	-28,0202	84,4032	-7,60328	68,9583
-18,5662	86,592	-18,5662	86,999	-0,07281	64,3811
-8,32594	87,9686	-8,32594	87,9413	5,97227	60,0782
2,35309	87,4087	2,35309	86,9503	10,9109	56,093

12,7804	84,7283	12,7804	83,9306	15,0075	52,4286
21,9431	79,5802	21,9431	79,3091	18,455	49,067
29,9801	76,1177	29,9801	73,2572	21,3954	45,9815
37,3117	69,2638	37,3117	65,2586	23,9322	43,1466
42,4354	61,7851	42,4354	57,1305	26,145	40,5358
45,6727	54,7987	45,6727	49,6077	28,093	38,1266
47,9003	48,2443	47,9003	41,166	29,8228	35,8981
49,1297	42,2494	49,1297	NaN	31,3724	33,8296
49,6203	36,9314	49,6203	NaN	32,7677	31,9089
49,6192	32,2903	49,6192	NaN	34,0347	30,1176
49,2842	28,3169	49,2842	NaN	35,1899	28,4463
48,8837	24,8701	48,8837	NaN	36,2477	26,8851
48,2727	22,0349	48,2727	38,8748	37,2222	25,4217
47,6243	19,5437	47,6243	42,5709	38,1228	24,0494
46,9559	17,3436	46,9559	45,4003	38,958	22,7608
46,2513	15,5317	46,2513	47,8522	39,7349	21,549
45,7204	13,9038	45,7204	49,4698	40,4594	20,4088
45,0798	12,5582	45,0798	51,2333	41,137	19,3342
44,619	11,5818	44,619	52,4009	41,7716	18,3215
44,2987	10,1765	44,2987	53,1711	42,3675	17,3654
43,9756	9,44244	43,9756	53,9173	42,9276	16,463
43,6728	8,64223	43,6728	54,5913	43,4549	15,6104
43,3888	7,92689	43,3888	55,203	43,9521	14,8042
43,1385	7,30363	43,1385	55,7271	44,4212	14,0419
42,9341	6,75987	42,9341	56,1452	44,8643	13,3208
42,756	6,2754	42,756	56,5025	45,2832	12,638
42,6161	5,82785	42,6161	56,7789	45,6794	11,9919
42,4895	5,45435	42,4895	57,0259	46,0546	11,3796
42,3992	5,11158	42,3992	57,2004	46,4098	10,7998
42,3157	4,80186	42,3157	57,3602	46,7464	10,2504
42,2715	4,52601	42,2715	57,4444	47,0657	9,72937

42,2206	4,29215	42,2206	57,5409	47,3684	9,23556
42,196	4,02458	42,196	57,5875	47,6554	8,76759
42,1532	3,88394	42,1532	57,6679	47,9278	8,32364
42,1512	3,69877	42,1512	57,6719	48,1863	7,90258
42,1403	3,55943	42,1403	57,6922	48,4318	7,5032
42,1056	3,42939	42,1056	57,7573	48,6648	7,12425
42,1112	3,32033	42,1112	57,7468	48,8861	6,7647
42,0753	3,22073	42,0753	57,8139	49,0962	6,42362
42,0939	3,14203	42,0939	57,7793	49,2957	6,09996
42,1494	3,19808	42,1494	57,6752	49,4853	5,79283

