



TUGAS AKHIR - MM 091381

**PENGARUH PENAMBAHAN EKSTRAK DAUN
SALAM (*Eugenia polyantha*) TERHADAP LAJU
KOROSI PADA BAJA KARBON API 5L GRADE B DI
LINGKUNGAN NaCl 3.5% dan H₂SO₄ 1M**

MUCHAMMAD BAGUS FATCHUL FAROCHI
NRP 2710 100 012

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA

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



FINAL PROJECT - MM 091381

**EFFECT OF THE ADDITION EUGENIA
POLYANTHA'S EXTRACT ON THE CORROSION
RATE OF CARBON STEEL API 5L GRADE B IN
 H_2SO_4 1M AND NaCl 3.5%**

MUCHAMMAD BAGUS FATCHUL FAROCHI
NRP 2710 100 012

Advisor
Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA

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

(halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGARUH PENAMBAHAN EKSTRAK DAUN SALAM
(*Eugenia polyantha*) TERHADAP LAJU KOROSI PADA BAJA
KARBON API 5L GRADE B DI LINGKUNGAN NaCl 3.5% dan
H₂SO₄ 1M**

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

MUCHAMMAD BAGUS FATCHUL FAROCHI
NRP. 2710 100 012

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

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



PENGARUH PENAMBAHAN EKSTRAK DAUN SALAM TERHADAP LAJU KOROSI PADA BAJA API 5L GRADE B DILINGKUNGAN 3.5% NaCl dan H₂SO₄ 1M

Nama : M. Bagus Fatchul Farochi
NRP : 2710100012
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA

Abstrak

Korosi merupakan degradasi mutu dari suatu material. Pada industri minyak dan gas, korosi sangat rawan menyerang pada sistem *pipelines*. Inhibitor korosi dapat menghambat suatu proses korosi. Terdapat dua macam inhibitor korosi jika dilihat dari bahan dasarnya, yaitu inhibitor organik (*bioinhibitor*) dan inhibitor anorganik. Namun, penggunaan inhibitor anorganik tidak ramah lingkungan dan juga kurang ekonomis. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh ekstrak daun salam yang mengandung antioksidan sebagai inhibitor dalam media korosif H₂SO₄ dan NaCl.

Dalam penelitian ini digunakan baja karbon API 5L Grade B dengan media korosif H₂SO₄ 1 M dan NaCl 3,5 % dengan variasi konsentrasi dari ekstrak daun salam 0 mg/L, 100 mg/L, 200 mg/L, 300 mg/L, 400 mg/L dan 500 mg/L. Untuk mengetahui kandungan flavonoid yang merupakan senyawa fenol yang berperan sebagai antioksidan dilakukan uji *flavonoid total*. Efektivitas penggunaan inhibitor daun salam akan diketahui melalui beberapa pengujian yaitu Uji *Weight Loss*, Uji *Electrochemical Impedance Spectroscopy* dan Uji *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* untuk mengetahui apakah ekstrak daun salam dapat teradsorpsi pada baja API 5L grade B.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa ekstrak daun salam mengandung senyawa flavonoid yang mampu menghambat laju korosi yang terjadi pada baja API 5L grade B saat digunakan sebagai inhibitor korosi. Laju korosi menurun dari 4,7155 mpy saat tidak ditambahkan inhibitor menjadi 0,7333 mpy saat ditambahkan 300 mg/L pada media NaCl 3.5% dan 2773,3669 mpy saat tidak ditambahkan inhibitor menjadi 1162,3593 mpy setelah ditambahkan 300 mg/L.

Kata Kunci : *daun salam, antioksidan, media korosif, API 5L Grade B*

**EFFECT OF THE ADDITION EUGENIA
POLYANTHA'S EXTRACT ON THE CORROSION RATE
OF CARBON STEEL API 5L GRADE B IN H₂SO₄ 1M
AND NaCl 3.5%**

Name : M. Bagus Fatchul Farochi
NRP : 2710100012
Department : Teknik Material dan Metalurgi
Advisor : Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA

Abstract

Corrosion is the degradation of the quality of a material. In the oil and gas industry, are very prone to corrosion attack on the system of pipelines. Corrosion inhibitors can inhibit the corrosion process. There are two kinds of corrosion inhibitors when viewed from the basic ingredients, namely organic inhibitors (bioinhibitor) and inorganic inhibitors. However, the use of inorganic inhibitors are not environmentally friendly and also less economical. The purpose of this research is to study the effect of salam leaves's extracts containing antioxidants as inhibitors in the corrosive media H₂SO₄ dan NaCl.

This study used carbon steel API 5L Grade B with corrosive media H₂SO₄ 1 M NaCl and 3.5% with variation of the concentration of leaves extract 0 mg / L, 100 mg / L, 200 mg / L, 300 mg / L, 400 mg / L and 500 mg / L. For know flavonoid phenols are compounds that act as antioxidants total flavonoids tested. The effectiveness of the use of inhibitors of leaves will be known through some testing that Weight Loss Test, Test and Test Electrochemical Impedance Spectroscopy Fourier Transform Infrared Spectroscopy to determine whether extracts of leaves can be adsorbed on the steel API 5L grade B.

The results showed that the leaves extract contains flavonoids that can inhibit corrosion rate occurs in steel API 5L Grade B when used as a corrosion inhibitor. Corrosion rate decreased from 4.7155 mpy when no inhibitor was added into the current 0.7333 mpy added 300 mg / L in 3.5% NaCl medium and 2773.3669 mpy when no inhibitor added into 1162.3593 mpy after adding 300 mg / L.

Keywords: *salam leaves, antioxidants, corrosive media, API 5L Grade B*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Hirobbil'alamin. Segala puji bagi Allah SWT Yang Maha Pengasih Lagi Penyayang, Rabb yang maha menguasai segala ilmu pengetahuan. Penulisan Tugas Akhir dengan judul **Pengaruh Penambahan Ekstrak Daun Salam (*Eugenia polyantha*) terhadap Laju Korosi pada Baja API 5L Grade B di Lingkungan H₂SO₄ 1M dan NaCl 3.5%** telah selesai dilaksanakan.

Laporan ini merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh untuk menyelesaikan pendidikan guna memperoleh gelar kesarjanaan sesuai dengan kurikulum di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI - ITS.

Penulis menyadari bahwa selama proses penyusunan tugas akhir ini telah melibatkan banyak pihak yang sangat membantu. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Allah SWT Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang yang telah memberikan kehendak-NYA sehingga tugas akhir ini bisa terselesaikan.
2. Ibu Siti Rohmah yang telah membantu baik secara moral dan materi.
3. Bapak Jauhari yang telah membantu baik secara moral dan materi.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA, selaku dosen pembimbing.
5. Ading alias Fathan Nadhir dan bambutz alias Andhi Rahardhi yang telah menjadi *partner* tugas akhir yang gila buat saya dan selalu menjadi penyemangat.
6. Bapak Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc dan Ibu Diah Susanti, ST., MT., Ph.D. selaku dosen korosi yang selalu membantu.
7. Bapak Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc, Bapak Tubagus N. R., ST, MSc., Ibu Yuli Setiyorini., ST., Mphil, selaku dosen penguji.

8. Segenap dosen Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS.
9. Seluruh staf dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS yang telah banyak membantu.
10. ‘Tim sarang semut’ Illiyyin Nabila, Dinar Rias Adzhani, Saudah, dan Putri Astrini yang telah bersama-sama seperjuangan dalam mengerjakan tugas akhir di bidang korosi.
11. Teman-teman kontrakan Bumi Marina Emas Timur 5 No.6. Ade Okta Yurwendra, Sinai Parsih Albadar, Frasta Eka Prasetyawan, dan M. Rizky Ilhami yang telah dengan sukarela direpotkan dan menyediakan tempat untuk mengerjakan bersama.
12. Mbak Tika yang selalu membantu dan meluangkan waktunya untuk membantu kami dalam melakukan pengujian EIS.
13. Keluarga besar MT 12 yang selalu menghibur dan membantu dalam segala keadaan.
14. Adik saya Fitria Romadhoni yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir.
15. Keluarga besar bapak Jauhari dan Ibu Siti rohmah yang terus menerus menyemprotkan semangatnya.
16. Serta pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan dimasa datang. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi semua.

Surabaya, Januari 2014

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---|-----|
| JUDUL | i |
| KATA PENGANTAR..... | ii |
| ABSTRAK | iv |
| DAFTAR ISI | v |
| DAFTAR GAMBAR..... | vii |
| DAFTAR TABEL | x |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah..... | 3 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 3 |
| 1.4 Tujuan Penelitian..... | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 4 |
| BAB II | |
| 2.1 Pengertian Korosi | 5 |
| 2.2 Baja API 5L..... | 8 |
| 2.3 Jenis-Jenis Korosi yang terjadi pada <i>Pipeline</i> Industri Minyak dan Gas | 11 |
| 2.4 Perhitungan Laju Korosi..... | 13 |
| 2.5 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi | 14 |
| 2.6 Pengendalian Korosi..... | 18 |
| 2.7 Efisiensi Inhibitor | 28 |
| 2.8 Ekstraksi | 28 |
| 2.9 Antioksidan..... | 29 |
| 2.10 Penelitian Sebelumnya terkait <i>Green</i> <i>Inhibitor</i> | 31 |
| 2.11 Daun Salam sebagai Inhibitor..... | 34 |
| 2.12 Pengujian | 37 |
| BAB III | |
| 3.1 Diagram Alir Penelitian..... | 63 |
| 3.2 Peralatan | 64 |
| 3.3 Bahan..... | 64 |

| | | |
|---------------------|--|-----|
| 3.4 | Prosedur Penelitian..... | 65 |
| 3.5 | Preparasi Spesimen..... | 65 |
| 3.6 | Preparasi Ekstrak Daun Salam sebagai Inhibitor..... | 66 |
| 3.7 | Pembuatan Larutan NaCl | 68 |
| 3.8 | Pembuatan Larutan H ₂ SO ₄ | 68 |
| 3.9 | Pengujian..... | 68 |
| 3.10 | Rancangan Pengambilan Data Penelitian..... | 73 |
| BAB IV | | |
| 4.1 | Analisa Data | 81 |
| 4.1.1 | Hasil Uji Kadar Flavonoid Total | 81 |
| 4.1.2 | Hasil Uji <i>Weight loss</i> | 83 |
| 4.1.3 | Hasil Uji EIS (<i>Eletrochemical Impedance Spectroscopy</i>) | 92 |
| 4.1.4 | Hasil Uji FT-IR (<i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i>) | 99 |
| 4.2 | Pembahasan..... | 102 |
| BAB V | | |
| 5.1 | Kesimpulan..... | 105 |
| 5.2 | Saran..... | 106 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | | 107 |
| LAMPIRAN A | | 113 |
| LAMPIRAN B | | 120 |
| LAMPIRAN C | | 122 |
| LAMPIRAN D | | 125 |
| LAMPIRAN E..... | | 136 |
| LAMPIRAN F..... | | 144 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|------------------|---|-----|
| Tabel 2.1 | Sifat Mekanis dari berbagai Baja API 5L (API Specification 5L, Forty-Third Edition, 2004) | 10 |
| Tabel 2.2 | Komposisi Kimia Pipa API 5 L Grade B (Sumber: Specification for Line Pipe) | 10 |
| Tabel 2.3 | Nilai Tingkat Ketahanan Material Berdasarkan Laju Korosi | 14 |
| Tabel 2.3 | Penelitian sebelumnya tentang <i>Green Inhibitor</i> | 31 |
| Tabel 2.4 | Konstanta Laju Korosi (ASTM G31-72) | 43 |
| Tabel 2.5 | Frekuensi Gugus Untuk Gugus Fungsi Organik (Skoog, Holler, & Crouch, 2007) | 54 |
| Tabel 3.1 | Komposisi kimia baja API 5L | 64 |
| Tabel 3.2 | Rancangan Percobaan dengan Metode <i>weight loss</i> di media H ₂ SO ₄ 1 M | 73 |
| Tabel 3.3 | Rancangan Percobaan dengan Metode <i>weight loss</i> di media NaCl 3.5% | 76 |
| Tabel 3.4 | Rancangan Percobaan dengan Metode EIS | 80 |
| Tabel 4.1 | Data absorbansi dan flavonoid pada daun Salam | 83 |
| Tabel 4.2 | Data hasil <i>Equivalent Circuit</i> inhibitor ekstrak daun salam pada larutan H ₂ SO ₄ 1 M..... | 95 |
| Tabel 4.3 | Data hasil <i>Equivalent Circuit</i> inhibitor ekstrak daun salam pada larutan NaCl 3.5%..... | 98 |
| Tabel 4.4 | Analisa FTIR ekstrak daun salam dan adsorpsi lapisan protektif yang terbentuk pada permukaan baja API 5L grade B dengan IR Table Reference..... | 100 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|--------------------|--|----|
| Gambar 2.1 | Reaksi evolusi hidrogen pada asam (McCafferty,2009) | 7 |
| Gambar 2.2 | Reaksi reduksi oksigen pada netral (McCafferty,2009) | 8 |
| Gambar 2.3 | Produk korosi berupa <i>ferrous hydroxide</i> (McCafferty,2009) | 8 |
| Gambar 2.4 | Korosi yang terjadi pada <i>pipeline system</i> | 12 |
| Gambar 2.5 | Diagram Pourbaix Fe pH vs SHE pada 25°C (www.corrosion-doctors.org)..... | 17 |
| Gambar 2.6 | Proteksi katodik | 19 |
| Gambar 2.7 | Proteksi anodik | 20 |
| Gambar 2.8 | Coating..... | 20 |
| Gambar 2.9 | Pengaruh konsentrasi Inhibitor terhadap Laju korosi anodik (Trethewey,1991)..... | 24 |
| Gambar 2.10 | Mekanisme perlindungan terhadap peningkatan konsentrasi inhibitor katodik..... | 26 |
| Gambar 2.11 | Daun salam | 34 |
| Gambar 2.12 | Skema alat spektroskopi UV-Vis sinar tunggal dan ganda | 39 |
| Gambar 2.13 | Skema pengujian potensiostat..... | 45 |
| Gambar 2.14 | Skematik dari Sirkuit Elektrokimia (a) Transfer Muatan (b) Kontrol Difusi (Perez, 2004)..... | 48 |
| Gambar 2.15 | Skematik Sinusoidal Eksitasi Potensial (Perez, 2004)..... | 48 |
| Gambar 2.16 | Nyquist Plot Impedansi untuk Sirkuit Elektrokimia Kontrol Muatan (Gamry, 2005) | 51 |
| Gambar 2.17 | Skema Nyquist-Warburg Plot Untuk Kontrol Difusi (Perez, 2004)..... | 52 |
| Gambar 2.18 | Skema alat spektrofotometri infra merah..... | 56 |
| Gambar 2.19 | Spektrum absorban dan transmitan..... | 60 |

| | | |
|--------------------|---|----|
| Gambar 2.20 | Intrepetasi spectrum spesifik dari masing-masing gugus fungsi senyawa..... | 61 |
| Gambar 3.1 | Diagram alir penelitian | 63 |
| Gambar 3.2 | Spesimen untuk pengujian EIS..... | 66 |
| Gambar 3.3 | Spesimen Uji <i>Weight Loss</i> | 66 |
| Gambar 3.4 | Alat <i>Rotary Evaporator</i> | 67 |
| Gambar 3.5 | Ekstrak daun salam..... | 67 |
| Gambar 3.6 | Alat Spektrofotometer UV-Vis untuk uji <i>Flavonoid Total</i> | 69 |
| Gambar 3.7 | Alat Uji EIS | 71 |
| Gambar 3.8 | Skema Uji EIS | 72 |
| Gambar 3.9 | Peralatan Uji FTIR..... | 72 |
| Gambar 4.1 | Hasil Spektrum UV-Vis pada daun salam | 82 |
| Gambar 4.2 | Grafik pengaruh waktu perendaman terhadap pengurangan berat..... | 84 |
| Gambar 4.3 | (a) Baja API 5L grade B sebelum perendaman dan (b) Baja API 5L grade B setelah perendaman dilingkungan H ₂ SO ₄ 1M..... | 85 |
| Gambar 4.4 | Pengaruh konsentrasi terhadap laju korosi pada larutan H ₂ SO ₄ 1M hasil uji <i>weight loss</i> | 82 |
| Gambar 4.5 | Pengaruh penambahan konsentrasi terhadap efisiensi inhibitor pada larutan H ₂ SO ₄ 1 M hasil uji <i>weight loss</i> | 83 |
| Gambar 4.6 | Pengaruh waktu perendaman terhadap pengurangan berat..... | 89 |
| Gambar 4.7 | (a) Baja API 5L grade B sebelum dilakukan perendaman (b) Baja API 5L grade B setelah dilakukan perendaman..... | 90 |
| Gambar 4.8 | Grafik konsentrasi inhibitor ekstrak daun salam terhadap laju korosi pada pengujian <i>weight loss</i> | 91 |
| Gambar 4.9 | Grafik konsentrasi inhibitor ekstrak daun salam terhadap efisiensi inhibitor ekstrak daun salam pada pengujian | |

| | | |
|--------------------|--|-----|
| | <i>weight loss</i> | 92 |
| Gambar 4.10 | Hasil <i>fitting</i> pengujian EIS Baja API 5L saat kondisi blanko dan penambahan 300 mg/L ekstrak daun salam dalam larutan H ₂ SO ₄ 1M..... | 94 |
| Gambar 4.11 | <i>Equivalent circuit</i> dalam larutan H ₂ SO ₄ 1M dari kurva Nyquist dengan menggunakan software ZMAN..... | 94 |
| Gambar 4.12 | Hasil <i>fitting</i> pengujian EIS Baja API 5L konsentrasi inhibitor 0 ppm dan 300 ppm dalam larutan NaCl 3.5% | 97 |
| Gambar 4.13 | <i>Equivalent circuit</i> dalam larutan NaCl 3.5% dari kurva Nyquist dengan menggunakan software ZMAN..... | 97 |
| Gambar 4.19 | Spektra FTIR ekstrak daun salam dan Baja API 5L grade B setelah perendaman..... | 100 |



BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini penggunaan logam terutama baja sangat luas untuk kehidupan sehari-hari. Pada umumnya baja banyak diaplikasikan untuk konstruksi bangunan, saluran minyak dan lain-lain. Pada industri minyak dan gas baja sering diaplikasikan sebagai pipa yang dialiri fluida. Baja yang umum digunakan pada industri minyak dan gas ini berbahan dasar baja karbon karena baja karbon ini memang harganya relatif murah dan juga memiliki banyak keunggulan lainnya. Namun disamping kelebihan-kelebihan yang dimiliki oleh baja karbon yang telah disebutkan sebelumnya, baja karbon juga memiliki kelemahan. Salah satu kelemahan dari baja karbon adalah ketahanan terhadap serangan korosi.

Korosi dapat didefinisikan sebagai degradasi mutu atau penurunan kualitas dari suatu material yang diakibatkan adanya reaksi antara logam dengan lingkungan sekitar seperti udara, tanah, dan air. Tentunya serangan ini menjadi problematika yang dapat menghambat pengembangan dari aplikasi dari baja itu sendiri mengingat pengaplikasian dari baja itu sendiri dibutuhkan untuk dapat digunakan di segala lingkungan. Contohnya untuk industri minyak dan gas yang menuntut baja tersebut dapat bertahan didalam tanah. Maka dari itu dalam sebuah industri migas, korosi merupakan problematika yang sering terjadi dan hingga saat ini masih dicari metode yang efektif untuk mengendalikan serangan korosi ini karena serangan korosi ini memang tidak dapat dihilangkan namun dapat dikendalikan. Serangan korosi dapat sangat merugikan dari segi ekonomis ada suatu industri minyak dan gas.

Korosi yang merugikan dari segi ekonomis ini dapat dikendalikan dengan menggunakan beberapa metode, salah satunya dengan menggunakan penambahan inhibitor untuk mengendalikan serangan korosi yang terjadi pada internal dari



suatu pipa. Inhibitor merupakan metode proteksi yang fleksibel karena dapat digunakan pada lingkungan yang tidak begitu korosif hingga lingkungan yang memiliki tingkat korosif yang tinggi. Inhibitor adalah suatu zat yang ditambahkan pada media yang bersifat korosif dengan tujuan dapat menghambat laju korosi. Inhibitor dibagi menjadi dua jenis jika dilihat dari bahan yang digunakan yaitu inhibitor organik dan inhibitor anorganik. Inhibitor mempunyai peran penting dalam strategi pengontrolan korosi dan beberapa diantaranya efektif untuk lebih dari satu jenis campuran logam. Kinerja inhibitor dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti pH, suhu, dan kondisi lainnya yang bersifat khas untuk masing-masing inhibitor. Salah satu jenis inhibitor yang digunakan adalah inhibitor organik yang merupakan senyawa organik dengan atom nitrogen, oksigen, dan/atau sulfur, senyawa heterosiklik dan electron. (Dalimunthe, 2004). Sedangkan penggunaan inhibitor anorganik yang umum digunakan adalah sodium nitrit, kromat, fosfat dan garam seng. Namun penggunaan inhibitor anorganik ini disebut tidak ekonomis dan juga tidak ramah lingkungan. Hariana (2013) dalam bukunya menjelaskan bahwa pada daun salam (*Eugenia polyantha*) mengandung sitral, eugenol, tanin, dan flavonoid.

Daun tumbuhan salam yang memiliki nama latin (*Eugenia polyantha*) adalah salah satu daun tumbuhan yang kaya akan khasiat yang secara tradisional dapat digunakan untuk mengobati penyakit seperti obat sakit perut. Selain itu tumbuhan salam juga dimanfaatkan untuk mengobati asam urat, stroke, kolesterol tinggi, melancarkan peredaran darah, radang lambung, diare dan lain-lain. (Pratiwi, 2008). Namun banyak orang yang belum menyadari bahwa manfaat dari daun salam ini sangat luas. Menurut (Adjirni, 1999) dalam bukunya menjelaskan, kandungan kimia daun salam adalah minyak atsiri 0.05% (sitral dan eugenol), tanin, flavanoid, dan metachavicol. Senyawa-senyawa yang terkandung dalam daun salam tersebut dapat membentuk senyawa kompleks sehingga dapat diperluas pemanfaatannya. Contohnya, flavanoid bermanfaat sebagai anti viral, anti alergi, anti platelet,



anti inflamasi, anti tumor dan anti oksidan sebagai pertahanan tubuh. (Toda, 1991)

Maka dalam penelitian kali ini akan membahas mengenai *green inhibitor* dari ekstrak daun salam (*Eugenia polyantha*) yang diaplikasikan pada baja karbon API5L Grade B karena jenis baja karbon ini banyak digunakan dalam industri minyak dan gas. Sedangkan media yang digunakan adalah NaCl 3.5%.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang menjadi kajian dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana efisiensi dari inhibitor daun salam (*Eugenia polyantha*) terhadap laju korosi pada baja API 5L Grade B dilingkungan NaCl 3.5%, H₂SO₄ 1M.
2. Bagaimana mekanisme inhibisi dari *green inhibitor* ekstraksi dari daun salam (*Eugenia polyantha*) pada baja API 5L Grade B dilingkungan NaCl 3.5% dan H₂SO₄ 1M.

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini perlu diberikan batasan masalah sebagai ruang lingkup dalam penelitian, yaitu:

1. Tingkat kehalusan permukaan tiap material dianggap homogen.
2. Dimensi pada tiap material dianggap homogen.
3. Perubahan volume, temperatur, tekanan dan pH larutan elektrolit dapat diabaikan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan efisiensi inhibitor daun salam pada baja karbon rendah API 5L *Grade B* dengan konsentrasi yang berbeda yaitu 0, 100, 200, 300, 400, dan 500 ppm dalam media korosif 3.5% NaCl dan H₂SO₄ 1M.



2. Mempelajari mekanisme inhibisi dari inhibitor daun salam yang diaplikasikan pada baja karbon rendah API 5L *Grade B*.

I.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

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



BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Korosi

Korosi didefinisikan sebagai degradasi dari material yang diakibatkan oleh reaksi kimia dengan material lainnya dan lingkungan. Akibat adanya reaksi korosi, suatu material akan mengalami perubahan sifat ke arah yang lebih rendah atau dapat dikatakan kemampuan dari material tersebut akan berkurang. (Jones, 1991).

Peristiwa korosi terjadi akibat adanya reaksi kimia dan elektrokimia. Namun, untuk terjadinya peristiwa korosi terdapat beberapa elemen utama yang harus dipenuhi agar reaksi tersebut dapat berlangsung. Elemen-elemen utama tersebut adalah sebagai berikut (Fontana, 1987) :

a. Material

Dalam suatu peristiwa korosi, suatu material bersifat sebagai anoda. Anoda adalah suatu bagian dari suatu reaksi yang mengalami oksidasi. Akibat reaksi oksidasi, suatu logam kehilangan elektron, dan senyawa logam tersebut berubah menjadi ion-ion bebas.

b. Lingkungan

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

c. Reaksi antara Material dan Lingkungan

Adanya reaksi antara suatu material dengan lingkungannya merupakan suatu persyaratan yang sangat penting dalam terjadinya suatu peristiwa



korosi. Reaksi korosi hanya terjadi jika terdapat hubungan atau kontak langsung antara material dan lingkungan. Akibat adanya hubungan tersebut, terjadi reaksi reduksi dan oksidasi yang berlangsung secara spontan.

d. Elektrolit

Untuk mendukung suatu reaksi reduksi dan oksidasi dan melengkapi sirkuit elektrik, antara anoda dan katoda harus dilengkapi dengan elektrolit. Elektrolit menghantarkan listrik karena mengandung ion-ion yang mampu menghantarkan *elektroivalent force* sehingga reaksi dapat berlangsung.

Proses korosi terjadi berdasarkan prinsip elektrokimia, mekanisme elektrokimia yaitu terjadi reaksi oksidasi (anodik) dan reduksi (katodik). Adapun reaksi yang terjadi pada katoda dan anoda adalah sebagai berikut (Jones, 1992).

- Anoda

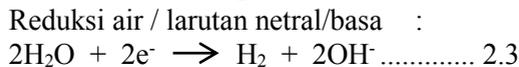
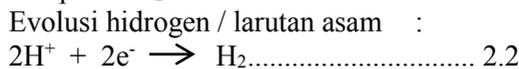
Anoda didefinisikan sebagai bagian permukaan yang mengalami reaksi oksidasi atau terkorosi. Pada anoda ini logam terlarut dalam larutan kemudian melepaskan elektron untuk membentuk ion logam yang bermuatan positif. Reaksi suatu logam M dinyatakan dalam persamaan berikut



- Katoda

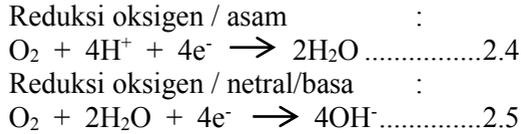
Katoda merupakan elektroda yang mengalami reaksi reduksi dengan menggunakan elektron yang dilepaskan oleh anoda. Pada lingkungan air alam, proses yang sering terjadi adalah pelepasan H₂ dan reduksi O₂.

a. Pelepasan H₂ dalam larutan asam dan netral

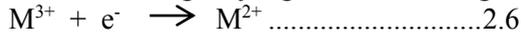




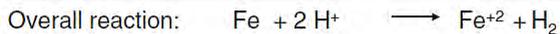
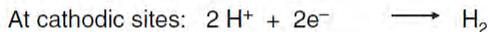
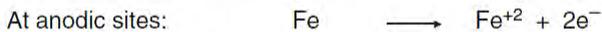
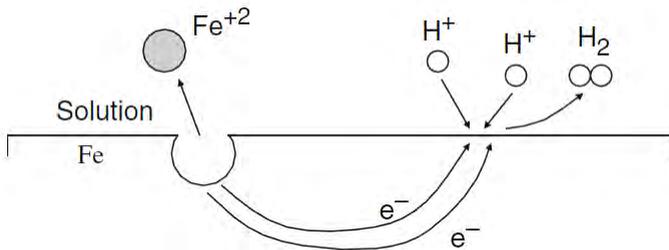
b. Reduksi oksigen terlarut dalam larutan asam dan netral



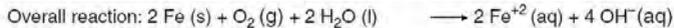
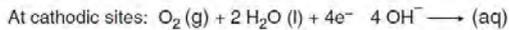
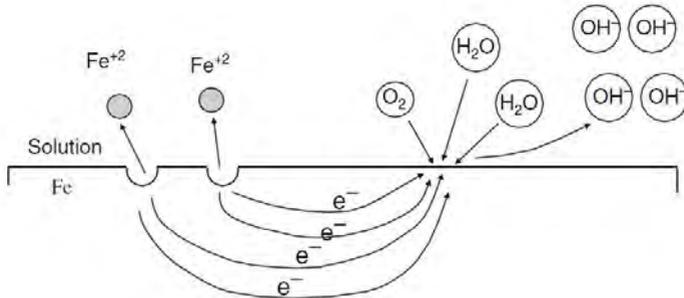
c. Reduksi ion logam yang lebih elektronegatif



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

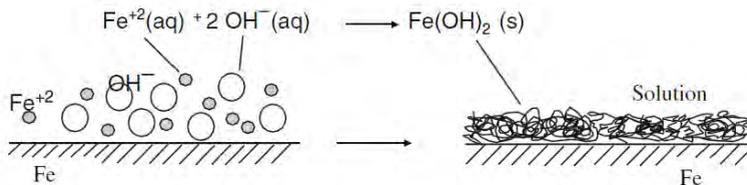


Gambar 2.1 Reaksi evolusi hidrogen pada asam
 (McCafferty,2009)



Gambar 2.2 Reaksi reduksi oksigen pada netral
(McCafferty,2009)

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



Gambar 2.3 Produk korosi berupa *ferrous hydroxide*
(McCafferty,2009)

2.2 Baja API 5L

API adalah kependekan dari *American Petroleum Institute*, yaitu standarisasi yang digunakan sebagai acuan untuk industri perminyakan dan gas bumi. Baja API 5L ini



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

Pemilihan bahan untuk tujuan pemipaan khususnya pipa minyak dan gas adalah suatu proses yang memerlukan pertimbangan yang tepat untuk pelayanan yang diperlukan. Bahan yang dipilih harus benar-benar aman dan tahan terhadap kondisi operasi, suhu, dan tekanan selama umur perancangan yang diinginkan. Kekuatan mekanik harus memadai untuk pelayanan jangka panjang dan mampu menahan perubahan operasi, misalnya siklus panas atau mekanis. Selain itu lingkungan sekitar sistem pemipaan dan komponennya beroperasi juga harus dipertimbangkan. Perubahan sifat-sifat bahan atau hilangnya beban efektif yang merubah luas penampang dapat terjadi melalui korosi, erosi atau kombinasi keduanya. Kemampuan bahan yang dipilih untuk dibengkokkan atau dibentuk, kecocokan untuk pengelasan atau metoda penyambungan lainnya, kemudahan perlakuan panas, keseragaman atau homogenitas dan kestabilan dari struktur mikro dan sifat-sifat bahan memberikan andil pada kelayakan ekonomis dari pipa yang dipilih (ASTM Handbook, 2005).

Pipa yang digunakan di lapangan minyak dan gas adalah jenis pipa baja karbon rendah dengan produk standar API (American Petroelum Institute) spesifikasi 5L. Termasuk dalam jenis pipa ini adalah jenis pipa tanpa las (seamless pipe) dan jenis pipa las (welded pipe). Jenis kelas API 5L ini adalah A25, A, B,



X42, X46, X52, X56, X60, X65, dan X70. Dimana komposisi kimia dan sifat-sifat mekanisnya dari tiap jenis berbeda. Tujuan dari jenis spesifikasi ini adalah untuk menyediakan standar yang cocok bagi pipa untuk digunakan dalam transmisi gas, air, dan minyak baik bagi perusahaan minyak maupun gas alam (Jaya,2011).

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

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

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 table 2.2 berikut.

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

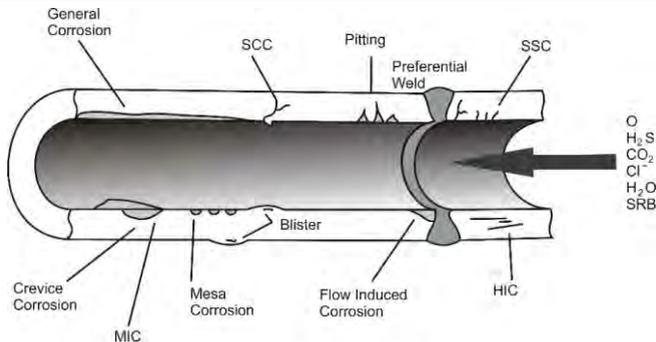
| Elemen | Kadar (%) |
|-----------------|-----------|
| <i>Carbon</i> | 0.22 |
| <i>Mangan</i> | 1.2 |
| <i>Phospor</i> | 0.025 |
| <i>Sulfur</i> | 0.015 |
| <i>Titanium</i> | 0.04 |

Pipa API 5 L banyak digunakan dalam industri minyak dan gas baik onshore maupun offshore. Maksud dari API 5 L Grade B adalah

- API : *American Petroleum Institute*
5 : Seri yang digunakan untuk *Tubular Goods*
(*ex: Casing, Tubing, Pipeline*)
L : Line Pipe
B : Grade yang berhubungan dengan sifat mekanik material dan komposisi kimianya

2.3 Jenis-Jenis Korosi yang terjadi pada Pipeline Industri Minyak dan Gas

Korosi dapat terjadi di lingkungan kering maupun lingkungan basah. Sebagai contoh korosi yang terjadi di lingkungan basah merupakan korosi yang terjadi pada logam besi oleh gas oksigen (O_2) atau oleh gas belerang dioksida (SO_2) dan ada banyak lagi contoh korosi yang terjadi pada lingkungan basah. Sedangkan korosi yang terjadi pada lingkungan yang basah, korosi dapat terjadi secara *uniform* maupun terjadi secara *local*. Korosi *uniform* adalah korosi yang terjadi pada permukaan logam akibat adanya reaksi kimia karena pH air yang rendah dan udara yang lembab, sehingga dapat mengakibatkan logam tersebut makin lama semakin menipis,. Biasanya korosi *uniform* ini terjadi pada pelat baja atau profil, logam homogen. Berbeda halnya dengan korosi serangan umum, korosi *local* terjadi pada bagian tertentu di permukaan logam. Beberapa jenis korosi *local* adalah korosi sumuran (*pitting corrosion*), korosi celah (*crevice corrosion*), *filiform corrosion*, dan lain-lain (Jacobson, 2003). Berikut ini merupakan beberapa jenis korosi yang sering ditemui :



Gambar 2.4 Korosi yang terjadi pada *pipeline system*

- General Corrosion** (korosi merata)
Adalah korosi yang terjadi menyeluruh dipermukaan. Jenis korosi ini mudah diprediksi, karena kecepatan atau laju korosi di setiap permukaan sama. Pada umumnya, *general corrosion* biasa dicegah dengan melapisi permukaannya seperti coating. Tujuannya ialah untuk mengurangi interaksi logam dengan lingkungannya.
- Crevice Corrosion** (korosi celah)
Merupakan bentuk korosi dimana korosi terjadi akibat adanya celah antara dua logam yang memiliki kadar oksigen berbeda dengan area luarnya.
- Pitting Corrosion** (korosi sumuran)
Merupakan jenis korosi yang terjadi karena pecahnya lapisan pasif di satu titik akibat dari lingkungan korosif, seperti ion Cl^- pada air laut. Ion Cl^- akan terkonsentrasi pada permukaan pasif sehingga terjadi pitting terlebih dahulu, sehingga pitting akan menjadi semakin dalam. Akibat pecahnya lapisan pasif gas hydrogen dan oksigen akan mudah masuk dan mengkorosikan logam tersebut.
- Strees Corrosion Cracking (SCC)**



Bentuk korosi dimana korosi terjadi karena adanya tegangan akibat beban tarik pada suatu logam di lingkungan korosif. Korosi ini sangat berbahaya karena sebagian besar baja sangat mudah dipengaruhi oleh jenis ini.

- *Mesa Corrosion*
Merupakan salah jenis korosi yang terjadi akibat adanya paparan karbon dioksida basah pada temperatur yang cukup tinggi pada paduan baja karbon.
- *Hydrogen Induced Cracking (HIC)*
Bentuk korosi dimana korosi terjadi karena adanya tegangan internal pada suatu material karena adanya molekul-molekul gas hydrogen yang berdifusi ke dalam struktur atom logam.
- *Microbial Induced Corrosion*
Korosi yang diakibatkan oleh aktivitas bakteri yang mereduksi ion sulfat yang terlarut menjadi ion sulfid. Ion sulfid yang dihasilkan inilah yang akan menyebabkan korosi lokal dengan laju korosi yang relatif tinggi. Bakteri yang sering dijumpai adalah *Sulfate Reduction Bacteria (SRB)*.
- *Sulfide Stress Cracking (SSC)*
Adalah retak logam yang melibatkan penggetas logam dengan atom hidrogen yang dihasilkan oleh korosi asam pada permukaan logam.

2.4 Perhitungan Laju Korosi

Laju korosi adalah peristiwa merambatnya proses korosi yang terjadi pada suatu material. Pada beberapa pengujian korosi sebagian besar yang dilakukan adalah laju korosi. Hal ini disebabkan laju korosi berkaitan erat dengan nilai ekonomis dan teknis material. Laju korosi merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur ketahanan terhadap korosi pada



material sehingga nanti dapat dinyatakan berapa *lifetime* dari material tersebut layak digunakan. Berikut merupakan tabel yang menunjukkan nilai tingkat ketahanan material berdasarkan laju korosi menurut Fontana, 1987.

Tabel 2.3 Nilai Tingkat Ketahanan Material Berdasarkan Laju Korosi

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

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

2.5 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi

Korosi terjadi dipengaruhi oleh sifat dari kedua logam atau paduan dan lingkungannya. Dalam *ASM Handbook Volume 13,2003* disebutkan faktor-faktor penting yang menyebabkan korosi sebagai berikut :

- a. Faktor Kandungan Gas dan Padatan Terlarut
- b. Faktor Temperatur
- c. Seleksi Material
- d. Faktor pH
- e. Faktor Bakteri Pereduksi

2.5.1 Faktor Kandungan Gas dan Padatan Terlarut

- a. Oksigen (O_2), adanya oksigen yang terlarut akan menyebabkan kenaikan laju korosi pada *mild steel alloys*. Oksigen merupakan penerima elektron yang dihasilkan oleh logam untuk terjadinya reaksi korosi logam pada air. Namun pada kondisi tertentu laju korosi akan menurun karena terbentuknya lapisan pasif di permukaan.
- b. Karbondioksida (CO_2), terlarutnya karbondioksida dalam air akan terbentuk asam karbonat (H_2CO_3) yang dapat menurunkan pH air dan meningkatkan korosifitas.
- c. Klorida (Cl^-), ion klorida merupakan ion agresif yang biasanya ditemukan dalam campuran minyak-air dalam konsentrasi tinggi. Klorida menyerang lapisan *mild steel* dan lapisan stainless steel dimana mengakibatkan terjadinya *pitting*, *crevice corrosion*, dan menyebabkan pecahnya paduan. Proses korosi juga dapat disebabkan oleh kenaikan konduktivitas larutan garam yang lebih konduktif, laju korosinya juga lebih tinggi.
- d. Sulfat (SO_4^{2-}), ion sulfat secara alamiah terdapat dalam minyak dan air sehingga mampu membentuk asam kuat jika berikatan dengan ion H^+ . Lingkungan asam akan menurunkan pH dan menaikkan laju korosi pada logam. Dalam air, ion sulfat ditemukan dalam konsentrasi yang cukup tinggi dan bersifat kontaminan, dan oleh bakteri SRB sulfat diubah menjadi sulfide yang korosif.



2.5.2. Faktor Temperatur

Peningkatan temperature umumnya meningkatkan laju korosi walaupun kenyataannya kelarutan oksigen akan berkurang seiring meningkatnya temperatur. Apabila logam terletak pada temperatur yang tidak uniform maka akan besar kemungkinan terbentuk korosi. Semakin meningkatnya temperatur lingkungan maka laju korosi yang terjadi akan semakin tinggi dibandingkan dengan temperatur rendah, karena pada temperatur tinggi kinetika reaksi kimia akan meningkat.

2.5.3 Seleksi Material

Pemilihan atau seleksi material merupakan suatu faktor yang mempengaruhi terjadinya proses korosi pada suatu struktur. Pemilihan material yang tepat akan meminimalisir terjadinya korosi pada suatu struktur. Sebagai contoh pemilihan material yang tepat untuk suatu struktur *platform* atau anjungan dimana biasanya pada struktur ini menggunakan logam baja karbon. Selain itu adanya penambahan unsur paduan tertentu akan meningkatkan ketahanan suatu material

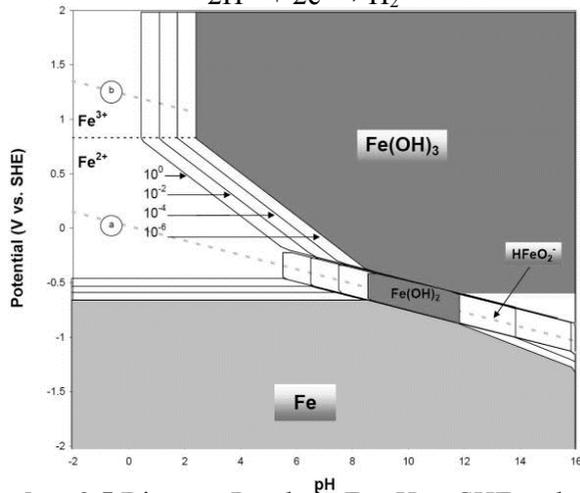
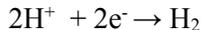
2.5.4 Faktor pH

Pada Diagram Pourbaix (Gambar 2.2) yang mempengaruhi proses korosi baja adalah potensial (volt) dan pH (tingkat keasaman). Semakin rendah pH ($\text{pH} < 4$) maka kemungkinan baja untuk terkorosi semakin besar karena baja terurai menjadi ion saat berada di lingkungan asam. Sedangkan pada daerah pH 4-10, laju korosi tidak tergantung dari pH, namun bergantung pada kecepatan difusi oksigen ke permukaan logam. Pada daerah asam ($\text{pH} < 4$), deposit besi oksida terlarut, pH akan menurun ketika baja kontak langsung dengan larutan. Sedangkan apabila pH di atas 10, laju korosi akan berkurang karena baja membentuk lapisan pasif di permukaannya (ASM Handbook Volume 13, 2003).

Pada $\text{pH} < 4$ laju korosi meningkat dengan adanya konsentrasi ion hidrogen dan terjadi penurunan pH. Tetapi, mekanisme korosinya tidak hanya tergantung pada konsentrasi ion hidrogen, tetapi juga kehadiran ion-ion lain yang ada dalam larutan. Peningkatan laju korosi akan terjadi pada pH yang sangat rendah, laju korosi tidak tergantung pH pada range pH netral, laju korosi akan menurun dengan peningkatan pH, dan akhirnya laju korosi akan meningkat kembali pada pH yang sangat rendah (ASM Handbook Volume 13, 2003). Untuk reaksi anodik pada baja karbon yaitu :



Reaksi tersebut berlaku untuk semua pH. Namun, laju korosi bervariasi dan cenderung berubah pada reaksi di katodik. Pada larutan yang memiliki $\text{pH} < 4$ oksida akan terlarut (ada oksigen terlarut) dan proses korosi akan meningkat, mengarah pada reduksi H^+ , reaksinya sebagai berikut



Gambar 2.5 Diagram Pourbaix Fe pH vs SHE pada 25°C
(www.corrosion-doctors.org)



2.5.5 Faktor Bakteri Pereduksi atau *Sulfate Reduction Bacteria (SRB)*

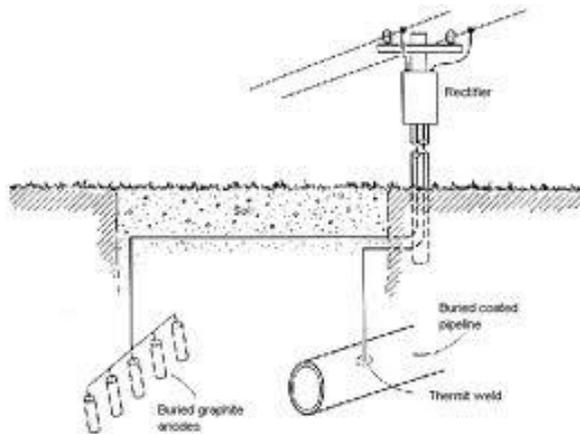
Jenis bakteri *sulfate reduction bacteria* dapat dijadikan penyebab terjadinya korosi karena menghasilkan asam sebagai hasil metabolismenya. Bakteri ini akan mereduksi ion sulfat menjadi gas H_2S yang mana jika gas tersebut kontak dengan besi akan menyebabkan terjadinya korosi.

2.6 Pengendalian Korosi

Korosi merupakan fenomena alam dan terjadi secara spontan sehingga korosi yang terjadi pada logam sulit dihindari maupun dihilangkan namun korosi dapat dikendalikan. Korosi telah menjadi problematika yang dapat menimbulkan kerugian dari segi ekonomis bagi industri-industri oleh sebab itu hingga kini masih terus dikembangkan metode-metode yang dapat mengendalikan serangan korosi secara efektif.

2.6.1 Proteksi Katodik

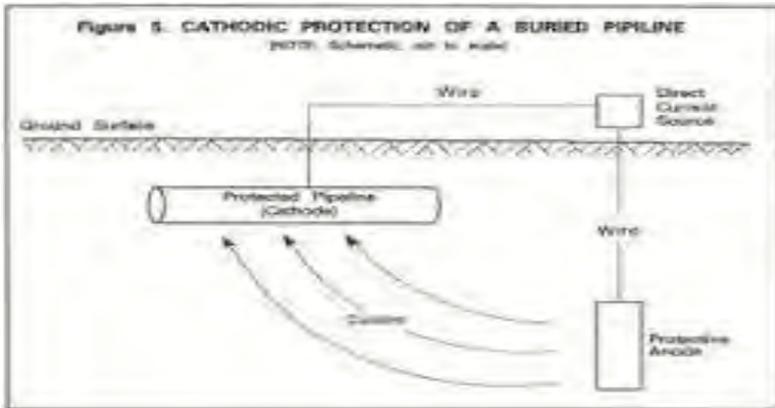
Proteksi katodik ini dilakukan untuk mengurangi atau menghentikan laju korosi pada logam dengan cara arus tanding (*impressed current*). Dimana proses proteksi katodik ini dilakukan dengan memanfaatkan sumber arus luar DC (arus searah) yang dihasilkan *rectifier* (Jones, 1992). Pengalihan arus dari *rectifier* ini berfungsi untuk menghantarkan elektron menuju katoda sehingga dapat memeberikan suplai elektron ke katoda, sehingga mencegah terlarutnya logam katoda menjadi ionnya. Perlindungan katoda ini biasanya terdapat di lingkungan alkali/alkali tanah atau air laut.



Gambar 2.6 Proteksi katodik

2.6.2 Proteksi Anodik

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



Gambar 2.7 Proteksi anodik

2.6.3 Coating

Coating atau bisa disebut pelapisan adalah suatu teknik perlakuan permukaan (surface treatment) yang digunakan untuk memperbaiki sifat base-materialnya seperti meningkatkan ketahanan aus, ketahanan korosi, *fatigue life* dll. Coating adalah produk yang paling banyak digunakan untuk perlindungan korosi. Coating digunakan untuk perlindungan jangka panjang diberbagai kondisi lingkungan yang korosif (Chamberlain, 1991).



Gambar 2.8 Coating

2.6.4 Inhibitor Korosi

Inhibitor adalah zat yang apabila ditambahkan ke dalam suatu lingkungan dalam jumlah kecil (secara berkesinambungan) dapat menurunkan laju korosi logam. Berikut merupakan beberapa jenis berdasarkan mekanisme proteksi dan bahan dasarnya:

a. Berdasarkan bahan dasarnya:

- Inhibitor *Organic*

Inhibitor organik memiliki keunikan karena mampu memberikan efek terhadap anodik dan katodik secara bersamaan. Inhibitor jenis ini melindungi logam dengan membentuk lapisan tipis (*film*) yang bersifat *hidrofobik* sebagai adsorpsi ion inhibitor oleh permukaan logam. Lapisan ini memisahkan permukaan logam dengan elektrolitnya, sehingga reaksi reduksi dan oksidasi pada logam dapat terhambat. Contoh inhibitor organik yang biasa digunakan di pasaran adalah gugus kimia yang biasa membentuk ikatan koordinat dengan logam seperti *amino* ($-\text{NH}_2$), *carboxyl* ($-\text{COOH}$), dan *phosphonate* ($-\text{PO}_3\text{H}_2$) (Roberge, 2000). Reaksi adsorpsi pada pembentukan lapisan pelindung dipengaruhi oleh panas dan tekanan. Inhibitor organik akan teradsorpsi sesuai muatan ion-ion inhibitor dan muatan permukaan. Kekuatan dari ikatan adsorpsi merupakan faktor penting bagi inhibitor dalam menghambat korosi.

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

a. *Physical adsorption*

Mekanisme adsorpsi yang membentuk hasil dari interaksi elektrostatik antara inhibitor dengan permukaan logam. Logam yang diberi muatan positif akan mengikat inhibitor yang bermuatan negative, begitu juga sebaliknya. Ikatan ini terbentuk dengan



cepat dan bersifat bolak-balik namun mudah hilang dari permukaan logam.

b. *Chemisorption*

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

c. *Film Forming*

Mekanisme jenis ini dipengaruhi oleh struktur inhibitor, komposisi larutan sebagai media elektrolit, sifat logam, dan potensial elektrokimia pada lapisan antar muka larutan-logam. Adsorpsi inhibitor organik biasanya melibatkan minimal dua jenis adsorpsi di atas yang berjalan simultan. Contohnya pada adsorpsi inhibitor organik pada logam di lingkungan HCl adalah kombinasi *chemisorptions-physical adsorption* yang memberikan perlindungan fisik dan kimiawi (Roberge, 2000).

- Inhibitor *anorganic*

Inhibitor anorganik merupakan inhibitor yang diperoleh dari mineral-mineral yang tidak mengandung unsure karbon dalam senyawanya. Inhibitor anorganik yang saat ini biasa digunakan adalah sodium nitrit, kromat, fosfat, dan garam seng (Hatch, 2011).

b. Berdasarkan mekanisme proteksi :

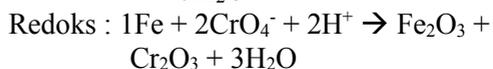
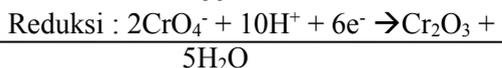
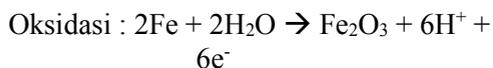
- *Inhibitor Anodik*

Mekanisme inhibitor ini yaitu dengan meningkatkan polarisasi anoda melalui reaksi dengan ion-ion logam yang terkorosi untuk menghasilkan selaput-selaput pasif tipis, atau lapisan-lapisan garam yang kemudian menyelimuti anoda. Inhibitor anodik mempunyai dua jenis karakteristik, yaitu yang satu

membutuhkan oksigen terlarut untuk menjadi efektif, misal molibdat, silikat, fosfat, dan borat, sedang yang lain merupakan agen pengoksidasi (Thretewey, 1991). Untuk besi dan baja, dua jenis inhibitor ini penting, karena masing-masing karakteristiknya saling mendukung.

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

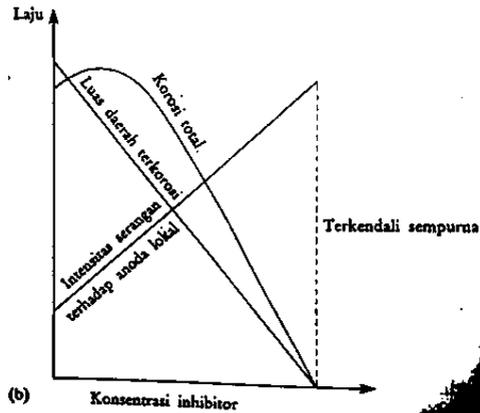
Salah satu senyawa inhibitor yang memasifkan anoda adalah senyawa-senyawa kromat, misalnya Na_2CrO_4 . Salah satu reaksi redoks yang terjadi dengan logam besi adalah :



Padatan atau endapan Fe_2O_3 dan Cr_2O_3 inilah yang bertindak sebagai pelindung bagi logamnya. Lapisan endapan tipis saja, namun cukup efektif untuk melindungi permukaan logam yang lemah dari serangan zat-zat yang



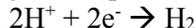
agresif. Untuk ini diperlukan kontinuitas pembentukan lapisan endapan mengingat lapisan tersebut bisa lepas yang disebabkan oleh adanya arus larutan. Contoh senyawa lain dari inhibitor pasivasi anodik adalah fosfat, tungstat, dan molibdat, yang oleh karena tidak bersifat oksidator maka reaksinya dengan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



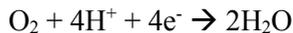
Gambar 2.9 Pengaruh konsentrasi Inhibitor terhadap Laju korosi anodik (Trethewey,1991)

- *Inhibitor Katodik*

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



Dan reaksi reduksi gas oksigen dalam suasana asam

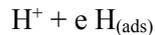


Karena bagi suatu sel korosi, reaksi reduksi oksidasi terbentuk oleh pasangan reaksi reduksi dan reaksi oksidasi dengan kecepatan yang sama,

maka apabila reaksi reduksi (pada katoda) dihambat akan menghambat pula reaksi oksidasi (pada anoda). Inilah yang menjadi pedoman pertama di dalam usaha menghambat korosi logam dalam medium air atau medium asam (Surya, 2004).

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

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



Atau

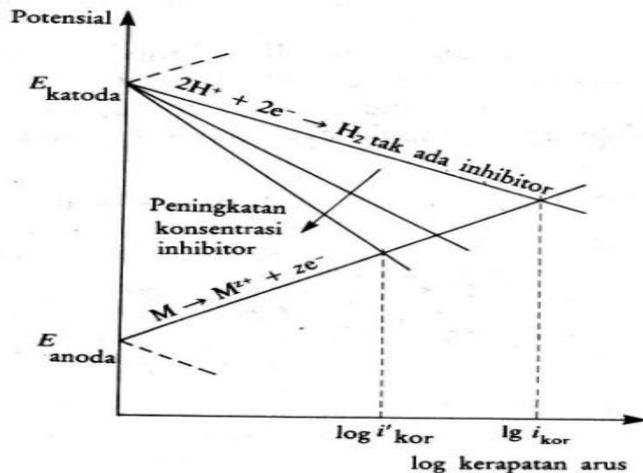


Inhibitor harus berperan menghambat kedua tahap reaksi di atas terutama reaksi yang pertama, misalnya berdasarkan diagram arus potensial (voltagram) reaksi pembentukan hidrogen dari asamnya, maka untuk memperkecil arus katodik dapat dengan menurunkan tegangan lebih katodiknya. Yang patut dipertimbangkan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



hidrogen. Pembentukan hidrogen dikendalikan melalui peningkatan polarisasi sitem.

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



Gambar 2.10 Mekanisme perlindungan terhadap peningkatan konsentrasi inhibitor katodik

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

Disamping hidrasin masih banyak lagi senyawa-senyawa yang dapat digunakan sebagai

oxygen scavenger, misalnya Na_2SO_3 , hidroksil amin HCl, N,N-diethyl hydroxylamine, gas SO_2 , dan sebagainya.

- *Inhibitor Adsorpsi*

Inhibitor ini terdiri dari molekul-molekul organik panjang dengan rantai samping yang teradsorpsi ke permukaan logam. Molekul-molekul berukuran besar ini dapat membatasi difusi oksigen maupun hidrogen atau menjebak ion-ion logam di permukaan logam tersebut dan membentuk lapisan ganda. Inhibitor korosi yang sering digunakan dalam pengendalian korosi logam dalam larutan asam adalah inhibitor tipe organik. Mekanisme perlindungan inhibitor organik dalam pengendalian korosi logam terhadap larutan asam melalui pembentukan suatu lapisan teradsorpsi pada seluruh permukaan logam yang diproteksi dengan ketebalan tidak lebih dari suatu nanolayer (Clifton D, 1965). Lapisan film teradsorpsi yang terbentuk secara merata pada seluruh permukaan logam menutupi daerah katoda dan anoda, sehingga dapat menghambat secara simultan reaksi elektron dengan hidrogen dan oksigen, serta menghambat pelarutan ion logam. Penambahan inhibitor organik ke lingkungan asam relatif tidak merubah potensial korosi logam baja, meskipun laju korosi dapat diturunkan cukup besar.

Senyawa organik yang dapat berfungsi sebagai inhibitor korosi harus mempunyai group hidrokarbon yang bersifat hidrofob pada salah satu ujung rantai ikatannya yang bersifat hidrofilik, yaitu antara lain gugus N, NH, NH_2 , organic, OH, S, SH.



2.7 Efisiensi Inhibitor

Efisiensi Inhibitor menunjukkan presentase penurunan laju korosi akibat penambahan inhibitor. Persamaannya adalah sebagai berikut (Roberge, 1999) :

$$Efisiensi = \frac{CR \text{ tanpa inhibitor} - CR \text{ dengan inhibitor}}{CR \text{ tanpa inhibitor}} \times 100\% \quad (2.7)$$

2.8 Ekstraksi

Ekstraksi adalah suatu proses pemisahan substansi dari campurannya dengan menggunakan pelarut yang sesuai, kemudian semua atau hampir semua pelarut diuapkan dan massa atau serbuk yang tersisa diperlakukan sedemikian hingga memenuhi baku yang telah ditetapkan (Ditjen POM, 1995).

Faktor-faktor yang mempengaruhi laju ekstraksi adalah :

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

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

1. Cara dingin
 - a. Maserasi, adalah proses pengekstrakan simplisa dengan menggunakan pelarut dengan beberapa kali pengocokan atau pengadukan pada temperatur ruangan (kamar). Maerasi kinetik berarti dilakukan pengadukan yang terus menerus. Remaserasi berarti dilakukan pengulangan penambahan pelarut setelah dilakukan penyairan maserat pertama dan seterusnya.
 - b. Perkolasi, adalah ekstraksi dengan pelarut yang selalu baru sampai sempurna (exhaustive extraction) yang

umumnya dilakukan pada temperatur ruangan. Proses ini terdiri dari tahapan pengembahan bahan, tahap maserasi antara, tahap perkolasi sebenarnya (penetasan / penampungan ekstrak) terus menerus sampai diperoleh ekstrak (perkolat) yang jumlahnya 1-5 kali bulan.

2. Cara Panas
 - a. Refluks, adalah ekstraksi dengan pelarut pada temperatur titik didihnya, selama waktu tertentu dan jumlah pelarut terbatas yang relatif konstan dengan adanya pendingin balik.
 - b. Soxhlet, adalah ekstraksi menggunakan pelarut yang selalu baru yang umumnya dilakukan dengan alat khusus sehingga terjadi ekstraksi kontiniu dengan jumlah pelarut relatif konstan dengan adanya pendinginan balik.
 - c. Digesti, adalah maserasi kinetik (dengan pengadukan kontiniu) pada temperatur yang lebih tinggi dari temperatur ruangan, yaitu secara umum dilakukan pada temperatur 40-50°C.
 - d. Infus, adalah ekstraksi dengan pelarut air pada temperatur penangas aor (bejana infus tercelup dalam penangas air mendidih, temperatur terukur 96-98°C) selama waktu tertentu (15-20 menit).
 - e. Dekok, adalah infus pada waktu yang lebih lama dan temperatur sampai titik didih air (Dirjen POM, 2000).

2.9 Antioksidan

Antioksidan adalah komponen yang mampu menghambat proses oksidasi, yaitu proses yang dapat menyebabkan kerusakan (Brown, 2000). Aktivitas penghambatan antioksidan dalam reaksi oksidasi berdasarkan keseimbangan reaksi oksidasi dan reduksi dan membentuk molekul yang tidak reaktif dengan demikian reaksi berantai yang disebabkan oleh radikal bebas dapat dihambat (Belitz, 1984).

Radikal bebas didefinisikan sebagai suatu atom atau molekul atau senyawa yang mengandung satu atau lebih elektron yang



tidak berpasangan. Contohnya superoksida (O_2), hidroksil (OH^*) thiol (RS^*), dan nitrit oksida (NO^*). Adanya satu atau lebih electron yang tidak berpasangan mengakibatkan radikal bebas menjadi sangat reaktif sehingga dapat mempercepat laju korosi jika terjadi reaksi pada logam.

Sesuai mekanisme kerjanya, antioksidan memiliki dua fungsi. Fungsi pertama merupakan fungsi utama dari antioksidan yaitu sebagai pemberi atom hidrogen. Antioksidan (AH^*) yang mempunyai fungsi utama tersebut sering disebut sebagai antioksidan primer. Senyawa ini dapat memberikan atom hidrogen secara cepat ke radikal lipida (R^* , ROO^*) atau mengubahnya ke bentuk lebih stabil, sementara turunan radikalantioksidan tersebut memiliki keadaan lebih stabil dibanding radikal lipida. Fungsi kedua merupakan fungsi sekunder antioksidan, yaitu memperlambat laju autooksidasi dengan berbagai mekanisme diluar mekanisme pemutusan rantai autooksidasi dengan perubahan radikal lipida ke bentuk lebih stabil (Gordon,1990).

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

1. Antioksidan primer, yaitu antioksidan yang dapat menghalangi pembentukan radikal bebas baru. Contohnya adalah senyawa fenol dan flavanoid.
2. Antioksidan sekunder, yaitu antioksidan oksigen atau antioksidan non enzimatis yang dikenal sebagai penangkap radikal bebas (*scavenger free radical*) yang kemudian mencegah amplifikasi radikal. Contohnya adalah vitamin E, vitamin C, karoten dan isoflavan.
3. Antioksidan tersier, yaitu antioksidan yang memperbaiki kerusakan-kerusakan yang telah terjadi. Senyawa yang termasuk golongan ini adalah enzim yang memperbaiki DNA dan metionin sulfoksida reduktase.

2.10 Penelitian Sebelumnya terkait *Green Inhibitor*

Menurut Ostovari (2009), bahan alam dipilih sebagai alternatif karena mudah didapatkan, aman, bersifat *biodegradable*, biaya murah, dan ramah lingkungan. Ekstrak tumbuhan memiliki senyawa antioksidan seperti fenolik, alkaloid, flavonoid, tannin. Senyawa tersebut mengandung unsur-unsur N, O, P, S yang mampu membentuk lapisan pelindung (protective film) melalui adsorpsi ion-ion ke permukaan logam.

Tabel 2.3 Penelitian sebelumnya tentang *Green Inhibitor*

| No | Peneliti | Logam | Media | Inhibitor | Metoda | Metode Inhibisi |
|----|----------------|---------------------|---|------------------------------|--|------------------------------------|
| 1. | Rosita, 2009 | Baja Austenitik 304 | NaCl 3% | Asam lemak Minyak Biji Kapuk | Pengurangan berat dan polarisasi potensiodinamik | Menghambat Korosi |
| 2. | P. Bothi, 2009 | <i>Mild Steel</i> | 1M HCl dan H ₂ SO ₄ | Kentang | Pengurangan Berat, Polarisasi Potensiodinamik, <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i> , dan SEM | Inhibitor dengan adsorpsi isotherm |
| 3. | M.A.Qura | <i>Mild</i> | 1M | Daun | Pengurangan | <i>Langmuir</i> |



| | | | | | | |
|----|-----------------------------------|-------------------------|---|--|--|-------------------------------|
| | ishi, 2010 | <i>Steel</i> | HCl dan 0.5M H ₂ SO ₄ | Koja atau daun kari | gan berat, EIS, dan polarisasi potensiodinamik | <i>ir adsorpsi isotherm</i> |
| 4. | R.Ananda Louise Sathanathan, 2005 | <i>Mild Steel</i> | 100 ppm NaCl | Daun Jarak | Pengurangan Berat dan elektrokimia | Inhibitor katodik |
| 5. | J.H.Potgieler, 2008 | SS duplex 2205 dan 2507 | HCl dan H ₂ SO ₄ | Madu | Elektrokimia | Inhibitor Anodik |
| 6. | Sari Kusuma W., 2012 | Baja Karbon API 5L Gr B | Air Laut Buatan | Kulit buah mangga dan kulit buah jeruk | Gas Kromatografi, polarisasi potensiodinamik dan EIS | Inhibitor adsorpsi bahan alam |
| 7. | Roni Saputra, 2011 | Baja Karbon Rendah | 3,5% NaCl | <i>Hibiscus sabdariffa</i> | Pengurangan berat | <i>Film forming</i> |



| | | | | | | |
|-----|---------------------|-------------------|-------------------------------------|--|---|--|
| 8. | Souza de F.S, 2009 | <i>Mild steel</i> | 0.1M H ₂ SO ₄ | Caffeic acid | <i>Weight loss, potentiodynamic polarization, EIS, Raman spectroscopy</i> | Mengontrol reaksi anodik |
| 9. | Okafor P. dkk, 2007 | <i>Mild steel</i> | H ₂ SO ₄ | <i>Carica papaya</i> | <i>Gravimetric dan gasometric techniques</i> | <i>Langmuir dan Temkin adsorption isotherm</i> |
| 10. | Lingvay L dkk, 2009 | <i>Mild Steel</i> | H ₂ SO ₄ | <i>indigenous flora(e.g. Allii Cepae Bulbus, AgrimoniaEupatoria-Herba,Fagus Silvatica, Juglans Regia etc).</i> | <i>Potentiodynamic polarisation</i> | mixed-type inhibitors |



| | | | | | | |
|-----|--------------------|-----------------------|---------------|---|--|----------|
| 11. | Atria dkk, 2013 | Baja karbon API 5L | NaCl 3,5 % | <i>Myrmecodia</i> <i>pendans</i> (Sarang semut) | <i>Weight loss,</i> <i>Tafel,</i> <i>FTIR,</i> <i>SEM</i> | Adsorpsi |
|-----|--------------------|-----------------------|---------------|---|--|----------|

2.11 Daun Salam Sebagai Inhibitor

Tanaman yang berpotensi digunakan sebagai pengawet sekaligus penambah aroma produk pangan adalah tanaman pandan atau dikenal dengan pandan wangi (*Pandanus amarylifolius Roxb*) yang termasuk famili *Monocotiledone* dan tanaman salam (*Eugenia polyantha*) yang termasuk dalam famili *Myrtaceae* (thomas, 1989) . Saat ini para ahli mikrobiologi pangan telah banyak meneliti dan menemukan aktifitas antimikroba khususnya antibakteri pada tanaman rempa-rempah yang banyak mengandung senyawa antimikroba dari golongan fenolik termasuk flavanoid dan beberapa senyawa minyak atsiri,terpena, asam organik tanaman, asam lemak atau ester asam lemak tertentu dan sebagian alkaloida tanaman (corner dan Beuchat, 1984).



Gambar 2.11 daun salam

Daun Salam (*Eugenia polyantha*) diduga mengandung bahan aktif yaitu minyak atsiri, *eugenol*, *sitral*, *tannin* dan *flavonoid* yang berkhasiat sebagai bakteriostatik. *Eugenia polyantha* merupakan salah satu dari sembilan tanaman obat Indonesia yang diunggulkan karena manfaatnya yang begitu banyak. (Michael RP, 2007).

2.11.1 Senyawa Antioksidan pada Daun Salam

Ekstrak bahan alam mempunyai aktivitas untuk menghambat laju korosi karena memiliki kandungan senyawa heterosiklik. Pada senyawa organik salah satunya terdapat zat antioksidan. Antioksidan bekerja dengan cara mendonorkan elektronnya kepada senyawa yang bersifat oksidan, sehingga aktivitas senyawa oksidan tersebut bisa dihambat (Winarsih, 2007). Zat antioksidan didefinisikan sebagai senyawa yang dapat menunda, memperlambat, dan mencegah proses oksidasi. Dengan kata lain, dengan adanya senyawa antioksidan pada lingkungan korosif, dapat menghambat laju terjadinya korosi (Adi, 2011). Kandungan kimia daun salam adalah minyak atsiri 0.05% (*sitral* dan *eugenol*), *tannin*, *flavonoid*, dan *metachavicol* (Adjimi, 1999). Minyak atsiri secara umum berfungsi sebagai antimikroba dan meningkatkan kemampuan fagosit. Minyak atsiri daun salam terdiri dari *fenol sederhana*, *asam fenolat*, *sekuisterfenoid* dan *lakton* (Sudarsono, 2002).

2.11.1.1 Flavonoid

Flavonoid adalah senyawa polifenol yang sesuai dengan struktur kimianya terdiri dari *flavonol*, *flavon*, *flavanon*, *isoflavon*, *katekin*, *antosianidin* dan *kalkon*. Flavonoid bermanfaat sebagai *anti viral*, *anti alergik*, *anti platelat*, *anti inflamasi*, *anti tumor* dan *anti oksidan* sebagai sistem pertahanan tubuh (Toda, 1991). Flavonoid diketahui telah disintesis oleh tanaman dalam responnya terhadap infeksi mikroba sehingga efektif secara *in vitro* terhadap sejumlah mikroorganisme. Aktivasnya



mungkin disebabkan kemampuannya untuk membentuk kompleks dengan protein ekstraseluler, dan dengan dinding sel kuman. Flavonoid yang bersifat lipofilik mungkin juga akan merusak membran mikroba (Sudarsono,2002).

2.11.1.2 Tanin

Tanin memiliki struktur kimia kompleks, biasanya banyak ditemukan pada tumbuhan berpembuluh. Abdurohman (1998) menyebutkan bahwa tanin ditemukan dalam hampir semua genus tanaman dikotil misalnya leguminosa. Penyebaran tanin dalam tanaman beragam. Perbedaan kadar tanin dipengaruhi oleh tingkat kematangan, umur daun dan musim. Tanin terdapat dalam berbagai tanaman baik digunakan sebagai bahan makanan oleh manusia ataupun hewan. Tanin merupakan senyawa fenolik larut dalam air serta memiliki sifat-sifat khusus seperti presipitasi alkaloid, gelatin, dan protein-protein lain dan memiliki rasa yang sepat . . Tanin biasanya berupa senyawa *amorf*, higroskopis, berwarna coklat kuning dapat larut dalam air dan pelarut organik polar. Semakin murni tannin akan berakibat kepada kelarutannya dalam air akan berkurang dan makin mudah membentuk kristal. Senyawa tanin selalu mengalami perubahan sesuai dengan perkembangan tanaman atau buah. Secara umum tanin mencapai kandungan tertinggi pada waktu masih muda dan menurun setelah tua (Winarno dan Aman, 1981). Menurut (Abdurohman, 1998) manfaat tanin, beberapa tanaman diduga memproduksi tanin sebagai upaya pertahanan melawan jamur dan bakteri patogenik serta melawan pemakannya seperti serangga dan herbivora. Selain itu, beberapa manfaat tanin (Imtihanah, 1989) pengobatan luka bakar, pada industri tekstil dan industri tinta tanin sebagai zat warna, pencegah korosi, sebagai penjernih dalam industri minuman anggur, sebagai bahan fotografi dan menurunkan viskositas lumpur pada pipa pengeboran minyak. Masduki (1996) menyatakan bahwa tanin juga mempunyai daya antibakteri dengan cara mempresipitasi protein, karena diduga tanin mempunyai efek yang sama dengan senyawa fenolik.

Beberapa bentuk tannin terbukti mempunyai aktivitas antioksidan. Tanin dapat meningkatkan pembentukan *film* di atas permukaan logam sehingga dapat membantu dalam proses inhibisi korosi (Okafor, dkk, 2008; Raja&Sethurahan, 2008). Proses inhibisi dari tannin dikaitkan kepada pembentukan lapisan pasif dari tannates pada permukaan logam. Selama tannin mengandung gugus polifenolik moleites dan gugus tersebut memiliki kemampuan untuk membentuk garam tanninate dengan ion *ferric* maka inhibisi korosi dari tannin dapat disebabkan oleh pembentukan jaringan dari garam *ferric* tanninate yang melindungi permukaan logam (Nahle, dkk, 2010). Tanin juga diketahui dapat membentuk senyawa kompleks dengan kation logam yang berbeda, khususnya pada suatu media dasar, berdasarkan latar belakang tersebut maka dalam proses manufaktur biasanya tannin digunakan sebagai cat anti karat dan coating (Et-Etre, dkk, 2005).

Dari penelitian sebelumnya diketahui bahwa kandungan seperti flavanoid dan tannin dapat dijadikan sebagai produk anti korosi dan anti skalling yang ramah lingkungan (Pirvu, dkk, 2011; Raja & Sutherland, 2008).

2.12. Pengujian

2.12.1 Pengujian Flavonoid Total dengan Metode Spektrofotometri Uv-Vis

Metode analisis kuantitatif komponen/golongan senyawa aktif tumbuhan memegang peranan penting dalam pengembangan produk kesehatan berbasis tumbuhan obat. Kromatografi cair kinerja tinggi, kromatografi gas, kromatografi lapis tipis, dan spektrometri massa adalah beberapa metode yang biasa digunakan untuk menganalisis komponen tumbuhan obat. Keempat metode tersebut mampu menghadirkan informasi definitif untuk identifikasi dan kuantifikasi komponen, namun membutuhkan standar otentik yang bervariasi, tahapan analisis yang panjang, dan waktu analisis yang cukup lama (Chang *et al.*, 2002).



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 (Markham,1988). Flavonoid mengandung sistem aromatis yang terkonjugasi dan dapat menunjukkan pita serapan kuat pada daerah UV-Vis (Harbone, 1987). 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 (Carbonaro, 2005). Absorbansi sebagai analisa kuantitatif dilakukan berdasarkan Hukum Lambert-Beer.

Spektrofotometri adalah ilmu yang mempelajari tentang penggunaan spektrofotometer. Spektrofotometer adalah alat yang terdiri dari spektrofotometer dan fotometer. 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.

Spektrofotometri UV-Vis adalah anggota teknik analisis spektroskopik yang memakai sumber radiasi elektromagnetik ultraviolet dekat (190-380 nm) dan sinar tampak (380-780 nm) dengan memakai instrumen spektrofotometer. Spektrofotometri UV-Vis melibatkan energi elektronik yang cukup besar pada molekul yang dianalisis, sehingga spektrofotometri UV-Vis lebih banyak dipakai untuk analisis kuantitatif dibandingkan kualitatif.

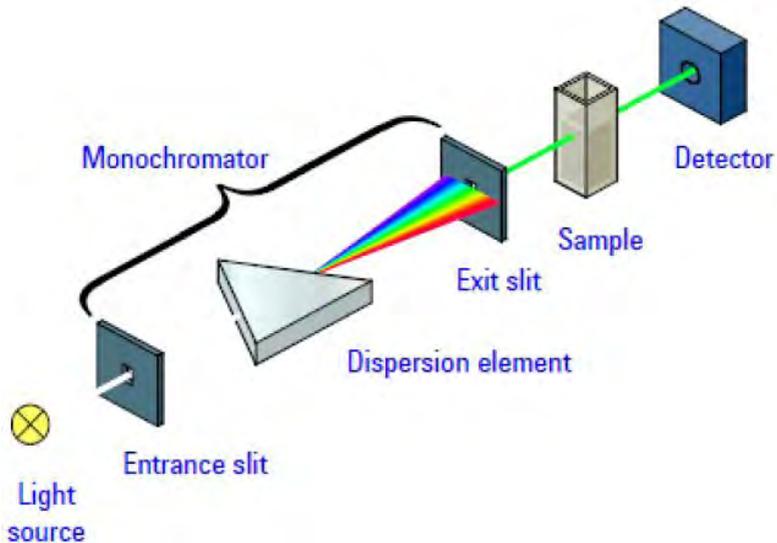
Teknik spektroskopi pada daerah ultra violet dan sinar tampak biasa disebut spektroskopi UV-Vis. Dari spektrum absorpsi dapat diketahui panjang gelombang dengan absorbans-maksimum dari suatu unsur atau senyawa. Konsentrasi suatu unsur atau senyawa juga dengan mudah dapat dihitung dari kurva

standar yang diukur pada panjang gelombang dengan absorbans maksimum.

Instrumentasi

Komponen dari spektroskopi UV-Vis terdiri dari:

1. Sumber sinar,
2. Monokromator,
3. Tempat sampel, dan
4. Detektor.



Gambar 2.12. Skema alat spektroskopi UV-Vis sinar tunggal dan sinar ganda.

1. Sumber Sinar

Sumber sinar terdiri dari benda yang tereksitasi hingga ke tingkat tenaga yang tinggi oleh sumber listrik bertegangan tinggi atau oleh pemanasan listrik. Benda atau materi yang kembali ke tingkat tenaga yang lebih rendah atau ke tingkat dasarnya, melepaskan foton dengan tenaga-tenaga yang karakteristik yang



sesuai dengan ΔE , yaitu perbedaan tenaga antara tingkat tereksitasi dan tingkat dasar rendah.

Sumber sinar yang ideal untuk pengukuran serapan harus menghasilkan spektrum kotinu dengan intensitas yang seragam pada keseluruhan kisaran panjang gelombang yang sedang dipelajari.

a. Sumber Radiasi Ultraviolet

Sumber-sumber radiasi ultraviolet yang kebanyakan digunakan adalah lampu hidrogen dan lampu deuterium. Mereka terdiri dari sepasang elektroda yang terselubung dalam tabung gelas dan diisi dengan gas hidrogen atau deuterium pada tekanan yang rendah. Bila tegangan yang tinggi dikenakan pada elektroda-elektroda, maka akan dihasilkan elektron-elektron yang mengeksitasi elektron-elektron lain dalam molekul gas ke tingkatan tenaga yang tinggi. Bila elektron-elektron kembali ke tingkat dasar mereka melepaskan radiasi dalam daerah sekitar 180 dan 350 nm. Sumber radiasi UV yang lain adalah lampu xenon, tetapi dia tidak sestabil lampu hidrogen.

b. Sumber Radiasi Terlihat

Sumber radiasi terlihat dan radiasi infra merah dekat yang biasa digunakan adalah lampu filament tungsten. Filament dipanaskan oleh sumber arus searah (DC), atau oleh baterai. Filament tungsten menghasilkan radiasi kontinu dalam daerah antara 350 dan 2500 nm.

2. Monokromator

Seperti kita ketahui bahwa sumber radiasi yang umum digunakan menghasilkan radiasi kontinu dalam kisaran panjang gelombang yang lebar. Dalam spektrofotometer, radiasi yang polikromatik ini harus diubah menjadi radiasi monokromatik. Ada 2 jenis alat yang digunakan untuk mengurai radiasi polikromatik menjadi radiasi monokromatik yaitu:

- a. Penyaring, dan
- b. monokromator.

3. Tempat Sampel

Cuplikan yang akan dipelajari pada daerah ultraviolet atau terlihat yang biasanya berupa gas atau larutan ditempatkan dalam sel atau kuvet. Untuk daerah ultraviolet biasanya digunakan Quartz atau sel dari silika yang dilebur, sedangkan untuk daerah sinar tampak digunakan gelas biasa atau Quartz.

Sel yang digunakan untuk cuplikan yang berupa gas mempunyai panjang dari 0,1 hingga 100 nm, sedang sel untuk larutan mempunyai panjang lintasan tertentu dari 1 hingga 10 cm, sebelum sel dipakai harus dibersihkan dengan air, atau jika dikehendaki dapat dicuci dengan larutan deterjen atau asam nitrat panas.

4. Detektor

Peranan detektor penerima adalah memberikan respon terhadap cahaya pada berbagai panjang gelombang. Pada spektrofotometer, tabung pengganda electron yang digunakan prinsip kerjanya telah diuraikan. Setiap detektor menyerap tenaga foton yang mengennainya dan mengubah tenaga tersebut untuk dapat diukur secara kuantitatif seperti sebagai arus listrik atau perubahan-perubahan panas. Kebanyakan detektor menghasilkan sinyal listrik yang dapat mengaktifkan meter atau pencatat. Setiap pencatat harus menghasilkan sinyal yang secara kuantitatif berkaitan dengan tenaga cahaya yang mengenainya.

Syarat-syarat Detektor

1. Sensitivitas tinggi hingga dapat mendeteksi tenaga cahaya yang mempunyai tingkatan rendah sekalipun
2. Waktu respon pendek
3. Stabilitas yang panjang/ lama untuk menjamin respon secara kuantitatif
4. Sinyal elektronik yang mudah diperjelas.

Analisa Kualitatif dan Kuantitatif

a. Analisa Kualitatif

Dengan membandingkan intensitas puncak serapan.



b. Analisa Kuantitatif

Menggunakan rumus Lamber-Beer (Fernandez, 2011).

2.12.2 Metode *Weight Loss*

Metode *weight loss* atau juga dikenal sebagai metode kehilangan berat. Metode pengukuran korosi ini paling banyak digunakan dikarenakan caranya yang mudah dilakukan. Pada pengujian ini logam akan ditempatkan dalam lingkungan tertentu dalam waktu tertentu untuk dibiarkan terkorosi. Logam yang diuji ini biasa disebut *coupons*. Kupon merupakan lempengan logam yang ditempatkan dalam sistem dan dibiarkan terkorosi untuk mengetahui laju korosi melalui pengurangan berat (Jones, 1992).

Coupons menggambarkan kerusakan korosi selama periode waktu dan hanya digunakan dalam kondisi dimana peningkatan laju korosi dapat diukur. Bentuk dan dimensi *coupon* dapat bervariasi sesuai persyaratan pengujian. Sebelum *coupon test* diletakan pada media pengujian, maka produk korosi yang terbentuk sebelumnya harus dihilangkan. Metode penghilangan produk korosi dapat dilakukan tanpa menyebabkan korosi lebih lanjut.

Berdasarkan ASTM G31-72, persamaan untuk menghitung laju korosi adalah sebagai berikut:

$$mpy = 534 \frac{W}{DAT} \dots\dots\dots 2.8$$

Dengan :

mpy : mils per year

W : berat yang hilang (mg)

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

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

T : waktu ekspos (jam)

Konversi :

$$1 \text{ mpy} = 0.0254 \text{ mm/yr} = 25.4 \text{ }\mu\text{m/yr} = 2.90 \text{ nm/yr} = 0.805 \text{ pm/SG}$$

Tabel 2.4 Konstanta Laju Korosi (ASTM G31-72)

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

2.12.3 Metode EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*)

Spektroskopi impedansi elektrokimia (*electrochemical impedance spectroscopy*, EIS) adalah suatu metoda untuk menganalisis respon suatu elektroda terkorosi terhadap sinyal potensial AC pada amplitudo rendah (± 10 mV) dari rentang frekuensi yang sangat lebar. Pada prinsipnya, EIS digunakan untuk menentukan parameter kinetika elektrokimia berkaitan dengan unsur-unsur listrik seperti tahanan, R , kapasitansi, C , dan induktansi, L (Jones, 1992). Prosedur pengujian ini hampir sama dengan metode Tafel. Parameter elektrokimia yang diperoleh dari pengujian ini adalah R_s , R_{ct} dan C_{dl} , dimana R_s adalah tahanan larutan, R_{ct} adalah tahanan transfer muatan dan C_{dl} adalah kapasitansi lapis rangkap listrik. Pada awal pengujian dilakukan pengujian OCP (open circuit potensial) untuk mengetahui kestabilan antaraksi antara permukaan elektroda dan larutan uji. Elektroda dibiarkan hingga mencapai keadaan mantap (steady state) dalam elektrolit. Keadaan stabil ini ditunjukkan oleh nilai potensial kurang dari sama dengan 0.1 mV per menit. Potensial ini dinyatakan sebagai potensial keadaan mantap. Pengujian OCP ini berlangsung selama 4 menit, dilanjutkan dengan pengujian impedansi elektrokimia. Pada pengujian dengan



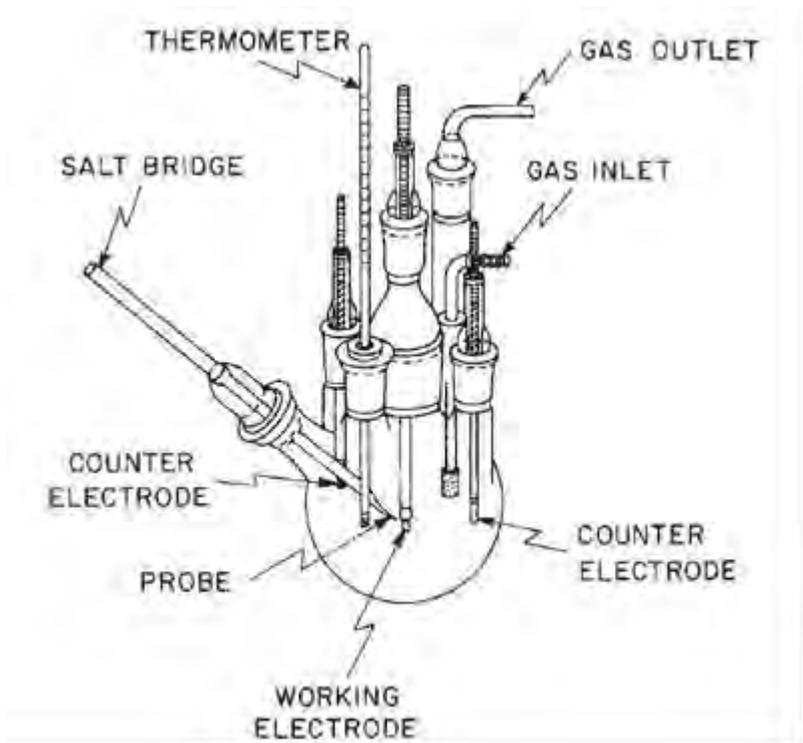
EIS, amplitudo yang digunakan dari puncak ke puncak sebesar -1200 mV sampai +1000 mV.

Potensiostat merupakan alat yang banyak digunakan dalam proses pengerjaan metode elektrokimia. Potensiostat merupakan suatu peralatan elektronik yang mengontrol perbedaan tegangan antara elektroda kerja dan elektroda referensi, dimana keduanya berada dalam sel elektrokimia. Proses pengontrolannya dilakukan dengan memasukkan arus menuju sel melalui elektroda bantu dan proses pengukuran arus yang mengalir dilakukan diantara elektroda kerja dan elektroda bantu. Sel elektrokimia yang digunakan terdiri dari 3 elektroda yaitu: elektroda kerja (WE), elektroda referensi (REF) dan elektroda bantu (AUX) (Roberge, 2000).

a. Elektroda kerja merupakan sampel uji berupa logam yang akan diuji dalam pengujian korosi dimana reaksi elektrokimia yang terjadi pada sampel tersebut akan dipelajari. Sampel yang digunakan dapat memiliki dimensi kecil tetapi masih dapat mewakili struktur sampel ujinya. Elektroda kerja dapat berupa logam tanpa atau dengan coating.

b. Elektroda referensi merupakan elektroda yang digunakan untuk mengukur potensial elektroda kerja. Kriteria yang harus dimiliki oleh elektroda referensi adalah harus memiliki potensial elektrokimia yang konstan selama tidak ada aliran arus yang mengalir melewatinya. Elektroda referensi yang digunakan adalah saturated calomel electrode (SCE) dan silver/silver chlorid (Ag/AgCl). Untuk membantu memposisikan elektroda referensi ketika mendeteksi potensial elektroda kerja maka dapat digunakan Luggin capillary. Elektroda referensi dapat mendeteksi potensial elektroda kerja melalui ujung Luggin capillary yang diletakkan pada posisi dekat dengan elektroda kerja.

c. Elektroda bantu merupakan konduktor yang melengkapi sirkuit sel, pada umumnya terbuat dari konduktor inert seperti platinum atau graphite.



Gambar 2.13 Skema Pengujian Potensiostat

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

Bode plot juga dapat memberikan informasi mengenai interaksi konduktivitas pada grain dan daerah batas grain terhadap perlakuan panas baik secara self-heatin, sintering maupun secara annealing yang optimum dari bahan yang diujikan. Mikrostruktur material terdiri dari grain dan grain boundary yang merupakan mekanisme konduksi dalam material tersebut. Bagian yang tidak stabil adalah grain boundary sehingga saat terjadi pemanasan



bagian yang lebih sensitive untuk merespon adalah daerah grain boundary ,disamping itu efek pemanasan juga berpengaruh pada daerah frekuensi rendah, sehingga disimpulkan bahwa pada daerah frekuensi ini spetrum impedansi merupakan hasil dari sumbangan konduksi listrik pada grain boundary (Syahril,2012).

Pada Nyquist plot menggambarkan hubungan antara impedansi nyatas vs impedansi imajiner. Pada kondisi larutan turbulen, proses korosi akan cenderung dikontrol oleh proses aktivasi atau proses perpindahan muatan yang ditunjukkan dengan adanya nilai tahanan polarisasi yaitu R_p , sedangkan nilai tahanan larutan ditunjukkan oleh R_s .

EIS bekerja berdasarkan respon terhadap sirkuit yang setara untuk *interface* elektroda/larutan. Respon yang muncul dapat dianalisa melalui *transfer function* berdasarkan rangsangan potensial dengan amplitudo kecil yang diterapkan dengan sinyal yang bervariasi atau laju *sweep*. Pada metode impedansi, gangguan gelombang sinus pada amplitudo kecil diaplikasikan pada sistem korosi dan dimodelkan dengan sirkuit yang setara untuk menentukan mekanisme korosi dan tahanan polarisasi. Kemudian fungsi transfer kompleks dapat dibuat dalam bentuk :

$$T = \frac{\text{output}}{\text{input}} \dots\dots\dots(2.9)$$

Fungsi transfer bergantung pada frekuensi angular dan diekspresikan sebagai impedansi $Z(\omega)$ dan *admittance* $Y(\omega)$. $Z(\omega)$ adalah frekuensi yang bergantung pada faktor proporsional dari fungsi transfer antara potensial yang tereksitasi dan respon arus. Kemudian, untuk gangguan arus sinusoidal, fungsi transfer adalah sistem impedansi $|Z(\omega)|$ dan untuk gangguan potensial sinusoidal, transfer fungsi dinyatakan sebagai *admittance* $|Y(\omega)|$.

$$Z(\omega) = \frac{E(t)}{I(t)} = Z'(\omega) + jZ''(\omega) \dots\dots\dots(2.10)$$

$$Y(\omega) = \frac{I(t)}{E(t)} = Y'(\omega) + jY''(\omega) \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

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

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

ω = $2\pi f$ = frekuensi angular (Hz)

f = frekuensi sinyal (Hz)

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

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

t = waktu (s)

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

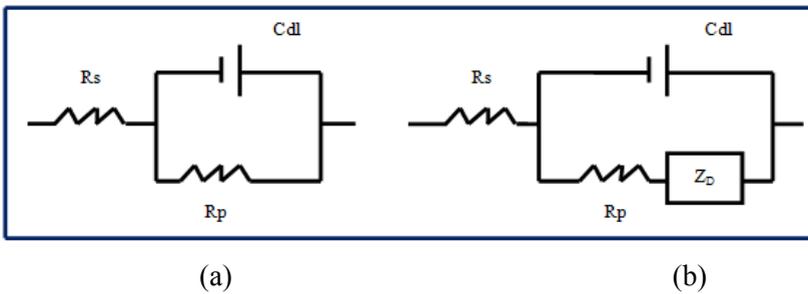
j^2 = -1

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

$$E = I R \quad \text{untuk DC, } f = 0 \text{ Hz} \dots\dots\dots(2.12)$$

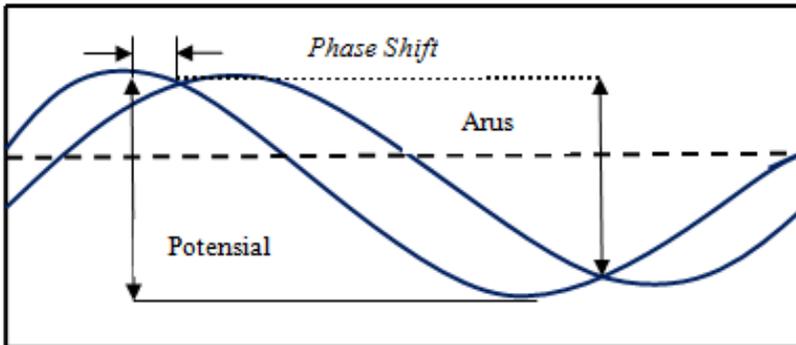
$$E = I Z(\omega) I \quad \text{untuk AC, } f \neq 0 \text{ Hz} \dots\dots\dots (2.13)$$

$I Z(\omega) I$ adalah besarnya impedansi yang mengandung sebuah sirkuit yang setara, seperti kapasitor dan induktor. Kapasitor berfungsi untuk menghambat aliran arus. Dalam memodelkan sebuah sistem elektrokimia sebagai sebuah sirkuit elektrokimia, potensial berupa gelombang diterapkan pada sirkuit dan tanggapan arus berupa signal frekuensi menghasilkan data impedansi. Sehingga data impedansi berkenaan dengan variasi dalam bentuk amplitudo potensial dan arus, sudut pergeseran gelombang (*phase shift angle*). Teknik ini digunakan sebagai pendekatan untuk menganalisa sifat korosi pada logam. Gambar 2.14 menunjukkan dua model skematik dari sirkuit elektrokimia.



Gambar 2.14 Skematik dari Sirkuit Elektrokimia (a) Transfer Muatan (b) Kontrol Difusi
(Perez, 2004)

Untuk skema (a) yang diperlukan dalam sirkuit hanya tahanan larutan (R_s), tahanan polarisasi (R_p), dan kapasitor (C_{dl}). Sebaliknya jika sistem elektrokimia adalah berupa kontrol difusi, impedansi difusi (Z_D) dimasukkan ke dalam sirkuit. Eksitasi potensial dan respon arus secara skematik ditunjukkan pada gambar 2.15 sebagai eksitasi sinusoidal.



Gambar 2.15 Skematik Sinusoidal Eksitasi Potensial
(Perez, 2004)

Jika sinusoidal eksitasi potensial diaplikasikan pada antar muka elektroda/larutan, maka potensial, arus, dan impedansi

dapat diprediksi berdasarkan permodelan matematika yang dikembangkan oleh Bard dan Faulkner (1980):

$$E(t) = I(t) Z(\omega) = E_0 \sin(\omega t) \dots\dots\dots (2.14)$$

$$I(t) = I_0 \sin(\omega t + \Theta) \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana :

$E_0, I_0 =$ konstan

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

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

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

$$|Z(\omega)| = \sqrt{[Z(\omega)']^2 + [Z(\omega)'']^2} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dan sudut pergeseran gelombang didefinisikan sebagai :

$$\Theta = \tan^{-1} [Z(\omega)'' / Z(\omega)'] \dots\dots\dots (2.17)$$

Karakteristik signal Ac pada sirkuit elektrokimia pada gambar 2.12 (b) dijelaskan melalui impedansi dalam bentuk :

$$Z(\omega) = [R_s + \frac{R_p}{1 - \omega^2 C^2 R_p^2}] - j [\frac{\omega C R_p^2}{1 - \omega^2 C^2 R_p^2}] \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana C adalah kapasitansi antarmuka sebuah kapasitansi lapis ganda pada permukaan elektroda (Farad/cm^2). Untuk amplitudo frekuensi rendah dan tinggi, persamaan 2.12 menghasilkan :

$$Z(\omega)_0 = R_s + R_p, \omega = 0 \dots\dots\dots (2.19)$$

$$Z(\omega)_\infty = R_s, \omega = \infty \dots\dots\dots (2.20)$$

Mengkombinasikan persamaan (2.19) dan (2.20) sehingga menghasilkan resistansi polarisasi sebagai berikut:



$$R_p = Z(\omega)_o - R_s = Z(\omega)_o - Z(\omega)_\sim \dots\dots\dots(2.21)$$

Menggabungkan persamaan polarisasi resistansi untuk polarisasi linier dan persamaan (2.15) akan menghasilkan rapat arus dalam hubungannya dengan impedansi :

$$R_p = \frac{\beta a \beta c}{2,303 I_{corr} (\beta a + \beta c)} = \frac{\beta}{I_{corr}} \dots\dots\dots(2.22)$$

$$I_{corr} = \frac{\beta}{Z(\omega)_o - Z(\omega)_\sim} \dots\dots\dots(2.23)$$

Menggunakan hukum faraday, persamaan (2.23) menjadi:

$$\text{Laju Korosi} = \frac{\beta A \omega}{[Z(\omega)_o - Z(\omega)_\sim] Z F \rho} \dots\dots\dots(2.24)$$

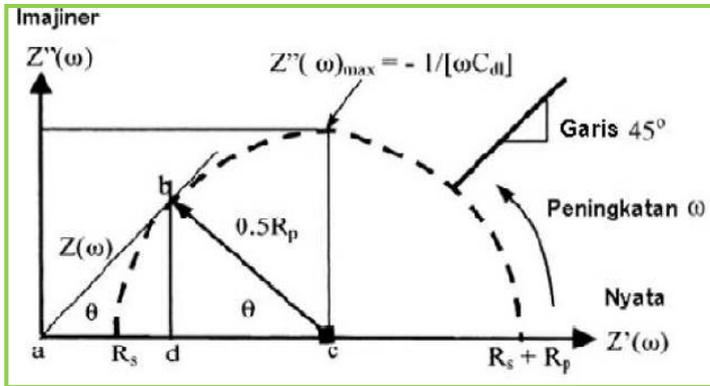
Analisa lanjutan pada persamaan (2.21) bersama dengan persamaan (2.16) akan menghasilkan persamaan impedansi lingkaran untuk mekanisme kontrol muatan:

$$[Z'(\omega) - (R_s + 1/2 R_p)]^2 + [Z''(\omega)]^2 = [1/2 R_p]^2 \dots\dots\dots(2.25)$$

Geometri dari persamaan (2.19) secara skematik ditunjukkan pada gambar 2.14 dengan radius $R_p/2$. Gambar ini dikenal dengan Nyquist Plot, dimana sudut pergeseran gelombang (*phase shift angle*) dan resistansi polarisasi (*polarization resistance*) menjadi :

$$\tan(\Theta) = \frac{|Z(\omega)|}{R_p/2} \dots\dots\dots(2.26)$$

$$R_p = \frac{2|Z(\omega)|}{\tan(\theta)} \dots\dots\dots(2.27)$$



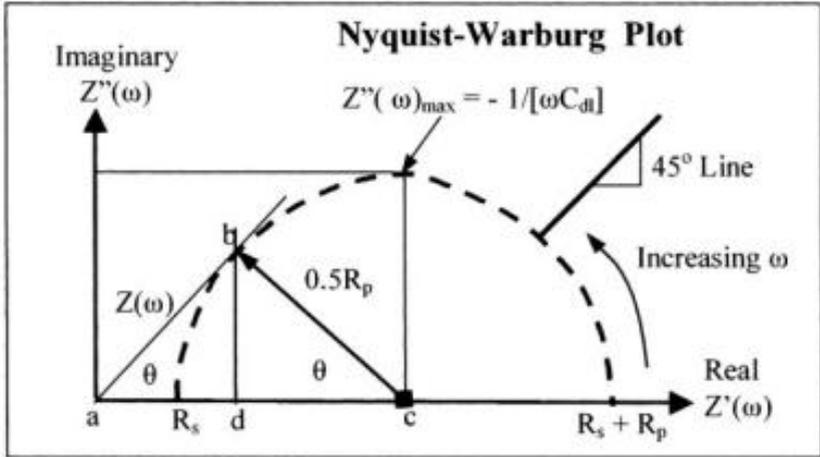
Gambar 2.16 Nyquist Plot Impedansi untuk Sirkuit Elektrokimia Kontrol Muatan (Gamry, 2005)

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

$$C_{dl} = 1 / [\omega R_p] \dots\dots\dots (2.28)$$

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

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



Gambar 2.17 Skema Nyquist-Warburg Plot Untuk Kontrol Difusi (Perez, 2004)

Interpretasi gambar 2.17 mengindikasikan bahwa pada sudut 45° berhubungan dengan frekuensi angular yang rendah. Pada kasus ini kinetika dari sistem elektrokimia dibatasi oleh proses kontrol difusi (polarisasi konsentrasi).

Pada pengukuran impedansi, persen efisiensi inhibisi ditentukan melalui persamaan :

$$%IE = \frac{Ret(inh) - Ret}{Ret(inh)} \times 100\% \dots\dots\dots (2.29)$$

Dimana :

R_{ct} = Tahanan transfer muatan dari logam dalam larutan tanpa inhibitor

$R_{ct(inh)}$ = Tahanan transfer muatan dari logam dalam larutan dengan penambahan inhibitor

2.12.4 Uji *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

Dasar lahirnya spektroskopi FT-IR adalah dengan mengasumsikan semua molekul menyerap sinar infra merah, kecuali molekul-molekul monoatom (He, Ne, Ar, dll) dan molekul-molekul homopolar diatomik (H₂, N₂, O₂, dll). Molekul akan menyerap sinar infra merah pada frekuensi tertentu yang mempengaruhi momen dipolar atau ikatan dari suatu molekul (Fernandez, 2011)

Radiasi Infrared (IR) pada dasarnya mengacu pada bagian spektrum elektromagnetik antara daerah yang tampak dengan daerah gelombang mikro. 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 molekul dapat memberikan suatu spektrum yang sangat kompleks. 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. Gugus atom dapat menimbulkan *band* di atau dekat dengan frekuensi yang sama tanpa memperhatikan struktur dari keseluruhan molekul. Radiasi IR akan diasorpsi dan dirubah oleh molekul organik menjadi energi getaran molekul (*molecular vibration*) pada frekuensi 4000 sampai 400 cm⁻¹. 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 *adsorbance* (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*.

$$A = \log_{10} (1/T) \dots\dots\dots(2.30)$$



Supaya terjadi penyerapan radiasi inframerah, maka ada beberapa hal yang perlu dipenuhi, yaitu :

1. Absorpsi terhadap radiasi inframerah dapat menyebabkan eksitasi molekul ke tingkat energi vibrasi yang lebih tinggi dan besarnya absorpsi adalah terkuantitasi.
2. Vibrasi yang normal mempunyai frekuensi sama dengan frekuensi radiasi elektromagnetik yang diserap
3. Proses absorpsi (spektra IR) hanya dapat terjadi apabila terdapat perubahan baik nilai maupun arah dari momen dua kutub ikatan (Fernandez, 2011).

Frekuensi yang disebabkan frekuensi gugus terjadi sebagai interaksi dengan getaran lain yang terkait dengan satu atau dua atom yang menyusun gugus. Oleh karena itu, serapan maksimum untuk gugus fungsi dapat ditentukan. Tabel frekuensi gugus untuk beberapa gugus untuk beberapa gugus fungsi dapat dilihat dari tabel berikut.

Tabel 2.5 Frekuensi Gugus Untuk Gugus Fungsi Organik (Skoog, Holler, & Crouch, 2007)

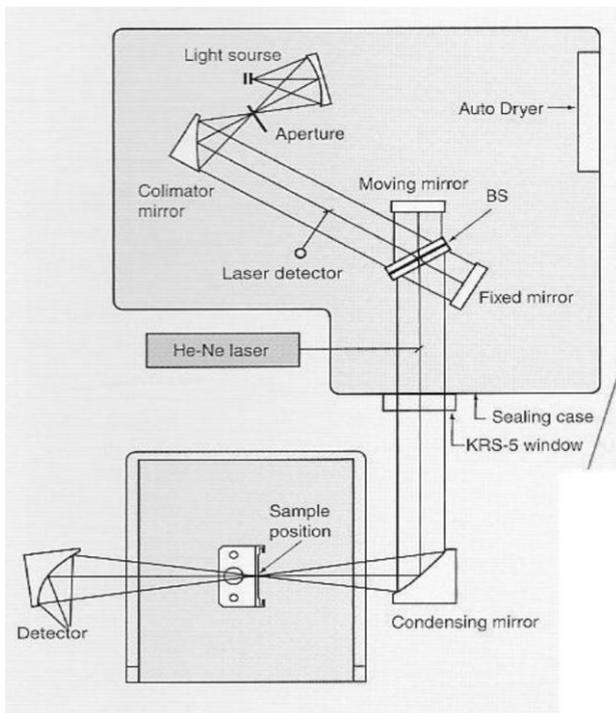
| Ikatan | Tipe Senyawa | Range (cm⁻¹) | Frekuensi | Intensitas |
|---------------|--------------------------|--------------------------------|------------------|----------------------|
| C-H | Alkana | 2850-2970 1340-1470 | | Kuat Kuat |
| C-H | Alkena | 3010-3095 675-995 | | Medium Kuat |
| C-H | Alkuna | 3300 | | Kuat |
| C-H | Cincin aromatic | 3010-3100 690-900 | | Medium Strong |
| O-H | Alkohol monomerik, fenol | 3590-3650 3200-3600 | | Variabel Variabel |

| | | | |
|-----------------|---|------------------------|-----------------|
| | Ikatan hidrogen, alkohol, fenol Asam karboksilat monomerik Ikatan Hidrogen asam karboksilat | 3500-3650 2500-2700 | Medium Broad |
| N-H | Amina, Amida | 3300-3500 | Medium |
| C=C | Alkena | 1610-1680 | Variabel |
| C=C | Cincin Aromatik | 1500-1600 | Variabel |
| C=C | Alkuna | 2100-2260 | Variabel |
| C-N | Amina, Amida | 1180-1360 | Kuat |
| C=N | Nitril | 2210-2280 | Kuat |
| C-O | Alkohol, eter, asam karboksilat, ester | 1050-1300 | Kuat |
| C=O | Aldehyde, keton, asam karboksilat, ester | 1690-1760 | Kuat |
| NO ₂ | Senyawa nitro | 1500-1570 1300-1370 | Kuat Kuat |



Komponen spektrofotometer infra merah (IR) terdiri dari lima bagian pokok, yaitu :

1. Sumber sinar,
2. Tempat sampel,
3. Monokromator,
4. Detektor, dan
5. Rekoder.



Gambar 2.18. Skema alat spektrofotometer infra merah.

1. Sumber Sinar

Radiasi infra merah dihasilkan dari pemanasan suatu sumber radiasi dengan listrik sampai suhu antara 1500 dan 2000 K. Sumber radiasi yang biasa digunakan berupa lampu Nernst Glower, Globar dan Kawat Nikrom. Nernst Glower merupakan campuran oksida dari zirkon (Zr) dan ytrium (Y) yaitu ZrO_2 dan Y_2O_3 , atau campuran oksida thorium (Th) dan serium (Ce). Nernst Glower ini berupa silinder dengan diameter 1 sampai 2 mm dan panjang 20 mm. Pada ujung silinder dilapisi platina untuk melewatkan arus listrik. Nernst Glower mempunyai radiasi maksimum pada panjang gelombang 1.4 μm atau bilangan gelombang 7100 cm^{-1} . Globar merupakan sebatang silikon karbida (SiC) biasanya dengan diameter 5 mm dan panjang 50 mm. Radiasi maksimum Globar terjadi pada panjang gelombang 1,8-2,0 μm atau bilangan gelombang 7100 cm^{-1} . Kawat Nikrom merupakan campuran nikel (Ni) dan Krom (Cr). Kawat ini berbentuk spiral dan mempunyai intensitas radiasi lebih rendah dari Nernst Glower dan Globar tetapi umurnya lebih panjang.

2. Tempat Sampel

Wadah sampel atau sel tergantung dari jenis sampel. Untuk sampel berbentuk gas digunakan sel gas dengan lebar sel atau panjang berkas radiasi 40 m. Hal inidimungkinkan untuk menaikkan sensitivitas karena adanya cermin yang dapat memantulkan berkas radiasi berulang kali melalui sampel. Wadah sampel untuk sampel berbentuk cairan umumnya mempunyai panjang berkas radiasi kurang dari 1 mm biasanya dibuat lapisan tipis (film) diantara dua keping senyawa yang transparan terhadap radiasi infra merah. Senyawa yang biasa digunakan adalah natrium klorida (NaCl), kalsium fluorida (CaF_2), dan kalsium iodida (CaI). Dapat pula dibuat larutan yang kemudian dimasukkan ke dalam sel larutan. Wadah sampel untuk padatan mempunyai panjang berkas radiasi kurang dari 1 mm (seperti wadah sampel untuk cairan). Sampel berbentuk padatan ini dapat dibuat pelet, pasta, atau lapisan tipis. Pelet KBr dibuat dengan



menggerus sampel dan kristal KBr (0.1 - 2.0 % berdasar berat) sehingga merata kemudian ditekan (ada kalanya sampai 8 ton) sampai diperoleh pelet atau pil tipis. Pasta (mull) dibuat dengan mencampur sampel dan setetes bahan pasta sehingga merata kemudian dilapiskan diantara dua keping NaCl yang transparan terhadap radiasi infra merah. Bahan pasta yang biasa digunakan adalah parafin cair. Lapis tipis dibuat dengan meneteskan larutan dalam pelarut yang mudah menguap pada permukaan kepingan NaCl dan dibiarkan sampai menguap. Persiapan sampel dapat dilakukan dengan beberapa cara, tergantung dari jenis sampel itu sendiri (padat, cair dan gas).

- Persiapan sampel padat.

1. Metode Mull

Sampel Disuspensikan ke dalam minyak mineral Nujol (hidrokarbon jenuh berantai panjang).

2. Metode Pelet KBr

1-10 gram sampel dihaluskan secara hati-hati dengan 100 mg KBr dan mencetaknya menjadi cakram tipis atau pelet.

3. Metode Lapis Tipis

Sampel disuspensikan dengan cara “sonifikasi”. Suspensi kemudian dipipet ke dalam sel jendela Irtran-II (kristal ZnS) atau kristal NaCl, sehingga 1-5 mg/cm² dapat dipindahkan ke dalam sel tersebut. Sampel akan mengering setelah didiamkan pada suhu kamar.

- Persiapan sampel cair.

Tahapannya antara lain :

1. Teteskan sedikit cairan sampel (bebas air) yang akan diukur pada satu bagian window KBr, kemudian pasangkan satu bagian window KBr lagi sehingga cairan merata pada permukaan window.

2. Siapkan window KBr pada holder, kemudian lakukan pengukuran dengan alat.

- Persiapan sampel gas.

Sampel gas dimasukkan kedalam tempat sampel khusus.

3. Monokromator

Pada pemilihan panjang gelombang infra merah dapat digunakan filter, prisma atau grating. Sehingga memungkinkan sebagian sinar melewati sampel dan sebagian melewati blanko (reference). Setelah dua berkas tersebut bergabung kembali kemudian dilewatkan ke dalam monokromator. Untuk tujuan analisis kuantitatif, biasa digunakan filter seperti: filter dengan panjang gelombang $9,0 \mu\text{m}$ untuk penentuan asetaldehida, filter dengan panjang gelombang $13,4 \mu\text{m}$ untuk o-diklorobenzena, dan filter dengan panjang gelombang $4,5 \mu\text{m}$ untuk dinitrogen oksida. Ada juga filter yang mempunyai kisaran $2,5$ sampai $4,5 \mu\text{m}$, $4,5$ sampai $8 \mu\text{m}$, dan 8 sampai $14,5 \mu\text{m}$.

4. Detektor

Setelah radiasi infra merah melewati monokromator kemudian berkas radiasi ini dipantulkan oleh cermin-cermin dan akhirnya ditangkap oleh detektor. Detektor pada spektrofotometer infra merah merupakan alat yang bisa mengukur atau mendeteksi energi radiasi akibat pengaruh panas. Berbeda dengan detektor lainnya (seperti: phototube) dimana pengukuran radiasi infra merah lebih sulit karena intensitas radiasi rendah dan energi foton infra merah juga rendah. Akibatnya sinyal dari detektor infra merah kecil sehingga dalam pengukurannya harus diperbesar.

Terdapat dua macam detektor, yaitu:

1. Termokopel (thermocouple), dan
2. Bolometer

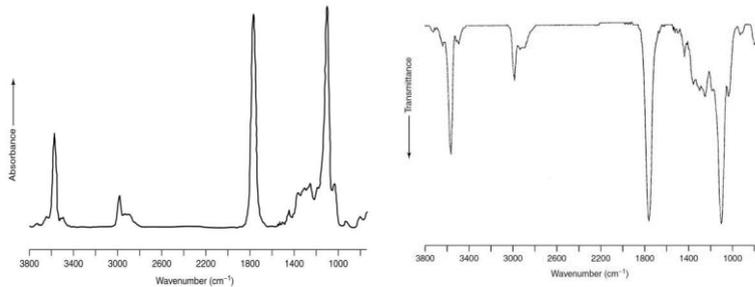
Yang paling banyak digunakan dalam spektrofotometri infra merah adalah termokopel.

5. Rekorder

Sinyal yang dihasilkan dari detektor kemudian direkam sebagai spektrum infra merah yang berbentuk puncak-puncak absorpsi. Spektrum infra merah ini menunjukkan hubungan antara absorpsi dan frekuensi atau bilangan gelombang atau panjang gelombang. Sebagai absis adalah frekuensi (Hertz, detik⁻¹) atau



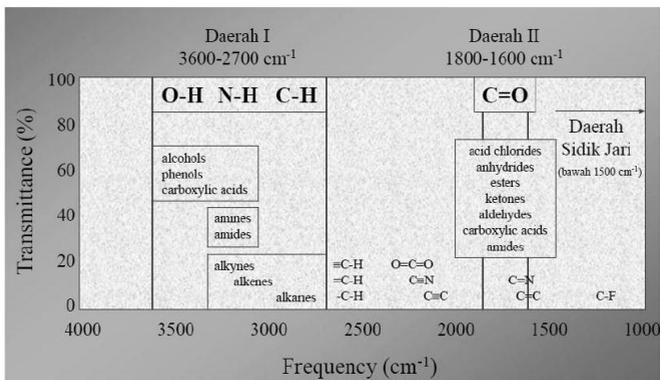
panjang gelombang (μm) atau bilangan gelombang (cm^{-1}) dan sebagai ordinat adalah transmittan (%) atau absorban. Contoh spektrum absorpsi infra merah dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 2.19. Spektrum absorban dan transmittan.

Spektrum infra merah merupakan spektrum yang menunjukkan banyak puncak absorpsi pada frekuensi yang karakteristik. Spektroskopi infra merah disebut juga spektroskopi vibrasi. Untuk setiap ikatan kimia yang berbeda seperti C - C, C=C, C=O, C-O, O-H dan sebagainya mempunyai frekuensi vibrasi yang berbeda sehingga kemungkinan dua senyawa berbeda yang mempunyai spektrum absorpsi yang sama adalah kecil sekali.

Untuk mengidentifikasi senyawa yang belum diketahui perlu dibandingkan dengan spektrum standar yang dibuat pada kondisi sama. Daerah absorpsi pada kisaran frekuensi 1500 sampai 700 cm^{-1} atau panjang gelombang 6,7-14 μm disebut daerah sidik jari (jati diri). Senyawaan yang mempunyai spektrum infra merah sama adalah identik. Untuk mempermudah memahami, maka ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 2.20. Intrepretasi spectrum spesifik dari masing-masing gugus fungsi senyawa.
(Fernandez, 2011)

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

- Analisis yang dilakukan lebih cepat jika dibandingkan dengan menggunakan metoda *scanning*. Hal ini terkait dengan semua frekuensi yang berasal dari sumber cahaya dapat digunakan bersama-sama.
- Radiasi yang masuk ke sistem detektor lebih banyak karena tidak harus melalui celah sehingga sensitivitasnya lebih besar dibandingkan sistem dispersi.



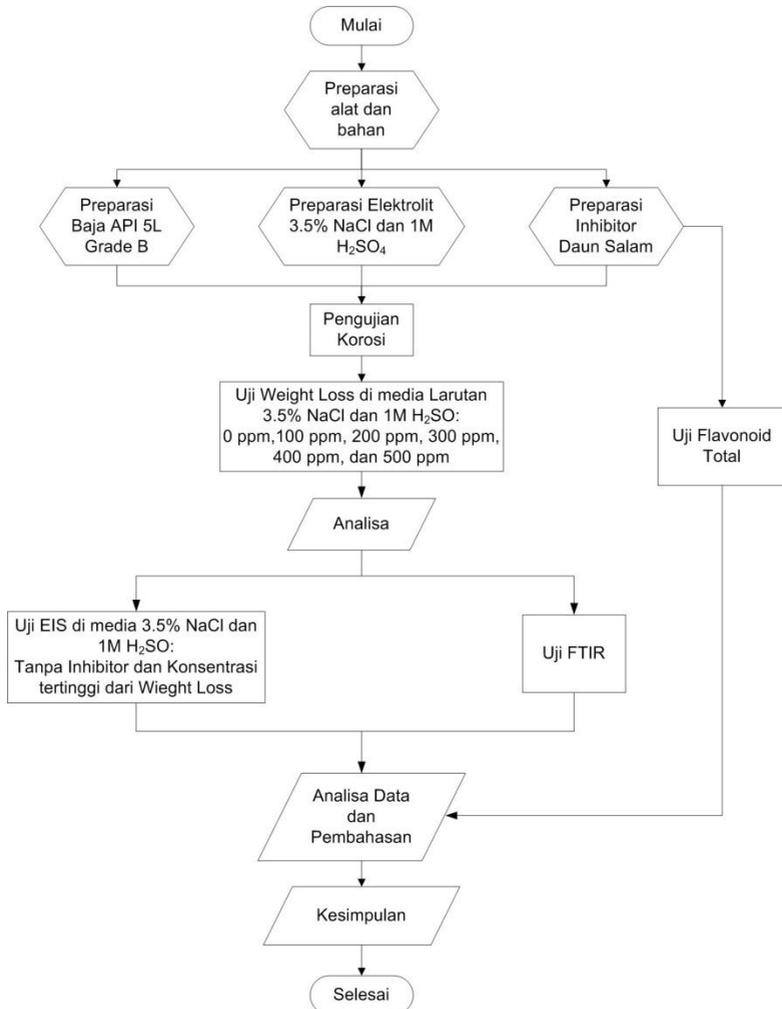
(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian



3.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Timbangan Digital
2. *Rotary Evaporator*
3. Oven
4. Blender
5. Kamera digital
6. Peralatan pengujian Spektrofotometri UV-Vis
7. Peralatan pengujian AUTOLAB
8. Peralatan pengujian FTIR

3.3 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Material

Spesimen yang digunakan adalah API 5L Grade B. Spesimen tersebut didesain dengan dimensi \varnothing 10 mm x 5 mm.

Spesifikasi API 5L Grade B dapat dilihat seperti pada tabel 3.1 berikut ini

Tabel 3.1 Komposisi kimia baja API 5L

| Grade | Carbon (Max) | Manganese (Max) | Phosphorus (Max) | Sulfur (Max) | Silicon (Max) |
|-------|-----------------|--------------------|---------------------|-----------------|------------------|
| B | 0,28 | 1,20 | 0,030 | 0,030 | 0.19 |

2. Elektrolit

Larutan elektrolit menggunakan 3.5% NaCl dan H₂SO₄ 1 M

3. Inhibitor

Inhibitor yang diuji pada penelitian ini adalah inhibitor daun Salam. Variasi konsentrasi inhibitor daun salam adalah 0 ppm, 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm, 400 ppm, dan 500 ppm

4. Epoksi resin

5. Aquades

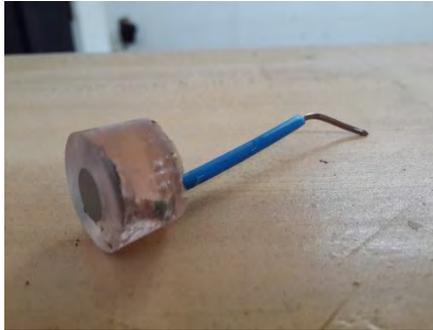
3.4 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan mengekstrak daun salam lalu melakukan Uji Flavonoid Total pada ekstrak daun salam, dan juga melakukan pengujian untuk mengetahui laju korosi dan produk korosi yang ada pada spesimen. Pengujian untuk mengetahui laju korosi dilakukan dengan menggunakan metode uji Weight Loss dengan berbagai variasi konsentrasi inhibitor 0 ppm, 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm, 400 ppm, 500 ppm dengan temperatur kamar serta pH konstan. Lalu dilakukan uji Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS). Sedangkan pengujian untuk mengamati gugus fungsi yang terbentuk pada ekstrak daun salam dan baja API 5L grade B menggunakan uji *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR).

3.5 Preparasi Spesimen

3.5.1 Preparasi Spesimen Pengujisn EIS

Spesimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah API 5L Grade B. Material yang akan dilakukan pengujian dipotong dan dibubut dengan diameter 10mm dan tebal 5mm. Setelah itu material tersebut disambungkan dengan kawat tembaga pada salah satu sisinya dengan panjang ± 20 cm. Kawat tembaga tersebut dibungkus dengan selang plastik dengan tujuan agar kawat tembaga tersebut tidak terekspos dengan lingkungan. Setelah kawat tersambung maka selanjutnya dilakukan mounting pada benda uji dengan resin epoksi sehingga benda uji berbentuk elektroda untuk pengujian. Sedangkan permukaan benda uji yang terekspos pada lingkungan digosok dengan kertas gosok dari grade 100-1000, sehingga permukaan benda uji menjadi rata dan halus.



Gambar 3.2 Spesimen untuk pengujian EIS

3.5.2 Preparasi Spesimen Pengujian *Weight Loss*

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah API 5L Grade B yang telah dipotong menjadi ukuran 2cm x 2cm x 0.3 cm sebanyak 186 spesimen. Setelah mendapat dimensi yang sesuai dilakukan pengamplasan di seluruh permukaannya agar produk korosi yang ada pada sampel dapat hilang. Pengamplasan dimulai dari grade 80 dan dilanjutkan dengan grade 400. Sampel yang sudah diampelas kemudian dibor dengan mata bor yang berdiameter 3 mm pada bagian atas sebagai tempat menggantung spesimen.



Gambar 3.3 Spesimen Uji *Weight Loss*

3.6 Preparasi Ekstrak Daun Salam sebagai Inhibitor

1. Ambil daun tumbuhan salam yang masih segar
2. Keringkan daun salam yang telah diambil.
3. Tumbuk daun salam yang telah dikeringkan hingga halus seperti powder.

4. Lakukan maserasi pada daun salam yang telah dihaluskan dengan menggunakan pelarut metanol selama 3 x 24 jam.
5. Pekatkan dengan menggunakan rotary evaporator



Gambar 3.4 Alat *Rotary Evaporator*



Gambar 3.5 Ekstrak daun salam



3.7 Pembuatan Larutan NaCl

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

3.8 Pembuatan Larutan H₂SO₄

1. Siapkan 54,64 mL larutan H₂SO₄ 98%
2. Larutkan H₂SO₄ tadi ke dalam labu ukur 1000 ml dengan menggunakan aquades hingga tepat batas
3. Maka akan didapat konsentrasi larutan H₂SO₄ 1 M
4. Larutan H₂SO₄ 1 M siap digunakan untuk pengujian selanjutnya.

3.9 Pengujian

3.9.1 Uji Flavonoid Total

3.9.1.1 Preparasi sampel

1. Timbang seksama 1g bahan baku, masukkan ke dalam labu alas bulat.
2. Tambahkan 1,0 mL larutan 0,5% (b/v) hexamethylenetetramine, 20 mL aseton dan 2,0 ml HQ 25% (b/v), refluks selama 2 jam sejak mendidih.
3. Saring campuran menggunakan kapas ke dalam labu ukur 100 mL
4. Bilas kapas dengan aseton, tambahkan aseton sampai 100 mL, kocok homogen.
5. Masukkan 20.0 mL filtrat ke dalam corong pisah, tambahkan 20 mL air
6. Tambahkan 15 mL etil asetat, kocok 10 menit, biarkan memisah. ambil fase etil asetat

7. Lanjutkan ekstraksi (3x) masing-masing dengan 10 mL etil asetat.
 8. Gabung fase etil asetat ,cuci 2x masing-masing dengan 50 mL air.
 9. Masukkan hasil ekstraksi ke dalam labu ukur 50 mL
 10. Tambahkan etil asetat sampai garis tanda, kocok homogen.
- 3.9.1.2 Prosedur penetapan kadar :
1. Masukkan 10,0 mL fraksi etil asetat ke dalam labu ukur 25 mL
 2. Tambahkan 1 mL larutan AICI₃ (2 g dalam 100 mL asamasetat glasial - metanol(5+95))
 3. Tambahkan asamasetat glasial-metanol (5+95) sampai tanda batas volume.
- 3.9.1.3 Larutan blanko:
1. 10 mL larutan fraksi etil asetat masukkan ke dalam labu ukur 25 ml
 2. Tambahkan larutan asam asetat glasial-metanol (5+95) sampai tanda batas volume.
- 3.9.1.4 Pengukuran :
- Diamkan larutan sampel selama 30 menit,scan antara 300-500 nm
- Ukur absorbansi larutan pada X maksimum (± 425 nm)



Gambar 3.6 Alat Spektrofotometer UV-Vis untuk uji *Flavonoid Total*



3.9.2 Uji *Weight Loss*

Uji *weight loss* atau dalam bahasa Indonesia lebih dikenal dengan metode pengurangan berat adalah sebuah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui laju korosi (mpy) suatu benda kerja dengan menggunakan cara menimbang berat awal dan berat akhir setelah dilakukan pengujian *weight loss* ini. Pengujian *weight loss* ini dilakukan dengan mencelupkan benda kerja kedalam larutan atau lingkungan dengan konsentrasi inhibitor yang berbeda. Konsentrasi inhibitor yang dimasukkan kedalam larutan NaCl 3,5% dan H₂SO₄ 1M yaitu 0, 100, 200, 300, 400, 500 mg/L dan pengambilan data dilakukan setiap 6 hari sekali dalam 30 hari untuk NaCl 3.5% dan setiap 2 hari sekali dalam 10 hari untuk H₂SO₄ 1M. Setelah penimbangan akan diketahui berat akhir dari spesimen uji *weight loss*, lalu dimasukkan ke persamaan 3.1 untuk mendapatkan laju korosi.

$$mpy = 534 \frac{W}{DAT} \dots\dots\dots 3.1$$

Dimana:

W : berat yang hilang (g)

D : desity (rapat massa) specimen (g/cm³)

A : luas permukaan specimen (cm²)

T : waktu ekspose (jam)

mpy : mills per year (1 mils = 1 milli inchi = 1/1000 inchi)

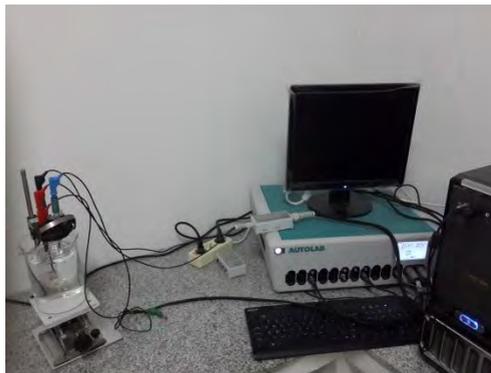
Efisiensi inhibisi pada metode ini dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan :

$$\%I = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100\% \dots\dots\dots 3.2$$

Dimana W₀ merupakan berat awal benda kerja dan W₁ merupakan berat akhir benda kerja setelah direndam dalam media korosif dengan waktu perendaman tertentu.

3.9.4 Uji Impedansi dengan Metode EIS

Pengujian EIS dilakukan dengan menggunakan software AUTOLAB PGSTAT128N yang terdiri dari elektroda kerja, elektroda acuan dan elektroda bantu. Electrochemical Impedance Spectroscopy adalah suatu metode untuk menganalisis respon suatu electrode yang terkorosi terhadap sinyal potensial AC sebagai fungsi frekuensi. Metode EIS dimaksudkan untuk mengetahui inhibisi pada logam dengan inhibitor apakah secara kinetika dikontrol oleh transfer muatan ataukah transfer massa. Pada prinsipnya EIS digunakan untuk menentukan parameter kinetika elektrokimi berkaitan dengan elemen-elemen listrik seperti tahanan, R , kapasitansi, C , dan induktansi, L . Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian EIS dengan variasi media korosif NaCl 3.5% dan H₂SO₄ 1 M serta konsentrasi inhibitor daun salam pada efisiensi tertinggi yang didapatkan dari metode *weight loss*, yaitu 300 mg/L pada lingkungan NaCl 3.5% dan juga pada lingkungan H₂SO₄ 1M.



Gambar 3.7 Alat Uji EIS



Gambar 3.8 Skema Uji EIS

3.9.5 Uji *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus gugus yang terbentuk pada inhibitor ekstrak daun salam dan baja API 5L *Grade B* yang telah dilakukan perendaman dengan uji *weight loss*. Dengan melakukan pengujian FTIR akan dihasilkan kurva *peak* atau gelombang dengan intensitas yang berbeda-beda dan juga terdapat senyawa yang terkandung dalam suatu material.



Gambar 3.9 Peralatan Uji FTIR

3.10 Rancangan Pengambilan Data Penelitian

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

Tabel 3.2 Rancangan Percobaan dengan Metode *weight loss* di media H₂SO₄ 1 M

| JAM | konsentrasi | berat awal | berat akhir | ΔW | CR |
|-----|-------------|------------|-------------|------------|----|
| 48 | 0 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | 100 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | 200 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | 300 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 400 | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 500 | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 96 | 0 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |



| | | | | | | |
|-----|-----|---|--|--|--|--|
| | 100 | | | | | |
| | | | | | | |
| | 200 | | | | | |
| | | | | | | |
| | 300 | | | | | |
| | | | | | | |
| | 400 | | | | | |
| | | | | | | |
| | 500 | | | | | |
| | | | | | | |
| | 144 | 0 | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| 100 | | | | | | |
| | | | | | | |
| 200 | | | | | | |
| | | | | | | |
| 300 | | | | | | |
| | | | | | | |
| 400 | | | | | | |
| | | | | | | |

| | | | | | | |
|-----|-----|---|--|--|--|--|
| | | | | | | |
| | 500 | | | | | |
| 192 | 0 | | | | | |
| | | | | | | |
| | 100 | | | | | |
| | | | | | | |
| | 200 | | | | | |
| | | | | | | |
| | 300 | | | | | |
| | | | | | | |
| | 400 | | | | | |
| | | | | | | |
| | 500 | | | | | |
| | | | | | | |
| | 240 | 0 | | | | |
| | | | | | | |
| 100 | | | | | | |
| | | | | | | |



| | | | | | |
|--|-----|--|--|--|--|
| | 200 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | 300 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | 400 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | 500 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

Tabel 3.3 Rancangan Percobaan dengan Metode *weight loss* di media NaCl 3.5%

| JAM | konsentrasi | berat awal | berat akhir | ΔW | CR |
|------------|--------------------|-------------------|--------------------|------------|----|
| 48 | 0 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | 100 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | 200 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | 300 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

| | | | | | |
|-----|-----|--|--|--|--|
| | 400 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | 500 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 96 | 0 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | 100 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | 200 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | 300 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 400 | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 500 | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 144 | 0 | | | | |
| | | | | | |



| | | | | | |
|-----|-----|--|--|--|--|
| | 100 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | 200 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | 300 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | 400 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 500 | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 192 | 0 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | 100 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | 200 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | 300 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

| | | | | | |
|-----|-----|--|--|--|--|
| | 400 | | | | |
| | | | | | |
| | 500 | | | | |
| | | | | | |
| 240 | 0 | | | | |
| | | | | | |
| | 100 | | | | |
| | | | | | |
| | 200 | | | | |
| | | | | | |
| | 300 | | | | |
| | | | | | |
| | 400 | | | | |
| | | | | | |
| | 500 | | | | |
| | | | | | |



Tabel 3.3 Rancangan Percobaan dengan Metode EIS

| Medium | Inhibitor (mg/L) | Pengujian | R_s ($\Omega.cm^2$) | C_{dl} (F. cm^2) | R_{ct} ($\Omega.cm^2$) |
|---------------------------------------|------------------|-----------|-------------------------|-----------------------|----------------------------|
| NaCl 3.5% | 300 | 1 | | | |
| | | 2 | | | |
| | | 3 | | | |
| H ₂ SO ₄ 1 M | 300 | 1 | | | |
| | | 2 | | | |
| | | 3 | | | |



BAB IV

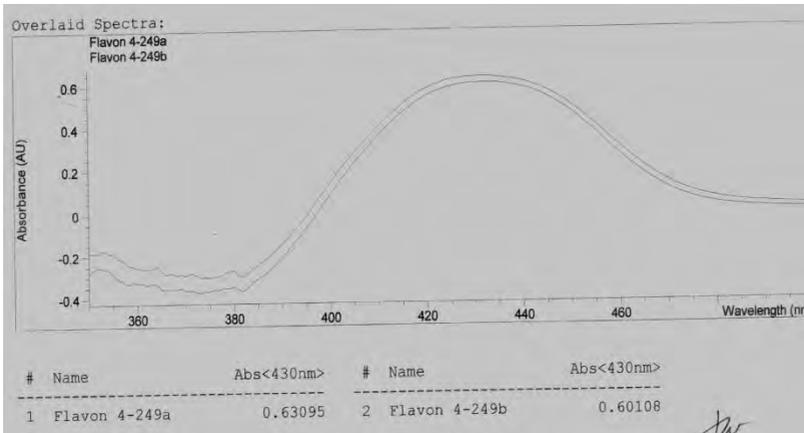
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Hasil Uji Kadar Flavanoid Total

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kuantitas dari senyawa flavonoid yang ada pada sampel ekstrak daun salam. Prinsip dasar pengujian ini adalah dengan memanfaatkan spektrofotometer UV-Vis. Senyawa flavonoid dapat menunjukkan pita serapan kuat pada daerah spektrum serapan ultra violet dan serapan tampak (UV-Vis). Dengan mengukur nilai absorsinya maka bisa didapatkan jumlah senyawa flavonoid yang terdapat dalam ekstrak metanol dari daun salam ini. Tahapan analisis untuk menentukan kadar atau kuantitas flavonoid ini diawali dengan melakukan perendaman dengan pelarut polar, dalam penelitian ini menggunakan metanol sebagai pelarut. Lalu ekstrak cair yang tercampur dengan pelarut tersebut dipekatkan dengan tujuan untuk menghilangkan unsur dari pelarut yang ada didalam ekstrak. Kemudian melakukan proses hidrolisis untuk memisahkan aglikon. Pembentukan kompleks aglikon- AlCl_3 , dan melakukan pengukuran dengan spektrofotometer seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.

Berdasarkan hasil pengukuran dengan spektrofotometer, flavonoid yang terukur termasuk pada golongan auron. Hal ini dapat dilihat pada peak yang ada pada gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Hasil Spektrum UV-Vis pada daun salam

Pada gambar 4.1 terlihat peak yang didapatkan dari uji spektrum UV-Vis pada sampel ekstrak daun salam yang dibagi menjadi dua. Nilai absorpsi yang didapat dari dua sampel tersebut didapatkan sebesar 0.63095 pada sampel pertama dan 0.60108 pada sampel kedua. Pada gambar diatas juga dapat dilihat bahwa peak tertinggi atau pita serapan maksimum berada pada panjang gelombang 430 nm. Jika dilihat dari tabel pita absorpsi UV dari flavonoid maka bisa diketahui bahwa pada pada panjang gelombang 430 nm merupakan range yang menunjukkan senyawa flavonoid berjenis auron. Range dari flavonoid dengan jenis auron ini adalah jika pita serapan maksimum berada antara rentang 380-430 nm. Untuk mengetahui kuantitas dari kadar senyawa flavonoid yang merupakan tujuan utama dilakukannya pengujian ini adalah dengan menggunakan persamaan 4.1 berikut

$$\% \text{ Flavonoid} = \text{Absorbansi sampel} \times 1.25/\text{g sampel} \dots\dots\dots (4.1)$$

setelah dilakukan perhitungan, ditemukan kadar flavonoid dari kedua sampel ekstrak daun salam, selengkapnya bisa dilihat pada tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Data absorbansi dan flavonoid pada daun salam

| No | Sample (g) | Absorbansi | % Flavonoid (%) |
|----|------------|------------|-----------------|
| 1 | 1.1089 | 0.63095 | 0.62 |
| 2 | 1.2780 | 0.60108 | 0.68 |

4.1.2 Hasil Uji *Weight Loss*

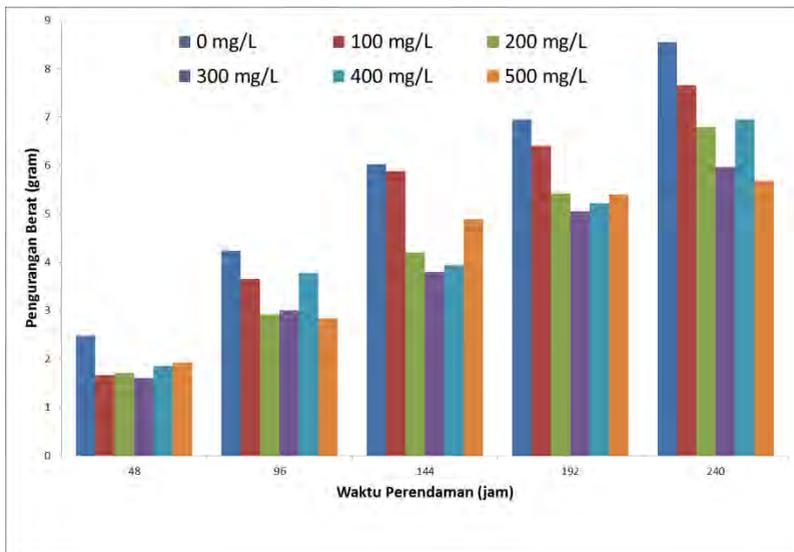
4.1.2.1 Hasil Uji *Weight Loss* pada larutan H₂SO₄ 1M

Pengujian weight loss merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mencari laju korosi. Prinsip dasar dari pengujian weight loss adalah melakukan penimbangan pada berat awal atau sebelum dilakukan pengujian weight loss ini dan berat setelah dilakukan perendaman dengan waktu tertentu, dari penimbangan antara berat awal dan berat akhir setelah dilakukan pengujian akan didapatkan selisih berat yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1 sehingga didapatkan laju korosi dari pengujian weight loss ini. Pada penelitian ini, pengujian weight loss dilakukan selain untuk mengetahui laju korosi pada baja API 5L Grade B juga dilakukan untuk mendapatkan efisiensi tertinggi dari inhibitor daun salam sehingga dengan mendapatkan efisiensi tertinggi tersebut dapat dilakukan pengujian EIS (Electrochemical Impedance Spectroscopy) untuk mengamati mekanisme inhibisi dari inhibitor daun salam pada efisiensi tertinggi pada masing-masing jenis larutan, yaitu NaCl 3.5% dan H₂SO₄ 1M. Perendaman dilakukan dengan waktu selama 30 hari pada larutan NaCl 3.5% dengan pengambilan data dilakukan setiap 6 hari, dan 10 hari dengan pengambilan data dilakukan pada setiap 2 hari. Dalam setiap wadah diberikan masing masing tiga buah spesimen uji dengan tujuan untuk mengurangi resiko terjadinya anomali sehingga didapatkan data yang valid karena dapat dilakukan replikasi jika terjadi anomali atau bisa disebut penyimpangan. Berikut ini merupakan data selisih berat yang didapatkan dari



pengujian weight loss dari yang tanpa penambahan inhibitor dan penambahan dengan konsentrasi 100,200,300,400, dan 500 mg/L inhibitor daun salam. Seperti yang telah dijelaskan diatas selisih dari berat awal dan berat akhir diambil dari tiga buah spesimen yang telah dicelupkan pada wadah berupa botol plastik, lalu dirata-rata.

Pada lingkungan H_2SO_4 yang merupakan asam kuat dan juga tentunya sangat korosif, maka dilakukan perendaman selama 10 hari dan dilakukan pengambilan setiap 2 hari.



Gambar 4.2 Grafik pengaruh waktu perendaman terhadap pengurangan berat.

Pada gambar 4.2 dapat dilihat pengurangan berat pada media H_2SO_4 1M. Disini sangat terlihat bahwa pengurangan berat pada media H_2SO_4 1M ini sangat tinggi. Bahkan dengan hanya melihat secara visual atau mata telanjang pun sangat terlihat penampakan secara fisik spesimen hasil uji menunjukkan terbentuknya lapisan hitam hasil produk korosi yang apabila

dibersihkan akan terlihat rongga-rongga akibat proses korosi. Bahkan pada sistem dengan perendaman sepuluh hari dengan tanpa dilakukan penambahan inhibitor mengalami pengurangan berat tertinggi yaitu 8.5549 gram dari berat awal logam sebesar 9.795 gram. Secara visual sangat terlihat spesimen hampir habis tergerus oleh korosi yang terjadi pada pencelupan dengan media H_2SO_4 1M ini. Pada sistem yang ditambahkan inhibitor daun salam rongga yang terbentuk tidak sebanyak rongga yang terjadi pada spesimen yang dicelupkan pada sistem yang tidak ditambahkan inhibitor.



(a)



(b)

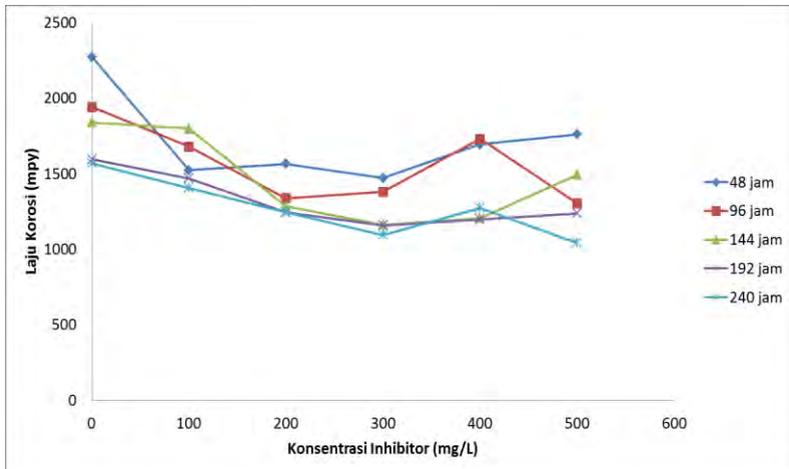
Gambar 4.3 (a) Baja API 5L grade B sebelum perendaman dan (b) Baja API 5L grade B setelah perendaman dilingkungan H_2SO_4 1M.

Pada sistem yang ditambahkan inhibitor ekstrak daun salam menunjukkan bahwa inhibitor ekstrak daun salam ini dapat meminimalisir pengurangan berat yang terjadi pada spesimen dibandingkan pada sistem yang tidak ditambahkan inhibitor. Dari data pengurangan berat diatas dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan 2.1 untuk mendapatkan laju korosi dan efisiensi inhibitor. Selengkapnya dapat dilihat pada tabel D.4.



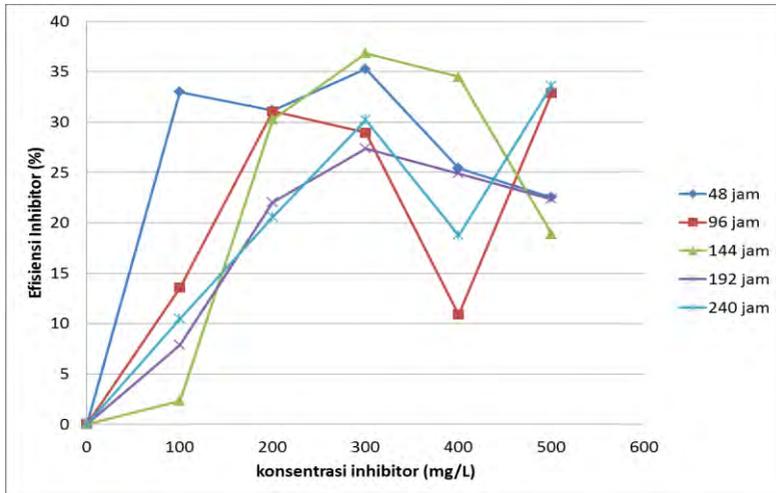
Pada tabel D.4 yang ada dilampiran dapat dilihat laju korosi dan efisiensi pada inhibitor ekstrak daun salam pada media H_2SO_4 1M serta hubungan antara konsentrasi inhibitor (mg/L) dengan waktu perendaman (jam). Laju korosi tertinggi berada pada konsentrasi 0 ppm yaitu sebesar 2273.366 mpy, sedangkan laju korosi terendah berada 1162,359 mpy. Dari tabel D.4 dapat dilihat bahwa penambahan inhibitor ekstrak daun salam mempengaruhi laju korosi pada baja API 5L grade B, namun seperti yang telah dituliskan tadi bahwa lingkungan dalam H_2SO_4 1M terlalu agresif menyerang baja API 5L grade B. Setiap penambahan inhibitor dari 0 mg/L sampai 500 mg/L terjadi penurunan laju korosi yang fluktuatif pada setiap waktu perendaman, meskipun tidak cukup optimal untuk meminimalisir laju korosi. Hal ini bisa juga disebabkan karena saat dilakukan perendaman, sistem terpapar dalam kondisi bebas dimana besar kemungkinan dalam waktu perendaman yang sangat lama menyebabkan oksigen juga ikut mempengaruhi reaksi dalam lingkungan H_2SO_4 1M yang sebenarnya sudah sangat korosif. Selain itu bisa juga disebabkan karena inhibitor ekstrak daun salam yang mudah mengeras pada media H_2SO_4 1 M ini dan sukar larut, jadi diperlukan pengadukan secara merata agar inhibitor ekstrak daun salam ini tercampur secara merata dalam media H_2SO_4 1 M ini berbeda dengan pada sistem sebelumnya yang menggunakan media NaCl 3.5%, inhibitor dapat larut dengan sendirinya seiring dengan lama waktu perendaman. Sedangkan pada media H_2SO_4 1 M ini meskipun pada perendaman dengan lama perendaman yang paling lama (10 hari) tetap saja inhibitor tampak seperti mengeras dan tidak larut di bagian bawah dari wadah yang digunakan untuk pengujian *weight loss* ini.

Setiap penambahan inhibitor dari 0 mg/L sampai 500 mg/L terjadi penurunan laju korosi yang fluktuatif pada setiap waktu perendaman. Untuk mengetahui Pengaruh konsentrasi terhadap laju korosi pada larutan H_2SO_4 1 M hasil uji *weight loss* hal ini dapat dilihat pada gambar 4.4 berikut.



Gambar 4.4 Pengaruh konsentrasi terhadap laju korosi pada larutan H_2SO_4 1M hasil uji *weight loss*

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa dengan adanya perbedaan pada laju korosi antara adanya penambahan inhibitor maupun tanpa penambahan inhibitor pada media H_2SO_4 1 M meskipun terlihat fluktuatif pada setiap perendaman. Pengaruh konsentrasi inhibitor juga mempengaruhi efisiensi inhibitor, sama seperti yang dijelaskan sebelumnya pada pengujian *weight loss* pada media NaCl 3.5%, dimana laju korosi berbanding terbalik dengan efisiensi inhibitor. Semakin tinggi laju korosi maka semakin rendah efisiensi inhibitor, tetapi semakin rendah laju korosi maka semakin tinggi efisiensi inhibitor. Berikut merupakan grafik pengaruh konsentrasi terhadap efisiensi inhibitor pada larutan H_2SO_4 1 M hasil uji *weight loss*.

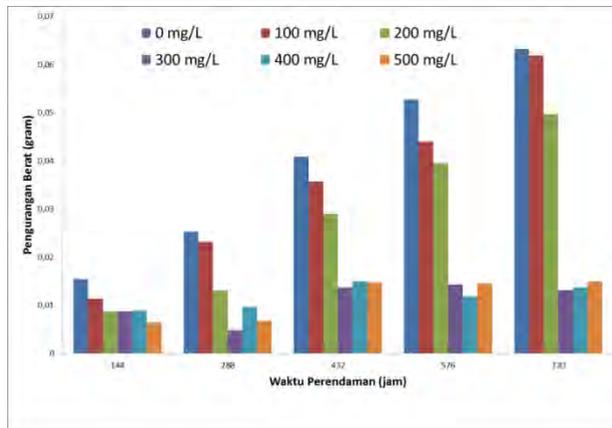


Gambar 4.5 Pengaruh penambahan konsentrasi terhadap efisiensi inhibitor pada larutan H_2SO_4 1 M hasil uji *weight loss*

Berbeda dengan gambar 4.4, dapat dilihat pada gambar 4.5 ini pengaruh adanya konsentrasi membuat efisiensi naik. Laju korosi berbanding terbalik dengan efisiensi inhibitor yang semakin besar seiring penambahan inhibitor, meskipun nilai efisiensi ini akan tidak berarti karena jika waktu perendaman ditambah spesimen baja API 5L grade B ini akan habis diakibatkan tingkat korosi yang sangat tinggi pada lingkungan H_2SO_4 1M ini.

4.1.2.2 Hasil Uji *Weight Loss* pada larutan NaCl 3.5%

Pada lingkungan NaCl 3.5% yang memiliki pH netral. Pada media NaCl 3.5% ini tidak terlalu korosif. Dilakukan pengambilan data setiap 6 hari dalam 30 hari dan didapatkan data yang ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4.6 Pengaruh waktu perendaman terhadap pengurangan berat

Dapat dilihat dari gambar 4.6 yang merupakan data yang didapatkan dari pengujian *weight loss* menunjukkan bahwa terlihat perbedaan adanya perbedaan yang terjadi pada selisih berat pada baja API 5L antara yang tanpa penambahan inhibitor dengan yang dilakukan penambahan inhibitor. Terlihat pada gambar 4.6 diatas bahwa pengurangan berat terbesar terjadi pada baja API 5L yang tanpa ditambahkan inhibitor. selisih berat dari spesimen API 5L yang dicelupkan pada lingkungan atau larutan NaCl 3.5% ini pun mengalami peningkatan pada setiap pengambilan data pada spesimen yang dicelupkan pada larutan NaCl 3.5% tanpa penambahan inhibitor. Namun peningkatan selisih berat pada setiap pengambilan data ini tidak selalu terjadi pada spesimen API 5L yang dicelupkan pada NaCl 3.5% yang ditambahkan inhibitor dengan konsentrasi tertentu. Terlihat dari gambar 4.6 diatas bahwa selisih berat terkecil terjadi pada penambahan 300 mg/L konsentrasi ekstrak daun salam yaitu 0,0048 mpy. Dari data ini dapat ditarik sebuah kesimpulan bahwa penambahan inhibitor ekstrak daun salam berpengaruh terhadap selisih berat yang terjadi pada pengujian *weight loss* ini. Data dari gambar 4.6 diatas mengenai selisih berat awal dan berat akhir ini



dapat pula di masukkan ke persamaan 2.1 sehingga didapatkan laju korosi dari pengujian *weight loss* pada larutan NaCl 3.5% ini. Tabel berikut akan menampilkan selisih berat yang didapatkan dari data pengurangan berat yang telah dimasukkan ke persamaan 2.1 sehingga didapatkan laju korosi dan juga dari laju korosi tersebut dihitung efisiensi inhibitor.

Dari gambar 4.6 tentang selisih berat, pada gambar 4.7 dan 4.8 berikut juga laju korosi tertinggi terjadi pada spesimen yang dicelupkan di pada larutan NaCl 3.5% tanpa penambahan inhibitor. Namun dengan penambahan inhibitor ekstrak daun salam terjadi penurunan laju korosi. Dengan kata lain penambahan inhibitor ekstrak daun salam dapat mempengaruhi laju korosi yang terjadi pada baja API 5L. Sehingga dari gambar 4.6 dan tabel 4.7 dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar selisih berat pada spesimen maka akan semakin besar juga laju korosi, sedangkan laju korosi tersebut berbanding terbalik dengan efisiensi inhibitor. Semakin besar laju korosi maka efisiensi inhibitor akan semakin kecil, begitu juga sebaliknya. Dari tabel data yang didapatkan bahwa efisiensi terbaik dari inhibitor ekstrak daun salam ini berada pada penambahan konsentrasi sebesar 300 mg/L yaitu sebesar 81,052%. Nilai efisiensi inhibitor yang didapatkan tersebut cukup besar, menandakan bahwa ekstrak daun salam bekerja sebagai inhibitor korosi yang cukup efektif pada media NaCl 3.5% ini. Hal ini dapat diakibatkan oleh ekstrak daun salam larut dengan sendirinya pada media NaCl 3.5% seiring dengan waktu perendaman.

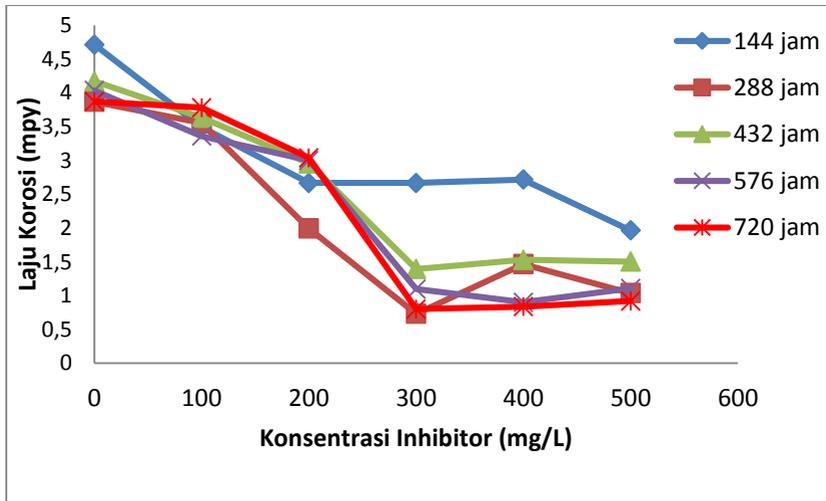


(a)



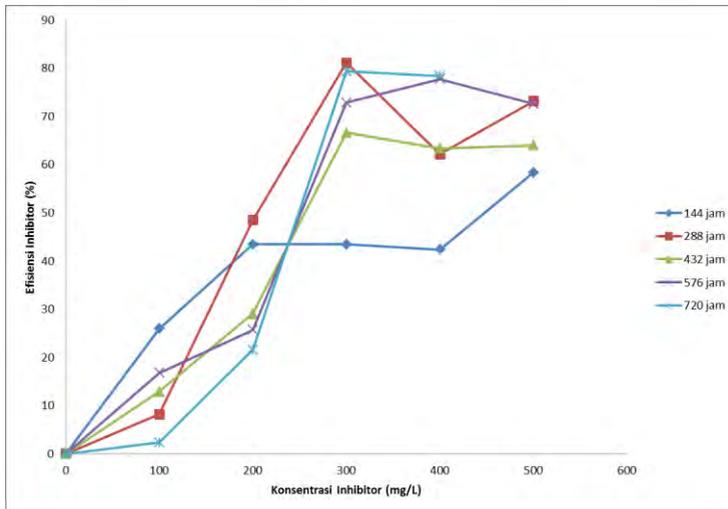
(b)

Gambar 4.7 (a) Baja API 5L grade B sebelum dilakukan perendaman (b) Baja API 5L grade B setelah dilakukan perendaman



Gambar 4.8 Grafik konsentrasi inhibitor ekstrak daun salam terhadap laju korosi pada pengujian *weight loss*

Grafik diatas menjelaskan bahwa penambahan inhibitor ekstrak daun salam ini mempengaruhi laju korosi pada baja API 5L. Terlihat pada grafik diatas bahwa pada 0 ppm atau tanpa penambahan inhibitor memiliki laju korosi yang paling tinggi jika dibandingkan dengan yang diberi inhibitor ekstrak daun salam yang cenderung lebih rendah. Terlihat pada grafik berwarna merah yaitu grafik dengan waktu perendaman selama 720 jam atau 30 hari sangat terlihat bahwa inhibitor ekstrak daun salam yang dilarutkan pada larutan NaCl 3.5% ini bekerja optimal pada setiap konsentrasi. Hal ini mungkin diakibatkan ekstrak daun salam ini memerlukan waktu yang cukup lama untuk dapat larut sepenuhnya dalam larutan NaCl 3.5% ini sehingga dapat membentuk suatu inhibisi yang dapat menghambat laju korosi itu sendiri.



Gambar 4.9 Grafik konsentrasi inhibitor ekstrak daun salam terhadap efisiensi inhibitor ekstrak daun salam pada pengujian *weight loss*

Dari grafik yang tampak pada gambar 4.10 diatas menunjukkan apa yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa laju korosi berbanding terbalik dengan efisiensi inhibitor. Terlihat pada gambar 4.8 diatas bahwa efisiensi yang tertinggi terdapat pada penambahan konsentrasi inhibitor ekstrak daun salam sebanyak 300 mg/L. Selain itu grafik pada perendaman dengan lama perendaman 720 jam atau 30 hari menunjukkan grafik yang cukup stabil, hal mungkin diakibatkan ekstrak daun salam ini memerlukan waktu yang cukup lama agar dapat larut dalam media NaCl 3.5% ini.

4.1.3 Hasil Uji EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*)

Untuk mengetahui mekanisme korosi baja dalam larutan dengan dan tanpa kontaminasi, serta efektivitas inhibisi korosi oleh inhibitor, dilakukan pengukuran *EIS* terhadap sampel baja

API 5L yang telah dicari efisiensi tertingginya melalui uji *weight loss*. EIS menyediakan metode baru untuk mengkarakterisasi proses elektroda dan interface yang kompleks. Metode ini mempelajari respon sistem penerapan sinyal amplitudo AC kecil periodik. analisa sistem respon berisi informasi tentang antarmuka, struktur dan reaksi yang terjadi di sana. Pada prinsipnya EIS digunakan untuk menentukan parameter kinetika elektrokimia berkaitan dengan elemen-elemen listrik seperti tahanan polarisasi (R_p), tahanan larutan (R_s), dan kapasitansi lapis rangkap (Cdl). Dimana uji EIS digunakan untuk mengamati mekanisme inhibisi yang nantinya dijelaskan dengan parameter-parameter elektrokimia berupa rangkaian listrik yang disebut *equivalent circuit*.

Hasil dari pengujian EIS diungkapkan dalam aluran Nyquist. Aluran Nyquist berupa diagram yang berbentuk setengah lingkaran yang mengalurkan impedansi nyata (*real*) terhadap impedansi imajiner (*imaginer*). Pada umumnya, alur Nyquist yang dihasilkan tidak selalu menunjukkan grafik berbentuk setengah lingkaran, melainkan semi-lingkar, hal ini dapat dihubungkan dengan dispersi frekuensi akibat dari kekerasan permukaan elektroda.

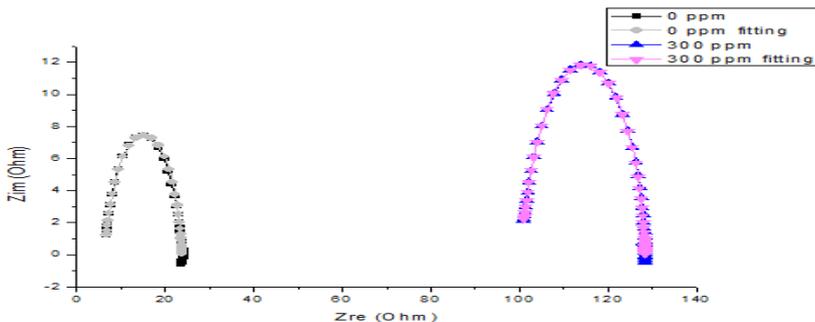
4.1.3.1 Hasil Uji EIS pada media H_2SO_4 1 M

Pada kurva Nyquist yang telah dilakukan *fitting* pada larutan H_2SO_4 1M yang ditampilkan dibawah terlihat bahwa grafik pada gambar 4.9 semakin bergeser kekanan antara 0 mg/L dengan penambahan inhibitor ekstrak daun salam. Selain itu juga diameter dari grafik Nyquist bertambah seiring dengan penambahan inhibitor. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian ekstrak daun salam dapat menghambat laju korosi pada baja API 5L grade B.

Pencocokan (*fitting*) dilakukan dengan menggunakan software ZMAN, sehingga didapatkan rangkaian listrik ekuivalen atau *equivalent circuit* dari hasil kurva Nyquist pengujian EIS yang telah dilakukan *fitting*. Dari *equivalent circuit* ini dapat

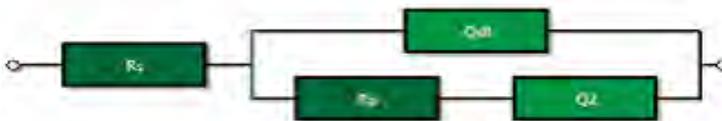


diketahui mekanisme inhibisi dari inhibitor ekstrak daun salam. *Equivalent circuit* digunakan untuk menentukan jenis-jenis impedansi yang terjadi pada saat sistem sedang diuji sehingga menghasilkan parameter-parameter elektrokimia berupa R-resistor, C-kapasitor, L-Induktor, Q-Constant Phase element, dan lain-lain. Hasil *fitting* pada media H_2SO_4 1M dapat dilihat pada gambar 4.9 berikut.



Gambar 4.10 Hasil *fitting* pengujian EIS Baja API 5L saat kondisi blanko dan penambahan 300 mg/L ekstrak daun salam dalam larutan H_2SO_4 1M.

Hasil *fitting* kurva Nyquist dengan menggunakan software ZMAN menghasilkan *equivalent circuit* untuk media H_2SO_4 1M ini. Pada *equivalent circuit* diperoleh elemen-elemen seperti resistor (R), kapasitor (C), dan *Constant Phase Element* (Q). Berikut merupakan gambar *equivalent circuit* pada larutan H_2SO_4 1M.



Gambar 4.11 *Equivalent circuit* dalam larutan H_2SO_4 1M dari kurva Nyquist dengan menggunakan software ZMAN.

Dari *equivalent circuit* pada gambar diatas didapatkan nilai dari elemen-elemen tersebut seperti yang ditampilkan tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Data hasil *Equivalent Circuit* inhibitor ekstrak daun salam pada larutan H_2SO_4 1 M.

| Parameter | konsentrasi mg/L) | |
|-----------------|-------------------|----------|
| | 0 | 300 |
| Rs (ohm) | 6,427325 | 100,5509 |
| Qy1 (μF) | 0,00018 | 0,000123 |
| Qa1 | 0,885777 | 0,884254 |
| Rp (ohm) | 17,54125 | 28,12057 |
| Qy2 (μF) | 6,349451 | 1,955565 |
| Qa2 | 2,641099 | 1,562906 |

Dalam *equivalent circuit* dari hasil *fitting* kurva Nyquist di media H_2SO_4 1 M dengan menggunakan software ZMAN diperoleh komponen-komponen listrik yang nilainya telah ditampilkan pada tabel 4.2 diatas. Terdapat komponen-komponen listrik seperti Rs, Rct, dan Q. Dimana Rs merupakan tahanan larutan, Rct merupakan tahanan yang terjadi diakibatkan adanya transfer muatan antara larutan elektrolit yang dalam sistem ini merupakan H_2SO_4 1 M dengan logam yaitu baja API 5L. Sedangkan Q (*constant phase element*) atau biasa juga disingkat dengan CPE ini memiliki fungsi seperti kapasitor dalam rangkaian ini, jika dilihat dari data yang ada pada tabel 4.2 diatas yang lebih mendekati nilai satu. Sedangkan jika nilai dari CPE ini mendekati nilai 0 maka akan lebih berfungsi sebagai resistor ideal. Permukaan yang tidak rata akan menyebabkan kapasitas double layer muncul sebagai Q. Nilai Cdl dapat dihubungkan dengan adsorpsi senyawa inhibitor pada permukaan logam.

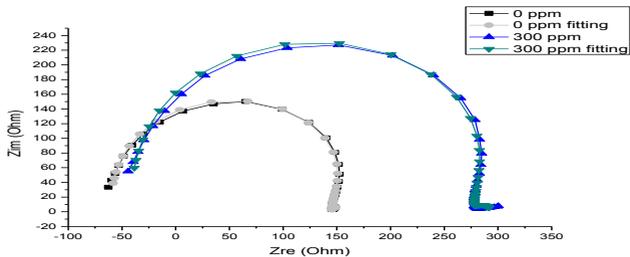


Model rangkaian listrik ekuivalen pada Gambar diatas menunjukkan bahwa proses korosi baja karbon dikendalikan oleh kinetika transfer muatan, dinyatakan oleh nilai R_p dan Q_{dl} . Mekanisme inhibisi sistein melalui pembentukan lapisan pelindung teradsorpsi pada permukaan baja karbon. Lapisan pelindung yang terbentuk tidak merata, menunjukkan bahwa proses korosi dikendalikan oleh difusi ion-ion H^+ yang menuju permukaan baja karbon akibat porositas pada lapisan pelindung cenderung meningkat. Selain itu juga ekstrak daun salam juga terbukti mengubah lingkungan elektrolit dibuktikan dengan nilai R_s yang bertambah dengan adanya penambahan ekstrak daun salam.

4.1.3.2 Hasil Uji EIS pada media NaCl 3.5%

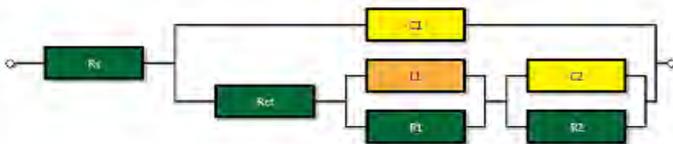
Pada kurva Nyquist yang terbentuk pada larutan NaCl 3.5% diatas terlihat bahwa diameter dari kurva Nyquist bertambah antara blanko atau tanpa penambahan inhibitor dengan setelah ditambahkan inhibitor ekstrak daun salam. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian ekstrak daun salam dapat menghambat laju korosi pada baja API 5L grade B.

Berikutnya dilakukan *fitting* kurva Nyquist yang telah didapat pada gambar 4.11. Hal ini ditujukan agar sifat-sifat listrik pada antarmuka antara logam dan larutan dapat dianalisis. Pencocokan (*fitting*) dilakukan dengan menggunakan software ZMAN, sehingga didapatkan rangkaian listrik ekuivalen atau *equivalent circuit* dari hasil kurva Nyquist pengujian EIS yang telah dilakukan *fitting*. Dari *equivalent circuit* ini dapat diketahui mekanisme inhibisi dari inhibitor ekstrak daun salam. *Equivalent circuit* digunakan untuk menentukan jenis-jenis impedansi yang terjadi pada saat sistem sedang diuji sehingga menghasilkan parameter-parameter elektrokimia berupa R-resistor, C-kapasitor, L-Induktor, Q-Constant Phase element, W-Warburg dan lain-lain. Hasil *fitting* pada media NaCl 3.5% dapat dilihat pada gambar 4.11 berikut.



Gambar 4.12 Hasil *fitting* pengujian EIS Baja API 5L konsentrasi inhibitor 0 ppm dan 300 ppm dalam larutan NaCl 3.5%.

Hasil *fitting* kurva Nyquist dengan menggunakan software ZMAN menghasilkan *equivalent circuit* untuk media NaCl 3.5% ini. Pada *equivalent circuit* diperoleh elemen-elemen seperti resistor (R), kapasitor (C), induktor (L). Berikut merupakan gambar *equivalent circuit* pada larutan NaCl 3.5%.



Gambar 4.13 *Equivalent circuit* dalam larutan NaCl 3.5% dari kurva Nyquist dengan menggunakan software ZMAN.

Dari *equivalent circuit* pada gambar diatas didapatkan nilai dari elemen-elemen tersebut seperti yang ditampilkan tabel 4.3 berikut.



Tabel 4.3 Data hasil *Equivalent Circuit* inhibitor ekstrak daun salam pada larutan NaCl 3.5%.

| Parameter Elektrokimia | Konsentrasi (ppm) | |
|------------------------|-------------------|----------|
| | 0 | 300 |
| Rs (ohm) | -60,5351 | -42,2299 |
| C1 (μ F) | 4,20E-09 | 2,73E-09 |
| Rct (ohm) | 205,9226 | 319,955 |
| L1 | 0,000101 | 0,000151 |
| R1 (ohm) | 518,2416 | 794,5761 |
| C2 (μ F) | 3,80E-05 | 7,15E-06 |
| R2 (ohm) | 13,20838 | 16,01391 |

Equivalent circuit yang didapatkan di media NaCl 3.5% yang tampak pada gambar diatas dapat membantu untuk menganalisa mekanisme inhibisi dari ekstrak daun salam pada media NaCl 3.5%. dapat dilihat pada gambar diatas rangkaian dimulai dengan Rs yang menunjukkan adanya hambatan pada larutan yang terjadi antara elektroda *reference* dengan elektroda kerja. Pada frekuensi tinggi terdapat kapasitansi yang nilainya sebesar nilai C1 pada tabel 4.3. Proses korosi yang terjadi pada permukaan luar baja API 5L grade B dimana terdapat hambatan transfer muatan Rct terjadi fenomena induktansi yang ditunjukkan oleh L1. Pada frekuensi medium terdapat hambatan R1 pada C2. Pada frekuensi rendah terdapat hambatan sebesar R2.

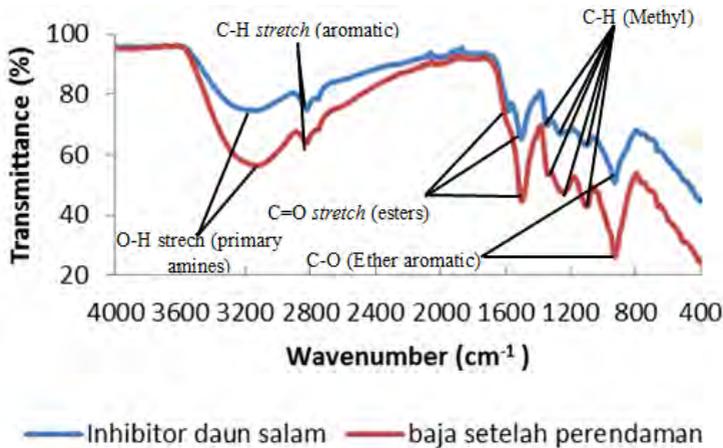
Untuk menghitung efisiensi inhibitor ekstrak daun salam dari pengujian EIS ini bisa dilakukan dengan membandingkan nilai Rct setelah ditambahkan inhibitor dengan nilai Rct sebelum penambahan inhibitor. Berikut merupakan persamaan untuk menentukan efisiensi inhibitor pada pengujian EIS.

$$\%IE = \frac{Rct(inh) - Rct}{Rct(inh)} \times 100 \% \dots (4.2)$$

Setelah melakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan diatas untuk mendapatkan efisiensi inhibitor ekstrak daun salam pada dua larutan pada metode EIS ini didapatkan efisiensi inhibitor sebesar 37,5814% pada media H₂SO₄ 1M dan 35,6401% pada media NaCl 3.5%. Efisiensi inhibitor yang didapat melalui perhitungan pada media H₂SO₄ 1M dengan metode EIS memiliki nilai yang tidak jauh beda dengan perhitungan efisiensi inhibitor yang didapatkan dari metode *weight loss* yaitu sebesar 36,82914141%. Namun hal ini berbeda dengan nilai efisiensi inhibitor pada media NaCl 3.5% dengan menggunakan metode *weight loss* dan EIS yang berbeda cukup jauh. Hal ini bisa diakibatkan oleh waktu perendaman yang singkat pada metode EIS, atau juga bisa diakibatkan oleh elektrolit yang kurang homogen sehingga mengakibatkan nilai efisiensi inhibitor dari kedua metode tersebut tidak sama.

4.1.4 Hasil Uji FT-IR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*)

Pengujian FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) dilakukan untuk mengetahui gugus-gugus fungsi yang ada pada inhibitor ekstrak daun salam, baja API 5L setelah dilakukan perendaman dengan metode *weight loss*. Diharapkan untuk menemukan gugus fungsi yang dapat berfungsi sebagai antioksidan. Dalam ekstrak daun salam senyawa fenol diduga berfungsi sebagai antioksidan yang diharapkan dapat menghambat laju korosi yang terjadi pada baja API 5L Grade B yang telah dilakukan perendaman. Berikut merupakan gambar dan tabel yang didapatkan dari pengujian FTIR yang dilakukan pada ekstrak daun salam dan baja API 5L Grade B setelah dilakukan perendaman dilingkungan NaCl 3.5%.



Gambar 4.13 Spektra FTIR ekstrak daun salam dan Baja API 5L grade B setelah perendaman dilingkungan NaCl 3.5%

Tabel 4.4 Analisa FTIR ekstrak daun salam dan adsorpsi lapisan protektif yang terbentuk pada permukaan baja API 5L grade B dengan IR Table Reference

| No | Bilangan Gelombang daun salam (cm-1) | Bilangan Gelombang Adsopsi (cm-1) | Bilangan Gelombang Tabel Korelasi (cm-1) | Perkiraan Gugus Fungsi |
|----|--------------------------------------|-----------------------------------|--|------------------------------|
| 1 | 3244.40 | 3234.63 | 3200-4000 | O-H stretch (primary amines) |
| 2 | 2925.47 | 2925.73 | 2800-3000 | C-H stretch (aromatic) |
| 3 | 1687.30 | 1601.13 | 1550-1870 | C=O stretch (esters) |
| 4 | 1605.78 | - | | |

Lanjutan tabel 4.4

| No | Bilangan Gelombang daun salam (cm-1) | Bilangan Gelombang Adsorpsi (cm-1) | Bilangan Gelombang Tabel Korelasi (cm-1) | Perkiraan Gugus Fungsi |
|----|--------------------------------------|------------------------------------|--|------------------------|
| 5 | 1446.45 | 1441.88 | 1150-1490 | C-H (Methyl) |
| 6 | 1366.65 | 1342.53 | | |
| 7 | 1202.78 | 1203.85 | | |
| 8 | 1031.77 | 1030.60 | 1020-1310 | C-O (Ether aromatic) |

Dapat dilihat dari tabel 4.8 bahwa terdapat dalam ekstrak daun salam ini memiliki gugus berupa O-H, C-H, C=O dan C-O. Hal ini menunjukkan adanya gugus fenol pada ekstrak daun salam. Fenol ini berperan penting untuk mencegah terjadinya oksidasi, sehingga dapat dikatakan bahwa ekstrak daun salam merupakan jenis inhibitor organik. Pada gambar 4.13 terlihat bahwa hasil FTIR pada ekstrak daun salam dan baja API 5L setelah dilakukan perendaman tidak terdapat perbedaan yang bergitu jauh. Diketahui bahwa frekuensi gugus fenolik O-H yang ada pada ekstrak daun salam berada pada 3244.40 cm^{-1} dan menjadi 3234.63 cm^{-1} . Untuk frekuensi C-H regang cincin aromatik pada daun salam 2925.47 cm^{-1} menjadi 2925.73 cm^{-1} pada baja API 5L setelah perendaman dilingkungan NaCl 3.5%. sedangkan pada C=O regang mengalami perubahan 1687.30 cm^{-1} dan 1605.78 cm^{-1} pada ekstrak daun salam menjadi 1601.13 cm^{-1} pada baja setelah perendaman. Perubahan ini diduga karena ekstrak daun salam tidak bisa teradsorpsi semua ke permukaan logam, seperti yang nampak pada gelombang dengan gugus C=O tersebut. Terdapat juga gugus C-H yang terbentuk pada ekstrak daun salam dan baja setelah perendaman di lingkungan NaCl



3.5%. juga terdapat gugus C-O yang terbentuk pada spectra dari kedua sampel tersebut.

Dari hasil perbandingan diatas dari spektra ekstrak daun salam dan baja API 5L grade B setelah dilakukan perendaman dilingkungan NaCl 3.5% terdapat perbedaan gugus fungsi yang didapatkan, terdapat perbedaan serapan didaerah C=O. Namun digugus fungsi selain itu tidak terdapat perbedaan yang jauh dari kedua sampel. Hal ini menunjukkan bahwa ekstrak daun salam teradsorpsi di permukaan logam, meskipun ada juga gugus yang tidak terbentuk dipermukaan logam yang telah dilakukan perendaman.

4.2 Pembahasan

Setelah melukan semua pengujian pada penelitian ini maka didapatkan sebuah kesimpulan bahwa ekstrak daun salam merupakan inhibitor organik yang mampu menghambat laju korosi. Hal ini dapat dilihat dari pengujian EIS yang telah dilakukan. Dari pengujian untuk mengetahui jumlah senyawa flavonoid yang ada pada ekstrak daun salam dengan menggunakan spektrofotometri UV-Vis dapat dilihat bahwa ekstrak daun salam memiliki nilai absorpsi tertinggi pada panjang gelombang 430 nm. Nilai absorbansi pada panjang gelombang ini adalah 0,630 dan 0,601 yang memiliki persen flavanoid sebesar 0,62% dan 0,68%. Sedangkan pada pengujian *weight loss* didapatkan bahwa inhibitor ekstrak daun salam dapat menghambat laju korosi meskipun masih terus berjalan proses korosi tersebut. Terlihat pada media H_2SO_4 1M tanpa penambahan inhibitor laju korosi sebesar 2273,366 mpy dan berkurang menjadi 1162,359 mpy ketika ditambahkan sebanyak 300 ppm yang merupakan efisiensi terbaik dari inhibitor ekstrak daun salam pada media H_2SO_4 1M dengan nilai sebesar 36,829%. Pada media NaCl 3.5% didapatkan laju korosi pada saat belum adanya penambahan inhibitor sebesar 4,715 mpy dan setelah adanya penambahan inhibitor sebanyak 300 mg/L laju korosi

menjadi 0,733 mpy dan memiliki efisiensi inhibitor sebesar 81,052%. Sedangkan pada pengujian EIS didapatkan efisiensi inhibitor yang dapat diketahui dengan cara membandingkan R_{ct} setelah dan sebelum adanya penambahan inhibitor. Efisiensi inhibitor ekstrak daun salam pada media H_2SO_4 1M sebesar 37,5814% dan 35,6401% pada media NaCl 3.5%. Selain itu dengan metode EIS dapat diketahui mekanisme inhibisi dari ekstrak daun salam yang didapatkan dari *equivalent circuit* pada Nyquist plot hasil pengujian EIS ini. Pada *equivalent circuit* pada media H_2SO_4 1M mengindikasikan bahwa inhibitor ekstrak daun salam berikatan dengan lingkungan H_2SO_4 1M yang ditunjukkan dengan nilai R_s yang bertambah besar antara tanpa penambahan inhibitor dengan penambahan inhibitor. Selain itu terdapat indikasi terbentuknya suatu lapisan, hal ini dibuktikan dengan nilai R_{ct} yang bertambah besar dengan adanya penambahan ekstrak daun salam sebanyak 300 mg/L. Nilai Q_{dl} yang ada pada *equivalent circuits* mengindikasikan bahwa terdapat adsorpsi senyawa inhibitor pada permukaan logam. Sedangkan *equivalent circuit* yang terbentuk saat pengujian pada media NaCl 3.5% lebih kompleks, terdapat R_s , C_1 , R_{ct} , L_1 , C_2 , R_2 sehingga didapatkan bahwa ekstrak daun salam merupakan inhibitor adsorpsi dengan membentuk lapisan pasif. Lapisan pasif yang terbentuk ini menghambat terjadinya difusi oksigen. Pada pengujian FTIR yang ditujukan untuk menemukan gugus fungsi ikatan antara senyawa fenol dengan logam, menunjukkan spektra yang tidak jauh berbeda antara spektra ekstrak daun salam dan baja API 5L grade B setelah dilakukan perndaman pada lingkungan NaCl 3.5%. Hal ini dapat disebabkan karena ekstrak daun salam teradsorpsi ke permukaan logam.



(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terhadap baja API 5L Grade B dengan variasi konsentrasi inhibitor daun salam dalam media korosif 1M H_2SO_4 dan 3.5% NaCl, dapat disimpulkan bahwa :

1. Penambahan inhibitor daun salam dalam lingkungan 1M H_2SO_4 dan 3.5% NaCl dapat menurunkan laju korosi pada baja API 5L Grade B. Pada lingkungan lingkungan 1M H_2SO_4 laju korosi pada konsentrasi 300 ppm daun salam adalah sebesar 1162,359 mpy dan 2273.366 mpy saat tidak ditambahkan inhibitor dengan efisiensi inhibitor sebesar 36,829%. Sedangkan untuk konsentrasi 300 ppm dalam larutan 3.5% NaCl laju korosi baja API 5L Grade B sebesar 0,733 mpy dan 3.872 mpy kondisi tanpa inhibitor dengan efisiensi inhibitor sebesar 81,052%.
2. Mekanisme kerja dari inhibitor daun salam pada penelitian ini dalam larutan H_2SO_4 1M adalah bekerja secara adsorpsi dengan lingkungan yang di tunjukkan dengan nilai R_s yang bertambah besar seiring penambahan inhibitor ekstrak daun salam. Selain itu terdapat indikasi terbentuknya suatu lapisan yang ditunjukkan dengan adanya Q_{dl} dan nilai R_{ct} yang bertambah besar sehingga dapat dikatakan terjadi adsorpsi senyawa ekstrak daun salam dipermukaan logam. Sedangkan pada media NaCl 3.5%, equivalent yang didapat lebih kompleks. Namun dapat dikatakan bahwa mekanisme kerjanya adalah dengan cara membentuk lapisan pasif sehingga menghambat terjadinya difusi oksigen. Hal ini dapat dilihat dari adanya nilai C yang menunjukkan adanya pengkatan oksigen pada elektrolit.



5.2 Saran

1. Tingkat korosi yang ada pada media H_2SO_4 1M terlalu ekstrim dapat dilihat dengan pH yang berada pada 1-2 sehingga penggunaan media ini tidak aplikatif dalam dunia industri.
2. Perlu adanya percobaan pada konsentrasi inhibitor yang lebih tinggi sehingga dapat diketahui konsentrasi dengan efisiensi terbaik untuk menurunkan laju korosi.
3. Perlu adanya variasi temperatur dan kecepatan aliran fluida pada pengujian selanjutnya karena penggunaan inhibitor tidak hanya di daerah fluida statis saja tetapi juga fluida dinamis.

DAFTAR PUSTAKA

- A.Hakim, Alfin.2011. **Pengaruh Inhibitor Korosi Berbasiskan Senyawa Fenolik Untuk Proteksi Pipa Baja Karbon pada Lingkungan 0.5, 1.5, 2.5, 3.5 % NaCl yang Mengandung Gas CO₂**. Departemen Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia.
- A. Ostovari, et al. 2009. **“Corrosion Inhibition of Mild Steel in 1 M HCl solution by Henna Extract : A comparative study of the Inhibition by Henna and Its Constituents (Lawson, Gallic Acid, Glucosed, and Tannic Acid)”**. Corrosion Science Vol 51, issue 9, pp. 1935-1949
- Abdurohman, D. 1998. **Isolasi Tanin dari Daun Kaliandra (*Calliandra calothyrsus*)**. *Laporan Praktek* Tidak diterbitkan. Bogor: Departemen Kimia FMIPA IPB.
- Adi. Putra. Rangga.,”*Pengaruh waktu perendaman dengan penambahan ekstrak ubi ungu sebagai inhibitor organik pada baja karbon rendah di lingkungan HCl 1M*”. Skripsi. Universitas Indonesia., 2011
- Adjirni. 1999. **“Warta Tumbuhan Obat Indonesia, Volume 5, Nomor 3”**. Jakarta:Kelompok Kerja Nasional Tumbuhan Obat Indonesia.
- Anonymous. 2005. **“Daun salam (*Syzygium polyanthum* [Wight.] Walp.) sebagai obat. [Online]”**. Available from: URL: <http://www.pdpersi.co.id/?show=detailnews&kode=1024&tbl=alternatif>

- ASTM (American Society for Testing and Materials). 2002
“Solution Recommended for Cleaning of Corrosion Products Formed on Iron and Steels, G 1-90 vol 3.2”.
Amerika: ASTM International (2002).
- Bard, A.J., and Faulkner, L.R. 1980. **“Electrochemical Methods (316)”**. John Wiley & Sons, New York.
- Belitz, H.D. 1984. **“Food Chemistry”**. Springer Verlag, New York
- Brown, A. 2000. **“Understanding Food : Principles and Preparation. Wadsworth Thomson Learning”**, USA.
- Carbonaro, M., *et.al.* 2005. **Absorption of Quercetin and Rutin in Rat Small Intestine**. *Annals Nutrition and Metabolism* 2005;49:178-182(DOI:10.1159/000086882
- Chen, H., Bao, Y., He, Y., and Sun, D. W., 2007, **Visible and Near Infrared Spectroscopy for Rapid Detection of Citric and Tartaric Acids in Orange Juice**, *J Food Engineering*, 82 : 253-260
- Conner, D.E. and Beuchat, L.R. 1984. **“Effect of Essential Oils from Plants on Growth of Food Spoilage Yeast”**. *J. Food Sci.* 49:429-434.
- Delinder, L.S Van. 1984. **“Corrosion Basic-An Introduction”**. Houston, TX: NACE.
- Dewoto HR, Wardhini S. **“Vitamin dan mineral. Dalam : Ganiswara SG, editor. Farmakologi dan Terapi”**. Jakarta : Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia, 1995: 714-37.

- Fernandes, B. R. (2011). **Spektroskopi Infra Merah (FT-IR) dan Sinar Tampak (UV-Vis)**. Padang: Pascasarjana Universitas Andalas.
- Fontana, Mars G., 1987. ” **Corrosion Engineering 3rd Edition**”. New York: Mc Graw-Hill Book Company.
- Gamry, I. 2005, “*Basics of Electrochemical Impedance Spectroscopy*”, Gamry Instrument Inc.
- Gordon, M.H 1990. “**The Mechanism of Antioxidants Action In Vitro**”. London : Elsivier Applied Science
- Halimatuddahlia. 2003. “**Pencegahan Korosi Dan Scale Pada Proses Produksi Minyak Bumi**”, Jurusan Teknik Kimia Universitas Sumatera Utara.
- Hamilton, R.J. 1983. “**The Chemistry of Rancidity in Foods. In J.C. Allen and R.J. Hamilton**”. London : editor. Rancidity in Foods. Applied Science Publisher.
- Harborne JB. 1987. *Metode Fitokimia*. Padmawinata K dan Soediro I, penerjemah. Bandung: Penerbit ITB. Terjemahan dari: *Phytochemical Methods* .
- Hatch GB, Nathan CC. “**Corrosion Inhibitor. National Association for Corrosion**” *Engineers*. page : 126-147.
- Imtihanah. 1989. Isolasi Tanin dari Uncaria Gambir (Hunter) Roxb dan Penentuan Kadarnya dalam Ekstrak. *Skripsi* Tidak diterbitkan. Bandung: Jurusan Kimia FMIPA ITB.
- Jones, Denny A., 1992. “**Principle and Prevention Corrosion**”. Singapura : Maxwell Macmillan.

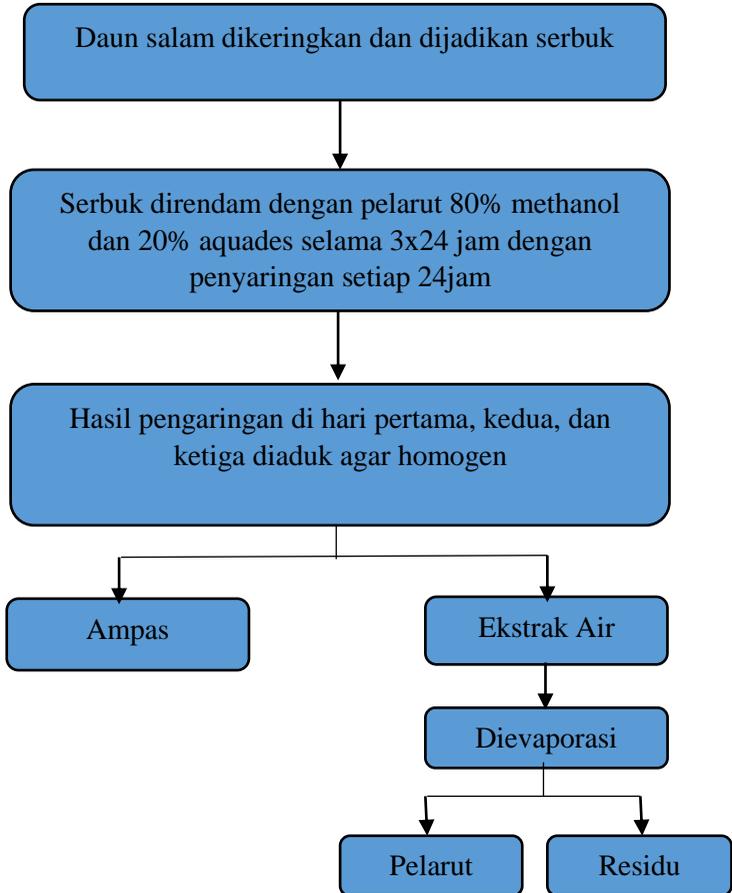
- Markham KR. 1988. *Techniques of Flavonoid Identification*. London: Academic Pr.
- Masduki I, 1996. **Efek Antibakteri Ekstrak Biji Pinang (*Areca catechu*) terhadap *S. aureus* dan *E. coli*. *Cermin Dunia Kedokteran* 109 : 21-24.**
- McCafferty, E. **Introduction to Corrosion Science**. Washington DC: Springer, 2009.
- Michael RP. **“Flavonoids attenuate cardiovascular disease, inhibit phosphodiesterase, and modulate lipid homeostasis in adipose tissue and liver. [Online]”**. 2007 [cited 2007 Jan 5]; [16 screens]. *Experimental Biology and Medicine* 231 : 1287 – 1299. Available from : [URL:http://www.ebmonline.org](http://www.ebmonline.org)
- Neldawati, Ratnawulan, & Gusnedi. (2013). **Analisis Nilai Absorbansi dalam Penentuan Kadar Flavonoid untuk Berbagai Jenis Daun Tanaman Obat**. Jurusan Fisika, Universitas Negeri Padang
- Perez, Nestor. 2004. **“*Electrochemistry and Corrosion Science*.”** Kluwer Academic Publisher
- Pierre R. Roberge. 2000. **“Handbook of Corrosion Engineering”**. USA : The McGraw-Hill Companies, Inc
- Pratiwi, Silvyaa., 2008, **“Mikrobiologi Farmasi”**. Penerbit Erlangga, Jakarta
- Roberge, P. R. 2000. **“Handbook of Corrosion Engineering”**: Mc Graw-Hill. New York.

- Sударsono PN, Gunawan Didik, Wahyuono S, Donatus Argo, Purnomo. **“Tumbuhan Obat II. (Hasil Penelitian, Sifat-sifat, dan Penggunaan)”**. Yogyakarta: Pusat Studi Obat Tradisional Universitas Gajah Mada, 2002.
- Sulistijono, 2000. **“Korosi dan Pengendalian Korosi”**. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Surya, Indra, D., (2004), **“Kimia Dari Inhibitor Korosi”**, UNSUD, Sumatra Utara
- Thomas, A. N. S. 1989. **Tanaman Obat Tradisional**. Kanisius, Yogyakarta.
- Toda, M.S Okubo, Y. Hara & T.S Himamura. 1991. **“Antibakterial & Kakterisidal Activities of Extract & Catechin Against Metal Resisten Staphylococcus aureus”**. Japan. J Bactriol. 46:839-844
- Trethewey, K.R. dan J. Chamberlain. 1991. **“Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan”**. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama.
- Winarno, F.G dan Aman, M. 1981. *Fisiologi Lepas Panen*. Jakarta: Sastra Hudaya.
- Winarsi, Heri. **“Antioksidan alami dan radikal bebas”**. Kanisius. Yogyakarta. 2007

(halaman ini sengaja dikosongkan)

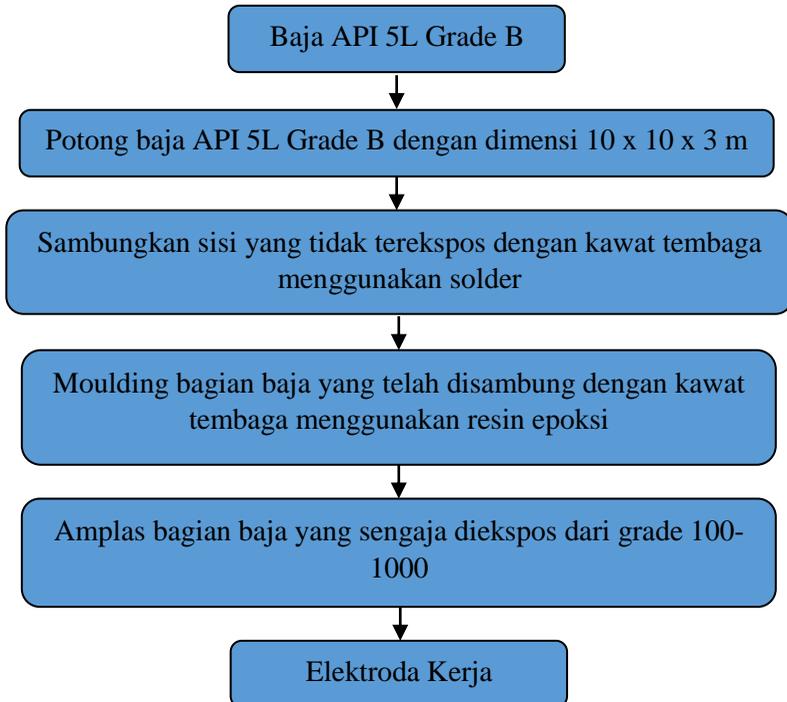
LAMPIRAN A SKEMA KERJA

1. Pembuatan Ekstrak Inhibitor Korosi



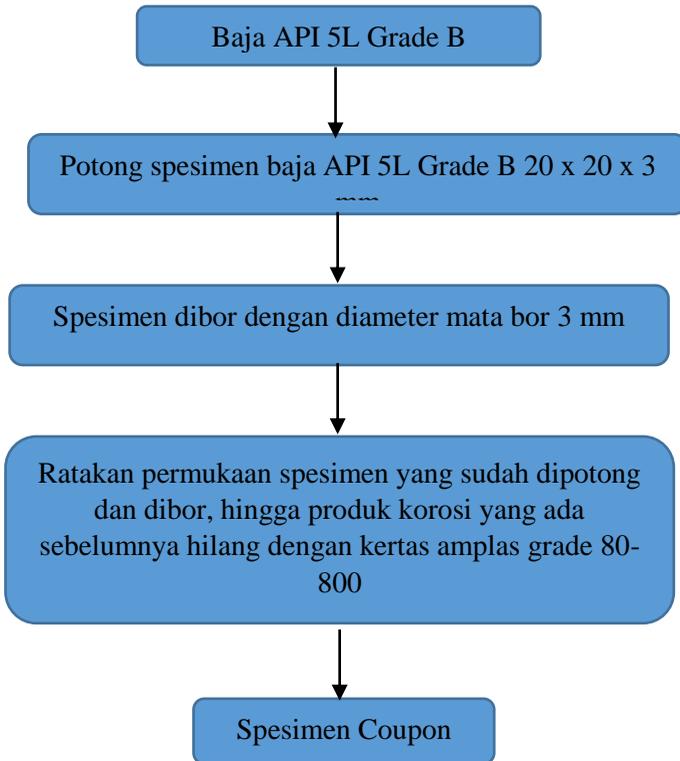
Gambar A.1 Diagram Alir Pembuatan Ekstrak Daun Salam

2. Pembuatan Elektroda Kerja



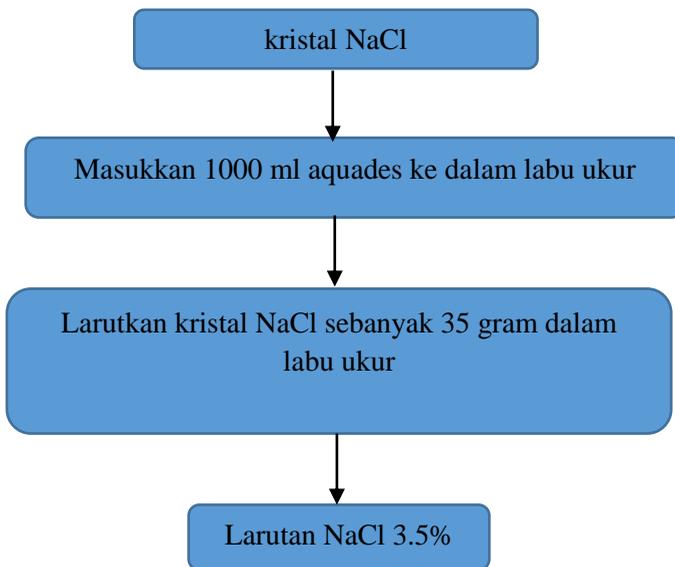
Gambar A.2 Diagram Alir Pembuatan Elektroda Kerja untuk uji EIS

3. Pembuatan Spesimen *Coupon Weight Loss*



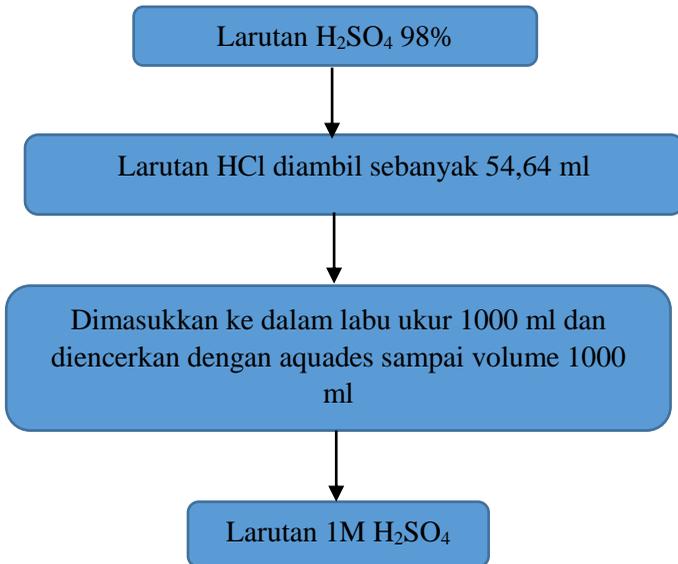
Gambar A.3 Diagram Alir Pembuatan Spesimen *Coupon* untuk uji *weight loss*

4. Pembuatan larutan NaCl 3.5%



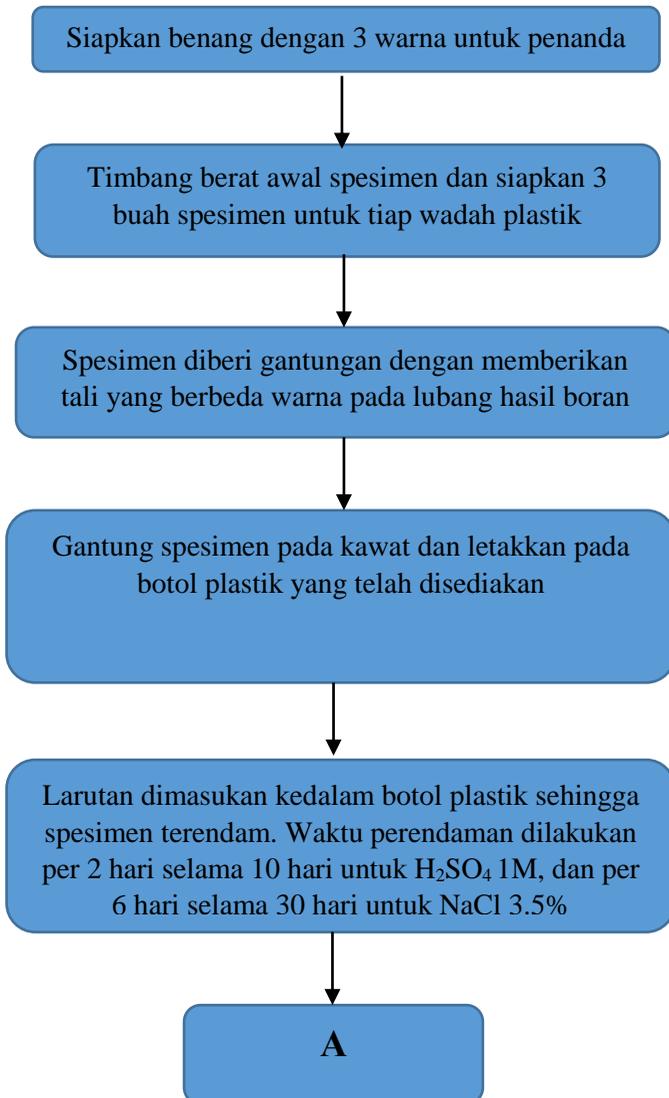
Gambar A.4 Diagram Alir Pembuatan Media NaCl 3.5%

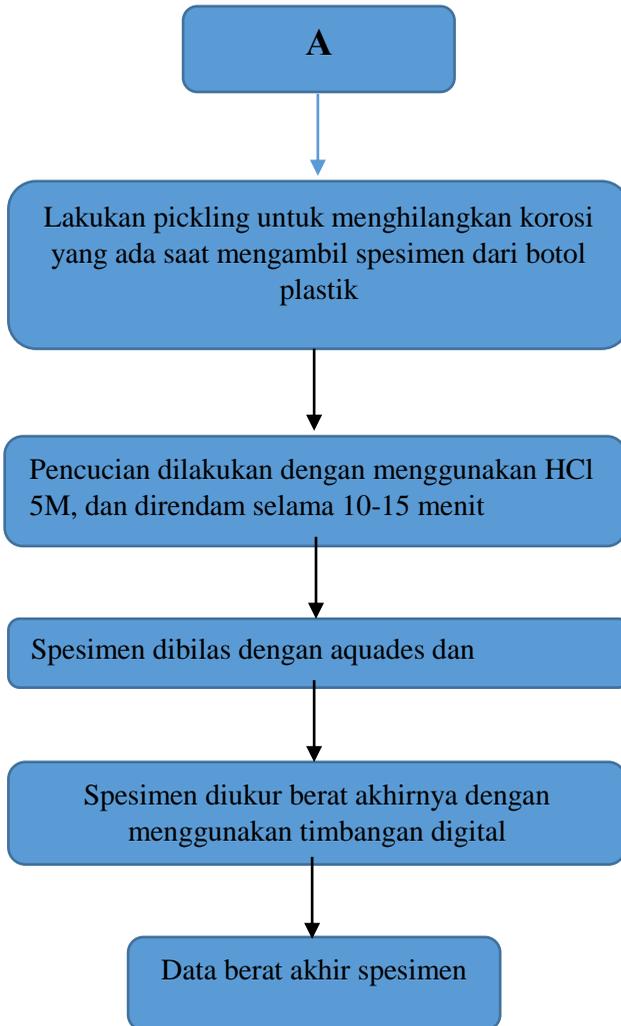
5. Pembuatan larutan H_2SO_4 1M



Gambar A.5 Diagram Alir Pembuatan Media H_2SO_4 1M

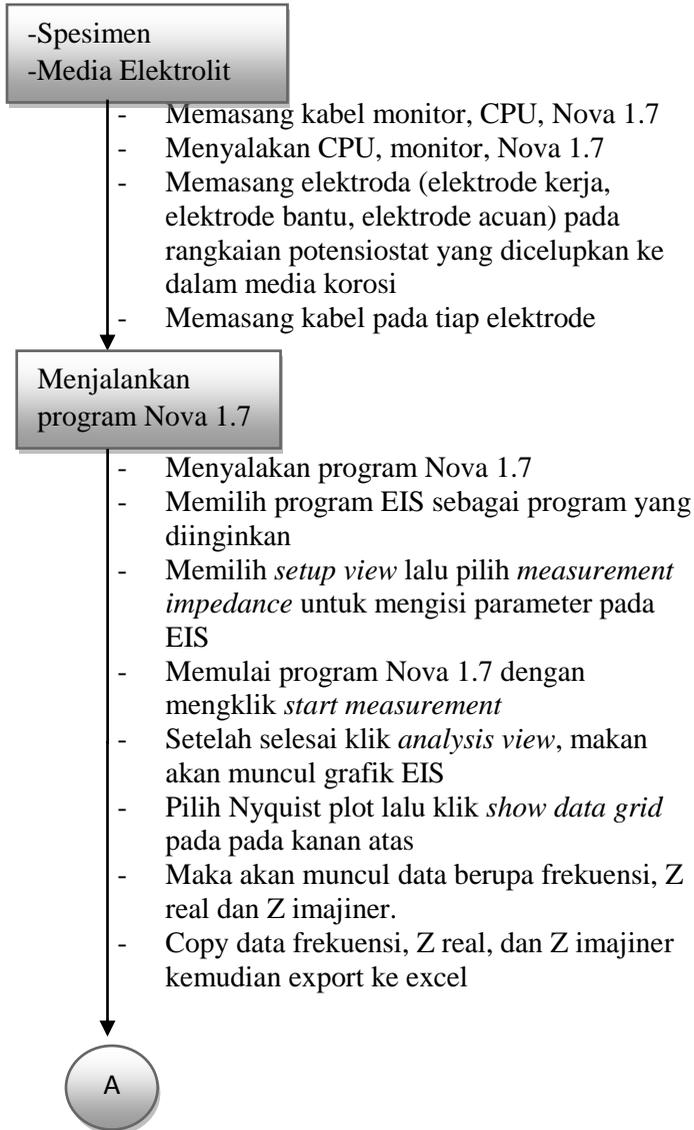
6. SOP Metode *Weight Loss*

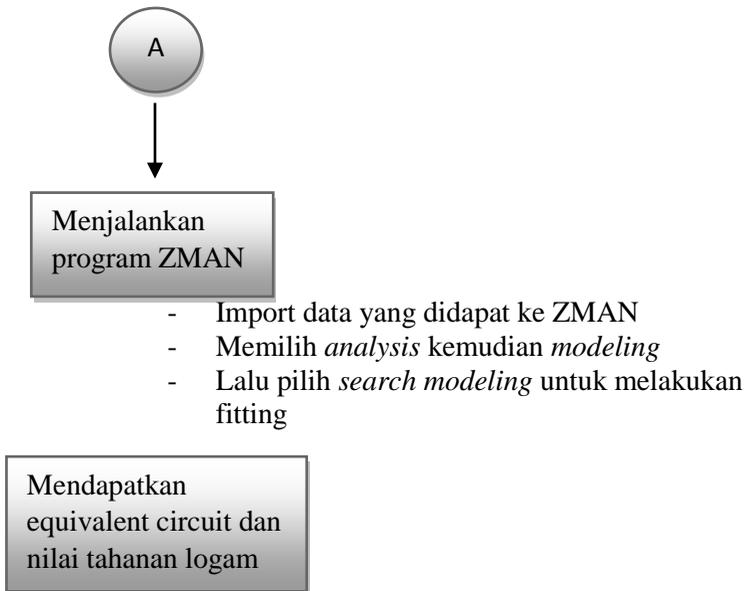




Gambar A.7 Diagram Alir Metode Pengujian *Weight Loss*

7. SOP Metode EIS





Gambar A.6 Diagram Alir SOP Metode EIS

LAMPIRAN B

Pembuatan Media 3.5% NaCl dan 1M H₂SO₄

1. Larutan 3.5% NaCl

Diketahui : massa pelarut = 1000 mL

Ditanya : massa NaCl yang dilarutkan ?

Jawab :

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

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

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

Sehingga massa NaCl yang dilarutkan adalah :

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

2. Larutan 1M H₂SO₄

Diketahui :

Berat jenis H₂SO₄ : 1,83 gr/ml

Mr H₂SO₄ : 98 gr/mol

% H₂SO₄ : 98

Ditanya

Molaritas?

Jawab:

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

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

$$M = 18,3 M$$

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

$$V_1 M_1 = V_2 M_2$$

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

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

Maka untuk mendapatkan 1000 ml larutan H_2SO_4 1M, diambil 54,64 ml H_2SO_4 32% kemudian ditambah aquades hingga volume 1000 ml.

LAMPIRAN C

HASIL PENGUJIAN FLAVONOID TOTAL

Penentuan Kadar Flavonoid

Metode : Spektrofotometri
 Jenis sampel : Ekstrak

Preparasi sampel

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

Prosedur penetapan kadar:

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

Larutan blanko :

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

Pengukuran : Diambil larutan sampel selama 30 menit, scan antara 300-500 nm.
 Ukur absorbansi larutan pada λ maksimum (± 425 nm).

Perhitungan : % Flavonoid = Absorbansi sampel x 1,25 / g sampel

Hasil pengamatan:

| Kode sampel | Flavon 4 - 249 | Absorbansi | % Flavonoid |
|-------------|----------------|---------------|-------------|
| | g sampel | | |
| | 1.1089 | 0.63095 | 0.63 |
| | 1.2780 | 0.60108 | 0.68 |
| | | Rerata | 0.65 |
| | | SD | 0.043 |
| | | %RSD | 6.6 |
| | | Keidakpastian | 0.1 |

320/4

| Kode sampel | Flavon 4 - 251 | Absorbansi | % Flavonoid |
|-------------|----------------|---------------|-------------|
| | g sampel | | |
| | 1.0214 | 0.90857 | 1.12 |
| | 1.0241 | 0.86729 | 1.06 |
| | | Rerata | 1.09 |
| | | SD | 0.045 |
| | | %RSD | 4.2 |
| | | Keidakpastian | 0.1 |

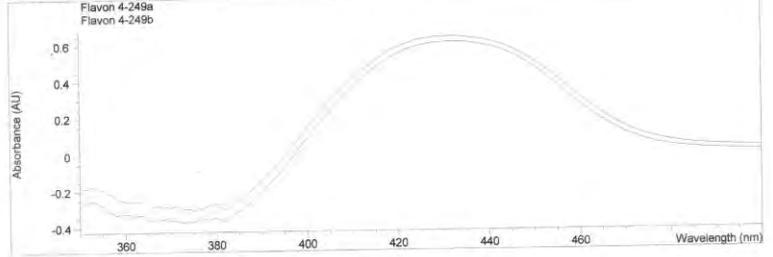
211/4



Gambar C.1 Hasil Pengujian Flavonoid Total

Method file : FE.M (modified) Last update: Date 4/29/2014 Time 10:44:51 AM
 Information : Default Method
 Data File : D:\DATA ANALISIS\FLAVON4-249.SD Created : 4/29/14 9:55:34

Overlaid Spectra:



| # | Name | Abs<430nm> | # | Name | Abs<430nm> |
|---|---------------|------------|---|---------------|------------|
| 1 | Flavon 4-249a | 0.63095 | 2 | Flavon 4-249b | 0.60108 |

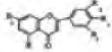
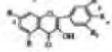
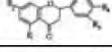
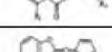
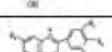
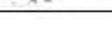
Report generated by : Octa

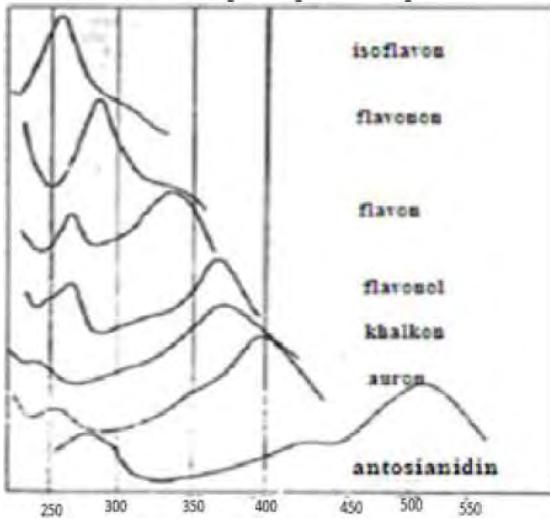
Signature: *Jur*

*** End Fixed Wavelength Report ***

Gambar C.2 Spektra hasil pengujian Flavonoid Total

Tabel C.1 Pita absorpsi UV dari flavonoid

| No | Jenis Flavonoid | Struktur Umum | Pita II | Pita I |
|----|-----------------|---|---------|---------|
| 1 | Flavon |  | 250-280 | 310-350 |
| 2 | Flavonol |  | 250-280 | 330-385 |
| 3 | Flavonon |  | 275-295 | 300-330 |
| 4 | Biflavonil |  | 270-295 | 300-320 |
| 5 | Kalkon |  | 230-270 | 340-390 |
| 6 | Auron |  | 230-270 | 380-430 |
| 7 | Antosianidin |  | 270-280 | 465-560 |



Gambar C.3 Spektrum serapan UV-Vis jenis flavonoid

LAMPIRAN D
Hasil Pengujian Weight Loss

1. Larutan 3.5% NaCl

Tabel D.1 Hasil pengujian *weight loss* inhibitor daun salam di larutan 3.5% NaCl

| Waktu (jam) | Konsentrasi (mg/L) | berat awal (gram) | berat akhir (gram) | ΔW (gram) | CR (mpy) | CR RATA-RATA (mpy) |
|--------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-----------------|---------------------------|
| 144 | 0 | 8,9941 | 8,9788 | 0,0153 | 4,674 | 4,7155 |
| | | 9,4049 | 9,3873 | 0,0176 | 5,377 | |
| | | 10,193 | 10,179 | 0,0134 | 4,094 | |
| | 100 | 8,9436 | 8,9319 | 0,0117 | 3,574 | 3,4933 |
| | | 9,5428 | 9,5314 | 0,0114 | 3,483 | |
| | | 9,0598 | 9,0486 | 0,0112 | 3,422 | |
| | 200 | 9,5149 | 9,5054 | 0,0095 | 2,902 | 2,6684 |
| | | 9,3123 | 9,3059 | 0,0064 | 1,955 | |
| | | 8,6355 | 8,6252 | 0,0103 | 3,147 | |
| | 300 | 9,4758 | 9,4681 | 0,0077 | 2,352 | 2,6684 |
| | | 9,3272 | 9,3178 | 0,0094 | 2,872 | |
| | | 9,3141 | 9,305 | 0,0091 | 2,780 | |
| | 400 | 9,4612 | 9,4532 | 0,008 | 2,444 | 2,7193 |
| | | 9,4866 | 9,4782 | 0,0084 | 2,566 | |
| | | 9,3738 | 9,3635 | 0,0103 | 3,147 | |
| | 500 | 9,8363 | 9,8312 | 0,0051 | 1,558 | 1,9656 |
| | | 9,413 | 9,4042 | 0,0088 | 2,688 | |
| | | 9,3178 | 9,3124 | 0,0054 | 1,649 | |

| | | | | | | |
|-----|-----|--------|---------|--------|-------|--------|
| 288 | 0 | 9,3056 | 9,2805 | 0,0251 | 3,834 | 3,8702 |
| | | 9,7218 | 9,6943 | 0,0275 | 4,201 | |
| | | 9,0505 | 9,0271 | 0,0234 | 3,574 | |
| | 100 | 9,6136 | 9,5916 | 0,022 | 3,360 | 3,5544 |
| | | 9,0741 | 9,0502 | 0,0239 | 3,651 | |
| | | 10,061 | 10,0369 | 0,0239 | 3,651 | |
| | 200 | 9,7843 | 9,7701 | 0,0142 | 2,169 | 1,9962 |
| | | 10,314 | 10,3019 | 0,0123 | 1,879 | |
| | | 8,6441 | 8,6314 | 0,0127 | 1,940 | |
| | 300 | 9,6364 | 9,6299 | 0,0065 | 0,993 | 0,7333 |
| | | 9,6501 | 9,6495 | 0,0006 | 0,091 | |
| | | 9,3229 | 9,3156 | 0,0073 | 1,115 | |
| | 400 | 9,6942 | 9,6864 | 0,0078 | 1,191 | 1,466 |
| | | 9,5287 | 9,52 | 0,0087 | 1,329 | |
| | | 9,0462 | 9,0339 | 0,0123 | 1,879 | |
| | 500 | 9,6227 | 9,6157 | 0,007 | 1,069 | 1,0388 |
| | | 9,9628 | 9,9567 | 0,0061 | 0,931 | |
| | | 7,9344 | 7,9271 | 0,0073 | 1,115 | |
| 432 | 0 | 9,9351 | 9,8952 | 0,0399 | 4,063 | 4,1723 |
| | | 9,6395 | 9,5988 | 0,0407 | 4,145 | |
| | | 9,8371 | 9,7948 | 0,0423 | 4,308 | |
| | 100 | 9,8928 | 9,8561 | 0,0367 | 3,737 | 3,6359 |
| | | 9,4164 | 9,3768 | 0,0396 | 4,033 | |
| | | 8,9139 | 8,8831 | 0,0308 | 3,136 | |
| | 200 | 9,8055 | 9,7756 | 0,0299 | 3,045 | 2,9603 |

| | | | | | | |
|--------|-----|--------|---------|--------|-------|---------|
| | | 9,5458 | 9,5182 | 0,0276 | 2,811 | |
| | | 9,7257 | 9,696 | 0,0297 | 3,024 | |
| | 300 | 9,4953 | 9,4819 | 0,0134 | 1,364 | 1,3953 |
| | | 9,5218 | 9,5058 | 0,016 | 1,629 | |
| | | 9,5434 | 9,5317 | 0,0117 | 1,191 | |
| | 400 | 9,3235 | 9,3066 | 0,0169 | 1,721 | 1,5311 |
| | | 9,2359 | 9,2219 | 0,014 | 1,425 | |
| | | 9,6228 | 9,6086 | 0,0142 | 1,446 | |
| | 500 | 9,6475 | 9,6348 | 0,0127 | 1,293 | 1,5039 |
| | | 9,7981 | 9,7826 | 0,0155 | 1,578 | |
| | | 8,7712 | 8,7551 | 0,0161 | 1,639 | |
| | 576 | 0 | 8,6068 | 8,5548 | 0,052 | 3,972 |
| 9,5432 | | | 9,4912 | 0,052 | 3,972 | |
| 9,1866 | | | 9,132 | 0,0546 | 4,170 | |
| 100 | | 8,3517 | 8,3101 | 0,0416 | 3,177 | 3,36098 |
| | | 9,1413 | 9,0948 | 0,0465 | 3,551 | |
| | | 8,1742 | 8,1303 | 0,0439 | 3,353 | |
| 200 | | 9,4281 | 9,3951 | 0,033 | 2,520 | 3,0223 |
| | | 9,4251 | 9,3797 | 0,0454 | 3,467 | |
| | | 9,6253 | 9,585 | 0,0403 | 3,078 | |
| 300 | | 9,9381 | 9,9258 | 0,0123 | 0,939 | 1,0974 |
| | | 9,6513 | 9,6354 | 0,0159 | 1,214 | |
| | | 10,181 | 10,1664 | 0,0149 | 1,138 | |
| 400 | | 9,7537 | 9,7416 | 0,0121 | 0,924 | 0,9013 |
| | | 9,4608 | 9,45 | 0,0108 | 0,824 | |

| | | | | | | |
|-----|-----|--------|---------|--------|-------|--------|
| | | 9,8087 | 9,7962 | 0,0125 | 0,954 | |
| | 500 | 9,4705 | 9,4579 | 0,0126 | 0,962 | 1,1075 |
| | | 9,3882 | 9,3738 | 0,0144 | 1,099 | |
| | | 9,2081 | 9,1916 | 0,0165 | 1,260 | |
| 720 | 0 | 9,3278 | 9,263 | 0,0648 | 3,959 | 3,8722 |
| | | 9,8869 | 9,8243 | 0,0626 | 3,825 | |
| | | 9,1753 | 9,1126 | 0,0627 | 3,831 | |
| | 100 | 9,5289 | 9,467 | 0,0619 | 3,782 | 3,782 |
| | | 9,6508 | 9,5877 | 0,0631 | 3,855 | |
| | | 9,6383 | 9,5776 | 0,0607 | 3,709 | |
| | 200 | 10,1 | 10,0484 | 0,052 | 3,177 | 3,0391 |
| | | 9,6794 | 9,6298 | 0,0496 | 3,030 | |
| | | 9,3187 | 9,2711 | 0,0476 | 2,908 | |
| | 300 | 9,6871 | 9,6745 | 0,0126 | 0,769 | 0,8025 |
| | | 9,7447 | 9,7309 | 0,0138 | 0,843 | |
| | | 9,2825 | 9,2695 | 0,013 | 0,794 | |
| | 400 | 9,6002 | 9,5835 | 0,0167 | 1,020 | 0,8392 |
| | | 10,15 | 10,1351 | 0,015 | 0,916 | |
| | | 9,2544 | 9,2449 | 0,0095 | 0,580 | |
| | 500 | 9,6514 | 9,6356 | 0,0158 | 0,965 | 0,9207 |
| | | 9,4272 | 9,4121 | 0,0151 | 0,922 | |
| | | 9,5007 | 9,4864 | 0,0143 | 0,873 | |

Tabel D.2 Laju korosi dan efisiensi inhibitor pada media H₂SO₄ 1M pengujian *weight loss*.

| konsentrasi (mg/L) | waktu (jam) | Laju Korosi (mpy) | efisiensi (%) |
|---------------------------|--------------------|--------------------------|----------------------|
| 0 | 48 | 2273,366 | - |
| | 96 | 1941,088 | - |
| | 144 | 1840,024 | - |
| | 192 | 1594,280 | - |
| | 240 | 1568,331 | - |
| 100 | 48 | 1523,318 | 32,992 |
| | 96 | 1677,969 | 13,555 |
| | 144 | 1797,289 | 2,322 |
| | 192 | 1468,610 | 7,882 |
| | 240 | 1404,229 | 10,463 |
| 200 | 48 | 1565,147 | 31,152 |
| | 96 | 1337,899 | 31,074 |
| | 144 | 1282,926 | 30,276 |
| | 192 | 1243,280 | 22,016 |
| | 240 | 1245,493 | 20,584 |
| 300 | 48 | 1471,834 | 35,257 |

| | | | |
|-----|-----|----------|---------|
| | 96 | 1379,529 | 28,930 |
| | 144 | 1162,359 | 36,829 |
| | 192 | 1157,628 | 27,388 |
| | 240 | 1094,610 | 30,205 |
| 400 | 48 | 1695,033 | 25,439 |
| | 96 | 1729,850 | 10,882 |
| | 144 | 1205,043 | 34,509 |
| | 192 | 1197,265 | 24,902 |
| | 240 | 1274,343 | 18,745 |
| 500 | 48 | 1760,939 | 22,540 |
| | 96 | 1303,143 | 32,865 |
| | 144 | 1492,478 | 18,888 |
| | 192 | 1238,085 | 22,342 |
| | 240 | 1041,201 | 33,6108 |

2. Larutan 1 M H₂SO₄

Tabel D.3 Hasil pengujian *weight loss weight loss* inhibitor daun salam di larutan H₂SO₄ 1M.

| Waktu (jam) | Konsentrasi (mg/L) | berat awal (gram) | berat akhir (gram) | ΔW (gram) | CR (mpy) | CR RATA-RATA (mpy) |
|-------------|--------------------|-------------------|--------------------|-----------|----------|--------------------|
| 48 | 0 | 8,9416 | 6,5385 | 2,4031 | 2202,756 | 2273,4 |
| | | 9,4387 | 6,904 | 2,5347 | 2323,384 | |
| | | 9,5963 | 7,0937 | 2,5026 | 2293,961 | |
| | 100 | 9,9271 | 8,2817 | 1,6454 | 1508,225 | 1523,3 |
| | | 9,4975 | 7,8283 | 1,6692 | 1530,04 | |
| | | 10,2473 | 8,5763 | 1,6710 | 1531,69 | |
| | 200 | 9,4507 | 7,7082 | 1,7425 | 1597,229 | 1565,1 |
| | | 9,6149 | 7,9351 | 1,6798 | 1539,757 | |
| | | 9,1349 | 7,4347 | 1,7002 | 1558,456 | |
| | 300 | 9,8714 | 8,243 | 1,6284 | 1492,642 | 1471,8 |
| | | 9,0244 | 7,4682 | 1,5562 | 1426,461 | |
| | | 9,5351 | 7,9026 | 1,6325 | 1496,4 | |
| | 400 | 9,3122 | 7,5132 | 1,7990 | 1649,019 | 1695 |
| | | 9,3022 | 7,4941 | 1,8081 | 1657,36 | |
| | | 9,9707 | 8,0302 | 1,9405 | 1778,722 | |
| 500 | 9,3432 | 7,3912 | 1,9520 | 1789,264 | 1760,9 | |
| | 9,1508 | 7,2071 | 1,9437 | 1781,656 | | |
| | 9,6041 | 7,7365 | 1,8676 | 1711,9 | | |
| 96 | 0 | 9,5985 | 5,2418 | 4,3567 | 1996,743 | 1941,1 |
| | | 9,0861 | 4,6434 | 4,4427 | 2036,158 | |
| | | 8,4893 | 4,5829 | 3,9064 | 1790,364 | |
| | 100 | 9,0676 | 5,3394 | 3,7282 | 1708,692 | 1678 |

| | | | | | | |
|---------|-----|---------|--------|--------|----------|----------|
| | | 9,4453 | 5,9014 | 3,5439 | 1624,224 | |
| | | 9,2059 | 5,4945 | 3,7114 | 1700,992 | |
| | 200 | 8,8861 | 6,0018 | 2,8843 | 1321,919 | 1337,9 |
| | | 8,8022 | 5,8026 | 2,9996 | 1374,763 | |
| | | 9,2059 | 6,3323 | 2,8736 | 1317,015 | |
| | 300 | 9,7204 | 6,8138 | 2,9066 | 1332,14 | 1379,5 |
| | | 9,5144 | 6,6458 | 2,8686 | 1314,724 | |
| | | 9,8716 | 6,6168 | 3,2548 | 1491,725 | |
| | 400 | 9,4269 | 5,9439 | 3,4830 | 1596,313 | 1729,9 |
| | | 8,9434 | 5,0025 | 3,9409 | 1806,175 | |
| | | 9,3373 | 5,4381 | 3,8992 | 1787,064 | |
| | 500 | 9,4548 | 6,5928 | 2,8620 | 1311,699 | 1303,1 |
| | | 9,7559 | 6,9359 | 2,8200 | 1292,45 | |
| | | 9,4427 | 6,5947 | 2,8480 | 1305,282 | |
| | 144 | 0 | 8,8335 | 3,208 | 5,6255 | 1718,836 |
| 9,5684 | | | 3,4362 | 6,1322 | 1873,655 | |
| 10,2342 | | | 3,9255 | 6,3087 | 1927,583 | |
| 100 | | 9,9766 | 3,803 | 6,1736 | 1886,304 | 1797,3 |
| | | 8,8571 | 3,3685 | 5,4886 | 1677,007 | |
| | | 9,9881 | 4,0035 | 5,9846 | 1828,557 | |
| 200 | | 9,0704 | 4,96 | 4,1104 | 1255,907 | 1282,9 |
| | | 10,0901 | 6,1945 | 3,8956 | 1190,276 | |
| | | 9,4106 | 4,8201 | 4,5905 | 1402,598 | |
| 300 | | 9,6461 | 5,3823 | 4,2638 | 1302,777 | 1162,4 |
| | | 8,6447 | 5,1343 | 3,5104 | 1072,58 | |
| | | 8,5664 | 4,9279 | 3,6385 | 1111,721 | |
| 400 | | 9,1276 | 5,5141 | 3,6135 | 1104,082 | 1205 |

| | | | | | | | | |
|---------|-----|---------|--------|--------|----------|----------|----------|--------|
| | | 9,4141 | 5,5096 | 3,9045 | 1192,995 | | | |
| | | 10,0993 | 5,7855 | 4,3138 | 1318,054 | | | |
| | | 500 | 8,8338 | 3,9977 | 4,8361 | | 1477,64 | 1492,5 |
| | | | 9,8645 | 4,7333 | 5,1312 | | 1567,806 | |
| | | | 9,2469 | 4,5602 | 4,6867 | | 1431,991 | |
| 192 | 0 | 9,7571 | 3,0021 | 6,7550 | 1547,961 | 1594,3 | | |
| | | 9,4269 | 2,1905 | 7,2364 | 1658,277 | | | |
| | | 9,6322 | 2,7522 | 6,8800 | 1576,605 | | | |
| | 100 | 8,8836 | 2,4324 | 6,4512 | 1478,342 | 1468,6 | | |
| | | 9,6283 | 3,1717 | 6,4566 | 1479,58 | | | |
| | | 9,6523 | 3,3339 | 6,3184 | 1447,91 | | | |
| | 200 | 9,1101 | 3,8828 | 5,2273 | 1197,876 | 1243,3 | | |
| | | 9,9077 | 4,0904 | 5,8173 | 1333,079 | | | |
| | | 9,0312 | 3,7995 | 5,2317 | 1198,885 | | | |
| | 300 | 8,1469 | 3,3853 | 4,7616 | 1091,157 | 1157,6 | | |
| | | 9,6931 | 4,6783 | 5,0148 | 1149,18 | | | |
| | | 9,0008 | 3,6222 | 5,3786 | 1232,548 | | | |
| | 400 | 8,1005 | 3,1433 | 4,9572 | 1135,981 | 1197,3 | | |
| | | 8,8856 | 3,6821 | 5,2035 | 1192,422 | | | |
| | | 9,5955 | 4,0823 | 5,5132 | 1263,392 | | | |
| | 500 | 9,0931 | 3,5758 | 5,5173 | 1264,332 | 1238,1 | | |
| | | 9,3658 | 4,3385 | 5,0273 | 1152,045 | | | |
| | | 9,4385 | 3,7748 | 5,6637 | 1297,881 | | | |
| | 240 | 0 | 9,5948 | 1,1351 | 8,4597 | 1550,885 | 1568,3 | |
| 10,1505 | | | 1,0548 | 9,0957 | 1667,48 | | | |
| 9,6416 | | | 1,5324 | 8,1092 | 1486,629 | | | |
| 100 | | 10,1233 | 1,8021 | 8,3212 | 1525,494 | 1404,2 | | |

| | | | | | | | |
|--|-----|--------|--------|--------|----------|--|--------|
| | | 8,9751 | 1,5096 | 7,4655 | 1368,622 | | |
| | | 8,7703 | 1,5778 | 7,1925 | 1318,574 | | |
| | 200 | 9,9491 | 2,6809 | 7,2682 | 1332,451 | | 1245,5 |
| | | 8,9478 | 2,0135 | 6,9343 | 1271,239 | | |
| | | 9,1422 | 2,9631 | 6,1791 | 1132,791 | | |
| | 300 | 9,6557 | 3,4265 | 6,2292 | 1141,976 | | 1094,6 |
| | | 9,1804 | 3,3116 | 5,8688 | 1075,905 | | |
| | | 9,2821 | 3,4676 | 5,8145 | 1065,95 | | |
| | 400 | 9,6066 | 2,3993 | 7,2073 | 1321,287 | | 1274,3 |
| | | 9,6545 | 2,4869 | 7,1676 | 1314,009 | | |
| | | 8,7962 | 2,3174 | 6,4788 | 1187,734 | | |
| | 500 | 9,0961 | 3,6803 | 5,4158 | 992,858 | | 1041,2 |
| | | 9,3521 | 3,7089 | 5,6432 | 1034,546 | | |
| | | 9,3883 | 3,4088 | 5,9795 | 1096,199 | | |

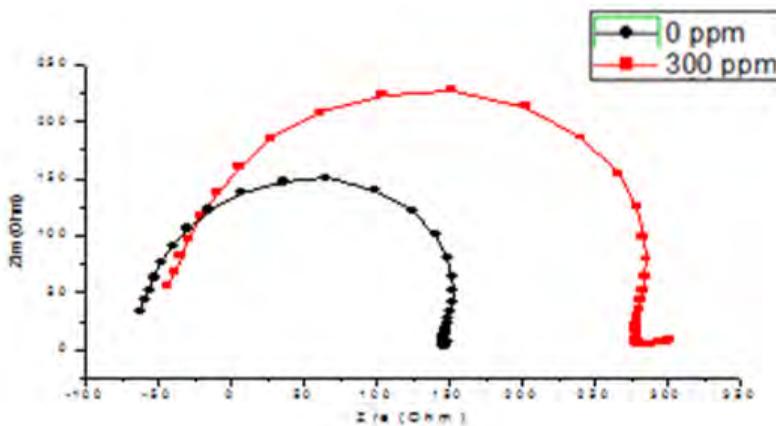
Tabel D.4 Laju korosi dan efisiensi dari pengujian *weight loss*

| konsentrasi (mg/L) | waktu (jam) | Laju Korosi (mpy) | Efisiensi (%) |
|---------------------------|--------------------|--------------------------|----------------------|
| 0 | 144 | 4,7155 | - |
| | 288 | 3,8702 | - |
| | 432 | 4,1723 | - |
| | 576 | 4,0382 | - |
| | 720 | 3,8722 | - |
| 100 | 144 | 3,4933 | 25,9179 |
| | 288 | 3,5544 | 8,15789 |
| | 432 | 3,6359 | 12,8559 |
| | 576 | 3,3609 | 16,7717 |
| | 720 | 3,7826 | 2,3145 |

| | | | |
|-----|-----|--------|----------|
| 200 | 144 | 2,6684 | 43,4125 |
| | 288 | 1,9962 | 48,42105 |
| | 432 | 2,9603 | 29,0480 |
| | 576 | 3,0022 | 25,65542 |
| | 720 | 3,0391 | 21,5149 |
| 300 | 144 | 2,6684 | 43,4125 |
| | 288 | 0,7333 | 81,0526 |
| | 432 | 1,3953 | 66,5581 |
| | 576 | 1,0974 | 72,8247 |
| | 720 | 0,8025 | 79,2740 |
| 400 | 144 | 2,7193 | 42,3326 |
| | 288 | 1,4666 | 62,1052 |
| | 432 | 1,5311 | 63,3034 |
| | 576 | 0,9013 | 77,6796 |
| | 720 | 0,8392 | 78,3271 |
| 500 | 144 | 1,9656 | 58,315 |
| | 288 | 1,0388 | 73,1578 |
| | 432 | 1,5039 | 63,9544 |
| | 576 | 1,1075 | 72,5725 |
| | 720 | 0,9207 | 76,2230 |

LAMPIRAN E HASIL FITTING PLOT NYQUIST

1. Larutan 3.5% NaCl



Gambar E.1 Kurva yang didapatkan dari Uji EIS yang dilakukan pada media NaCl 3.5%

Tabel E.1 Data grid pengujian EIS pada konsentrasi 0 ppm pada media NaCl 3.5%

| Frequency [Hz] | Z' raw [Ohm] | Z'' raw [Ohm] | Z' fitted [Ohm] | Z'' fitted [Ohm] |
|----------------|--------------|---------------|-----------------|------------------|
| 1000000 | -62,7262 | - | - | 0 |
| 1000000 | -62,7262 | 33,4951 | -58,1663 | 38,9026 |
| 856308 | -59,6093 | 42,9493 | -57,1165 | 45,8114 |
| 733261 | -56,4076 | 52,0698 | -55,527 | 54,0629 |
| 627899 | -52,9898 | 63,0707 | -53,0738 | 63,9383 |
| 537689 | -48,5507 | 75,9015 | -49,2235 | 75,7332 |
| 460426 | -40,6103 | 90,6548 | -43,1105 | 89,6736 |
| 394264 | -30,1917 | 106,038 | -33,4128 | 105,671 |

| | | | | |
|----------|----------|---------|----------|----------|
| 337616 | -14,9072 | 122,185 | -18,3532 | 122,849 |
| 289108 | 6,7874 | 137,042 | 3,812948 | 138,857 |
| 247559 | 35,2468 | 146,891 | 33,37083 | 149,553 |
| 211987 | 65,1018 | 150,118 | 67,23653 | 150,419 |
| 181530 | 99,0906 | 139,494 | 99,19596 | 139,952 |
| 155449 | 124,001 | 121,676 | 123,6351 | 121,449 |
| 133106 | 140,033 | 100,634 | 138,926 | 100,414 |
| 113989 | 148,207 | 80,8141 | 146,8269 | 80,9992 |
| 97606,7 | 151,722 | 64,2579 | 150,0753 | 64,8696 |
| 83581,9 | 152,382 | 51,1411 | 150,8421 | 52,1378 |
| 71571,4 | 151,591 | 41,0685 | 150,4749 | 42,2595 |
| 61287,9 | 150,373 | 33,3909 | 149,6948 | 34,5941 |
| 52481,7 | 149,181 | 27,3871 | 148,8479 | 28,5899 |
| 44940,9 | 148,313 | 22,7325 | 148,0802 | 23,8267 |
| 38482,7 | 147,505 | 19,042 | 147,4393 | 19,9971 |
| 32953,3 | 146,852 | 16,0668 | 146,928 | 16,8817 |
| 28218,7 | 146,397 | 13,6516 | 146,5312 | 14,3211 |
| 24163,7 | 145,988 | 11,6988 | 146,2286 | 12,1992 |
| 20691,9 | 145,793 | 10,0501 | 146,0008 | 10,431 |
| 17718,8 | 145,677 | 8,67065 | 145,831 | 8,9517 |
| 15173 | 145,49 | 7,54549 | 145,7053 | 7,71184 |
| 12992,9 | 145,531 | 6,58348 | 145,6131 | 6,67269 |
| 11125,8 | 145,504 | 5,78923 | 145,5464 | 5,8036 |
| 9526,97 | 145,476 | 5,25856 | 145,4989 | 5,08029 |
| -8157,97 | 145,516 | 4,75844 | 145,4665 | 4,483117 |
| 6985,78 | 145,569 | 4,31639 | 145,4459 | 3,99626 |
| 5982,16 | 145,689 | 3,95145 | 145,4354 | 3,60702 |
| 5122,54 | 145,604 | 3,59926 | 145,4339 | 3,3052 |
| 4386,43 | 145,612 | 3,38489 | 145,4412 | 3,08303 |

| | | | | |
|---------|---------|---------|----------|---------|
| 3756,11 | 145,775 | 3,25237 | 145,458 | 2,9346 |
| 3216,45 | 145,904 | 3,17411 | 145,4859 | 2,85564 |
| 2754,21 | 146,044 | 3,14143 | 145,5275 | 2,84324 |
| 2358,56 | 146,127 | 3,17175 | 145,5863 | 2,89565 |
| 2019,64 | 146,275 | 3,27024 | 145,6676 | 3,01195 |
| 1729,52 | 146,43 | 3,40014 | 145,7782 | 3,19147 |
| 1481 | 146,566 | 3,58931 | 145,9271 | 3,43351 |
| 1268,21 | 146,794 | 3,83232 | 146,1253 | 3,73603 |
| 1085,91 | 146,949 | 4,12898 | 146,3865 | 4,09501 |
| 929,907 | 147,129 | 4,48769 | 146,7256 | 4,50207 |
| 796,288 | 147,42 | 4,90052 | 147,1592 | 4,94411 |
| 681,877 | 147,726 | 5,37798 | 147,702 | 5,40067 |
| 583,887 | 148,065 | 5,91797 | 148,3644 | 5,84387 |
| 499,994 | 148,411 | 6,52851 | 149,1479 | 6,2389 |

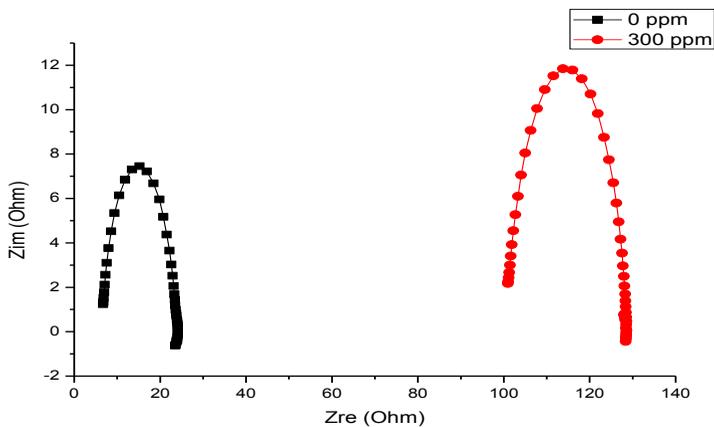
Tabel F.2 Data grid pengujian EIS pada konsentrasi 300 ppm dalam larutan 3.5% NaCl

| Frequency [Hz] | Z' _raw [Ohm] | Z''_raw [Ohm] | Z' _fitted [Ohm] | Z''_fitted [Ohm] |
|----------------|---------------|---------------|------------------|------------------|
| 1000000 | -44,2408 | 55,1093 | -38,5734 | 59,7982 |
| 856308 | -39,5485 | 67,7196 | -36,9448 | 70,4222 |
| 733261 | -35,0604 | 81,5617 | -34,4745 | 83,109 |
| 627899 | -29,6353 | 97,5017 | -30,6573 | 98,2843 |
| 537689 | -21,3454 | 116,71 | -24,664 | 116,388 |
| 460426 | -10,3695 | 137,282 | -15,1597 | 137,734 |
| 394264 | 5,43733 | 160,179 | -0,13179 | 162,131 |
| 337616 | 27,2837 | 185,378 | 23,06655 | 188,161 |
| 289108 | 60,4552 | 208,15 | 56,92148 | 212,208 |
| 247559 | 103,684 | 223,197 | 101,6268 | 228,12 |

| | | | | |
|---------|---------|---------|----------|---------|
| 211987 | 151,45 | 227,158 | 152,4575 | 229,448 |
| 181530 | 201,986 | 212,742 | 200,401 | 214,248 |
| 155449 | 239,97 | 185,946 | 237,4915 | 187,313 |
| 133106 | 265,32 | 154,74 | 261,3773 | 156,457 |
| 113989 | 278,722 | 124,927 | 274,4336 | 127,631 |
| 97606,7 | 282,86 | 98,3208 | 280,4859 | 103,342 |
| 83581,9 | 284,949 | 79,2934 | 282,6409 | 83,893 |
| 71571,4 | 284,14 | 63,8781 | 282,8857 | 68,5983 |
| 61287,9 | 282,719 | 51,9133 | 282,3215 | 56,5884 |
| 52481,7 | 281,026 | 42,8194 | 281,5042 | 47,0881 |
| 44940,9 | 279,781 | 35,6268 | 280,6888 | 39,4945 |
| 38482,7 | 278,765 | 29,8316 | 279,9767 | 33,3585 |
| 32953,3 | 278,687 | 25,2732 | 279,3957 | 28,3549 |
| 28218,7 | 278,009 | 21,4734 | 278,9412 | 24,2446 |
| 24163,7 | 277,782 | 18,3797 | 278,5965 | 20,8512 |
| 20691,9 | 277,897 | 15,8036 | 278,3432 | 18,0451 |
| 17718,8 | 278,497 | 13,5734 | 278,1645 | 15,7263 |
| 15173 | 278,532 | 11,8294 | 278,0472 | 13,819 |
| 12992,9 | 278,774 | 10,3446 | 277,9821 | 12,2636 |
| 11125,8 | 279,004 | 9,02512 | 277,9638 | 11,0134 |
| 9526,97 | 277,945 | 7,96348 | 277,9907 | 10,0312 |
| 8157,97 | 278,028 | 7,09521 | 278,0647 | 9,28689 |
| 6985,78 | 279,101 | 6,59602 | 278,1915 | 8,75546 |
| 5982,16 | 279,395 | 5,95459 | 278,3805 | 8,41493 |
| 5122,54 | 279,273 | 5,37728 | 278,6446 | 8,24444 |
| 4386,43 | 279,678 | 4,94283 | 279 | 8,22232 |
| 3756,11 | 280,227 | 4,66977 | 279,4651 | 8,32329 |
| 3216,45 | 280,875 | 4,46815 | 280,0584 | 8,51619 |
| 2754,21 | 281,475 | 4,36464 | 280,7953 | 8,76238 |

| | | | | |
|---------|---------|---------|----------|---------|
| 2358,56 | 282,408 | 4,31874 | 281,6825 | 9,01517 |
| 2019,64 | 282,983 | 4,34494 | 282,7146 | 9,22303 |
| 1729,52 | 283,864 | 4,45771 | 283,8674 | 9,33466 |
| 1481 | 285,303 | 4,61795 | 285,1 | 9,30801 |
| 1268,21 | 286,914 | 4,86566 | 286,3572 | 9,11839 |
| 1085,91 | 288,537 | 5,15794 | 287,5803 | 8,76356 |
| 929,907 | 292,105 | 5,53625 | 288,7148 | 8,26384 |
| 796,288 | 293,99 | 6,00349 | 289,7238 | 7,65454 |
| 681,877 | 296,422 | 6,52491 | 290,587 | 6,97824 |
| 583,887 | 299,564 | 7,13492 | 291,3017 | 6,27568 |
| 499,994 | 300,358 | 7,83413 | 291,8773 | 5,58105 |

2. Larutan 1 M H₂SO₄



Gambar E.2 Kurva Nyquist yang didapatkan dari Uji EIS pada media H₂SO₄ 1 M

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

| Frequency [Hz] | Z'_raw [Ohm] | Z''_raw [Ohm] | Z'_fitted [Ohm] | Z''_fitted [Ohm] |
|----------------|--------------|---------------|-----------------|------------------|
| 2999,96 | 6,75285 | 1,24031 | 6,631464 | 0,87292 |
| 2319,16 | 6,80102 | 1,34208 | 6,696823 | 1,08978 |
| 1792,91 | 6,86841 | 1,51688 | 6,786014 | 1,35776 |
| 1386,11 | 6,96109 | 1,77176 | 6,908755 | 1,687 |
| 1071,51 | 7,09698 | 2,11616 | 7,078918 | 2,08834 |
| 828,37 | 7,29754 | 2,55842 | 7,315692 | 2,57151 |
| 640,392 | 7,58457 | 3,10569 | 7,645373 | 3,14349 |
| 495,076 | 8,00289 | 3,76557 | 8,102022 | 3,8039 |
| 382,729 | 8,58822 | 4,52335 | 8,726705 | 4,53929 |
| 295,877 | 9,39834 | 5,33628 | 9,562488 | 5,31548 |
| 228,74 | 10,4834 | 6,1438 | 10,64334 | 6,0715 |
| 176,828 | 11,8473 | 6,84218 | 11,97716 | 6,72075 |
| 136,707 | 13,4636 | 7,30457 | 13,52581 | 7,16473 |
| 105,679 | 15,2122 | 7,45482 | 15,20065 | 7,32298 |
| 81,7012 | 16,9264 | 7,22169 | 16,87467 | 7,16386 |
| 63,1604 | 18,4811 | 6,67828 | 18,42311 | 6,71906 |
| 48,8283 | 19,8361 | 5,95306 | 19,75602 | 6,06944 |
| 37,7474 | 20,7667 | 5,17708 | 20,83627 | 5,31315 |
| 29,1816 | 21,5299 | 4,36943 | 21,67135 | 4,53703 |
| 22,5594 | 22,2151 | 3,64908 | 22,29547 | 3,80181 |
| 17,4404 | 22,6032 | 3,023 | 22,75167 | 3,14166 |
| 13,4828 | 22,9208 | 2,51853 | 23,08103 | 2,56996 |
| 10,4227 | 23,1248 | 2,05375 | 23,31762 | 2,08693 |
| 8,0578 | 23,3356 | 1,68342 | 23,48756 | 1,68596 |
| 6,22938 | 23,4319 | 1,42816 | 23,61019 | 1,35688 |

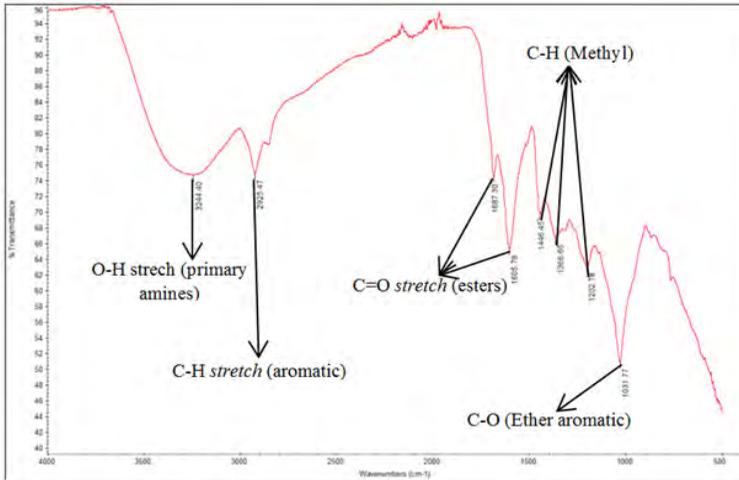
| | | | | |
|----------|---------|-----------|----------|-----------|
| 4,81575 | 23,5393 | 1,18997 | 23,6993 | 1,08903 |
| 3,72296 | 23,6495 | 0,9882 | 23,76459 | 0,87232 |
| 2,87819 | 23,7415 | 0,82246 | 23,81285 | 0,69769 |
| 2,22499 | 23,8353 | 0,71174 | 23,84887 | 0,55735 |
| 1,72012 | 23,9201 | 0,53141 | 23,87594 | 0,4448 |
| 1,32981 | 23,9668 | 0,4648 | 23,89641 | 0,35459 |
| 1,02801 | 24,0483 | 0,35539 | 23,9119 | 0,28218 |
| 0,794738 | 24,1004 | 0,2787 | 23,92348 | 0,2238 |
| 0,614396 | 24,1037 | 0,14859 | 23,93175 | 0,1761 |
| 0,47496 | 24,1013 | -0,007211 | 23,93682 | 0,13586 |
| 0,367181 | 24,0944 | -0,151097 | 23,93806 | 0,09947 |
| 0,283864 | 24,0261 | -0,253778 | 23,93367 | 0,06194 |
| 0,219447 | 24,0223 | -0,377214 | 23,91963 | 0,01524 |
| 0,169646 | 23,8682 | -0,386029 | 23,88764 | -0,05511 |
| 0,131149 | 23,7953 | -0,466629 | 23,8211 | -0,176531 |
| 0,101389 | 23,6346 | -0,595099 | 23,68699 | -0,402234 |
| 0,078382 | 23,5035 | -0,624646 | 23,41996 | -0,836508 |

Tabel E.4 Data grid pengujian EIS pada konsentrasi 300 ppm dalam larutan 1 M H₂SO₄

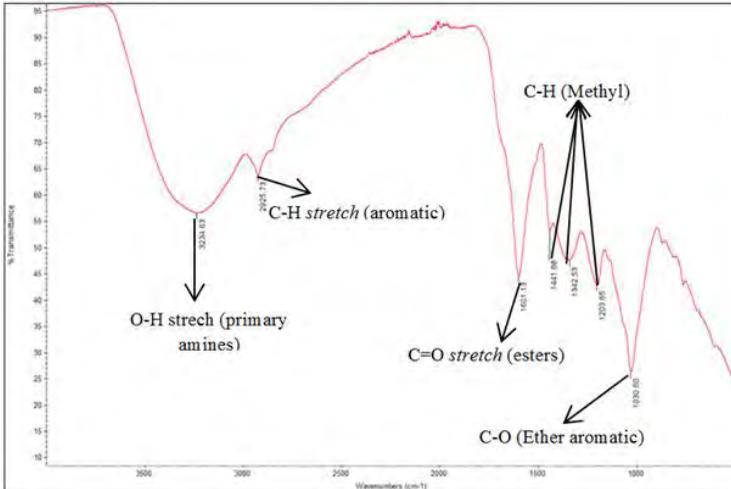
| Frequency [Hz] | Z' raw [Ohm] | Z'' raw [Ohm] | Z' fitted [Ohm] | Z'' fitted [Ohm] |
|----------------|--------------|---------------|-----------------|------------------|
| 2999,96 | 100,961 | 2,17396 | 100,854 | 1,30256 |
| 2430,74 | 101,057 | 2,25743 | 100,9299 | 1,56188 |
| 1969,52 | 101,158 | 2,43077 | 101,0273 | 1,87069 |
| 1595,91 | 101,279 | 2,66454 | 101,1531 | 2,23717 |
| 1293,09 | 101,437 | 2,99283 | 101,3163 | 2,6705 |
| 1047,79 | 101,632 | 3,40776 | 101,5291 | 3,17974 |
| 848,979 | 101,897 | 3,924 | 101,8074 | 3,77404 |
| 687,897 | 102,258 | 4,54991 | 102,1719 | 4,4605 |
| 557,378 | 102,701 | 5,27343 | 102,6487 | 5,24272 |
| 451,639 | 103,291 | 6,09308 | 103,2693 | 6,11762 |
| 365,95 | 104,052 | 7,05018 | 104,0701 | 7,07214 |
| 296,518 | 105,026 | 8,04294 | 105,0889 | 8,0781 |
| 240,259 | 106,251 | 9,06298 | 106,359 | 9,08878 |
| 194,68 | 107,759 | 10,0463 | 107,8993 | 10,0375 |
| 157,74 | 109,545 | 10,9023 | 109,7043 | 10,8425 |
| 127,807 | 111,579 | 11,5179 | 111,7322 | 11,4181 |
| 103,559 | 113,771 | 11,8398 | 113,9036 | 11,6935 |
| 83,914 | 116,017 | 11,782 | 116,1116 | 11,6321 |
| 67,9921 | 118,195 | 11,3892 | 118,2425 | 11,2421 |
| 55,0924 | 120,209 | 10,7027 | 120,1969 | 10,5746 |
| 44,6392 | 121,917 | 9,82499 | 121,9094 | 9,70776 |
| 36,1707 | 123,315 | 8,74949 | 123,3514 | 8,72797 |
| 29,3073 | 124,484 | 7,74085 | 124,5279 | 7,71223 |
| 23,7464 | 125,491 | 6,70885 | 125,4639 | 6,7204 |
| 19,2416 | 126,215 | 5,79158 | 126,1953 | 5,79233 |

| | | | | |
|----------|---------|-----------|----------|---------|
| 15,5903 | 126,76 | 4,94748 | 126,7601 | 4,94977 |
| 12,6327 | 127,189 | 4,16224 | 127,1928 | 4,20234 |
| 10,2357 | 127,522 | 3,54047 | 127,5234 | 3,54983 |
| 8,29366 | 127,754 | 2,96187 | 127,7758 | 2,98729 |
| 6,72031 | 127,992 | 2,49423 | 127,9687 | 2,50674 |
| 5,44533 | 128,112 | 2,05275 | 128,1167 | 2,09892 |
| 4,41214 | 128,269 | 1,69018 | 128,2307 | 1,75463 |
| 3,57506 | 128,314 | 1,38584 | 128,3188 | 1,46526 |
| 2,89676 | 128,404 | 1,12825 | 128,3871 | 1,22284 |
| 2,34717 | 128,467 | 0,86371 | 128,44 | 1,02044 |
| 1,90194 | 128,528 | 0,65175 | 128,4809 | 0,85206 |
| 1,54102 | 128,567 | 0,4751 | 128,512 | 0,71249 |
| 1,24861 | 128,543 | 0,31729 | 128,535 | 0,59756 |
| 1,01171 | 128,475 | 0,17034 | 128,5508 | 0,50382 |
| 0,819782 | 128,557 | 0,05364 | 128,56 | 0,42856 |
| 0,664251 | 128,514 | -0,050525 | 128,5625 | 0,36979 |
| 0,538217 | 128,516 | -0,153661 | 128,5576 | 0,32628 |
| 0,436092 | 128,465 | -0,245743 | 128,5442 | 0,2976 |
| 0,353357 | 128,432 | -0,325736 | 128,52 | 0,28418 |
| 0,286316 | 128,364 | -0,437622 | 128,482 | 0,28753 |
| 0,231998 | 128,341 | -0,50517 | 128,4256 | 0,31048 |
| 0,187978 | 128,268 | 0,581 | 128,3443 | 0,3576 |
| 0,152308 | 128,202 | 0,65518 | 128,229 | 0,43576 |
| 0,123418 | 128,062 | 0,777 | 128,0668 | 0,55486 |
| 0,099999 | 128,011 | 0,75136 | 127,8398 | 0,72921 |

LAMPIRAN F Hasil Uji FT-IR



Gambar F.1 Spektra FT-IR daun salam



Gambar F.2 Spektra FT-IR baja API 5L grade B yang telah dilakukan perendaman pada media NaCl 3.5%.

Table F.1 Reference IR- Spectroscopy

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

| | | | | |
|--|-----------------|----------------------------------|---|------------------|
| | | <u>uted alkenes</u> | 990 cm ⁻¹ (10101 nm) | strong |
| | | cis-disubstituted alkenes | 670–700 cm ⁻¹ (14286–14925 nm) | strong |
| | | trans-disubstituted alkenes | 965 cm ⁻¹ (10363 nm) | strong |
| | | trisubstituted alkenes | 800–840 cm ⁻¹ (11905–12500 nm) | strong to medium |
| | <u>aromatic</u> | <u>benzene/su b. benzene</u> | 3070 cm ⁻¹ (3257 nm) | weak |
| | | monosubstituted benzene | 700–750 cm ⁻¹ (13333–14286 nm) | strong |
| | | | 690–710 cm ⁻¹ (14085–14493 nm) | strong |
| | | ortho-disub. benzene | 750 cm ⁻¹ (13333 nm) | strong |
| | | meta-disub. benzene | 750–800 cm ⁻¹ (12500–13333 nm) | strong |
| | | | 860–900 cm ⁻¹ (11111–11628 nm) | strong |

| | | | | |
|------------|---------------------------------|----------------------------|---|--------|
| | | para-disub. benzene | 800–860 cm ⁻¹ (11628–12500 nm) | strong |
| | <u>alkynes</u> | any | 3300 cm ⁻¹ (3030 nm) | medium |
| | <u>aldehydes</u> | any | 2720 cm ⁻¹ (3676 nm) | medium |
| | 2820 cm ⁻¹ (3546 nm) | | | |
| C–C | acyclic C–C | monosub. alkenes | 1645 cm ⁻¹ (6079 nm) | medium |
| | | 1,1-disub. alkenes | 1655 cm ⁻¹ (6042 nm) | medium |
| | | cis-1,2-disub. alkenes | 1660 cm ⁻¹ (6024 nm) | medium |
| | | trans-1,2-disub. alkenes | 1675 cm ⁻¹ (5970 nm) | medium |
| | | trisub., tetrasub. alkenes | 1670 cm ⁻¹ (5988 nm) | weak |
| | <u>conjugated C=C</u> | dienes | 1600 cm ⁻¹ (6250 nm) | strong |
| | | | 1650 cm ⁻¹ (6061 nm) | strong |
| | with benzene ring | | 1625 cm ⁻¹ (6154 nm) | strong |

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

| | | | | |
|-------------------------------------|------------------------|---|---|---|
| | | cyclic 4-membered | 1775 cm ⁻¹ (5634 nm) | |
| | | aldehydes | 1725 cm ⁻¹ (5797 nm) | influence of conjugation (as with ketones) |
| <u>carboxylic acids/derivatives</u> | | saturated carboxylic acids | 1710 cm ⁻¹ (5848 nm) | |
| | | unsat./aromatic carb. acids | 1680–1690 cm ⁻¹ (5917–5952 nm) | |
| | | esters and lactones | 1735 cm ⁻¹ (5764 nm) | influenced by conjugation and ring size (as with ketones) |
| | | anhydrides | 1760 cm ⁻¹ (5682 nm) | |
| | | | 1820 cm ⁻¹ (5495 nm) | |
| | | <u>acyl halides</u> | 1800 cm ⁻¹ (5556 nm) | |
| | | <u>amides</u> | 1650 cm ⁻¹ (6061 nm) | associated amides |
| | | <u>carboxylates (salts)</u> | 1550–1610 cm ⁻¹ (6211–6452 nm) | |
| | amino acid zwitterions | 1550–1610 cm ⁻¹ (6211–6452 nm) | | |

| | | | | |
|------------|--------------------------|--------------------|---|---------------|
| O–H | <u>alcohols, phenols</u> | low concentration | 3610–3670 cm^{-1} (2725–2770 nm) | |
| | | high concentration | 3200–3400 cm^{-1} (2941–3125 nm) | broad |
| | carboxylic acids | low concentration | 3500–3560 cm^{-1} (2809–2857 nm) | |
| | | high concentration | 3000 cm^{-1} (3333 nm) | broad |
| C–O | <u>alcohols</u> | primary | 1040–1060 cm^{-1} (9434–9615 nm) | strong, broad |
| | | secondary | ~1100 cm^{-1} (~9091 nm) | strong |
| | | tertiary | 1150–1200 cm^{-1} (8333–8696 nm) | medium |
| | phenols | any | 1200 cm^{-1} (8333 nm) | |
| | ethers | aliphatic | 1120 cm^{-1} (8929 nm) | |
| | | aromatic | 1220–1260 cm^{-1} (7937–8197 nm) | |

| | | | | |
|--|------------------|-----|---|--|
| | carboxylic acids | any | 1250–1300 cm^{-1} (7692–8000 nm) | |
| | esters | any | 1100–1300 cm^{-1} (7692–9091 nm) | two bands (distinct from ketones, which do not possess a C–O bond) |

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Muchammad Bagus Fatchul Farochi. Putra dari pasangan Jauhari dan Siti Rohmah. Lahir di Gresik pada tanggal 25 Desember 1992. Penulis menempuh pendidikan formal di SDNU 01, SMP Muhammadiyah 12 Gresik dan SMA Muhammadiyah 1 Gresik. Penulis menempuh masa perkuliahan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya setelah melalui jalur Seleksi Penerimaan Mahasiswa Baru 2010 dan diumumkan diterima pada bulan Juli 2010.

Dalam bidang organisasi berawal dari staff Badan Semi Otonom Minat dan Bakat HMMT FTI-ITS hingga menjadi Staff ahli Badan Semi Otonom Minat dan Bakat HMMT FTI-ITS periode 2012-2013.

Penulis menutup kuliah di kampus dengan Tugas Akhir dengan judul “**Pengaruh penambahan Ekstrak Daun Salam Terhadap Laju Korosi pada Baja API 5L grade B di Lingkungan 3,5 % NaCl dan 1 M H₂SO₄**”.

Email: bagusfatchul@gmail.com