



**TUGAS AKHIR - TM 145502**

**APLIKASI KULIT MANGGA (*Mangifera Indica L*) SEBAGAI INHIBITOR ORGANIK KOROSI PADA BAJA API 5L *Grade B* DALAM MEDIA 1M HCL**

**RIZAQ PRAYOGI**  
**NRP. 2114 030 073**

**Dosen Pembimbing**  
**Dr. Atria Pradityana, ST, MT**  
**19851124 200912 1 008**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III**  
**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI**  
**Fakultas Vokasi**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya 2017**



**TUGAS AKHIR – TM 145502**

**APLIKASI KULIT MANGGA (*Mangifera Indica L*) SEBAGAI INHIBITOR ORGANIK KOROSI PADA BAJA API 5L *Grade B* DALAM MEDIA 1M HCL**

**RIZAQ PRAYOGI**  
**2114 030 073**

**DOSEN PEMBIMBING**  
**Dr. Atria Pradityana, ST, MT**  
**NIP. 19851124 200912 1 008**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III**  
**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI**  
**Fakultas Vokasi**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya 2017**



**FINAL PROJECT – TM 145502**

**THE APPLICATION OF MANGO PEEL  
(*Mangifera Indica L*) AS A GREEN CORROSION  
INHIBITOR FOR API 5L *Grade B* IN 1M HCL**

**RIZAQ PRAYOGI  
2114 030 073**

**Advisor  
Dr. Atria Pradityana, ST, MT  
NIP. 19851124 200912 1 008**

**D III STUDY PROGRAM  
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL MECHANICAL ENGINEERING  
Faculty of Vokasi  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2017**

**APLIKASI KULIT MANGGA (*Mangifera Indica*  
L) SEBAGAI INHIBITOR ORGANIK KOROSI  
PADA BAJA API 5L Grade B DALAM MEDIA  
1M HCL**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Ahli Madya Teknik Mesin

Pada

Bidang Studi Manufaktur

Program Studi Diploma III Departemen Teknik Mesin Industri

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

Oleh :

**RIZAO PRAYOGI**

NRP. 2114 030 073

Mengetahui dan Menyetujui

**Dosen Pembimbing**



**Dr. Atna Pradityana, ST, MT.**

NIP. 19851124 200912 1 008

**SURABAYA, Juli 2017**

# **APLIKASI KULIT MANGGA (*Mangifera Indica L*) SEBAGAI INHIBITOR ORGANIK KOROSI PADA BAJA API 5L Grade B DALAM MEDIA 1M HCL**

**Nama Mahasiswa** : Rizaq Prayogi  
**NRP** : 2114030073  
**Jurusan** : Teknik Mesin Industri Vokasi ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Atria Pradityana, ST, MT

## ***Abstrak***

*Penanggulangan korosi adalah salah satunya menggunakan suatu senyawa yang dinamakan inhibitor. Inhibitor yang akan digunakan yaitu kulit buah mangga (*Mangifera Indica L*). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh ekstrak kulit buah mangga jika ditambahkan dalam sebuah media.*

*Dalam peneliian ini, menggunakan pipa baja karbon API 5L Gr B dengan media 1M HCL dengan variasi konsentrasi 0, 2, 3, 4, 5l, dan 6 ml. Metode ekstraksi yang digunakan adalah metode maserasi. Dari hasil ekstraksi tersebut dilakukan pengujian Gas Chromatography Mass Spectrometry. Perhitungan laju korosi dilakukan dengan metode Polarisasi Potensiodinamik dan Electrochemical Impedance Spectroscopy. Untuk mengetahui produk korosi digunakan pengujian Scanning Electron Microscope.*

*Hasil pengujian GCMS menunjukkan bahwa ekstrak kulit buah mangga mengandung senyawa Methylamine-D2 Trideuteroethene sebesar 64, 346% dan 2-Furancarboxaldehyde (CAS) sebesar 8, 009%. Senyawa tersebut merupakan heteroatom dan fenolik yang dapat membentuk lapisan hidrofobik pada permukaan logam. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penurunan laju korosi sebesar 81,7711% pada penambahan 6 ml ekstrak kulit buah mangga dalam media 1M HCL. Mekanisme inhibisi yang terjadi berupa proses adsorpsi inhibitor pada permukaan logam. **Kata Kunci:** inhibitor korosi, green inhibitor, laju korosi, API 5L Grade B*

**APLIKASI KULIT MANGGA (*Mangifera Indica L*)  
SEBAGAI INHIBITOR ORGANIK KOROSI PADA  
BAJA API 5L Grade B DALAM MEDIA 1M HCL**

**Name** : Rizaq Prayogi  
**NRP** : 2114030073  
**Subject** : Department Of Industrial Mechanical  
Engineering  
**Advisor** : Dr. Atria Pradityana, ST, MT

***Abstract***

*One of the kind corrosion prevention was using a compound called inhibitor. Inhibitor to be used in the present study are those derived from natural materials (green inhibitor) nameny mango peel (*Mangifera Indica L*). The purpose of the present study was to study effects of addition of fruit extracts on a medium.*

*Pipes used in the study were API 5L Gr B carbon steel pipes in 1M HCL media at various concentrations of mango peel extracts of 0, 2, 3, 4, 5, and 6 ml. Exstraction methods used were maseration. The resulting mango peel exstraction was tested using gas chromatograhly. Corrosion rate were calculated by methods of potentiodynamic polarization and electrochemical impedance spectroscopy. To find out the corrosion result, Scanning Electron Microscope test is performed.*

*Result of gas chromatography test show that the mngo peel extract contains Methylamine-D2 Trideuteroethene 64, 346% and 2-Furancarboxaldehyde (CAS) 8, 009%. The compound is a heteroatom and phenol that can form a hydrophobic layer on the metal surface. Based on the research that has been done, the decreasing corrosion rate as 81, 7711% by the increasing 6 ml of mango peel extract in 1M HCL. Inhibition mechanism which happen is an inhibitor adsorption process on metal's surface.*

**Keyword:** *corrosion inhibitor, green inhibitor, corrosion rate, API 5L Grade B*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur dipanjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmatNya, sehingga dapat diselesaikan dengan baik dalam penyusunan Tugas Akhir yang berjudul :

### **“ APLIKASI KULIT MANGGA (*Mangifera Indica L*) SEBAGAI INHIBITOR ORGANIK KOROSI PADA BAJA API 5L Grade B DALAM MEDIA 1M HCL”**

Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Departemen Teknik Mesin Industri Vokasi-ITS untuk bisa dinyatakan lulus. Dalam rangka tersebut maka disusunlah Tugas Akhir ini. Selain itu Tugas Akhir juga merupakan suatu bukti yang dapat diberikan kepada almamater dan masyarakat.

Banyak pihak yang telah membantu sampai selesainya Tugas Akhir ini, oleh karena itu pada kesempatan ini disampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Atria Pradityana, ST, MT selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan dukungan dan saran sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
2. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT Ketua Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi – ITS.
3. Bapak Ir. Suhariyanto, MT selaku koordinator Tugas Akhir.
4. Bapak Ir. Eddy Widiyono, MSc selaku dosen wali.
5. Bapak – Ibu dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran dalam penyempurnaan Tugas Akhir ini.

6. Semua dosen dan karyawan Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi – ITS.
7. Bapak Suwarno, ST, MSc, PhD selaku Ketua Laboratorium Metallurgy Departemen Teknik Mesin FTI – ITS yang telah memberikan ijin atas penggunaan laboratorium guna melaksanakan pengujian Tugas Akhir ini.
8. Bapak Pendik Penanggungjawab Laboratorium Kimia Organik Departemen Teknik Kimia Industri Fakultas Vokasi – ITS yang telah membantu dan memberi masukan saat proses ekstraksi.
9. Bapak Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA selaku Ketua Laboratorium Korosi dan Kegagalan Material Departemen Material Metallurgy FTI – ITS yang telah memberikan ijin atas penggunaan laboratorium guna melaksanakan pengujian Tugas Akhir ini.
10. Orang tua tercinta beserta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan dan doanya.
11. Heru Fatkhurohmat yang telah luar biasa telah menjadi partner dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
12. Fransiskus Tomi Putrandi yang telah menjadi partner dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
13. Fatnika Fauziah yang selalu memberikan semangat, motivasi, dan dukungan dalam perjalanan pengerjaan Tugas Akhir ini.
14. Serta semua teman-teman Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi – ITS.

Kekurangan atau ketidaksempurnaan tentu masih ada, namun bukan sesuatu yang disengaja, hal tersebut semata-mata karena kekhilafan dan keterbatasan pengetahuan yang dimiliki.

Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Akhir kata semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca dan mahasiswa, khususnya mahasiswa Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi – ITS.

Surabaya, 12 Juli 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

|  |      |
|--|------|
| <b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....                           | v    |
| <b>ABSTRAK</b> .....                                     | vii  |
| <b>ABSTRACT</b> .....                                    | ix   |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....                              | xi   |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                                  | xiv  |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                               | xvii |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                                | xix  |
| <b>BAB I Pendahuluan</b> .....                           | 1    |
| 1.1 Latar Belakang .....                                 | 1    |
| 1.2 Rumusan Permasalahan.....                            | 2    |
| 1.3 Batasan Masalah.....                                 | 3    |
| 1.4 Tujuan Penelitian.....                               | 3    |
| 1.5 Manfaat Penelitian.....                              | 4    |
| 1.6 Sistematika Penulisan.....                           | 4    |
| <b>BAB II Dasar Teori</b> .....                          | 7    |
| 2.1 Pengertian Korosi.....                               | 7    |
| 2.1.1 Korosi Galvanik ( <i>Galvanic Corrosion</i> )..... | 8    |
| 2.1.2 Korosi Erosi .....                                 | 8    |
| 2.1.3 Korosi Celah.....                                  | 8    |
| 2.1.4 Korosi Retak Tegang.....                           | 9    |
| 2.2 Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi .....           | 9    |
| 2.3 Mekanisme Terjadinya Korosi Pada Baja.....           | 10   |
| 2.3.1 Korosi Pada Asam Klorida (HCL).....                | 12   |
| 2.4 Perlindungan Terhadap Korosi .....                   | 12   |
| 2.5 Pengertian Inhibitor.....                            | 13   |
| 2.5.1 Klasifikasi Inhibitor.....                         | 13   |
| 2.5.2 Efisiensi Inhibitor.....                           | 19   |
| 2.6 Inhibitor Ekstrak Bahan Alam.....                    | 19   |
| 2.7 Antioksidan .....                                    | 23   |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.8 Buah Mangga .....  | 24        |
| 2.9 Proses Ekstraksi .....                                     | 27        |
| 2.10 HCL .....   | 28        |
| 2.11 Pipa Baja API 5L <i>grade B</i> .....                     | 29        |
| 2.12 <i>Gas Chromatography Mass Spectrometry (GCMS)</i> .....  | 29        |
| 2.13 Polarisasi Potensiodinamik .....                          | 33        |
| 2.13.1 Sel Tiga Elektroda.....                                 | 33        |
| 2.13.2 Elektroda Kerja .....                                   | 34        |
| 2.13.3 Elektroda Acuan.....                                    | 35        |
| 2.13.4 Elektroda Bantu.....                                    | 36        |
| 2.14 <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i> ..... | 37        |
| 2.15 <i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i> .....           | 40        |
| <b>BAB III Metodologi Penelitian.....</b>                      | <b>43</b> |
| 3.1 Diagram Alir Penelitian.....                               | 43        |
| 3.2 Prosedur Penelitian.....                                   | 44        |
| 3.2.1 Studi Literatur .....                                    | 44        |
| 3.2.2 Preparasi Alat dan Bahan.....                            | 44        |
| 3.2.2.1 Peralatan Penelitian.....                              | 44        |
| 3.2.2.2 Bahan Penelitian .....                                 | 45        |
| 3.2.3 Persiapan Spesimen.....                                  | 46        |
| 3.2.4 Persiapan Elektrolit.....                                | 47        |
| 3.2.5 Persiapan Inhibitor .....                                | 47        |
| 3.2.5.1 Pengujian GCMS .....                                   | 49        |
| 3.2.6 Pengujian.....   | 48        |
| 3.2.6.1 Pengujian Polarisasi Potensiodinamik .....             | 50        |
| 3.2.6.2 Pengujian EIS.....                                     | 52        |
| 3.2.6.3 Pengujian SEM .....                                    | 53        |
| 3.2.7 Data .....   | 54        |
| 3.2.8 Analisa Data.....  | 56        |
| 3.2.9 Kesimpulan .....   | 57        |
| 3.2.10 Penyusunan Laporan .....                                | 57        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>BAB IV Hasil Penelitian dan Pembahasan .....</b>    | <b>59</b> |
| 4.1 Hasil Ekstraksi.....                               | 59        |
| 4.2 Hasil Penelitian .....                             | 60        |
| 4.2.1 Hasil Pengujian GCMS .....                       | 60        |
| 4.2.2 Hasil Pengujian Polarisasi Potensiodinamik ..... | 62        |
| 4.2.3 Hasil Pengujian EIS .....                        | 67        |
| 4.2.4 Hasil Pengujian SEM .....                        | 71        |
| 4.3 Pembahasan.....                                    | 72        |
| <b>BAB V Kesimpulan dan Saran.....</b>                 | <b>75</b> |
| 5.1 Kesimpulan.....                                    | 75        |
| 5.2 Saran.....   | 75        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                            | <b>77</b> |
| <b>LAMPIRAN</b>  |           |
| <b>BIODATA PENULIS</b>                                 |           |

## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| Gambar 2.1 Hubungan Laju Korosi Terhadap Konsentrasi Inhibitor Anodik .....                           | 17 |
| Gambar 2.2 Diagram Polarisasi untuk Logam Baja dalam Lingkungan Asam dengan dan Tanpa Inhibitor ..... | 18 |
| Gambar 2.3 Buah Mangga.....   | 25 |
| Gambar 2.4 Struktur Umum Fenolik (Harborne, 1987) .....   | 26 |
| Gambar 2.5 Rangkaian GCMS.....  | 30 |
| Gambar 2.6 Sel Tiga Elektroda .....   | 34 |
| Gambar 2.7 Elektroda Kerja.....   | 35 |
| Gambar 2.8 Elektroda Acuan $Hg_2Cl_2$ .....   | 36 |
| Gambar 2.9 Perbedaan Tegangan dengan Arus pada Rangkaian Elektrokimia.....                            | 37 |
| Gambar 2.10 Nyquist Plot (Yuliana, 2012).....   | 39 |
| Gambar 2.11 Skema Alat Kerja <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....                           | 41 |
| Gambar 3.1 Alat dan Bahan yang Digunakan .....  | 45 |
| Gambar 3.2 (a) Hasil Pemotongan Spesimen, (b) Spesimen Berukuran $10 \times 10 \times 6$ mm.....      | 46 |
| Gambar 3.3 Spesimen Uji Polarisasi Potensiodinamik dan EIS.....                                       | 47 |
| Gambar 3.4 Proses Kulit Mangga Hingga Menjadi Serbuk .....  | 48 |
| Gambar 3.5 (a) Perendaman Selama Proses Maserasi, (b) Hasil Proses Rendaman .....                     | 49 |
| Gambar 3.6 Alat Pengujian GCMS .....  | 50 |
| Gambar 3.7 Elektrode Platina .....  | 51 |
| Gambar 3.8 Elektrode AgCl.....  | 51 |
| Gambar 3.9 Rangkaian Pengujian Polarisasi Potensiodinamik.  | 52 |
| Gambar 3.10 Alat Pengujian EIS .....  | 53 |

|  |    |
|--|----|
| Gambar 3.11 Alat Pengujian SEM .....   | 54 |
| Gambar 4.1 Hasil Proses Ekstraksi .....  | 59 |
| Gambar 4.2 Hasil Pengujian <i>Gas Chromatography Mass Spectrometry</i> Ekstrak Kulit Mangga.....   | 60 |
| Gambar 4.3 Hasil <i>fitting</i> Tafel Polarisasi Tanpa dan dengan Variasi Konsentrasi Inhibitor.....   | 63 |
| Gambar 4.4 Grafik Hasil Laju Korosi Pengujian Polarisasi Potensiodinamik.....  | 64 |
| Gambar 4.5 Grafik Hasil Efisiensi Inhibitor Pengujian Polarisasi Potensiodinamik .....   | 66 |
| Gambar 4.6 Grafik Hasil Efisiensi Pengujian EIS dengan 5 Variabel Konsentrasi Inhibitor Ekstrak Kulit Mangga.....  | 68 |
| Gambar 4.7 <i>Equivalent Circuit</i> dari plot Nyquist pada Software NOVA 1.8.....   | 68 |
| Gambar 4.8 Grafik Hasil Efisiensi Inhibitor pada Polarisasi dan EIS.....   | 70 |
| Gambar 4.9 Hasil <i>Scanning</i> dengan Perbesaran 2000x pada Permukaan Logam dengan (a) Permukaan Logam Tanpa Inhibitor, (b) Permukaan Logam dengan Inhibitor ..... | 71 |

## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| Tabel 2.1 Bahan Alam Sebagai Inhibitor Korosi .....  | 20 |
| Tabel 2.2 Komposisi HCL Secara Umum Digunakan .....  | 29 |
| Tabel 2.3 Karakteristik Baja Api 5L <i>grade B</i> .....   | 29 |
| Tabel 3.1 Unsur Kandungan Senyawa API 5L Grade B .....   | 45 |
| Tabel 3.2 Tabel Rancangan Pencatatan Hasil Pengujian Metode<br>Polarisasi Potensiodinamik .....                    | 55 |
| Tabel 3.3 Tabel Rancangan Pencatatan Hasil Pengujian Metode<br><i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> ..... | 56 |
| Tabel 4.1 Kandungan Senyawa Ekstrak Kulit buah Mangga<br>Sebagai <i>Green Inhibitor</i> .....                      | 60 |
| Tabel 4.2 Parameter Pengujian Polarisasi Potensiodinamik<br>pada Baja API 5L <i>grade B</i> .....                  | 62 |
| Tabel 4.3 Hasil Pengujian Polarisasi Potensiodinamik .....   | 65 |
| Tabel 4.4 Hasil <i>Equivalent Circuit</i> Ekstrak Kulit Mangga .....   | 69 |

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan minyak dan gas bumi yang semakin meningkat tiap tahunnya berpengaruh terhadap kenaikan harga minyak dan gas bumi. Kebutuhan minyak dan gas bumi yang tinggi ini mengharuskan seluruh perusahaan penambang baik lepas pantai maupun daratan untuk menjaga produksinya sebaik dan seefisien mungkin. Perawatan peralatan untuk menjaga proses industri tetap stabil memerlukan perhatian khusus agar terhindar dari korosi. Dalam industri minyak dan gas bumi, korosi pada alat – alat industri dianggap berbahaya bukan hanya terhadap industri itu sendiri, tetapi juga terhadap lingkungannya. Langkah – langkah pencegahan untuk mengatasi persoalan ini telah banyak dilakukan namun korosi masih dapat terjadi (Subekti, 2009). Sangat penting untuk diingat bahwa korosi tidak dapat dihentikan. Laju korosi bisa dikurangi atau diminimalkan, tetapi pengurangan laju korosi jarang mencapai nol (Petersen, 1996).

Korosi merupakan salah satu proses degradasi material dan penurunan kualitas suatu material akibat pengaruh reaksi kimia dan elektrokimia dengan lingkungannya (Jones, 1992). Lingkungan yang dapat menyebabkan suatu logam mengalami korosi adalah lingkungan yang mengandung air, lingkungan yang mengandung ion  $Cl^-$ , dan lingkungan yang mengandung asam (Tjitro, 2003). Salah satu cara menghambat korosi dilakukan dengan penambahan inhibitor. Inhibitor korosi adalah suatu senyawa yang dalam jumlah kecil tetapi kritis mampu menghambat reaksi korosi logam dengan lingkungannya. Inhibitor akan berinteraksi untuk membentuk layer pada permukaan logam untuk melindunginya dari

---



serangan korosi. Dengan penambahan inhibitor dalam lingkungan, laju korosi akan berkurang (Rosita, 2009).

Pada aplikasi industri, inhibitor yang digunakan adalah inhibitor sintesis yang bersifat tidak ramah lingkungan, toksik, dan mahal. Oleh karena itu, dikembangkan suatu inhibitor korosi alternatif yang ramah lingkungan atau lebih dikenal dengan istilah *green inhibitor* (Pandian, 2008). *Green inhibitor* mengandung atom N, O, P, S, dan atom – atom yang mempunyai pasangan elektron bebas. Unsur yang mengandung pasangan elektron bebas akan membentuk senyawa kompleks dengan logam (Hermawan, 2007). Penelitian mengenai *green inhibitor* dilakukan oleh Sulistijono dkk (2014) dengan ekstrak kulit mangga pada baja API 5L *Grade B* dalam media 3,5% NaCl ekstrak kulit mangga (*mangifera indica*) dengan konsentrasi 600 ppm mampu menghambat korosi sebesar 87,8% dengan menggunakan pengujian polarisasi potensiodinamik.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, dilakukan penelitian lebih mendalam untuk mengamati efisiensi inhibitor ekstrak kulit mangga (*mangifera indica*) pada *range* diatas konsentrasi pada penelitian sebelumnya. Variasi konsentrasi yang digunakan mulai dari 0, 2, 3, 4, 5, dan 6 ml dengan material baja API 5L *Grade B*. Media yang digunakan adalah HCL 1M. Selain itu penelitian ini juga menganalisa mengenai karakteristik dan mekanisme inhibisi dari ekstrak kulit mangga.

## 1.2 Perumusan Masalah

Dari uraian latar belakang tersebut diatas maka didapatkan permasalahan yang akan dicari pemecahannya. Beberapa permasalahannya, antara lain:



1. Bagaimana karakteristik ekstrak kulit mangga (*mangifera indica*) sebagai inhibitor pada baja API 5L Grade B dalam media HCL 1M?
2. Bagaimana mekanisme inhibisi dari *Green Inhibitor* yang berasal dari ekstrak kulit mangga pada baja API 5L Grade B?
3. Bagaimana efisiensi dari pemanfaatan ekstrak kulit mangga (*mangifera indica*) sebagai inhibitor korosi pada baja API 5L Grade B dengan konsentrasi 0, 2, 3, 4, 5, dan 6 ml dalam media HCL 1M?

### 1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian dan pembahasan masalah ini tidak terlalu meluas dan penelitian ini dapat mencapai tujuan yang telah ditentukan, maka perlu diberikan batasan masalah, yaitu:

1. Komposisi kimia, dimensi, dan kehalusan permukaan baja API 5L Grade B dianggap homogen.
2. Larutan yang digunakan adalah HCL 1M dengan volume, temperatur, dan PH larutan dianggap sama.
3. Kecepatan fluida diabaikan.
4. Jenis kulit mangga yang digunakan dianggap homogen.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa karakteristik ekstrak kulit mangga (*mangifera indica*) sebagai inhibitor pada baja API 5L Grade B
2. Menganalisa mekanisme inhibisi dari *Green Inhibitor* yang berasal dari ekstrak kulit mangga pada baja API 5L Grade B?
3. Menganalisa efisiensi dari pemanfaatan ekstrak kulit mangga (*mangifera indica*) sebagai inhibitor korosi



pada baja API 5L *Grade* B dengan konsentrasi 0, 2, 3, 4, 5, dan 6 ml dalam media HCL 1M?

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Hasil yang diperoleh dari penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Untuk memperkaya kajian dibidang pengendalian korosi tentang *Green Inhibitor* yang berbahan dasar bahan alam di lingkungan sekitar.
2. Lebih memahami tentang pemanfaatan kulit buah mangga yang biasanya menjadi suatu hal yang tidak berguna namun ternyata dapat digunakan sebagai alternatif inhibitor korosi yang nantinya dapat diaplikasikan pada baja karbon yang digunakan pada dunia industri khususnya industri minyak dan gas bumi.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan di susun untuk memberikan gambaran penjas mengenai bagian-bagian tugas akhir, diantaranya :

#### **BAB I Pendahuluan**

Berisikan tentang : latar belakang, rumusan permasalahan, batasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan.

#### **BAB II Dasar Teori**

Membahas tentang dasar-dasar teori yang digunakan sebagai dasar penelitian dan pemikiran.

#### **BAB III Metodologi**

Membahas tentang diagram alir, pengumpulan data serta tahap-tahapan proses penelitian berlangsung.



#### **BAB IV Hasil Penelitian dan Pembahasan**

Membahas tentang hasil pengujian serta pembahasan data terkait hasil pengujian.

#### **BAB V Kesimpulan dan Saran**

Membahas tentang kesimpulan dari hasil penelitian dan saran-saran penulis dalam penyusunan tugas akhir.



*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*



## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 Pengertian Korosi

Korosi merupakan degradasi material (dalam hal ini logam) akibat reaksi elektrokimia material tersebut dengan lingkungannya. Banyak ahli juga menyebutkan korosi merupakan perusakan atau penurunan mutu suatu material karena reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Lingkungan tersebut dapat berupa air, udara, gas, larutan asam, dan lain – lain.

Korosi merupakan sesuatu yang sangat berbahaya, baik secara langsung maupun tidak langsung. Di bidang industri minyak dan gas, proses korosi adalah suatu masalah yang penting dan perlu diperhatikan karena dampak akibat dari korosi cukup besar. Contoh di bidang minyak dan gas bila terjadi korosi pada pipa – pipa sebagai media tempat mengalirnya minyak dan gas dari pengeboran menuju *platform proses*, maka akan dapat berakibat timbul kerusakan dan kebocoran pada pipa – pipa tersebut. Dampak korosi secara langsung ialah dibutuhkan biaya untuk mengganti material – material logam atau alat – alat yang rusak akibat korosi, biaya pengerjaan untuk penggantian material yang terkorosi, biaya untuk pengendalian korosi dan biaya tambahan untuk membuat konstruksi dengan material yang lebih tebal (*over design*). Dampak secara tidak langsung, korosi dapat mengakibatkan kerugian seperti penyediaan gas terhenti, *image* perusahaan menurun, nilai saham menjadi turun, dan menghasilkan *safety* yang rendah.

Reaksi yang terjadi pada proses korosi akan menghasilkan sulfida logam, oksida logam, dan hasil reaksi lainnya. Pada saat proses korosi terjadi reaksi elektrokimia antara material dengan lingkungan di sekitar material tersebut. Reaksi elektrokimia

---



yang terjadi merupakan reaksi reduksi-oksidasi. Logam yang mengalami proses korosi akan terjadi reaksi oksidasi dimana logam akan terdegradasi menjadi ion – ion dari logam tersebut dan selain itu menghasilkan elektron.

Industri minyak dan gas terutama mengenai eksplorasi, operasi produksi, operator lapangan, biasanya ingin memiliki pasokan minyak dan gas bumi yang tidak terputus ke titik ekspor atau pengolahan. Pipa – pipa dan komponen perlengkapan dari *lining* akan mengalami degradasi material dengan berbagai kondisi dari sumur akibat perubahan komposisi fluida, *souring* sumur selama periode tertentu, perubahan kondisi operasi tekan, dan suhu. Mendeskripsikan korosi yang terjadi pada industri minyak dan gas dalam berbagai bentuk, diantaranya (Naili. K, 2010) :

### **2.1.1 Korosi Galvanik (*Galvanic Corrosion*)**

Yaitu korosi yang terjadi karena terdapat hubungan antara dua logam yang disambung, terdapat perbedaan potensial diantara keduanya, serta terpapar dalam lingkungan elektrolit. Kehadiran gas  $H_2S$  dan temperatur rendah mendorong bentuk korosi galvanis ini.

### **2.1.2 Korosi Erosi**

Yaitu korosi yang terjadi karena tercegahnya pembentukan film pelindung yang disebabkan oleh kecepatan aliran fluida yang tinggi.

### **2.1.3 Korosi Celah**

Yaitu korosi yang terjadi pada celah – celah gasket, sambungan bertindih, sekruk – sekruk atau kelingan – kelingan yang terbentuk oleh kotoran endapan atau timbul dari produk – produk karat. Bentuk korosi ini adalah pitting yang terbentuk



pada permukaan logam dan secara bertahap meluas pada logam tersebut.

#### **2.1.4 Korosi Retak Tegang**

Yaitu korosi berbentuk retak – retak yang tidak mudah dilihat, terbentuk dipermukaan logam dan berusaha merembet ke dalam. Ini banyak terjadi pada logam – logam yang banyak mendapat tekanan. Hal ini disebabkan kombinasi dari tegangan tarik dan lingkungan yang korosif sehingga struktur logam melemah. Kehadiran klorida dalam fluida dapat menyerang material melalui efek *depassivation*. Korosi retak tegang klorida sangat dipengaruhi oleh suhu, konsentrasi klorida, dan tegangan sisa pada logam. Kehadiran oksigen dan pH asam mempercepat korosi ini.

#### **2.2 Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi**

Pada lingkungan netral laju korosi suatu logam adalah 1 mpy atau kurang. Umumnya problem korosi disebabkan oleh air. Tetapi ada beberapa faktor selain air yang mempengaruhi laju korosi, diantaranya:

- a. Derajat Keasaman (pH)  
pH memiliki hubungan laju korosi sebuah material logam. Laju korosi rendah pada pH antara 7-14. Laju korosi akan meningkat pada  $\text{pH} < 7$  dan pada  $\text{pH} > 13$ .
- b. Temperatur  
Secara termodinamika, temperatur memiliki hubungan dengan laju korosi. Penambahan temperatur umumnya menambah laju korosi walaupun kenyataannya kelarutan oksigen berkurang dengan meningkatnya temperatur. Apabila metal pada temperatur yang tidak uniform, maka akan besar kemungkinan terbentuk korosi.



- c. Gas terlarut  
Oksigen ( $O_2$ ), kelarutan oksigen dalam air akan mempengaruhi laju korosi. Semakin banyak oksigen terlarut, akan semakin cepat laju korosinya.
- d. Laju Aliran
- e. Kelembapan Relatif
- f. Bahan Terlarut

### 2.3 Mekanisme Terjadinya Korosi Pada Baja

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

Apabila logam terpapar dalam medium fluida yang mempunyai pH mendekati netral maka logam secara spontan akan teroksidasi menurut reaksi anodik:

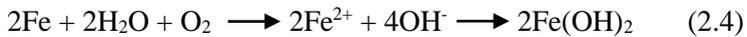


Reaksi katodik yang terjadi pada kondisi ini adalah:

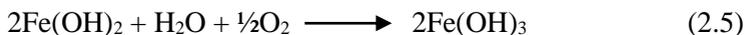




Untuk reaksi secara keseluruhan dalam proses korosi, tanpa terlibatnya ion-ion klorida, nitrat, dan nitrit ialah sebagai berikut:

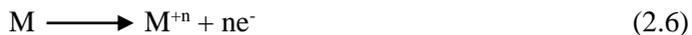


Senyawa  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  yang dihasilkan akan mengendap pada permukaan logam dan membentuk lapisan. Lapisan yang terbentuk bersifat porous sehingga oksigen dapat berdifusi ke dalam lapisan, yang pada gilirannya proses oksidasi akan berlangsung secara perlahan.  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  merupakan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



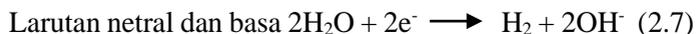
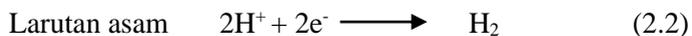
Komponen – komponen yang merupakan syarat terjadi korosi antara lain:

1. Adanya anoda, merupakan elektroda yang terkorosi atau yang mengalami proses oksidasi (melepaskan elektron).



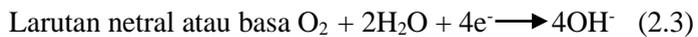
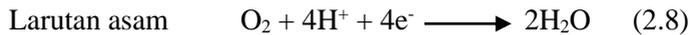
2. Adanya katoda, merupakan elektroda yang mengalami reaksi proteksi (menerima elektron). Reaksi yang umumnya terjadi pada katoda adalah

- Evolusi  $\text{H}_2$  dari larutan asam atau netral:





- Reduksi oksigen pada larutan asam atau basa dan netral:



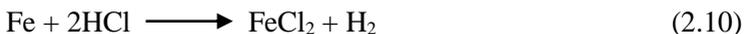
- Reduksi dari oksidator:



3. Larutan elektrolit sebagai media penghantar listrik.
4. Adanya kontak metalik antar anoda dan katoda sehingga elektron dapat mengalir dari anoda menuju katoda (Sulistijono, 2000).

### 2.3.1 Korosi pada Asam Klorida (HCL)

Reaksi korosi yang terjadi pada asam klorida disederhanakan karena pada setiap reaksi katodik adalah evolusi dari gas hidrogen sesuai reaksi (2.2). Semua reaksi korosi melibatkan pengurangan ion hidrogen dan hanya berbeda pada reaksi oksidasinya atau reaksi anodiknya seperti pada reaksi (2.1). Reaksi yang terjadi selama proses korosi dalam media asam klorida (HCL) adalah sebagai berikut:



### 2.4 Perlindungan Terhadap Korosi

Dengan banyaknya kerugian yang ditimbulkan oleh korosi, maka terdapat cara untuk mencegah dan menggagalkan terjadinya korosi. Beberapa cara pencegahan korosi yaitu sebagai berikut (Candra, 2011) :

- Pemilihan Material
- Pelapisan (coating)



- Proteksi Katodik dan Anodik
- Inhibitor

## 2.5 Pengertian Inhibitor

Inhibitor adalah zat yang apabila ditambahkan ke suatu lingkungan dalam jumlah kecil (secara berkesinambungan) dapat menurunkan laju korosi logam. Banyak hal yang harus diperhatikan dalam pemilihan jenis inhibitor, diantaranya: harga yang relatif mahal terutama bila diperlukan dalam dosis tinggi, tingkat toksisitas terhadap makhluk hidup dan lingkungan sekitarnya, ketersediaan bahan inhibitor dan bersifat ramah lingkungan.

### 2.5.1 Klasifikasi Inhibitor

Beberapa klasifikasi utama, digunakan khusus untuk inhibitor dalam larutan mendekati netral adalah sebagai berikut:

a. Berdasarkan bahan dasarnya :

- Inhibitor Organik

Inhibitor ini berasal dari senyawa makhluk hidup.

- Inhibitor Anorganik

Inhibitor ini berasal dari bahan-bahan anorganik.

b. Berdasarkan reaksi yang dihambat :

- Inhibitor Katodik

Inhibitor katodik disebut inhibitor antarfasa. Inhibitor jenis ini dapat menurunkan laju korsi dengan cara menghambat salah satu tahap dari proses katodik, seperti pembebasan ion-ion hidrogen atau penangkapan gas oksigen. Reaksi utama yang umum terjadi pada katoda di dalam media air, yaitu reaksi pembentukan hidrogen dari proton :





Dan reaksi reduksi gas oksigen dalam suasana asam



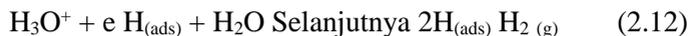
Karena bagi suatu sel korosi, reaksi reduksi oksidasi terbentuk oleh pasangan reaksi reduksi dan reaksi oksidasi dengan kecepatan yang sama, maka apabila reaksi reduksi (pada katoda) dihambat akan menghambat pula reaksi oksidasi (pada anoda). Inilah yang menjadi pedoman pertama di dalam usaha menghambat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

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 tiga 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 hydrogen, reaksi diawali yang teradsorpsi pada permukaan katoda.



Atau



Inhibitor harus berperan menghambat kedua tahap reaksi diatas terutama reaksi yang pertama, misalnya berdasarkan diagram arus potensial (voltaqram) reaksi



pembentukan hydrogen 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 hydrogen pada permukaan katoda. Atom-atom tersebut dapat terpenetrasi ke dalam kisi logam dan mengakibatkan timbulnya kerapuhan akibat hydrogen. Pembentukan hydrogen dikendalikan melalui peningkatan polarisasi sistem.

Untuk mempercepat reaksi, diperlukan katalisator, misalnya garam-garam dari Co(II), Mn(II), atau Cu(II), dan pada akhir-akhir ini banyak digunakan senyawa-senyawa organologam. Organologam dihasilkan akibat reaksi pembentukan senyawa khelat antara ion logam dengan suatu ligan tertentu, misalnya Co (3,4-toluen diamine)  $2\text{Cl}_2$ . Inhibitor dianggap aman meskipun jumlah inhibitor yang ditambahkan terlalu sedikit. Hal ini dikarenakan sebarangpun sebagian 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  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ , hidroksil amin HCL, N,N-diethyl hydroxylamine, gas  $\text{SO}_2$ , dan sebagainya.

#### - Inhibitor Anodik

Inhibitor anodik disebut juga inhibitor antar muka. Inhibitor jenis ini dapat menurunkan laju korosi dengan cara menghambat transfer ion-ion logam ke dalam larutan. Hal ini terjadi karena berkurangnya daerah anoda akibat pasivasi. Mekanisme inhibitor ini yaitu dengan meningkatkan polarisasi anoda melalui reaksi dengan



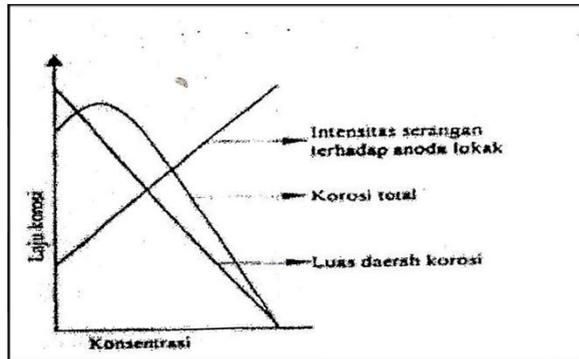
ion-ion logam yang terkorosi untuk menghasilkan selaput-selaput pasif tipis, atau lapisan-lapisan garam yang kemudian menyelimuti anoda. Inhibitor anodik mempunyai dua jenis karakteristik, yaitu yang satu membutuhkan oksigen terlarut untuk menjadi efektif, misalnya molibdat, silikat, fosfat, dan borat, sedang yang lain merupakan agen pengoksidasi. Untuk besi dan baja, dua jenis inhibitor ini penting, karena masing-masing karakteristiknya saling mendukung.

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

Berikut ini reaksi terjadi :



Molekul organik teradsorpsi di permukaan logam, sehingga katalis  $\text{FeOH}_{\text{ad}}$  berkurang akibatnya laju korosi menurun. Contoh inhibitor anodik adalah molibdat, silikat, fosfat, borat, kromat, nitrat, dan nitrit. Inhibitor jenis ini sering dipakai/ditambahkan pada saat *chemical cleaning* peralatan pabrik.



**Gambar 2.1** Hubungan Laju Korosi Terhadap Konsentrasi Inhibitor anodik

- Inhibitor campuran

Merupakan campuran dari inhibitor katodik dan anodik.

c. Berdasarkan mekanisme

- Inhibitor Pasivator

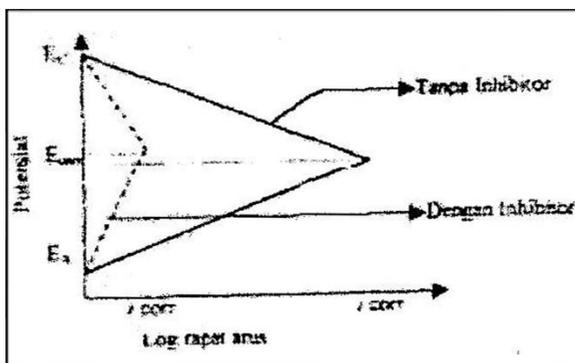
Menghambat laju korosi dengan cara menghambat reaksi anodik melalui pembentukan lapisan pasif, sehingga merupakan inhibitor berbahaya, bila jumlah yang ditambahkan tidak mencukupi.

- Inhibitor Presipitas

Membentuk kompleks tak larut dengan logam atau lingkungan sehingga menutup permukaan logam dan menghambat reaksi anodik dan katodik. Inhibitor adsorpsi merupakan jenis inhibitor dari golongan senyawa organik yang dapat mengisolasi permukaan logam dari lingkungan korosif melalui pembentukan lapisan teradsorpsi, sehingga dapat menurunkan laju korosi. Terjadinya korosi akibat



dari sifat muatan atau kepolaran molekul atau spesi ion organik yang membentuk lapisan permukaan secara fisikosorpsi dan distabilkan melalui kemisorpsi. 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 lapisan film teradsorpsi yang terbentuk secara merata pada seluruh permukaan logam menutupi daerah anoda dan katoda, sehingga dapat menghambat secara simultan reaksi elektron dengan hydrogen dan oksigen, serta menghambat pelarutan ion logam. Penambahan inhibitor organik ke lingkungan asam relative tidak merubah potensial korosi logam baja, meskipun laju korosi dapat diturunkan cukup besar, hal ini dapat diamati pada gambar. Senyawa organik yang dapat berfungsi sebagai inhibitor korosi harus mempunyai *hydrocarbon group* yang bersifat hidrofob pada salah satu ujung rantai ikatannya yang bersifat hidrofilik, yaitu antara lain N, NH, NH<sub>2</sub>, organik, OH, S, SH.



**Gambar 2.2** Diagram Polarisasi untuk Logam Baja dalam Lingkungan Asam dengan dan Tanpa Inhibitor



### 2.5.2 Efisiensi Inhibitor

Ukuran keberhasilan daya inhibisi suatu inhibitor terhadap penurunan laju korosi dinyatakan sebagai % Efisiensi Inhibitor. Keefektifan inhibitor korosi dihitung menurut rumus sebagai berikut :

$$EI = \frac{CR_0 - CR_1}{CR_0} \times 100\% \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

EI = Efisiensi Inhibitor

CR<sub>0</sub> = Laju korosi tanpa penambahan inhibitor

CR<sub>1</sub> = Laju korosi dengan penambahan inhibitor

Inhibitor organik bekerja dengan cara teradsorpsi secara kimiawi di permukaan logam. Proses kemisorpsi bersifat spesifik untuk setiap jenis logam paduan, sehingga keefektifan suatu inhibitor organik akan berbeda pada logam paduan yang berbeda. Kemisorpsi suatu senyawa organik difasilitasi oleh keberadaan gugus polar di dalam struktur molekul, yang akan tertarik ke permukaan logam. Keefektifan inhibisi molekul organik dapat ditingkatkan dengan ukuran molekul yang lebih besar, asimetri, berat molekul yang lebih besar dan densitas elektron yang lebih tinggi.

### 2.6 Inhibitor Ekstrak Bahan Alam

Syarat umum suatu senyawa yang dapat digunakan sebagai inhibitor korosi logam adalah senyawa-senyawa yang mampu membentuk kompleks, baik kompleks terlarut maupun kompleks yang mengendap. Untuk itu perlu gugus fungsi yang mengandung atom-atom yang mampu membentuk ikatan kovalen koordinasi. Ekstrak bahan alam khususnya senyawa yang mengandung atom N, O, P, S, dan atom-atom yang



memiliki pasangan elektron bebas. Unsur-unsur yang mengandung pasangan elektron bebas ini nantinya dapat berfungsi sebagai ligan yang akan membentuk senyawa kompleks dengan logam.

Dari beberapa hasil penelitian bahwa ekstrak daun tembakau, teh, dan kopi dapat efektif sebagai inhibitor pada sampel logam besi, tembaga, dan aluminium dalam medium larutan garam. Keefektifan ini diduga karena ekstrak daun tembakau, teh, dan kopi memiliki unsur nitrogen yang berfungsi sebagai pendonor elektron terhadap logam  $\text{Fe}^{2+}$  untuk membentuk senyawa kompleks (Von Fraunhofer dkk, 2001).

Efektivitas ekstrak bahan alam sebagai inhibitor korosi tidak terlepas dari kandungan nitrogen yang terdapat dalam senyawa kimianya seperti pada daun tembakau yang mengandung senyawa-senyawa kimia antara lain nikotin, hidrazin, alanin, quinolin, anilin, piridin, amina, dan lain-lain. Pada **tabel 2.1** disebutkan beberapa penelitian yang sudah dilakukan dengan menggunakan inhibitor yang berasal dari ekstrak bahan alam.

**Tabel 2.1** Bahan Alam sebagai Inhibitor Korosi

| No | Peneliti            | Logam                | Media   | Inhibitor                    | Metoda                                    | Metode Inhibisi   |
|----|---------------------|----------------------|---------|------------------------------|---|-------------------|
| 1. | S. Rajenderan, 2009 | Aluminium pada pH 12 | NaCl 3% | Bunga Sepatu                 | Pengurangan berat, AC Impedance, dan FTIR | Inhibitor Katodik |
| 2. | Rosita, 2009        | Baja Austenitik 304  | NaCl 3% | Asam lemak Minyak Biji Kapuk | Pengurangan berat dan polarisasi          | Menghambat Korosi |



|    |                      |                   |  |                          |  |  |
|----|----------------------|-------------------|--|--------------------------|--|--|
|    |                      |                   |  |                          | potensiiodinamik   |  |
| 3. | A. Bouyanzer, 2004   | <i>Mild Steel</i> | HCL  | Jahe                     | Pengurangan berat  | IE meningkat sebanding dengan bertambah tingginya temperatur |
| 4. | P. Bothi, 2009       | <i>Mild Steel</i> | 1M HCL dan H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>      | Kentang                  | Pengurangan berat, polarisasi potensiiodinamik, <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS), dan SEM | Inhibitor dengan adsorpsi isoterm                            |
| 5. | M. A. Quraishi, 2010 | <i>Mild Steel</i> | 1M HCL dan 0,5M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | Daun Koja atau daun kari | Pengurangan berat, polarisasi potensiiodinamik, <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS)          | <i>Langmuir adsorption isoterm</i>                           |
| 6. | S.P. Ramesh, 2001    | <i>Mild Steel</i> | HCL  | Tanaman Sambiloto        | Pengurangan berat, polarisasi tafel dan  | Inhibitor Korosi   |



|     |                                   |                         |  |                         |  |                                     |
|-----|-----------------------------------|-------------------------|--|-------------------------|--|-------------------------------------|
|     |                                   |                         |  |                         | <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i>                          |                                     |
| 7.  | J.H. Potgieler, 2008              | SS duplex 2205 dan 2507 | HCL dan H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | Madu                    | Elektrokimia   | Inhibitor Anodik                    |
| 8.  | R. Ananda Loise Sathanathan, 2005 | <i>Mild Steel</i>       | 100 ppm NaCl                           | Daun Jarak              | Pengurangan berat dan elektrokimia   | Inhibitor katodik                   |
| 9.  | N.O. Edy, 2009                    | <i>Mild Steel</i>       | 2M HCL                                 | Lidah Buaya             | <i>Infrared spectrophotometer</i> , adsorpsi termodinamika dan gasometric    | <i>Chemical adsorption isotherm</i> |
| 10. | A.K. Satapathy, 2009              | <i>Mild Steel</i>       | 1M HCL                                 | Gandarus atau daun rusa | Pengurangan berat, teknik elektrokimia, AFM, dan ESCA dengan temperatur 25°C | <i>Langmuir adsorption isotherm</i> |
| 11. | E.I. Ating, 2010                  | Aluminium               | HCL                                    | Daun Buah Nanas         | Pengurangan berat dan <i>Hydrogen evolution</i>                              | <i>Langmuir adsorption isotherm</i> |
| 12. | E.A. Noor, 2009                   | Aluminium               | 0,5M NaOH                              | Daun Rosella            | Elektrokimia   | <i>Langmuir adsorption isotherm</i> |



|     |                     |                              |                        |  |   |                               |
|-----|---------------------|------------------------------|------------------------|--|---|-------------------------------|
| 13. | Sari Kusuma W, 2012 | Baja Karbon API 5L grade B   | Air laut buatan        | Kulit buah mangga dan kulit buah jeruk | GCMS, polarisasi potenciometri, dan <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS)                         | Inhibitor adsorpsi bahan alam |
| 14. | Sulistijono, 2014   | Baja Karbon                  | Lingku ngan salt water | Kulit buah mangga dan kulit buah jeruk | Polarisasi potenciometri  | Inhibitor adsorpsi bahan alam |
| 15. | Nabila, 2014        | API 5L grade B dan AISI 1010 | 3,5% NaCL              | Sarang semut                           | FTIR, Polarisasi potenciometri, <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS), Pengurangan berat, dan SEM |                               |

## 2.7 Antioksidan

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



memperoleh pasangan elektron dalam mencapai kestabilan atom atau molekul.

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

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

## 2.8 Buah Mangga

Mangga berasal dari sekitar perbatasan India dengan Burma dan menyebar ke Asia Tenggara semenjak 1500 tahun yang lalu. Nama buah ini berasal dari Malayam *maanga* dan dipadankan dalam bahasa Indonesia menjadi mangga. Kata ini dibawa ke Eropa oleh orang-orang Portugis dan diserap menjadi *manga* (bahasa Portugis), *mango* (bahasa Inggris) dan lain-lain.



Nama ilmiahnya yaitu *Mangifera Indica L.* Yang mengandung arti pohon yang berbuah mangga, berasal dari India. Buah Mangga yang akan digunakan seperti pada gambar 2.3 berikut.



**Gambar 2.3** Buah Mangga

Klasifikasi ilmiah dari buah mangga, yaitu:

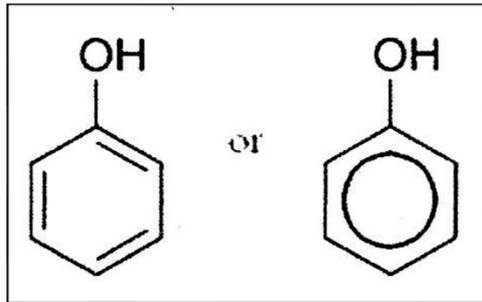
- Kingdom : Plantae
- Filum : Magnoliophyta
- Kelas : Magnoliopsida
- Ordo : Sapindales
- Famili : Anacardiaceae
- Genus : *Mangifera*
- Spesies : *Mangifera Indica L.*

Mangga mempunyai kulit buah agak tebal berbintik-bintik kelenjar, berwarna hijau, kekuningan atau kemerahan bila masak. Ekstrak kulit mangga (*Mangifera Indica L.*) sebagai antioksidan yang baik mengandung polyphenols, antosianin, dan karetenoid (Ajila dkk, 2006).

Polifenol merupakan senyawa turunan fenol yang mempunyai aktifitas sebagai antioksidan. Senyawa fenol memiliki ciri yaitu memiliki cincin aromatik yang mengandung satu atau dua gugus hidroksi dan bersifat mudah larut dalam air. Senyawa fenolik banyak terkandung dalam tanama, seperti



pada buah, sayur, kulit buah, batang tanaman, daun, biji, dan bunga.



**Gambar 2.4** Struktur Umum Fenolik (Harborne, 1987)

Antosianin merupakan sub-tipe senyawa organik dari keluarga flavonoid dan merupakan anggota kelompok senyawa yang lebih besar yaitu polifenol (kumpulan rantai fenol). Ikatan terkonjugasi dari antosianin menjadi antioksidan dengan penangkapan radikal bebas yang akhirnya dapat menghambat proses oksidasi. Antosianin merupakan zat warna alami yang bersifat sebagai antioksidan yang terdapat dalam tumbuh-tumbuhan. Lebih dari 300 struktur antosianin yang telah ditemukan telah diidentifikasi secara alami. Antosianin adalah pigmen dari kelompok flavonoid yang larut dalam air, berwarna merah sampai biru dan tersebar luas pada tanaman.

Para ahli meyakini mangga adalah sumber karetonoid yang disebut beta cryptoxanthin, yaitu bahan penumpas kanker yang baik. Mangga juga kaya vitamin, antioksidan seperti vitamin C dan E. Kulit buah mangga juga mengandung senyawa flavonoid. Kandungan flavonoid dalam kulit mangga yang mempunyai gugus hidroksi bebas dapat menghambat aktivitas sitokrom.



Flavonoid adalah suatu kelompok senyawa fenol terbesar yang ditemukan di alam dan yang memiliki potensi sebagai antioksidan serta bioaktivitas sebagai obat. Senyawa flavonoid sebenarnya terdapat pada semua bagian tumbuhan termasuk daun, akar, kayu, kulit, tepung sari, bunga, buah, dan biji.

## 2.9 Proses Ekstraksi

Ekstraksi adalah suatu proses pemisahan dari bahan padat maupun cair dengan bantuan pelarut. Pelarut yang digunakan harus dapat mengekstrak substansi yang diinginkan tanpa melarutkan material lainnya. 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
  - *Maserasi*, adalah proses pengekstrakan simplisia dengan menggunakan pelarut dengan beberapa kali perendaman simplisia dengan suhu ruangan (kamar). Remaserasi berarti dilakukan pengulangan penambahan pelarut setelah dilakukan penyarian maserat pertama dan seterusnya.
  - *Perkolasi*, adalah ekstraksi dengan pelarut yang selalu baru sampai sempurna (*exhaustive extraction*) yang umumnya dilakukan pada temperatur ruangan. Proses ini terdiri dari tahap pengembahan bahan, tahap maserasi, tahan perkolasi sebenarnya (penetesan/penampungan



ekstrak) terus menerus sampai diperoleh ekstrak (perkolat).

## 2. Cara panas

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

## 2.10 HCL

Asam klorida adalah larutan akuatik dari gas hidrogen klorida (HCl). Asam klorida adalah asam kuat, dan merupakan komponen utama dalam asam lambung. Senyawa ini juga digunakan secara luas dalam industri.

**Tabel 2.2** Komposisi HCL Secara Umum Digunakan

| Konsentrasi |                       | Massa jenis | Molaritas           | pH   | Viskositas | Titik didih | Titik leleh |
|-------------|-----------------------|-------------|---------------------|------|------------|-------------|-------------|
| Kg HCL/kg   | Kg HCL/m <sup>3</sup> | Kg/l        | Mol/dm <sup>3</sup> |      | mPa . s    | °C          | °C          |
| 32%         | 370,88                | 1,159       | 10,17               | -1,0 | 1,80       | 84          | -43         |

### 2.11 Pipa Baja API 5L Grade B

Baja yang digunakan dalam perpipaan *oil & gas* adalah API 5L, *American Petroleum Institute*, dengan berbagai grade, mengikuti kekuatan mekanisnya, akibat dari komposisi kimianya. Tabel 2.3 menampilkan *yield strength*, *mechanical strength*, dan kandungan kimianya.

**Tabel 2.3** Karakteristik Baja Api 5L grade B

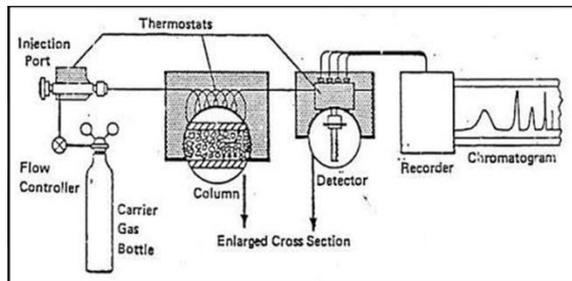
| Chemical Composition (%) |      |      |       |      |       |       |      |      |       | Mechanical Properties (Mpa) |                |
|--------------------------|------|------|-------|------|-------|-------|------|------|-------|-----------------------------|----------------|
| C                        | Si   | Mn   | P     | S    | Cr    | Ni    | Cu   | Mo   | Al    | Tensile Strength            | Yield Strength |
| 0,21                     | 0,23 | 0,45 | 0,013 | 0,01 | 0,033 | 0,018 | 0,03 | 0,01 | 0,001 | 505                         | 275            |

### 2.12 Gas Cromatografy Mass Spectrometry (GC-MS)

GCMS merupakan metode pemisahan senyawa organik yang menggunakan dua metode analisis senyawa yaitu kromatografi gas (GC) untuk menganalisis jumlah senyawa secara kuantitatif dan spektrometri massa (MS) untuk menganalisis struktur molekul senyawa analit. Gas kromatografi merupakan salah satu teknik spektroskopi yang menggunakan prinsip pemisahan campuran berdasarkan perbedaan kecepatan migrasi komponen-komponen penyusunnya. Gas kromatografi biasa digunakan untuk mengidentifikasi suatu senyawa yang terdapat pada campuran



gas dan juga menentukan konsentrasi suatu senyawa dalam fase gas. Spektroskopi massa adalah suatu metode untuk mendapatkan berat molekul dengan cara mencari perbandingan massa terhadap muatan dari ion yang muatannya diketahui dengan mengukur jari-jari orbit melingkarnya dalam medan magnetik seragam. Penggunaan kromatografi gas dapat dipadukan dengan spektroskopi massa. Paduan keduanya dapat menghasilkan data yang lebih akurat dalam pengidentifikasian senyawa yang dilengkapi dengan struktur molekulnya.



**Gambar 2.5** Rangkaian GCMS

Rangkaian instrumentasi untuk gas kromatografi dan spektroskopi massa bergabung menjadi satu kesatuan rangkaian yang sering disebut dengan GCMS. Secara umum rangkaian GCMS dapat dilihat pada gambar 2.5 di atas.

### 1. Instrumentasi Gas Kromatografi

#### a. *Carrier Gas Supply*

Gas pembawa (*carrier gas*) pada kromatografi gas sangatlah penting. Gas yang dapat digunakan pada dasarnya haruslah inert, kering, dan bebas oksigen. Kondisi seperti ini dibutuhkan karena gas pembawa ini dapat saja bereaksi dan dapat mempengaruhi gas yang akan dipelajari atau diidentifikasi.



### b. Injeksi Sampel

Sejumlah kecil sampel yang akan dianalisis diinjeksikan pada mesin menggunakan semprit kecil. Jarum semprit menembus lempengan karet tebal (Lempengan karet ini disebut septum) yang mana akan mengubah bentuknya kembali secara otomatis ketika semprit ditarik keluar dari lempengan karet tersebut.

### c. Kolom

Ada dua tipe utama kolom dalam kromatografi gas-cair. Tipe pertama, tube panjang dan tipis berisi material padatan; Tipe kedua, lebih tipis dan memiliki fase diam yang berikatan dengan pada bagian terdalam permukaannya. Ada tiga hal yang dapat berlangsung pada molekul tertentu dalam campuran yang diinjeksikan pada kolom:

- Molekul dapat berkondensasi pada fase diam.
- Molekul dapat larut dalam cairan pada permukaan fase diam.
- Molekul dapat tetap pada fase gas.

## 2. Instrumentasi Spektroskopi Massa

### a. Sumber Ion

Setelah melewati rangkaian gas kromatografi, sampel gas yang akan diuji dilanjutkan melalui rangkaian spektroskopi massa. Molekul-molekul yang melewati sumber ion ini diserang oleh elektron, dan dipecah menjadi ion-ion positifnya. Tahap ini sangatlah penting karena untuk melewati filter, partikel-partikel sampel haruslah bermuatan.

### b. Filter

Selama ion melintasi rangkaian spektroskopi massa, ion-ion ini melalui rangkaian elektromagnetik yang menyaring ion berdasarkan perbedaan massa. Para ilmuwan memisahkan komponen-komponen massa untuk kemudian dipilih yang mana yang boleh melanjutkan yang mana yang tidak (prinsip



penyaringan). Filter ini terus menyaring ion-ion yang berasal dari sumber ion untuk kemudian diteruskan ke detektor.

### c. Detektor

Ada beberapa tipe detektor yang biasa digunakan. Detektor ionisasi nyala dijelaskan pada bagian bawah penjelasan ini, merupakan detektor yang umum dan lebih mudah untuk dijelaskan daripada detektor alternatif lainnya.

Dalam mekanisme reaksi, pembakaran senyawa organik merupakan hal yang sangat kompleks. Selama proses, sejumlah ion-ion dan elektron-elektron dihasilkan dalam nyala. Kehadiran ion dan elektron dapat dideteksi. Seluruh detektor ditutup dalam oven yang lebih panas dibanding dengan temperatur kolom. Hal itu menghentikan kondensasi dalam detektor.

Hasil detektor akan direkam sebagai urutan puncak-puncak; setiap puncak mewakili satu senyawa dalam campuran yang melalui detektor. Sepanjang anda mengontrol secara hati-hati kondisi dalam kolom, anda dapat menggunakan waktu retensi untuk membantu mengidentifikasi senyawa yang tampak-tentu saja anda atau seseorang lain telah menganalisa senyawa murni dari berbagai senyawa pada kondisi yang sama.

### 3. Cara Kerja GCMS

Kromatografi gas (GC) merupakan jenis kromatografi yang digunakan dalam kimia organik untuk pemisahan dan analisis. GC dapat digunakan untuk menguji kemurnian dari bahan tertentu, atau memisahkan berbagai komponen dari campuran. Dalam beberapa situasi, GC dapat membantu dalam mengidentifikasi sebuah senyawa kompleks.

Dalam kromatografi gas, fase yang bergerak (atau "mobile phase") adalah sebuah operator gas, yang biasanya gas murni seperti helium atau yang tidak reactive seperti gas



nitrogen. *Stationary* atau fasa diam merupakan tahap mikroskopis lapisan cair atau polimer yang mendukung gas murni, di dalam bagian dari sistem pipa-pipa kaca atau logam yang disebut kolom. Instrumen yang digunakan untuk melakukan kromatografi gas disebut gas chromatograph (atau "aerograph", "gas pemisah").

Umumnya spektrum massa diperoleh dengan mengubah senyawa suatu sample menjadi ion-ion yang bergerak cepat yang dipisahkan berdasarkan perbandingan massa terhadap muatan.

Spektroskopi massa mampu menghasilkan berkas ion dari suatu zat uji, memilah ion tersebut menjadi spektrum yang sesuai dengan perbandingan massa terhadap muatan dan merekam kelimpahan relatif tiap jenis ion yang ada. Umumnya hanya ion positif yang dipelajari karena ion negative yang dihasilkan dari sumber tumbukan umumnya sedikit.

## **2.13 Polarisasi Potensiodinamik**

### **2.13.1 Sel Tiga Elektroda**

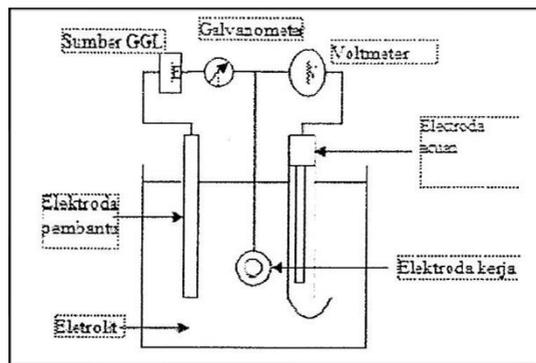
Sel tiga elektroda merupakan perangkat laboratorium baku untuk penelitian kuantitatif terhadap sifat korosi bahan. Secara umum sel tiga elektroda tersusun atas elektroda kerja, elektroda acuan, dan elektroda pembantu yang dihubungkan dengan sumber potensial, alat pengukur arus listrik, dan alat pengukur potensial listrik seperti yang ditunjukkan pada gambar.

Instrumen yang khas untuk mengakomodasi tiga kebutuhan tersebut adalah potensiostat. Potensiostat akan memberikan potensial yang telah ditentukan terlebih dahulu kepada elektroda kerja sehingga pengukuran arus dapat dilakukan. Pengukuran arus hanya dapat terjadi jika arus yang melalui elektroda bantu memiliki harga yang sedemikian



sehingga beda potensial antara elektroda kerja dan elektroda acuan tidak berubah.

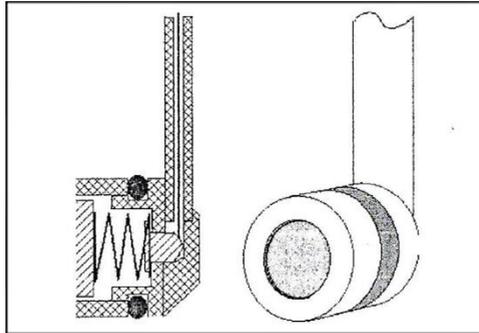
Kebanyakan instrumen saat ini sudah dilengkapi dengan fasilitas pengatur otomatis yang mementingkan pengaturan suatu rentang potensial selama waktu tertentu dengan laju yang tidak berubah. Instrumen lain ada yang dapat menggabungkan ketiga fungsi diatas dan melaksanakan semua pengukuran baik secara otomatis maupun manual.



**Gambar 2.6** Sel Tiga Elektroda

### 2.13.2 Elektroda Kerja

Sebuah elektroda kerja diberikan kepada spesimen yang sedang diteliti. Akan sangat membantu jika elektroda kerja ini memiliki luas sebesar  $100 \text{ mm}^2$  karena hasil pengukuran arus dapat segera dikonversikan menjadi kerapatan arus, yang akan digunakan dalam perhitungan. Istilah elektroda kerja digunakan sebagai ganti anoda, karena penelitian tidak terbatas hanya pada perilaku yang bersangkutan dengan anoda. Elektrode kerja dapat dipreparasi dengan berbagai cara. Salah satunya dengan memasang sebuah spesimen dalam resin. Spesimen harus mempunyai hubungan listrik yang baik. Setelah itu permukaan spesimen digosok seperti spesimen yang akan diuji metalografi.

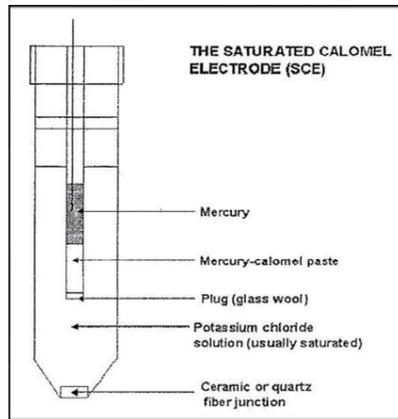


**Gambar 2.7** Elektroda Kerja

### 2.13.3 Elektroda Acuan

Elektroda acuan adalah sebuah elektroda pembanding yang memiliki harga potensial setengah sel yang diketahui, konstan, dan sama sekali tidak peka terhadap komposisi larutan yang sedang diselidiki.

Arus yang mengalir pada elektroda acuan harus sekecil mungkin sehingga dapat diabaikan. Jika arus yang mengalir besar, maka elektroda acuan akan ikut bereaksi dan potensialnya tidak lagi konstan. Oleh sebab itu dibutuhkan elektroda pembantu.



**Gambar 2.8** Elektroda Acuan  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$

### 2.13.4 Elektroda Bantu

Elektroda bantu adalah suatu elektroda yang potensial elektrodanya bervariasi terhadap konsentrasi (aktifitas) analit yang diukur. Elektroda bantu harus memiliki beberapa syarat antara lain harus memenuhi tingkat sensitifitas terhadap konsentrasi analit. Kepekaan terhadap keaktifan teroksidasi dan tereduksi harus sedekat mungkin dengan yang diramalkan dengan persamaan Nernst. Sehingga adanya perbedaan kecil dari konsentrasi analit, akan memberikan perbedaan tegangan. Elektroda bantu yang digunakan adalah elektroda redoks (inert).

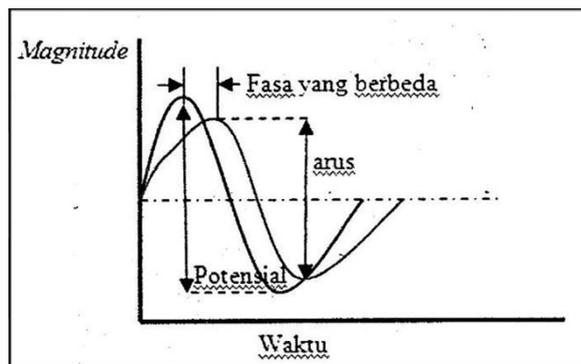
Logam mulia seperti platina, emas, dan paladium bertindak sebagai elektroda bantu pada reaksi redoks. Fungsi logam semata-mata untuk membangkitkan kecenderungan sistem tersebut dalam mengambil atau melepaskan elektron, logam itu sendiri tidak ikut serta secara nyata dalam reaksi redoks, potensialnya merupakan fungsi Nernst.



## 2.14 Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)

Metode EIS dimaksudkan untuk mengetahui mekanisme inhibisi pada antar muka logam dengan inhibitor apakah secara kinetika dikontrol oleh perpindahan muatan ataukah perpindahan massa. Spektroskopi impedansi elektrokimia adalah suatu metode untuk menganalisis respon suatu elektroda terkorosi terhadap suatu sinyal potensial AC pada amplitudo rendah ( $\pm 10\text{mV}$ ) dari rentang frekuensi yang sangat lebar. Pada prinsipnya EIS digunakan untuk menentukan parameter kinetika elektrokimia berkaitan dengan unsur-unsur seperti tahanan ( $R$ ), kapitanasi ( $C$ ), dan induksi ( $L$ ).

Suatu tegangan sinusoidal ( $E$ ) yang relatif kecil apabila diberikan pada suatu rangkaian sel elektrokimia maka respon arus ( $I$ ) juga akan berupa sinusoidal tetapi pada besaran *magnitude* (rasio  $E/I$ ) dan fasa yang berbeda (*phase shift*) yang terlihat pada gambar 2.9 berikut.



**Gambar 2.9** Perbedaan Tegangan dengan Arus pada Rangkaian Elektrokimia

Perbedaan yang terjadi antara tegangan dengan arus ditentukan oleh suatu besaran yaitu impedansi ( $Z$ ) pada jenis



rangkaian yang dilewatinya. Magnitude dinyatakan sebagai harga mutlak dari impedansi.

Untuk mempresentasikan suatu titik keadaan pada bidang dapat dinyatakan oleh koordinat polar (Bode Plot) maupun Cartesian (Nyquist Plot). Pada blode plot menunjukkan hubungan antara log magnitude vs log frequency. Sedangkan padan Nyquist plot menggambarkan antara impedansi nyata vs impedansi imajiner.

Impedansi dari sistem sel elektrokimia ( $Z$ ) ditentukan berdasarkan analogi dari hukum Ohm seperti dibawah ini. Dengan  $\omega$  adalah frekuensi radial atau kecepatan sudut yang diterapkan ( $\text{rad}\cdot\text{sec}^{-1}$ ).

$$\omega = 2 \times \pi \times f \dots\dots\dots(2.2)$$

Dalam fungsi kompleks, impedansi dapat diungkapkan dalam bentuk impedansi real ( $Z_r$ ) dan impedansi imajier ( $Z_i$ ) yaitu sebagai berikut :

$$Z = Z_r + Z_i \dots\dots\dots(2.3)$$

Jika impedansi bagan real dialurkan pada sumbu-x dan bagian imajiner pada sumbu-y akan diperoleh aluran Nyquist. Berdasarkan aluran Nyquist, impedansi dapat dinyatakan sebagai suatu vektor yang panjang. Sudut antar vektor dan sumbu-x adalah  $\phi$  (sudut  $Z$ ) seperti tampak gambar 2.10.

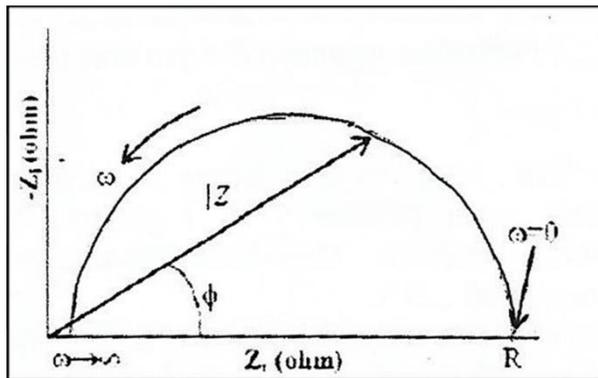
Perilaku impedansi suatu elektroda dapat diungkapkan dalam aluran Nyquist yang menyatakan aluran impedansi imajiner sebagai fungsi impedansi real dari  $\omega \rightarrow 0$  sampai  $\omega \rightarrow \infty$ . Pada  $\omega \rightarrow \infty$ , nilai  $Z_r = R_s$  (tahanan larutan). Pada  $\omega \rightarrow 0$ , nilai  $Z_r = R_s + R_{ct}$ , dengan  $R_{ct}$  adalah tahanan transfer muatan. Aluran Nyquist membentuk setengah lingkaran dengan kenaikan



frekuensi berlawanan arah jarum jam. Titik maksimum pada puncak setengah lingkaran sama dengan  $\omega_0$  yang harganya :

$$\omega_0 = \frac{1}{C \times R_{ct}} \dots\dots\dots(2.4)$$

C menyatakan suatu kapasitor. Selain aluran Nyquist, perilaku impedansi suatu elektroda dapat juga diungkapkan dalam aluran bode, yang menyatakan aluran logaritma dari frekuensi,  $\log F$  pada sumbu  $-x$  dan nilai impedansi mutlak atau perubahan fase pada sumbu  $-y$ . Berbeda dengan Nyquist, aluran bode memberikan informasi tentang frekuensi yang diterapkan dalam sel elektrokimia.



**Gambar 2.10** Nyquist Plot (Yuliana, 2012)

Dalam EIS, parameter-parameter elektrokimia dapat diungkapkan dalam bentuk rangkaian listrik (*current circuit*). Dalam rangkaian listrik terdapat komponen-komponen listrik seperti tahanan, kapasitor, induktor, dan impedansi Warburg. Tahanan larutan ( $R_s$ ) bergantung pada konsentrasi ion, jenis ion, temperatur, dan geometri daerah penghantar arus. Tahanan transfer muatan ( $R_{ct}$ ) menggambarkan pada saat logam



berinteraksi dengan larutan elektrolit dan terjadi pelarutan atom-atom logam menurut reaksi kearah kanan. Reaksi transfer muatan memiliki kecepatan tertentu, bergantung pada jenis reaksi, temperatur, konsentrasi produk reaksi dan potensial sel.

### **2.15 Scanning Electron Microscope (SEM)**

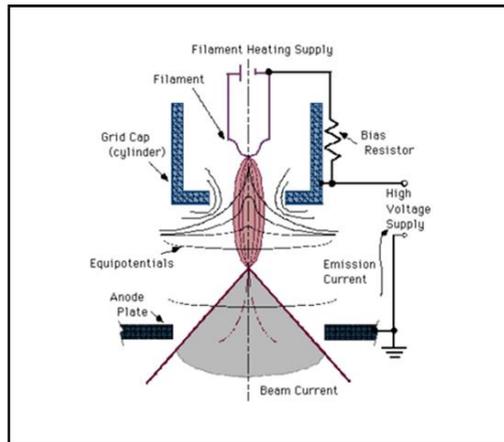
*Scanning Electron Microscope (SEM)* adalah sebuah mikroskop elektron yang didesain untuk menyelidiki permukaan dari objek solid secara langsung. SEM memiliki perbesaran 10 – 3000000x, *depth of field* 4 – 0.4 mm dan resolusi sebesar 1 – 10 nm. Kombinasi dari perbesaran yang tinggi, *depth of field* yang besar, resolusi yang baik, kemampuan untuk mengetahui komposisi dan informasi kristalografi membuat SEM banyak digunakan untuk keperluan penelitian dan industri. Adapun fungsi utama dari SEM antara lain dapat digunakan untuk mengetahui informasi-informasi mengenai:

- Topografi, yaitu ciri-ciri permukaan dan teksturnya (kekerasan, sifat memantulkan cahaya, dan sebagainya).
- Morfologi, yaitu bentuk dan ukuran dari partikel penyusun objek (kekuatan, cacat pada *Integrated Circuit (IC)* dan *chip*, dan sebagainya).
- Komposisi, yaitu data kuantitatif unsur dan senyawa yang terkandung di dalam objek (titik lebur, kereaktifan, kekerasan, dan sebagainya).

Prinsip kerja SEM yaitu bermula dari *electron beam* yang dihasilkan oleh sebuah filamen pada *electron gun*. Pada umumnya *electron gun* yang digunakan adalah *tungsten hairpin gun* dengan filamen berupa lilitan *tungsten* yang berfungsi sebagai katoda. Tegangan diberikan kepada lilitan yang mengakibatkan terjadinya pemanasan. Anoda kemudian akan



membentuk gaya yang dapat menarik elektron melaju menuju ke anoda.



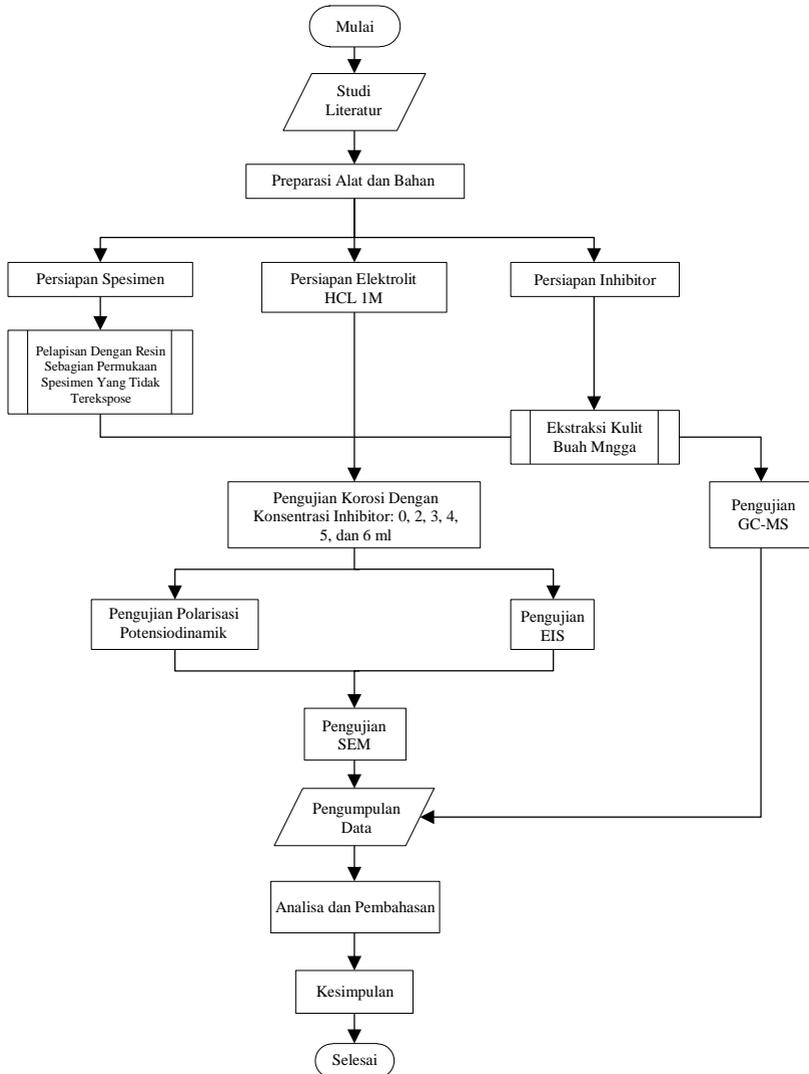
**Gambar 2.11** Skema Kerja Alat *Scanning Electron Microscope*

Kemudian *electron beam* difokuskan ke suatu titik pada permukaan sampel dengan menggunakan dua buah *condenser lens*. *Condenser lens* kedua (atau biasa disebut dengan lensa objektif) memfokuskan *beam* dengan diameter yang sangat kecil, yaitu sekitar 10-20 nm. Hamburan elektron, baik *Secondary Electron (SE)* atau *Back Scattered Electron (BSE)* dari permukaan sampel akan dideteksi oleh detektor dan dimunculkan dalam bentuk gambar pada layar CRT.



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian





### **3.2 Prosedur Penelitian**

Dalam melaksanakan suatu penelitian, pastilah memiliki suatu prosedur yang dilakukan secara runtut. Prosedur penelitian memiliki langkah – langkah atau urutan – urutan yang harus dilalui atau dikerjakan dalam suatu penelitian.

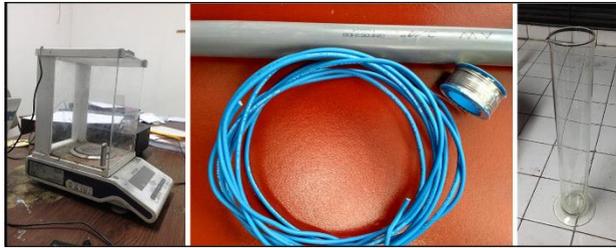
#### **3.2.1 Studi Literatur**

Sebuah studi literatur merupakan survei dan pembahasan literatur dari suatu penelitian. Studi ini merupakan gambaran singkat dari yang telah dipelajari, argumentasi, dan disusun secara sistematis. Dalam penyusunan studi literatur yakni mengevaluasi penelitian sebelumnya dengan saat ini dengan memperhatikan manfaat dari penelitian yang dilakukan. Studi literatur juga bertujuan untuk meyakinkan pembaca mengenai pentingnya dan kelayakan penelitian yang dibuat.

#### **3.2.2 Preparasi Alat dan Bahan**

##### **3.2.2.1 Peralatan Penelitian**

1. Botol & gelas plastik
2. Gelas ukur
3. Corong
4. Blender
5. Jangka sorong & penggaris
6. Kertas saring
7. Pipet
8. Kamera
9. Aluminium foil
10. Gunting
11. Spatula
12. Timbangan digital OHAUS
13. Gerinda tangan
14. *Cutting whell*



**Gambar 3.1** Alat dan Bahan yang Digunakan

15. Kertas abrasif grade 100 – 1000
16. Solder & timah
17. Kabel
18. Peralatan pengujian GCMS
19. Perlatan pengujian Polarisasi Potensiodinamik & *Electrochemical Impedance Spectroscopy*

### 3.2.2.2 Bahan Penelitian

#### 1. Material

Jenis material yang digunakan adalah pipa baja API 5L Grade B. Material tersebut dibentuk menjadi spesimen uji dengan dimensi 10 x 10 x 6 mm dan pada permukaan uji dipoles lalu dimounting dengan epoxy. Spesifikasi unsur kandungan pada baja API 5L Grade B dapat dilihat seperti tabel 3.1 berikut ini:

**Tabel 3.1** Unsur Kandungan Senyawa API 5L Grade B

| C    | Si   | Mn   | P     | S    | Cr    | Ni    | Cu   | Mo   | Al    |
|------|------|------|-------|------|-------|-------|------|------|-------|
| 0,21 | 0,23 | 0,45 | 0,013 | 0,01 | 0,033 | 0,018 | 0,03 | 0,01 | 0,001 |

#### 2. Elektrolit

Mezdia larutan yang digunakan adalah HCL 1M karena pada media asam tersebut logam lebih mudah terkorosi jika dibandingkan pada media alkali/basa.

### 3. Inhibitor

Inhibitor yang digunakan pada pengujian kali ini adalah ekstrak kulit buah mangga (*mangifera indica*) dengan variasi konsentrasi inhibitor 2, 3, 4, 5, dan 6 ml. Spesimen kontrolnya adalah spesimen tanpa penambahan inhibitor.

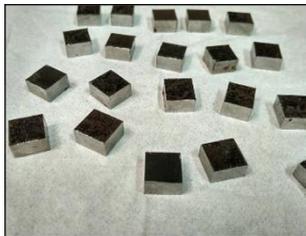
### 4. Epoxy

Epoxy yang digunakan pada spesimen penelitian ini adalah resin 835 dengan katalis.

#### 3.2.3 Persiapan Spesimen

Dalam penelitian ini, material yang digunakan adalah baja API 5L Grade B. Berikut langkah – langkah persiapan spesimen dalam penelitian ini adalah:

1. Pengujian polarisasi potensiodinamik, EIS, dan SEM
  - Memotong spesimen berukuran 10 x 10 x 6 mm.



(a)



(b)

**Gambar 3.2** (a) Hasil Pemotongan Spesimen, (b) Spesimen Berukuran 10 x 10 x 6 mm

- Menyambung spesimen dengan kawat tembaga yang dibungkus dengan plastik pada salah satu sisi ( panjang  $\pm$  200 mm ).
- Memounting spesimen dengan campuran resin dan katalis dalam cetakan pipa pvc ( $\frac{1}{4}$  dim).

- Setelah kering, spesimen dilepas dari cetakan, sehingga terdapat salah satu sisi spesimen yang terekspose oleh lingkungan ( $100 \text{ mm}^2$ ).
- Polishing spesimen dengan kertas abrasif grade 100 – 1000.



**Gambar 3.3** Spesimen Uji Polarisasi Potensiodinamik dan EIS

### 3.2.4 Persiapan Elektrolit

Larutan elektrolit yang digunakan adalah HCL 1M. Larutan ini didapatkan dengan mencampurkan 98 ml HCL 32% yang diletakkan dalam labu bervolume 1000 ml. Setelah itu diencerkan dengan menggunakan aquades sampai volume larutan menjadi 1000 ml sehingga didapatkan larutan HCL 1M. Larutan elektrolit disiapkan sesuai kebutuhan penelitian.

### 3.2.5 Persiapan Inhibitor

Kulit buah mangga (*mangifera indica*) banyak mengandung senyawa antioksidan (pemberi elektron) sehingga dapat dijadikan alternatif untuk mengendalikan korosi pada suatu logam. Oleh karena itu, kulit mangga mengalami beberapa perlakuan sebagai berikut:

1. Kulit mangga dipisahkan dari daging buahnya.

2. Kulit mangga diproses menjadi serbuk.
  - Meringkakan kulit mangga dengan cara di jemur di udara terbuka selama 14 hari.
  - Setelah kandungan air pada kulit mangga hilang, diblender sampai menjadi serbuk ( $\pm$  300 gram).



**Gambar 3.4** Proses Kulit Mangga Hingga Menjadi Serbuk

3. Ekstraksi kulit mangga dengan metode maserasi yang digunakan sebagai inhibitor yaitu:
  - Menyiapkan alat dan bahan yaitu, kertas saring, botol plastik, aluminium foil, corong, spatula,  $\pm$  300 gram serbuk kulit mangga dengan menggunakan pelarut metanol dengan perbandingan 1 : 3 dalam botol plastik selama (3 $\times$ 24 jam).
  - Menyaring hasil maserasi dengan kertas saring dihasilkan ekstrak cair.
  - Mengevaporasi ekstrak cair dengan dibiarkan terbuka dalam ruangan selama 10 hari.
  - Oil ekstrak yang dihasilkan dari proses evaporasi digunakan sebagai inhibitor.
  - Ampas yang ada di dalam kertas saring sisa perendaman pertama dapat digunakan kembali untuk proses maserasi kedua dan ketiga.



(a)

(b)

**Gambar 3.5** (a) Perendaman Selama Proses Maserasi, (b) Hasil Proses Rendaman

### 3.2.5.1 Pengujian GC-MS

Kromatografi Gas merupakan metode yang banyak digunakan untuk separasi, identifikasi, dan determinasi distribusi berbagai senyawa organik yang ditemukan dalam ekstraksi tanaman. Metode ini dapat digunakan untuk identifikasi kuantitatif maupun kualitatif. Bahkan alat ini dipakai juga preparatif yang langsung dapat dikaitkan dengan alat lain misalnya spektrofotometri massa untuk menentukan struktur senyawa yang telah dipisahkan (Adnan, 1997). Untuk melakukan analisis dengan GC diperlukan suatu komatograf gas yang terdiri dari depo gas pembawa, gerbang suntik (injektor), kolom komatografi, kontrol, dan detektor.

Pengujian GC-MS dilakukan dengan melarutkan sedikit ekstrak kulit buah mangga dengan menggunakan pelarut ekstraknya yaitu metanol lalu diinjeksikan ke kolom alat GC-MS. Larutan tersebut akan dibawa oleh depo/ tabung yang berisi gas pembawa. Alat GC-MS telah disetting dengan temperatur awal 80°C waktu awal yaitu 1 menit dengan peak ratenya 10°C/s. Kemudian ekstrak kulit mangga yang sudah diinjeksikan tersebut akan diupkan kemudian masuk ke dalam kolom HP-5 M.S. Film thickness yang nantinya akan ditangkap



oleh detektor dalam waktu yang berbeda sehingga akan menghasilkan grafik kandungan senyawa yang berbentuk puncak (peak) beserta senyawa yang ada pada ekstrak kulit mangga tersebut.



**Gambar 3.6** Alat Pengujian GCMS

### **3.2.6 Pengujian**

#### **3.2.6.1 Pengujian Polarisasi Potensiodinamik**

Pada prinsipnya potensiodinamik adalah suatu instrumen yang digunakan untuk mengukur beda potensial antara spesimen (elektroda kerja) dengan elektroda acuan (reference elektroda) dan menggunakan variabel arus antara elektroda kerja dengan elektroda bantu (*auxiliary electrode*). Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM G 5 (*Standart Reference Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization*). Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui laju korosi material pada larutan HCL 1M dengan konsentrasi inhibitor yaitu 0, 2, 3, 4, 5, dan 6 ml. Selain itu untuk mengetahui kurva polarisasi potensial material yang digunakan. Berdasarkan kurva tersebut, dapat dapat diperoleh nilai  $E_{corr}$  dan  $I_{corr}$  yang didapatkan secara otomatis dengan menggunakan “tabel fit”. Pada pengujian menggunakan jenis Autolab PGSAT 302N dengan software Nova 1.8. Pada



dasarnya, peralatan pengujian polarisasi potensiodinamik memiliki 3 komponen penting, yaitu:

1. Elektroda Kerja

Yaitu spesimen yang telah dibentuk dengan cara dipotong dengan dimensi yang telah dilakukan, menyambung dengan kawat tembaga (panjang  $\pm 200$  mm), setelah itu di *mounting*.

2. Elektroda Bantu

Elektroda yang dipakai berupa Platina. Fungsi dari elektroda ini adalah untuk menghantarkan arus ke elektroda kerja.



**Gambar 3.7** Elektrode Platina

3. Elektroda Acuan

Elektrode acuan digunakan sebagai titik acuan dan juga sebagai pembanding dalam pengukuran – pengukuran potensial elektroda kerja. Elektroda yang dipakai berupa AgCl.



**Gambar 3.8** Elektrode AgCl



Prosedur pengujian polarisasi potensiodinamik adalah sebagai berikut:

- a. Mempersiapkan alat dan bahan yaitu spesimen, campuran larutan (HCL 1 M dengan ekstrak kulit mangga dengan konsentrasi 0, 2, 3, 4, 5, dan 6 ml), gelas ukur 100 ml, dan alat pengujian polarisasi potensiodinamik beserta komponennya.



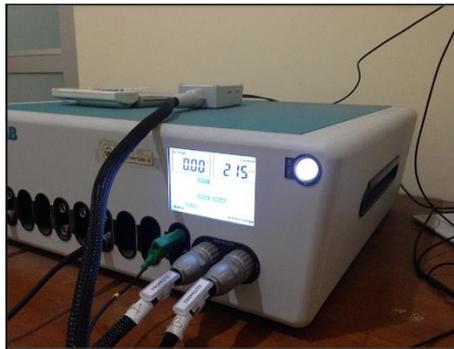
**Gambar 3.9** Rangkaian Pengujian Polarisasi Potensiodinamik

- b. Memasang elektroda pada rangkaian potensiodinamik.
- c. Menyalakan alat uji potensiodinamik Autolab PGSAT 302N.
- d. Mengaktifkan program Nova 1.8 dan memasukkan parameter pengujian kemudian menjalankan program.

### **3.2.6.2 Pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS)**

Pengujian EIS dilakukan untuk mengidentifikasi mekanisme korosi yang terjadi dan diimplementasikan dalam ketahanan suatu logam terhadap aliran arus yang melaluinya. Metode ini berdasarkan respon dari sirkuit terhadap

voltase AC sebagai fungsi dari frekuensi. Pengukuran impedansi elektrokimia dilakukan pada kondisi potensiostatik dengan menggunakan software Nova 1.8, model Autolab PGSAT 302N. Gelombang sinus (AC) dengan amplitudo 10 mV dan nilai real part ( $Z'$ ) maupun imaginary part ( $Z''$ ) diukur pada berbagai frekuensi dalam range 10000 Hz. Nilai ketahanan transfer muatan (Rct) diperoleh dari diameter *semicircles* dari Nyquist Plot.



**Gambar 3.10** Alat Pengujian EIS

### **3.2.6.3 Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM)**

Pengujian SEM bertujuan untuk mengetahui produk korosi maupun lapisan yang terbentuk pada permukaan material. Alat yang digunakan dalam pengujian SEM kali ini yaitu jenis Phenom Pro-X dengan kemampuan perbesaran elektron optical sebesar 20 – 20.000 kali dan dapat dizoom sampai 12 kali, dengan resolusi mencapai lebih dari 14 nm serta penggambaran analisis pada daya 5, 10, dan 15 kV. Perbesaran yang diambil dalam melakukan pengujian ini adalah perbesaran 2000 kali. Mekanisme pengambilan data SEM adalah berkas elektron yang dipancarkan oleh sumber elektron, kemudian berkas elektron ini akan berinteraksi dengan material. Sebagian

elektron terobsesi oleh material dan sebagian lainnya akan terpantul oleh detector *secondary electron* dan terhambur balik akan tertangkap oleh *Back Scattered Electron* (BSE). Langkah – langkah dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

- a. Meletakkan material di dalam suatu wadah plastik yang tidak menyebabkan material bereaksi dengan lingkungan.
- b. Material diletakkan diatas holder yang sebelumnya telah diletakkan dengan *carbon tape*. *Carbon tape* ini berfungsi meletakkan holder dengan *sample*.
- c. Holder dimasukkan ke dalam mesin dan siap untuk diamati. Pada layar komputer akan tampak permukaan spesimen dalam berbagai pembesaran.



**Gambar 3.11** Alat Pengujian SEM

### 3.2.7 Data

Untuk mempermudah penelitian, selama percobaan disusun rancangan percobaan yang dilakukan berupa tabel 3.2 hasil pengujian polarisasi potensiodinamik yang kemudian digunakan pada perhitungan laju korosi. Sedangkan tabel 3.3 hasil pengujian korosi dengan metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS).



**Tabel 3.2** Tabel Rancangan Pencatatan Hasil Pengujian Metode Polarisasi Potensiodinamik

| Material       | Konsentrasi Inhibitor (ml) | Pengujian | $E_{corr}$ (mv/SCE) | $I_{corr}$ (mA/cm <sup>2</sup> ) | CR (mmpy) | IE (%) |
|----------------|----------------------------|-----------|---------------------|----------------------------------|-----------|--------|
| API 5L Grade B | 0                          | 1         |                     |                                  |           |        |
|                |                            | 2         |                     |                                  |           |        |
|                |                            | 3         |                     |                                  |           |        |
|                | 2                          | 1         |                     |                                  |           |        |
|                |                            | 2         |                     |                                  |           |        |
|                |                            | 3         |                     |                                  |           |        |
|                | 3                          | 1         |                     |                                  |           |        |
|                |                            | 2         |                     |                                  |           |        |
|                |                            | 3         |                     |                                  |           |        |
|                | 4                          | 1         |                     |                                  |           |        |
|                |                            | 2         |                     |                                  |           |        |
|                |                            | 3         |                     |                                  |           |        |
|                | 5                          | 1         |                     |                                  |           |        |
|                |                            | 2         |                     |                                  |           |        |
|                |                            | 3         |                     |                                  |           |        |
|                | 6                          | 1         |                     |                                  |           |        |
|                |                            | 2         |                     |                                  |           |        |
|                |                            | 3         |                     |                                  |           |        |



**Tabel 3.3** Tabel Rancangan Pencatatan Hasil Pengujian Metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy*

| Material       | Konsentrasi Inhibitor (ml) | Pengujian | $R_s$ (Ohm) | $R_p$ (Ohm) | $C_{dl}$ ( $\mu F$ ) |
|----------------|----------------------------|-----------|-------------|-------------|----------------------|
| API 5L Grade B | 0                          | 1         |             |             |                      |
|                |                            | 2         |             |             |                      |
|                |                            | 3         |             |             |                      |
|                | 2                          | 1         |             |             |                      |
|                |                            | 2         |             |             |                      |
|                |                            | 3         |             |             |                      |
|                | 3                          | 1         |             |             |                      |
|                |                            | 2         |             |             |                      |
|                |                            | 3         |             |             |                      |
|                | 4                          | 1         |             |             |                      |
|                |                            | 2         |             |             |                      |
|                |                            | 3         |             |             |                      |
|                | 5                          | 1         |             |             |                      |
|                |                            | 2         |             |             |                      |
|                |                            | 3         |             |             |                      |
|                | 6                          | 1         |             |             |                      |
|                |                            | 2         |             |             |                      |
|                |                            | 3         |             |             |                      |

### 3.2.8 Analisa Data

Analisa data merupakan upaya untuk mengolah data hasil penelitian menjadi informasi sehingga karakteristik data tersebut bisa dipahami dan bermanfaat untuk solusi permasalahan dalam sebuah penelitian. Analisa data yang dilakukan merupakan suatu yang bersifat logis dan mengacu



pada teori kepustakaan yang ada. Proses ini bertujuan untuk mendeskripsikan data sehingga bisa dipahami dan dapat juga dilakukan sebagai suatu perbandingan antara data yang diperoleh dengan dasar teori yang telah dikemukakan sebelumnya. Selain itu, analisa data adalah bagian yang sangat penting dimana penyebab fenomena dalam penelitian dapat diketahui untuk menarik kesimpulan hasil dari penelitian.

### **3.2.9 Kesimpulan**

Kesimpulan adalah bab terakhir dalam penyusunan laporan penelitian. Kesimpulan berisi *point – point* singkat dan bersifat menjawab tujuan penelitian. Setelah melakukan pemahaman analisa data, kesimpulan dibuat berdasarkan hasil akhir yang sesuai dengan tujuan dari penelitian yang dilakukan.

### **3.2.10 Penyusunan Laporan**

Laporan penelitian ini ditulis secara sistematis. BAB I mengenai pendahuluan yang berisi latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, dan batasan masalah dalam penelitian. BAB II berisi tinjauan pustaka mengenai dasar teori untuk mendukung penelitian yang dilakukan. BAB III merupakan metodologi penelitian yaitu berisi diagram alir penelitian secara umum dan pembahasan mengenai tiap – tiap komponen dalam diagram alir tersebut. Pada BAB IV yaitu data dan pembahasan mengenai data – data hasil pengujian yang dilakukan selama penelitian berlangsung. BAB V adalah kesimpulan dan saran yang akan menjawab tujuan penelitian berdasarkan pembahasan yang diuraikan sebelumnya.



*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*



## BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Ekstraksi

Ekstraksi kulit buah mangga dilakukan di laboratorium Kimia Organik Departemen Teknik Kimia Industri Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Ekstraksi ini dilakukan untuk mendapatkan senyawa yang terkandung dalam kulit buah mangga. Gambar 4.1 menunjukkan hasil proses ekstraksi yang telah dilakukan.



**Gambar 4.1** Hasil Proses Ekstraksi

Dari gambar diatas menunjukkan hasil kulit buah mangga yang sudah dikeringkan pada gambar 1. Lalu setelah itu kulit buah mangga dihaluskan menggunakan blender hingga menjadi serbuk seperti pada gambar nomer 2. Kemudian ekstrak tersebut dimaserasi selama  $2 \times 24$  jam dan disaring sehingga menghasilkan ekstrak cair seperti pada gambar nomer 3.



Gambar nomer 4 menunjukkan ekstrak cair yang telah dievaporasi secara alami sehingga menjadi residu kental yang kemudian digunakan sebagai inhibitor korosi.

## 4.2 Hasil Penelitian

### 4.2.1 Hasil Pengujian *Gas Chromatografi-Mass Spectrometry*

Pengujian *Gas Chromatografi-Mass Spectrometry* dilakukan di Unit Layanan Pengujian (ULP) Fakultas Farmasi Universitas Airlangga. Pengujian *Gas Chromatografi-Mass Spectroscopy* merupakan metode yang digunakan untuk separasi, identifikasi, dan determinasi distribusi berbagai senyawa organik yang ditemukan dalam ekstrak kulit mangga sebagai inhibitor korosi.

Hasil pengujian *Gas Chromatografi-Mass Spectrometry* ekstrak kulit buah mangga dapat dilihat pada gambar 4.2 (*Lampiran 12*).

Dari hasil pengujian *Gas Chromatografi-Mass Spectrometry* tersebut didapatkan 6 kandungan senyawa terbesar dalam ekstrak kulit buah mangga sebagai *green inhibitor* seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.1 sebagai berikut.

**Tabel 4.1** Kandungan Senyawa Ekstraksi Kulit Buah Mangga sebagai *Green Inhibitor*.

| No. Peak | Menit Ke- | Area (%) | Senyawa                            |
|----------|-----------|----------|------------------------------------|
| 1        | 1.098     | 64,346   | Methylamine-D2<br>Trideuteroethene |
| 2        | 1.427     | 25,399   | Chloroform                         |
| 3        | 3.465     | 0,872    | 2-Furancarboxaldehyde (CAS)        |



|   |        |       |  |
|---|--------|-------|--|
| 4 | 7.989  | 0,368 | Benzoid acid, 4-hydroxy- (CAS)   |
| 5 | 11.001 | 1,006 | 4H-Pyran-4-one, 2,3-dihydro-3, 5-dihydroxy-6-methyl- (CAS)                               |
| 6 | 12.605 | 8,009 | 2-Furancarboxaldehyde, 5-(hydroxymethyl)-2-Furancarboxaldehyde, 5-(hydroxymethyl)- (CAS) |

Kandungan senyawa dalam ekstrak kulit buah mangga sebagai inhibitor korosi adalah *Methylamine-D2 Trideuteroethene* yang muncul pada menit ke 1,098 dengan luas area 64,346% dan Chloroform yang muncul pada menit ke 1,427 dengan luas area 25,399%. Kedua senyawa tersebut mendominasi kandungan yang ada pada ekstrak kulit buah mangga. *Methylamine-D2 Trideuteroethene* adalah senyawa yang memiliki heteroatom (N) dimana senyawa yang mengandung heteroatom seperti N, O, P, S atau ikatan rangkap banyak digunakan sebagai inhibitor korosi logam disebabkan ketersediaan dan efektifitas inhibisinya yang memiliki pasangan elektron bebas. Unsur-unsur yang mengandung elektron bebas ini nantinya dapat berfungsi sebagai ligan yang akan membentuk senyawa kompleks dengan logam.

Hasil GCMS juga menyebutkan bahwa ekstrak kulit mangga mengandung senyawa 2-Furancarboxaldehyde (CAS) pada menit ke 12,605 dengan luas area 8,009% serta senyawa Benzoid acid, 4-hydroxy- (CAS) pada menit ke 7,989 dengan luas area 0,368%. Senyawa tersebut merupakan senyawa fenolik yang mengandung flavonoid yang merupakan senyawa antioksidan. Efisiensi senyawa-senyawa fenolik sebagai penangkap radikal bebas dikarenakan kestabilan radikal fenolik



yang dihasilkan. Dengan adanya senyawa antioksidan yang kemudian berikatan dengan radikal bebas akan membentuk lapisan tipis pada permukaan logam yang dapat menghambat korosi pada permukaan logam.

#### 4.2.2 Hasil Pengujian Polarisasi Potensiodinamik

Pengujian polarisasi potensiodinamik dilakukan di Laboratorium Korosi, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pada penelitian kali ini digunakan spesimen baja karbon rendah yaitu API 5L *grade* B dengan kondisi larutan yang berbeda yaitu dengan perbedaan konsentrasi pada setiap ekstrak kulit mangga mulai dari 0, 2, 3, 4, 5, 6 ml. Tujuan dilakukannya pengujian polarisasi potensiodinamik adalah untuk mengetahui laju korosi yang terjadi pada baja API 5L *grade* B.

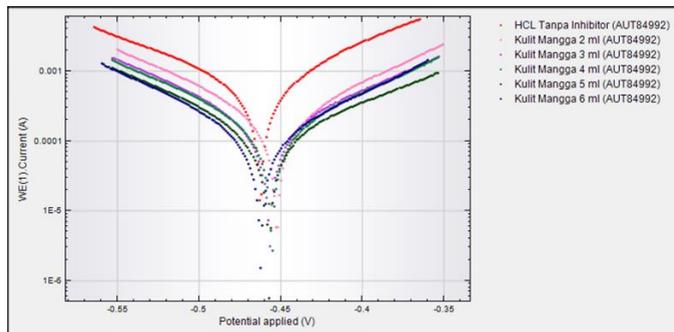
Pengujian polarisasi potensiodinamik ini menggunakan program NOVA 1.8 yang menampilkan grafik nilai arus untuk setiap perubahan potensial, kemudian dinyatakan dalam bentuk kurva E/Log *i*. Beberapa parameter yang diinputkan pada software tersebut ditunjukkan pada tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Parameter Pengujian Polarisasi Potensiodinamik pada Baja API 5L *grade* B

|                                     |                               |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| Elektoda Kerja                      | API 5L <i>grade</i> B (Solid) |
| Equivalent Weight (g)               | 27,925                        |
| Densitas (g/ml)                     | 7,86                          |
| Luasan Terekspos (cm <sup>2</sup> ) | 1                             |
| Counter Elektrode                   | Platina                       |
| Reference Elektrode                 | AgCl                          |
| Scan Rate (mV/s)                    | 10                            |

Berdasarkan tabel 4.2 mengenai parameter yang akan diinputkan pada software NOVA 1.8 sehingga nantinya akan muncul grafik yang bersesuaian dengan perilaku logam tersebut. Elektroda kerja yang dipakai adalah API 5L *grade B* dalam bentuk solid. Setelah itu, memasukkan berat equivalent masing-masing spesimen yaitu sebesar 27,925 g. Densitas yang digunakan dalam parameter ini adalah 7,86 g/ml. Luasan yang terekspos untuk baja API 5L *grade B* adalah sebesar 1 cm<sup>2</sup>. Untuk elektroda bantu, digunakan Platina. Sedangkan elektroda acuan menggunakan AgCl. Laju *scanning* pada pengujian ini adalah 10 mV/s. Artinya setiap kenaikan 10 mV/s akan terukur nilai potensial terhadap arus.

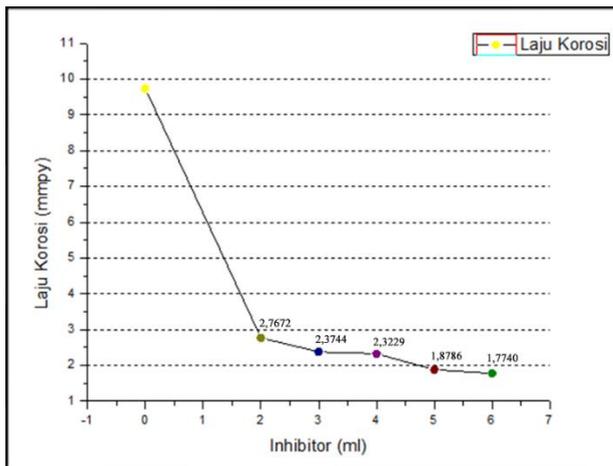
Hasil *fitting* tafel polarisasi dapat dilihat pada gambar 4.3, menunjukkan perbedaan kurva anodik dan kurva katodik pada setiap variasi penambahan inhibitor. Suatu inhibitor dikatakan sebagai inhibitor katodik maupun inhibitor anodik (selain arah kurva) yaitu jika nilai  $E_{\text{corr}}$  lebih dari 85 mV (Hussin & Kassim, 2011; Satapathy et al., 2009). Berdasarkan pernyataan tersebut maka inhibitor ekstrak kulit mangga dapat dikategorikan sebagai inhibitor campuran karena selisih nilai  $E_{\text{corr}}$  tidak lebih dari 85 mV.



**Gambar 4.3** Hasil *fitting* tafel polarisasi tanpa dan dengan variasi konsentrasi inhibitor

Hal ini menunjukkan bahwa inhibitor ekstrak kulit mangga tergolong sebagai inhibitor campuran.

Sedangkan pada gambar 4.4 menunjukkan bahwa dengan peningkatan konsentrasi inhibitor yang ditambahkan, laju korosi yang terjadi cenderung menurun. Penurunan index laju korosi tersebut menyebabkan nilai  $I_{\text{corr}}$  semakin kecil sehingga laju korosinya juga semakin kecil. Hal ini disebabkan ekstrak kulit buah mangga mengandung senyawa antioksidan yang berfungsi untuk memperlambat reaksi oksidasi pada korosi. Dapat disimpulkan dengan bertambahnya senyawa antioksidan dalam media korosif, maka serangan ion-ion korosif pada permukaan baja akan semakin menurun karena terhalang oleh senyawa antioksidan. Mekanisme penghambatan reaksi korosi baja dengan penambahan ekstrak kulit buah mangga adalah pembentukan senyawa kompleks dengan ion logam besi dipermukaan baja yang kemudian akan menghalangi serangan ion korosif pada permukaan baja.



**Gambar 4.4** Grafik Hasil Laju Korosi Pengujian Polarisisasi Potensiodinamik

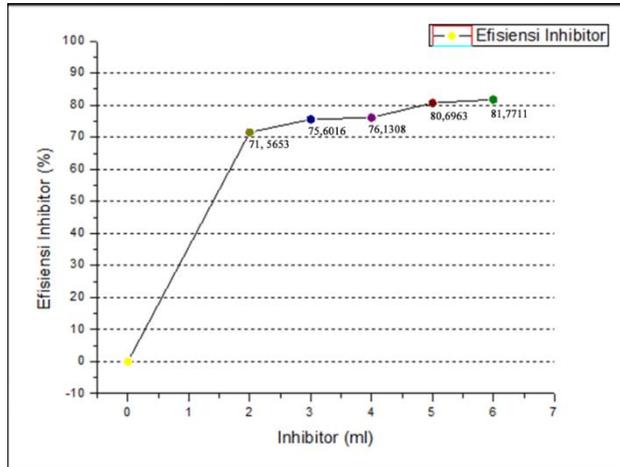


Harga  $I_{\text{corr}}$  tertinggi terlihat pada spesimen yang dicelupkan pada media tanpa penambahan inhibitor. Sedangkan nilai  $I_{\text{corr}}$  terendah dimiliki oleh spesimen yang dicelupkan pada media dengan konsentrasi inhibitor terbesar. Harga laju korosi yang didapatkan sebanding dengan  $I_{\text{corr}}$ . Pada gambar 4.3 terlihat tren penurunan laju korosi. Nilai laju korosi terbesar terdapat pada spesimen yang dicelupkan pada media tanpa penambahan inhibitor yaitu 9,7318 mmpy. Sedangkan harga laju korosi terkecil dimiliki oleh spesimen yang dicelupkan pada media dengan penambahan konsentrasi inhibitor terbesar yaitu untuk inhibitor ekstrak kulit mangga dengan 6 ml adalah 1,774 mmpy. Untuk detail nilai laju korosi dari tiap 5 variabel konsentrasi inhibitor dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut.

**Tabel 4.3** Hasil Pengujian Polarisasi Potensiodinamik

| Material       | Konsentrasi Inhibitor (ml) | $\beta_a$ (mV/dec) | $\beta_c$ (mV/dec) | $E_{\text{corr}}$ (mV) | $I_{\text{corr}}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ) | CR (mmpy) | IE (%)  |
|----------------|----------------------------|--------------------|--------------------|------------------------|---|-----------|---------|
| API 5L grade B | 0                          | 151,920            | 114,900            | -460,300               | 837,510   | 9,7318    | 0       |
|                | 2                          | 101,170            | 103,020            | -453,190               | 238,140   | 2,7672    | 71,5653 |
|                | 3                          | 105,690            | 123,410            | -457,260               | 204,340   | 2,3744    | 75,6016 |
|                | 4                          | 114,190            | 126,210            | -453,900               | 199,910   | 2,3229    | 76,1308 |
|                | 5                          | 113,600            | 136,740            | -456,440               | 161,670   | 1,8786    | 80,6963 |
|                | 6                          | 109,530            | 116,930            | -461,140               | 152,670   | 1,7740    | 81,7711 |

Efisiensi suatu inhibitor dapat diperoleh melalui laju korosi yang didapatkan. Efisiensi terbesar dimiliki spesimen yang dicelupkan pada media dengan penambahan inhibitor terbesar. Efisiensi terbesar dengan penambahan inhibitor ekstrak kulit mangga sebesar 81,7711% (gambar 4.5). Hal ini memungkinkan sudah mendekati harga maksimal dari efisiensi inhibitor ekstrak kulit mangga.



**Gambar 4.5** Grafik Hasil Efisiensi Inhibitor Pengujian Polarisation Potensiodinamik

Penambahan konsentrasi inhibitor korosi menunjukkan penurunan laju korosi seperti pada gambar 4.4 dan peningkatan efisiensi inhibitor secara signifikan yang ditunjukkan pada gambar 4.5. Hal ini disebabkan karena ekstrak kulit mangga mengandung antioksidan yang berfungsi untuk memperlambat reaksi oksidasi pada korosi. Semakin banyaknya senyawa antioksidan dalam media korosif, maka serangan ion-ion korosif dipermukaan baja akan semakin menurun karena terhalang oleh senyawa antioksidan. Dengan adanya inhibitor pada permukaan baja API 5L *grade* B mengakibatkan adanya adsorpsi. Adsorpsi timbul dikarenakan adanya gaya adhesi antara inhibitor dengan permukaan elektroda kerja. Adsorpsi molekul inhibitor pada permukaan elektroda kerja akan menghasilkan semacam lapisan tipis (film) pada baja API 5L *grade* B yang dapat menghambat laju korosi. Pada penelitian ini inhibitor ekstrak kulit mangga akan bertindak sebagai



pembentuk lapisan tipis pada permukaan yang berfungsi sebagai kontrol dari laju korosi dengan cara membuat pemisah antara permukaan elektroda kerja dengan media korosif.

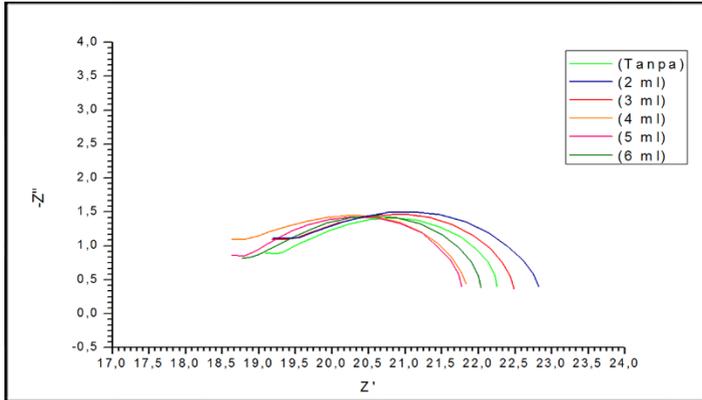
#### **4.2.3 Hasil Pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS)**

Pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) dilakukan di Laboratorium Korosi, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pengujian kali ini bertujuan untuk mengamati mekanisme inhibisi pada beberapa kondisi yaitu tanpa penambahan inhibitor dan dengan penambahan konsentrasi inhibitor pada ekstrak kulit mangga. Pengujian ini menggunakan alat yang sama dengan pengujian potensiodinamik yaitu menggunakan alat AUTOLAB. Dengan elektroda kerja berukuran 10 mm × 10 mm × 6 mm serta dibungkus dengan resin. Luas permukaan uji elektroda kerja sebesar 100 mm<sup>2</sup>. Berdasarkan serangkaian percobaan yang telah dilakukan, diperoleh grafik hasil pengujian EIS pada gambar 4.6.

Pengujian EIS ini dilakukan dengan peralatan yang telah terhubung dengan komputer. Komputer dan peralatan ini bekerja dengan bantuan *software* NOVA 1.8. Hasil yang didapatkan dari pengujian ini berupa  $R_s$ ,  $C_{dl}$ , dan  $R_p$ .

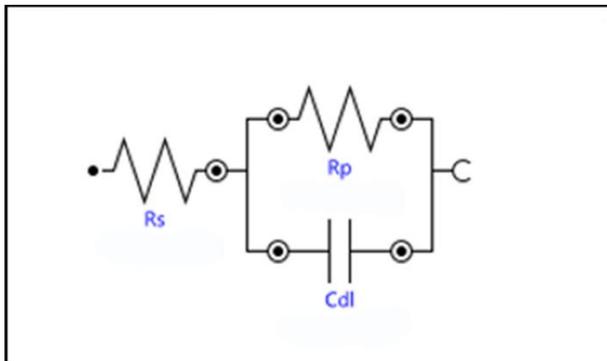
Grafik dari EIS mulanya diekspor ke *software* Origin. Kemudian dilakukan pengolahan data untuk menghasilkan grafik seperti pada gambar 4.6. Untuk mempermudah interpretasi grafik dibuat dengan berbagai warna sesuai dengan variabel konsentrasi ekstrak kulit mangga yang diberikan selama proses penelitian.

Hasil grafik EIS menunjukkan perbedaan lebar kurva Nyquist. Perbedaan lebar kurva ini bisa diartikan sebagai nilai efisiensi dari aplikasi inhibitor yang diberikan.



**Gambar 4.6** Grafik Hasil Efisiensi Pengujian EIS dengan 5 Variabel Konsentrasi Inhibitor Ekstrak Kulit Mangga

*Equivalent circuit* yang dihasilkan dari fitting seperti pada gambar 4.7



**Gambar 4.7** *Equivalent circuit* dari plot Nyquist pada software NOVA 1.8



Dalam *equivalent circuit* diperoleh elemen-elemen yang mewakili data percobaan yaitu  $R_s$ ,  $C_{dl}$ , dan  $R_p$ . Setelah semua variabel konsentrasi ekstrak kulit mangga dilakukan fitting dari plot Nyquist maka nilainya akan ditampilkan pada tabel 4.4.

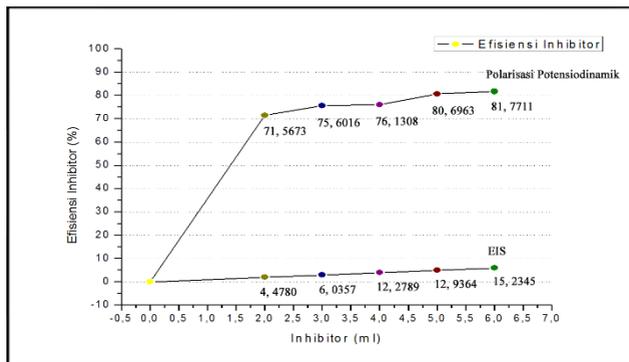
**Tabel 4.4** Hasil *Equivalent Circuit* Ekstrak Kulit Mangga

| Material       | Konsentrasi Inhibitor (ml) | $R_s$ ( $\Omega$ ) | $R_p$ ( $\Omega$ ) | $C_{dl}$ ( $\mu F$ ) | IE (%)  |
|----------------|----------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|---------|
| API 5L grade B | 0                          | 19,1450            | 3,13300            | 34,8050              | 0       |
|                | 2                          | 19,5770            | 3,27330            | 5,30450              | 4,4780  |
|                | 3                          | 19,1790            | 3,32210            | 25,2610              | 6,0357  |
|                | 4                          | 18,5450            | 3,51770            | 21,5190              | 12,2789 |
|                | 5                          | 18,6450            | 3,53830            | 35,8510              | 12,9364 |
|                | 6                          | 18,8180            | 3,61030            | 33,9550              | 15,2345 |

$R_s$  merupakan hambatan yang disebabkan oleh larutan yang terjadi antara elektroda *reference* dan elektroda kerja. Setelah melewati  $R_s$  terjadi proses difusi antara larutan dengan permukaan logam yang dinyatakan dalam impedansi *Warburg*. Nilai impedansi *Warburg* bergantung pada frekuensi dari potensialnya.  $R_p$  adalah tahanan transfer muatan yang menggambarkan pada saat program berinteraksi dengan larutan elektrolit dan terjadi pelarutan atom-atom logam. Sedangkan  $C_{dl}$  adalah kapasitansi lapis rangkap yang dalam sel elektrokimia terjadi pada permukaan elektroda dan lingkungannya. Lapisan rangkap tersebut terbentuk akibat ion-ion dari larutan berinteraksi dengan permukaan elektroda. Muatan pada elektroda dipisahkan dari muatan ion-ion oleh suatu media isolator baik berupa lapisan pasif atau pelarut. Bila permukaan logam terlapis oleh senyawa inhibitor maka proses korosi akan cenderung dikontrol oleh proses aktivasi dimana

nilai tahanannya akan meningkat dengan semakin bertambahnya konsentrasi inhibitor.

Mekanisme inhibisi dengan penambahan inhibitor ekstrak kulit buah mangga terjadi akibat adanya adsorpsi. Adsorpsi molekul inhibitor pada permukaan baja API 5L *grade* B akan menghasilkan lapisan tipis (pasif) yang dapat menghambat laju korosi. Dari tabel 4.4 menunjukkan bahwa dengan bertambahnya konsentrasi inhibitor mengakibatkan  $R_p$  semakin besar. Peningkatan  $R_p$  tersebut memperlihatkan bahwa hambatan yang disebabkan oleh transfer muatan dari elektrolit ke elektroda kerja semakin besar sehingga green inhibitor tersebut dapat menghambat laju korosi pada permukaan logam.



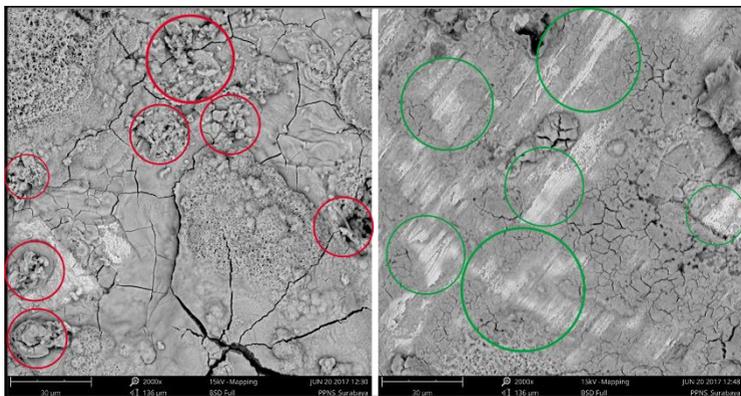
**Gambar 4.8** Grafik Hasil Efisiensi Inhibitor pada Polarisasi dan EIS

Pada pengujian EIS juga didapatkan hasil dari efisiensi inhibitor ekstrak kulit mangga. Berbeda dengan hasil efisiensi dari pengujian polarisasi potensiodinamik. Pada EIS menunjukkan tren kenaikan seiring dengan ditambahkan konsentrasi inhibitor ekstrak kulit mangga.

#### 4.2.4 Hasil Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) dilakukan di Laboratorium Teknologi Manufaktur, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS). Pengujian SEM kali ini bertujuan untuk mengamati topografi pada permukaan spesimen baja API 5L *grade* B tanpa penambahan inhibitor dan dengan penambahan konsentrasi inhibitor ekstrak kulit mangga. Pengujian SEM ini dilakukan setelah spesimen melalui tahap pengujian *weight loss* terlebih dahulu dengan konsentrasi 6 ml ekstrak kulit mangga dalam waktu 4 jam. Pengujian ini menggunakan alat Phenom Pro-X. Alat ini memiliki kemampuan perbesaran elektron optikal antara 20 – 130.000 kali dan dapat di zoom sampai 12 kali dengan resolusi mencapai lebih dari 14 nm. Alat Phenom Pro-X ini juga memiliki kemampuan perbesaran optik 20 – 135 kali serta penggambaran dan analisa pada daya 5 kV, 10 kV, dan 15 kV.

Berdasarkan serangkaian pengujian SEM yang telah dilakukan, diperoleh hasil topografi permukaan spesimen seperti pada gambar 4.9 berikut.



(a)

(b)

**Gambar 4.9** Hasil *Scanning* dengan Perbesaran 2000x pada Permukaan Logam dengan (a) Permukaan Logam Tanpa Inhibitor, (b) Permukaan Logam Dengan Inhibitor

Berdasarkan gambar 4.9 dapat dilihat pada gambar (a) topografi permukaan baja API 5L *grade* B tampak seluruh permukaan tertutup oleh *product* korosi (daerah yang ditunjuk lingkaran merah). Jenis korosi yang terlihat pada permukaan spesimen teridentifikasi adalah jenis *uniform corrosio* atau korosi yang menyebar hampir pada semua permukaan. Hal ini disebabkan permukaan logam tidak dilindungi oleh inhibitor. Berbeda pada gambar (b) tampak permukaan baja yang lebih halus dengan sedikit *product* korosi. Mekanisme perlindungan korosi terjadi pada permukaan baja yang mungkin terlindungi oleh inhibitor ekstrak kulit mangga. Senyawa ekstrak kulit mangga mungkin membentuk ikatan kompleks dengan ion logam besi dan membentuk lapisan tipis pada permukaan baja (daerah yang ditunjuk lingkaran hijau) sehingga dapat menurunkan laju korosi secara signifikan.

#### **4.3 Pembahasan**

Dari hasil pengujian *Gas Chromatografi-Mass Spectrometry* (GCMS) yang dilakukan pada ekstrak kulit buah mangga didapatkan 6 senyawa terbesar yang terkandung dalam ekstrak kulit buah mangga. Senyawa yang memiliki heteroatom (N) dimana senyawa yang mengandung heteroatom seperti N, O, P, S atau ikatan rangkap digunakan sebagai inhibitor korosi logam dalam hal ini baja API 5L *grade* B dan senyawa fenolik yang mengandung flavonoid yang merupakan senyawa antioksidan. Efisiensi serta efektifitas senyawa-senyawa heteroatom dan fenolik sebagai inhibitor korosi dapat secara signifikan menurunkan laju korosi melalui pembentukan ikatan



dengan senyawa logam pada permukaannya untuk menghambat terjadinya laju korosi.

Dari hasil pengujian Polarisasi Potensiodinamik yang dilakukan dengan 6 sampel uji berupa larutan tanpa menggunakan inhibitor dan 5 variabel konsentrasi larutan dengan penambahan inhibitor ekstrak kulit buah mangga didapatkan bahwa terdapat penurunan laju korosi yang cukup signifikan sebanding dengan meningkatnya konsentrasi inhibitor yang diberikan. Konsentrasi terbesar yaitu pada 6 ml ekstrak kulit buah mangga dengan efisiensi inhibitor mencapai 81, 7711%. Dari grafik kurva polarisasi potensiodinamik dengan penambahan inhibitor menggeser kurva ke bawah yang mengindikasikan adanya penurunan nilai  $I_{\text{corr}}$  sehingga dapat diketahui bahwa inhibitor ekstrak kulit buah mangga (*mangifera indica*) bekerja untuk menurunkan laju korosi pada baja API 5L grade B. Berdasarkan pula kurva polarisasi selisih nilai  $E_{\text{corr}}$  setiap variasi konsentrasi inhibitor dibawah 85 mV menunjukkan adanya indikasi bahwa inhibitor ekstrak kulit mangga merupakan jenis inhibitor campuran. Inhibitor campuran ini merupakan kombinasi dari sifat inhibitor anodik dan inhibitor katodik.

Dari serangkaian pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa dengan adanya penambahan inhibitor ekstrak kulit buah mangga dapat meningkatkan nilai tahanan polarisasi ( $R_p$ ). Peningkatan  $R_p$  tersebut memperlihatkan bahwa hambatan yang disebabkan oleh transfer muatan dari elektrolit ke elektroda kerja semakin besar sehingga green inhibitor tersebut dapat menghambat laju korosi pada permukaan logam. Hal ini dapat dimungkinkan terbentuknya lapisan pasif (tipis) pada permukaan logam yang dapat menghambat laju korosi.



Ditunjukkan pada gambar 4.8 tampak perbedaan yang sangat mencolok antara efisiensi inhibitor hasil pengujian polarisasi potensiodinamik dan EIS. Namun terlihat pada grafik tersebut bahwa tren peningkatan efisiensi inhibitor masih terjadi seiring dengan penambahan konsentrasi inhibitor baik pada hasil pengujian polarisasi potensiodinamik maupun pada pengujian EIS. Belum adanya puncak (*peak*) menandakan efisiensi dari inhibitor ekstrak kulit mangga masih dapat ditingkatkan kembali dengan penambahan konsentrasi yang lebih besar.

Dari hasil pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) didapatkan sebuah kesimpulan bahwa permukaan baja API 5L *grade B* tanpa penambahan inhibitor ekstrak kulit mangga mengalami korosi pada hampir seluruh permukaan logam dengan jenis *uniform corrosion*. Sedangkan permukaan baja API 5L *grade B* dengan penambahan ekstrak kulit mangga sedikit mengalami korosi. Dengan adanya lapisan pasif yang tampak berwarna putih (gambar 4.9) mengindikasikan adanya perlindungan logam dari laju korosi oleh inhibitor ekstrak kulit mangga.



## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil beberapa pengujian dan pengolahan data yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Karakteristik ekstrak kulit mangga yaitu terdiri dari senyawa dengan ikatan rangkap (heteroatom) dan senyawa fenolik yang merupakan antioksidan.
2. Merujuk pada bergesernya kurva polarisasi ke arah kanan dan selisih nilai  $E_{\text{corr}}$  kurang dari 85 mV, ekstrak kulit mangga tergolong sebagai inhibitor campuran yang cenderung anodik pada baja API 5L *Grade B*.
3. Penambahan ekstrak kulit mangga sebagai inhibitor baja API 5L *grade B* di dalam media larutan 1M HCL dapat menurunkan laju korosi dari baja API 5L *grade B*. Nilai laju korosi tanpa penambahan inhibitor sebesar 9,7318 mmpy sedangkan nilai laju korosi terkecil didapatkan pada penambahan konsentrasi 6 ml inhibitor ekstrak kulit mangga sebesar 1,774 mmpy. Dengan hasil efisiensi tertinggi sebesar 81,7711%.

### 5.2 Saran

1. Percobaan dilakukan pada konsentrasi inhibitor yang lebih tinggi sehingga dapat mengetahui nilai konsentrasi optimum dari inhibitor ekstrak kulit mangga.
2. Perlu adanya variasi temperatur dan kecepatan aliran fluida pada pengujian selanjutnya karena aplikasi inhibitor bukan hanya pada fluida statis tetapi juga fluida dinamis.



*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

1. Pradityana, Atria., Sulistijono., Shahab, Abdullah., Noerochim, Lukman., Jan. 2017. “*Sarang Semut (Myrmecodia Pendans) EXTRACT AS A GREEN CORROSION INHIBITOR FOR MILD STEEL IN ACID SOLUTION*”. International Journal of Technology (2017) 1: 48-57 ISSN 2086-9614.
2. Kurniawan, Freddy., Madurani, Kartika., Jul. 2015. “*Electrochemical and optical microscopy study of red pepper seed oil corrosion inhibition by self-assembled monolayers (SAM) on 304 SS*”. ScienceDirect Progress in Organic Coatings 88 (2015) 256–262.
3. Sulistijono., Purniawan Agung., Agung Budi., Noor Tubagus. 2014. “*Efektifitas Ekstrak Kulit Mangga (Mangifera Indica L) dan Ekstrak Kulit Jeruk (Citrus) sebagai Green-Inhibitor Korosi pada Baja Karbon di Lingkungan Salt Water*”. Laporan Akhir Penelitian Laboratorium.
4. Zakianto, Ahmad. Jul 2012. “*Assesmen pada Fasilitas Produksi Minyak dan Gas Bumi Di Lingkungan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S*”. Tesis Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
5. Pradityana, Atria., Subowo. 2014. “*Kaji Eksperimental Sarang Semut Sebagai Inhibitor Organik Korosi Dengan Variasi Jenis Material dan Larutan Media Korosi*”. Laporan Kemajuan Penelitian Pendukung Unggulan Bidang Sains.
6. Dewi, Komang. 2016. “*Efek Ekstrak Kulit Mangga (Mangifera Indica L) Arumanis Terhadap Lama Perdarahan Mencit Putih Jantan I*”. Skripsi Fakultas Kedokteran Universitas Jember.

7. Ajila, C.M., Naidu, K.A., Bhat, S.G., Prasada Rao, U.J.S. 2006. “*Bioactive Compounds and Antioxidant Potential of Mango Peel Extract*”. Food Chemistry.
8. Candra, L., John W.S. 2011. “*Studi Pengaruh Konsentrasi Panambahan Sirup Ubi Ungu sebagai Inhibitor Organik untuk Maerial Baja SPCC pada Air Demineralisasi dengan Penambahan CO<sub>2</sub>*”. Tugas Akhir Fakultas Teknik Departemen Metalurgi dan Material Universitas Indonesia.
9. Wang, Yishan., Zuo Yu., Jan. 2017. “*The Adsorption and Inhibition Behavior Of Two Organic Inhibitors For Carbon Steel In Simulated Concrete Pore Solution*”. ScienceDirect Corrosion Science 118 (2017) 24-30.
10. Fontana, M.G. 1987. “*Corrosion Engineering*”. Singapore : McGraw-Hill, Inc.
11. Billy, Alfonsius., Jul 2012. “*Studi Inhibisi Korosi Baja API 5L (ASTM A53) Dalam Air Frmasi (Connate Water) Dengan Ekstrak Kulit Buah Sawo (Manilkara Zapota) Menggunakan Metode Polarisasi*”. Skripsi Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Material dan Metalurgi, Universitas Indonesia
12. Darmawan, Oki., 2012. “*Study Green Corrosion Inhibitor Ekstrak Daun Bayam Merah ( Amaranthus Gangeticus) Pada Baja Karbon Rendah Dalam Larutan 1M HCl Dengan Metode Polarisasi dan EIS*”. Tesis Fakultas Teknik, Program Studi Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia.
13. Iandiano, Dito., Jul 2012. “*Studi Laju Korosi Baja Karbon Untuk Pipa Penyalur Proses Produksi Gas Alam Yang Mengandung Gas CO<sub>2</sub> Pada Lingkungan NaCl 0.5, 1.5, 2.5, dan 3.5 %*”. Skripsi Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia.

14. <[https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/4-hydroxybenzoic\\_acid#section=Top](https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/4-hydroxybenzoic_acid#section=Top)>. (Diakses Tanggal 4 Juli 2017).
15. <<http://www.jagadkimia.com/2015/04/cara-membuat-larutan-hcl-1-n-dan-1-m.html>>. (Diakses Tanggal 8 Mei 2017).
16. <[https://id.wikipedia.org/wiki/Asam\\_klorida](https://id.wikipedia.org/wiki/Asam_klorida)>. (Diakses Tanggal 8 Mei 2017).

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## Lampiran 1

Perhitungan proses pengenceran HCL 32% menjadi 1M HCL

Diketahui:

|                 |                           |
|-----------------|---------------------------|
| Konsentrasi HCL | : 32%                     |
| Berat jenis     | : 1,159 g/cm <sup>3</sup> |
| Berat molekul   | : 36,46 g/mol             |

Dicari:

1M HCL

Jawab:

Rumus

$$M = \frac{\{(10 \times \% \times \rho) \times valensi\}}{\text{Berat molekul}}$$

$$M = \frac{\{(10 \times 32\% \times 1,159 \frac{g}{ml}) \times 1\}}{36,46 \text{ g/mol}}$$

$$M = 10,1722$$

$$M_1 V_1 = M_2 V_2$$

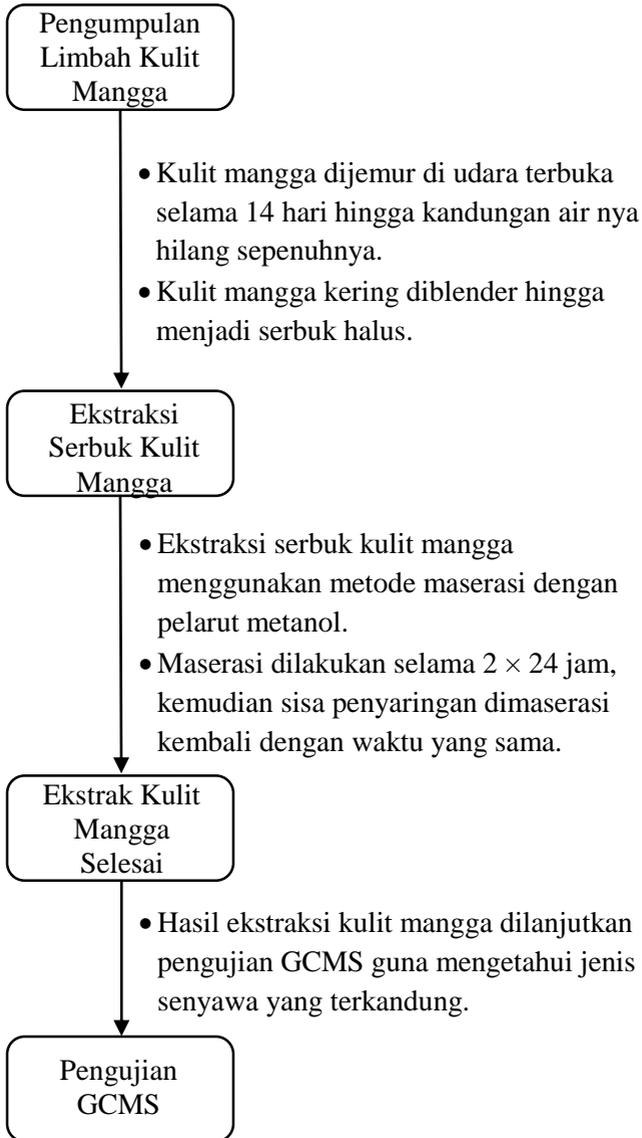
$$10,1722 \times V_1 = 1 \times 1000$$

$$V_1 = 98,307 \text{ ml}$$

Jadi untuk membuat 1M HCL sebanyak 1000 ml dibutuhkan 98,307 ml HCL 32%

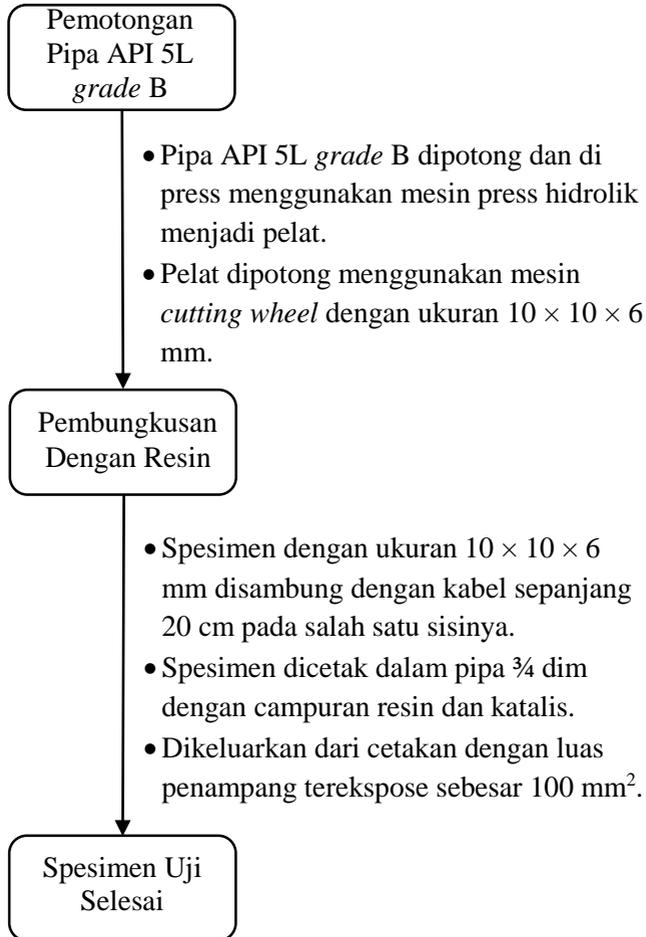
## Lampiran 2

### Proses Persiapan Inhibitor Ekstrak Kulit Mangga



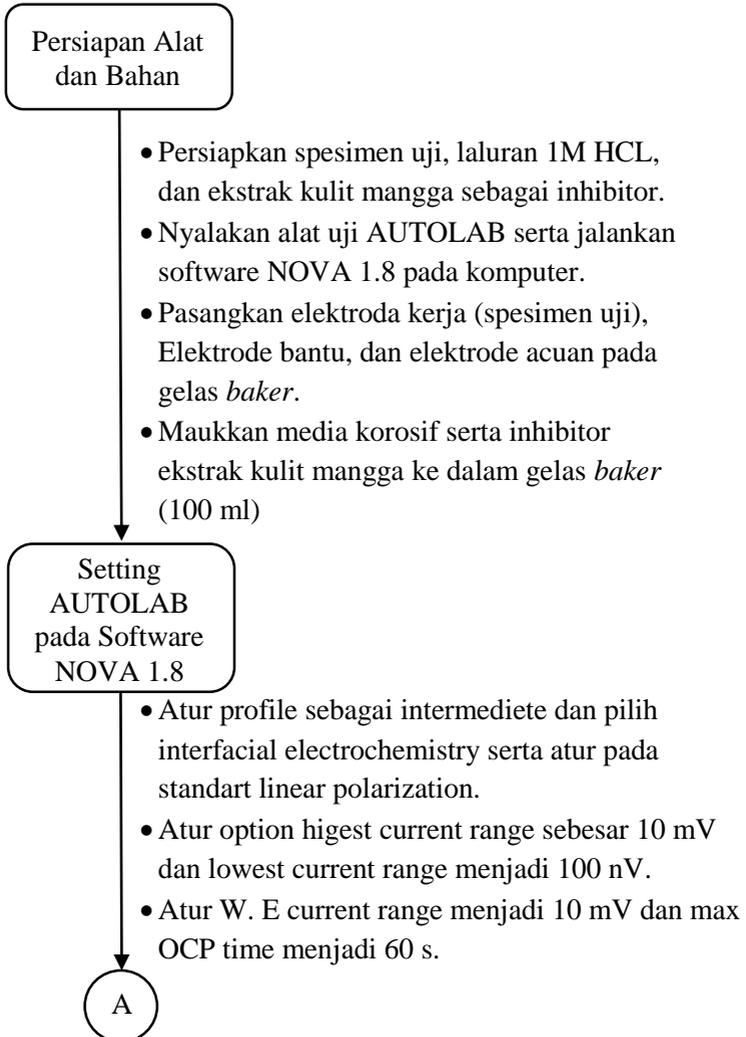
### Lampiran 3

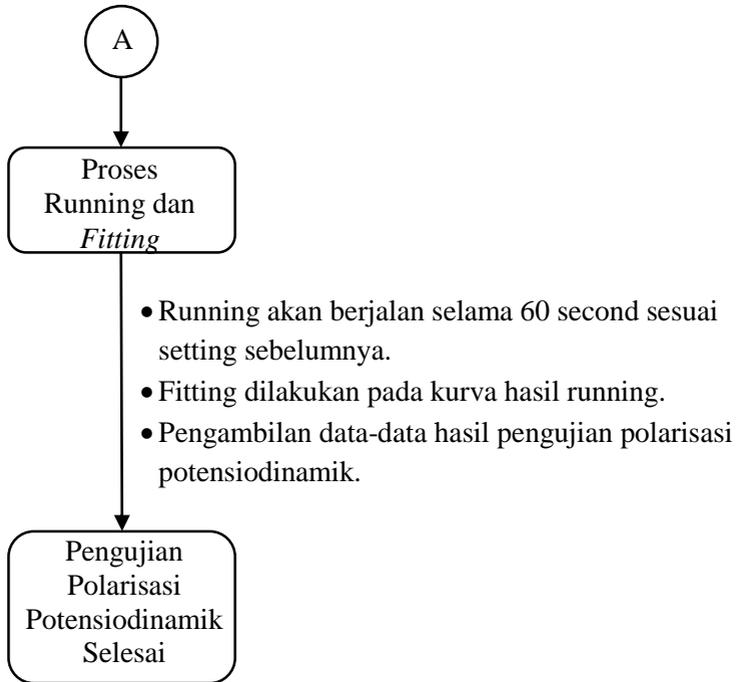
#### Proses Persiapan Spesimen Uji



## Lampiran 4

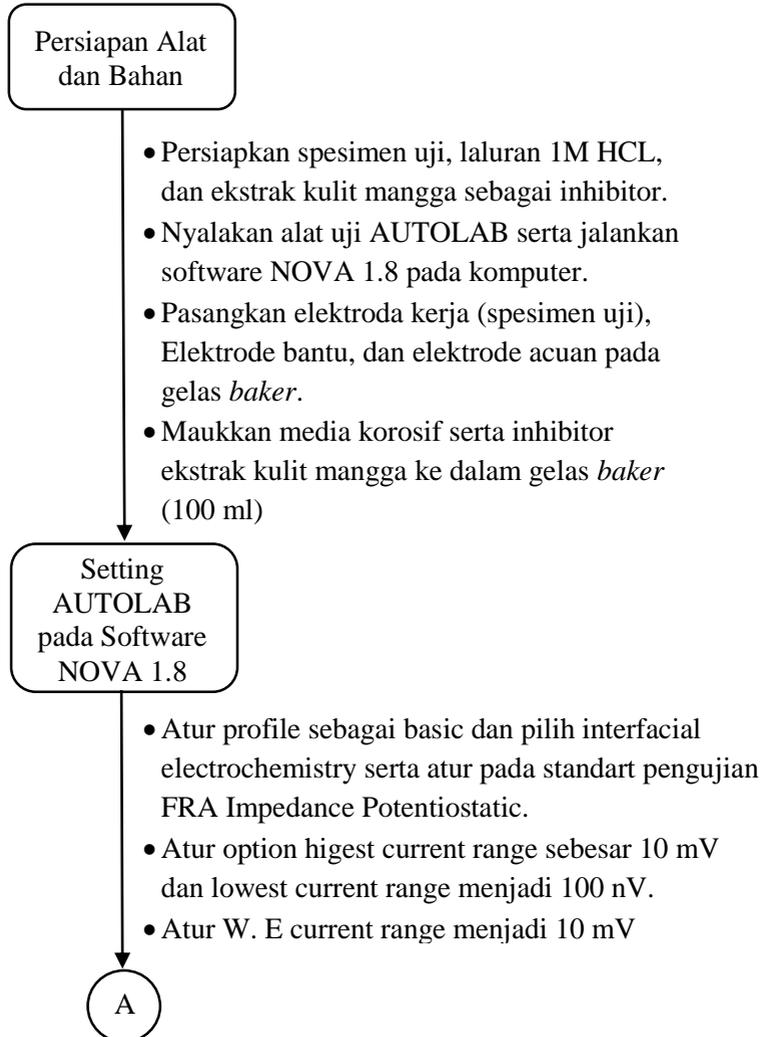
### Desain Pengujian Polarisasi Potensiodinamik

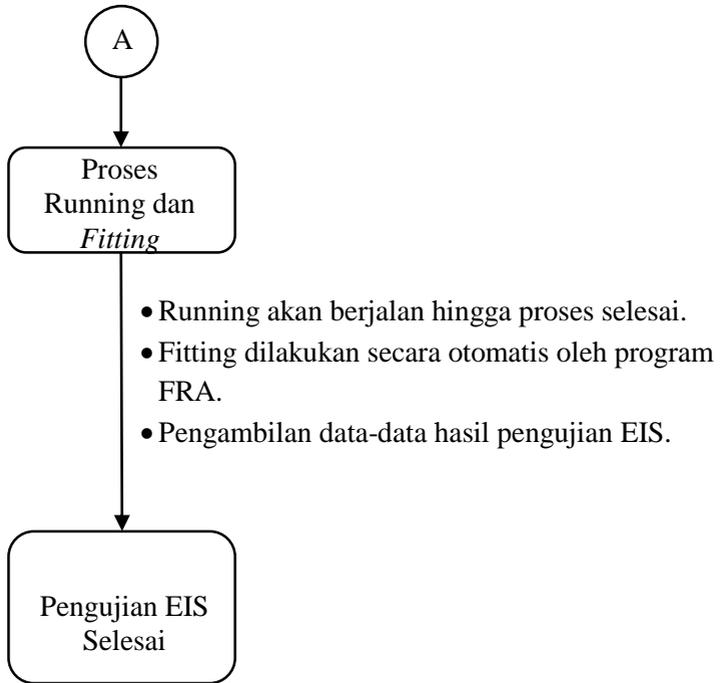




## Lampiran 5

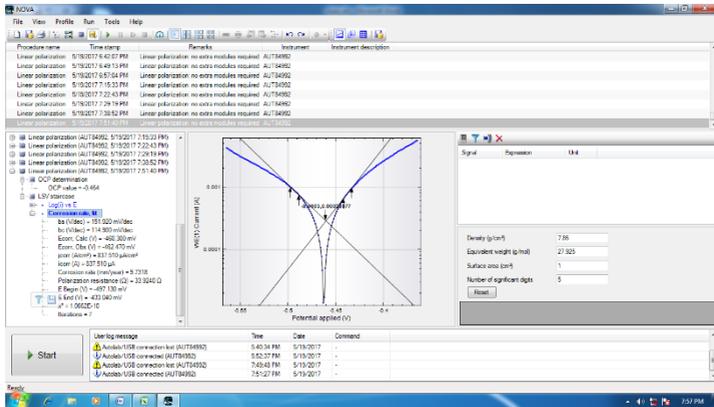
### Desain Pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy*



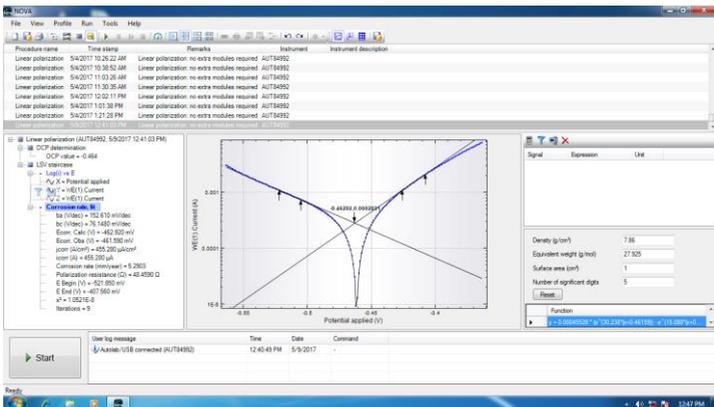


## Lampiran 6

### Hasil Pengujian Polarisasi Potensodinamik: Tanpa Inhibitor:

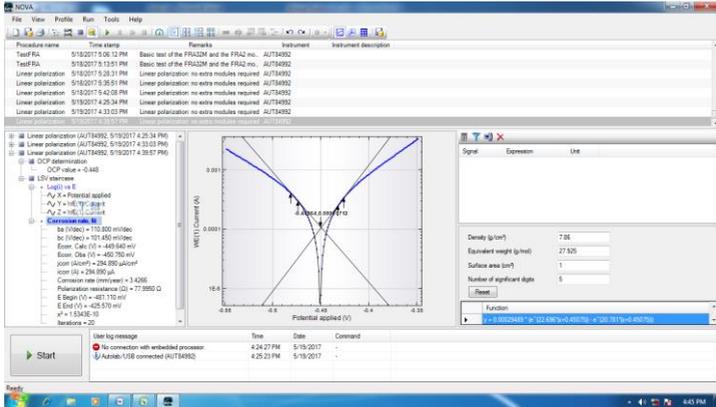


Gambar 1. Pengujian ke-1

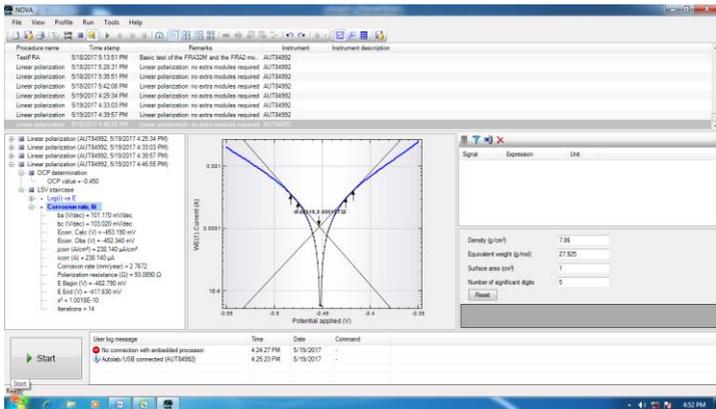


Gambar 2. Pengujian ke-2

Dengan Inhibitor:  
Konsentrasi 2 ml



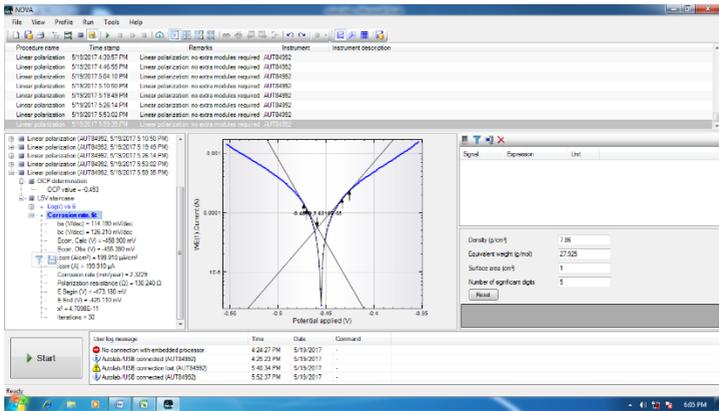
Gambar 3. Penguujian ke-1



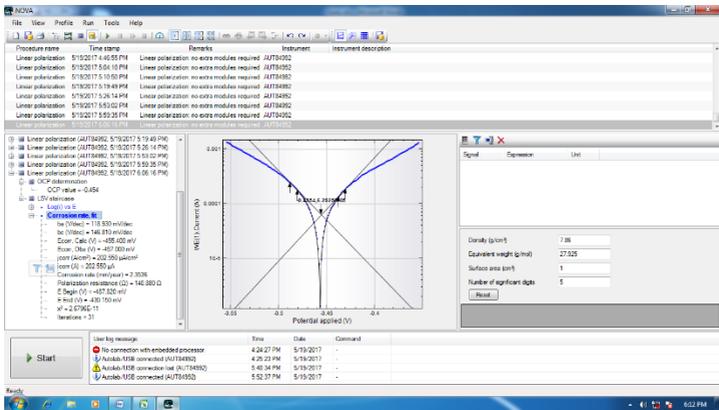
Gambar 4. Penguujian ke-2



# Konsentrasi 4 ml

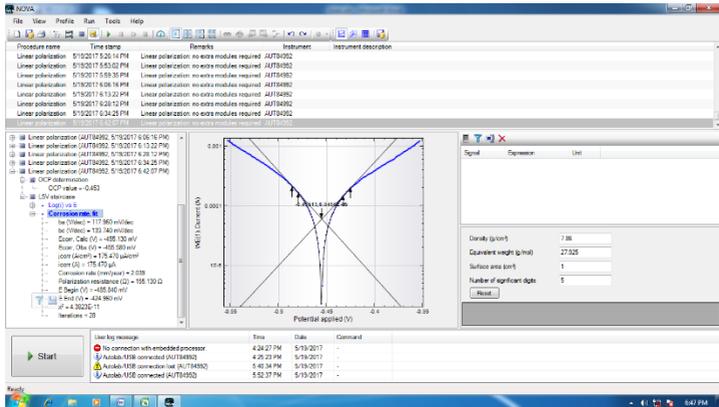


Gambar 7. Pengujian ke-1

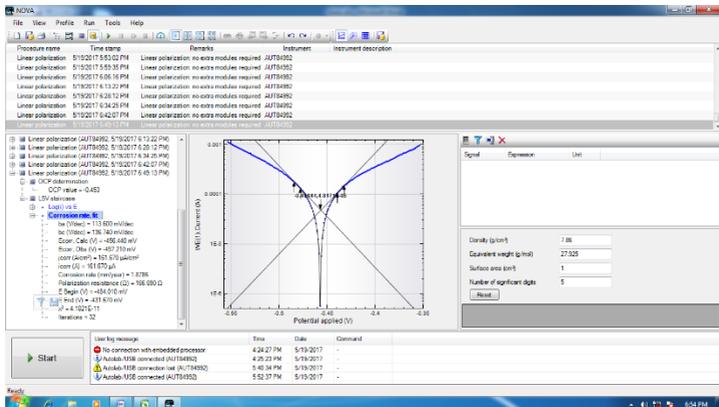


Gambar 8. Pengujian ke-2

## Konsentrasi 5 ml



Gambar 9. Pengujian ke-1

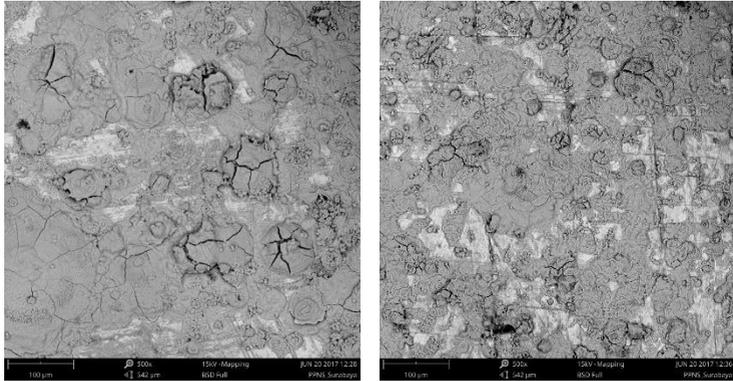


Gambar 10. Pengujian ke-2

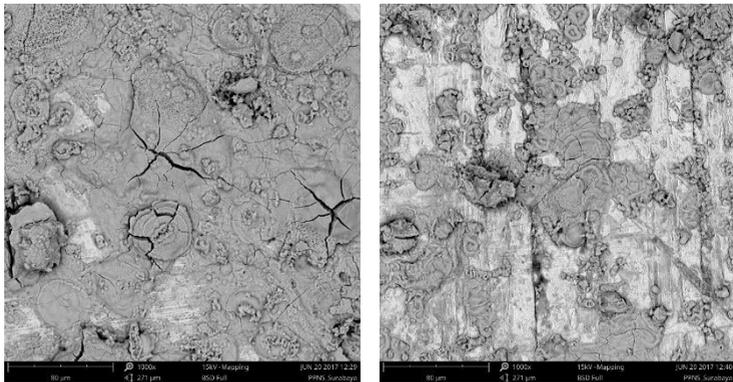


## Lampiran 7

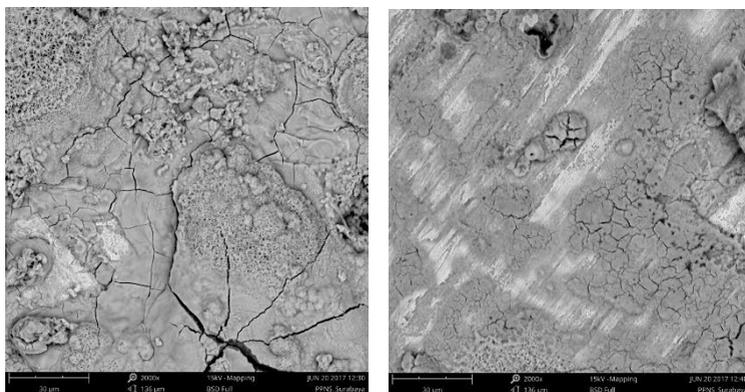
### Hasil Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM)



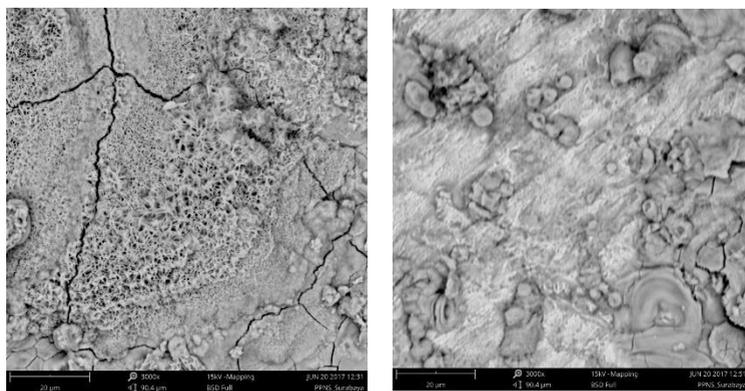
**Gambar 13.** Perbesaran 500 kali



**Gambar 14.** Perbesaran 1000 kali



**Gambar 15.** Perbesaran 2000 kali



**Gambar 14.** Perbesaran 2000 kali

# Lampiran 8

## Standart Uji ASTM G5



Designation: G 5 - 87

### Standard Reference Test Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation G 5; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

#### 1. Scope

1.1 This test method describes an experimental procedure which can be used to check one's experimental technique and instrumentation. If followed, this test method will provide repeatable potentiostatic and potentiodynamic anodic polarization measurements that will reproduce data determined by others at other times and in other laboratories.

1.2 Values stated in SI units are to be regarded as the standard. Inch-pound units given in parentheses are for information only.

1.3 *This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. This standard does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

#### 2. Referenced Document

##### 2.1 ASTM Standard:

G 3 Practice for Conventions Applicable to Electrochemical Measurements in Corrosion Testing<sup>2</sup>

#### 3. Significance and Use

3.1 The availability of a standard procedure, standard material, and a standard plot should make it easy for an investigator to check his techniques. This should lead to polarization curves in the literature which can be compared with confidence.

3.2 Samples of a standard ferritic Type 430 stainless steel (UNS S43000) used in obtaining standard reference plot are available for those who wish to check their own test procedure and equipment.<sup>3</sup>

3.3 Standard potentiostatic and potentiodynamic polarization plots are supplied with the purchase of the reference material. These reference data are based on the results from different laboratories that followed the standard procedure, using that material in 1.0 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Maximum and minimum current values are shown at each potential to indicate the acceptable range of values.

3.4 This test method may not be appropriate for polarization test of all materials or in all environments.

#### 4. Apparatus

4.1 The test cell should be constructed to allow the following items to be inserted into the solution chamber: the test electrode, two auxiliary electrodes, a Luggin capillary with salt-bridge connection to the reference electrode, inlet and outlet for an inert gas, and a thermometer. The test cell shall be constructed of materials that will not corrode, deteriorate, or otherwise contaminate the test solution.

NOTE 1—Borosilicate glass and TFE-fluorocarbon have been found suitable.

4.1.1 A suitable cell is shown in Fig. 1 (D).<sup>4</sup> A 1-L, round-bottom flask has been modified by the addition of various necks to permit the introduction of electrodes, gas inlet and outlet tubes, and a thermometer. The Luggin probe-salt bridge separates the bulk solution from the saturated calomel reference electrode, and the probe tip can be easily adjusted to bring it in close proximity with the working electrode.

##### 4.2 Potentiostat (Note 2):

4.2.1 A potentiostat that will maintain an electrode potential within 1 mV of a preset value over a wide range of applied currents should be used. For the type and size of standard specimen supplied, the potentiostat should have a potential range from -0.6 to 1.6 V and an anodic current output range from 1.0 to 10<sup>3</sup>  $\mu$ A.

##### 4.3 Potential-Measuring Instruments (Note 2):

4.3.1 The potential-measuring circuit should have a high input impedance on the order of 10<sup>7</sup> to 10<sup>11</sup>  $\Omega$  to minimize current drawn from the system during measurements. Such circuits are provided with most potentiostats. Instruments should have sufficient sensitivity and accuracy to detect a change of 1.0 mV over a potential range between -0.6 and 1.6 V.

##### 4.4 Current-Measuring Instruments (Note 2):

4.4.1 An instrument that is capable of measuring a current accurately to within 1 % of the absolute value over a current range between 1.0 and 10<sup>3</sup>  $\mu$ A for Type 430 stainless steel (UNS S43000) specimen with a surface area of approximately 5 cm<sup>2</sup>.

##### 4.5 Anodic Polarization Circuit:

4.5.1 A schematic potentiostatic anodic polarization wiring diagram (2) is illustrated in Fig. 2.

4.5.2 A scanning potentiostat is used for potentiodynamic measurements. For such measurements the potentiostat shall be capable of automatically varying the potential at a constant rate between two preset potentials. A record of the

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee G-3 on Corrosion of Metals.

Current edition approved March 27, 1987. Published May 1987. Originally published as G 5 - 69. Last previous edition G 5 - 82<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol. 03.02.

<sup>3</sup> These standard samples are available from ASTM Headquarters. Generally, one sample can be repolished and reused for many runs. This procedure is suggested to conserve the available material. Order PCN 12-700090-00.

<sup>4</sup> The boldface numbers in parentheses refer to the list of references at the end of this test method.

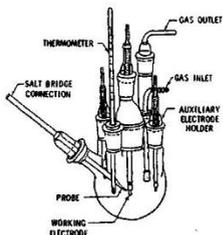


FIG. 1 Schematic Diagram of Polarization Cell (1)

potential and current is plotted continuously using such instruments as an X-Y recorder and a logarithmic converter incorporated into the circuit shown in Fig. 2. Some potentiostats have an output of the logarithm of the current as a voltage, which allows direct plotting of the potential log current curve using an X-Y recorder.

NOTE 2—The instrumental requirements are based upon values typical of the instruments in 15 laboratories.

4.6 Electrode Holder (1)

4.6.1 The auxiliary and working electrodes are mounted in the type of holder shown in Fig. 3. A longer holder is required for the working electrode than for the auxiliary electrode. A leak-proof assembly is obtained by the proper compression fit between the electrode and a TFE-fluorocarbon gasket. (Too much pressure may cause shielding of the electrode or breakage of the glass holder, and too little pressure may cause leakage and subsequently crevice corrosion which may affect the test results.)

4.7 Electrodes:

4.7.1 Working Electrode, prepared from a 12.7-mm (1/2-in.) length of 9.5-mm (3/8-in.) diameter rod stock. Each electrode is drilled, tapped, and mounted in the manner discussed in 4.6.1.

NOTE 3—If specimen forms are used other than those called for by this test method, for example, flat sheet specimen, care should be taken since it was shown that crevices may be introduced which can lead to erroneous results (see Fig. X1.1).

4.7.1.1 The standard AISI Type 430 stainless steel (UNS S43000) should be used if one wishes to reproduce a standard reference plot. This material is prepared from a single heat of metal that is mill-annealed for 1/2 h at 815°C (1500°F) and air cooled. The chemical composition of the standard stainless steel is supplied with the purchase of reference material.

4.7.2 Auxiliary Electrodes:

4.7.2.1 Two platinum auxiliary electrodes are prepared from high-purity rod stock. Each electrode is drilled, tapped, and mounted with a TFE-fluorocarbon gasket in the same manner as the working electrode. A large platinum sheet sealed into a glass holder is also acceptable.

4.7.2.2 A platinized surface may be utilized because of the increased surface area. This may be accomplished by clean-

ing the surface in hot aqua regia (3 parts concentrated HCl and 1 part concentrated HNO<sub>3</sub>), washing, and then drying. Both electrodes are platinized by immersing them in a solution of 3% platinum chloride and 0.02% lead acetate and electrolyzing at a current density of 40 to 50 mA/cm<sup>2</sup> for 4 or 5 min (1.3). The polarity is reversed every minute. Occluded chloride is removed by electrolyzing in a dilute (10%) sulfuric acid solution for several minutes with a reversal in polarity every minute. Electrodes are rinsed thoroughly and stored in distilled water until ready for use. Since certain ions can poison these electrodes, periodic checks of platinized

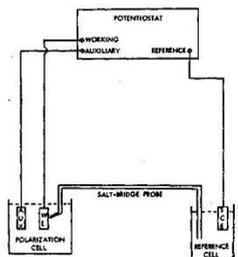


FIG. 2 Schematic Potentiostatic Anodic Polarization Wiring Diagram (2)

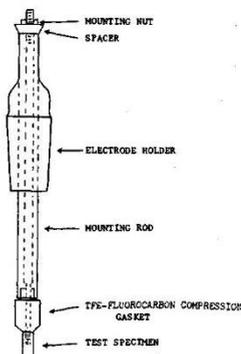


FIG. 3 Specimen Mounted on Electrode Holder

platinum potentials against a known reference electrode should be made.

4.7.2.3 Alternatively, graphite auxiliary electrodes can be used, but material retained by the graphite may contaminate subsequent experiments. This contamination can be minimized by using high-density graphite or avoided by routinely replacing the graphite electrode.

#### 4.7.3 Reference Electrode (4):

4.7.3.1 A saturated calomel electrode with a controlled rate of leakage (about 3  $\mu\text{L}/\text{h}$ ) is recommended. This type of electrode is durable, reliable, and commercially available. Precautions shall be taken to ensure that it is maintained in the proper condition. The potential of the calomel electrode should be checked at periodic intervals to ensure the accuracy of the electrode. For other alloy-electrolyte combinations a different reference electrode may be preferred in order to avoid contamination of the reference electrode or the electrolyte.

4.7.3.2 Alternatively, a saturated calomel electrode utilizing a semi-permeable membrane or porous plug tip may be used. These may require special care.

### 5. Experimental Procedure

5.1 Prepare 1 L of 1.0 N  $\text{H}_2\text{SO}_4$  from A.C.S. reagent grade acid and distilled water, for example, by using 27.8 mL of 98 %  $\text{H}_2\text{SO}_4$  of solution. Transfer 900 mL of solution to the clean polarization cell.

5.2 Place the platinized auxiliary electrodes, salt-bridge probe, and other components in the test cell and temporarily close the center opening with a glass stopper. Fill the salt bridge with test solution.

NOTE 4—When using a controlled leakage salt bridge, the levels of the solution in the reference and polarization cells should be the same to avoid siphoning. If this is impossible, a closed solution-wet (not greased) stopcock can be used in the salt bridge to eliminate siphoning, or a semi-permeable membrane or porous plug tip may be used on the salt bridge.

5.3 Bring the temperature of the solution to 30  $\pm$  1°C by immersing the test cell in a controlled-temperature water bath or by other convenient means.

5.4 Reduce oxygen levels in solution prior to immersion of the test specimen. This may be accomplished by bubbling an oxygen-free gas such as hydrogen, argon, or nitrogen at a rate of 150  $\text{cm}^3/\text{min}$  for a minimum of 1/2 h.

5.5 Prepare the working electrode surface within 1 h of the experiment. Wet grind with 240-grit SiC paper, wet polish with 600-grit SiC paper until previous coarse scratches are removed, rinse, and dry. (Drilled and tapped specimens can be threaded onto an electrode holder rod and secured in a lathe or electric drill for this operation.)

5.6 Determine the surface area by measuring all dimensions to the nearest 0.01 mm, subtracting the area under the gasket (usually 0.20 to 0.25  $\text{cm}^2$ ).

5.7 Mount the specimen on the electrode holder as described in 4.6.1. Tighten the assembly by holding the upper end of the mounting rod in a vise or clamp while tightening the mounting nut until the gasket is properly compressed.

5.8 Degrease the specimen just prior to immersion and then rinse in distilled water.

5.9 Transfer the specimen to the test cell and adjust the salt-bridge probe tip so it is about 2 mm or 2 times the tip diameter, whichever is larger from the specimen electrode.

5.10 Record the open-circuit specimen potential, that is, the corrosion potential, after 55 min immersion. If platinum counter electrodes and hydrogen gas are used, record the platinum potential 50 min after immersion of the specimen.

#### 5.11 Potential Scan:

5.11.1 Start the potential scan or step 1 h after specimen immersion, beginning at the corrosion potential ( $E_{\text{COR}}$ ) for potentiodynamic measurements and the nearest 50-mV increment above  $E_{\text{COR}}$  for the potentiostatic measurements. Proceed through +1.60 V versus saturated calomel electrode (SCE) (active to noble).

5.11.2 In the potentiostatic method, use a potentiostatic potential step rate of 50 mV every 5 min, recording the current at the end of each 5-min period at potential. These steps are repeated until a potential of +1.6 V SCE is reached.

5.11.3 In the potentiodynamic method, use a potentiodynamic potential sweep rate of 0.6 V/h ( $\pm 5\%$ ) recording the current continuously with change in potential from the corrosion potential to +1.6 V SCE.

5.12 Plot anodic polarization data on semilogarithmic paper in accordance with Practice G 3, (potential-ordinate, current density-abscissa). If a potentiostat with a logarithmic converter is used, this plot can be produced directly during the measurement.

### 6. Standard Reference Plots

6.1 Standard polarization plots prepared from data obtained by following the standard procedure discussed in this test method are supplied with the purchase of reference material. Typical data are shown in Figs. 4 and 5 (5). The plots show a range of acceptable current density values at each potential. The average corrosion potential is -0.52 V, and the average platinized platinum potential is -0.26 V.

6.2 Typical deviations from the standard potentiostatic plot are shown and discussed in Appendix XI. Reference to this discussion may be helpful in determining the reasons for differences between an experimental curve and the standard plots.

6.3 The potentiodynamic standard curve shows good agreement with the potentiostatic standard curve determined at an equivalent overall polarization rate.

### 7. Precision and Bias

7.1 The repeatability of this test method is illustrated by Fig. 6. Current variability in regions where the effect of potential on current is small will generally be 10 % or less.

7.2 The ability of different laboratories to reproduce the results in this test method is shown in Fig. 4. The band shows a better than plus or minus two standard deviations for all laboratories providing results.

7.3 Factors that contribute bias to this test method are discussed in Appendix XI. In general, the major effects which can bias results are: reference electrode problems, crevice problems in the specimen mounting assembly, oxygen contamination, and current measurement instrument inaccuracies.

(lanjutan 3)

G 5

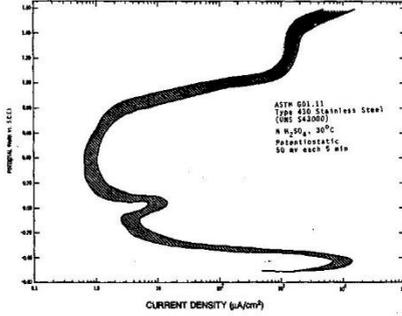


FIG. 4 Typical Standard Potentiostatic Anodic Polarization Plot

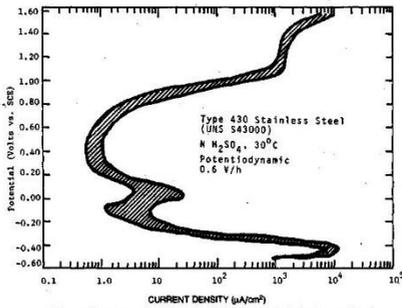
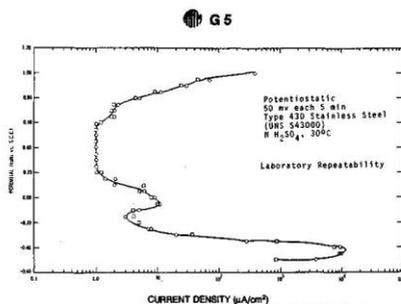


FIG. 5 Typical Standard Potentiodynamic Anodic Polarization Plot

(lanjutan 4)



#### APPENDIX

(Nonmandatory Information)

### XI. DEVIATIONS FROM STANDARD POLARIZATION PLOTS

#### XI.1 High Passive Current Densities (Crevice Effect)

XI.1.1 Examples of passive current densities which are greater than those for a standard potentiostatic plot are shown in Fig. XI.1. This, effect is attributable to a crevice between the specimen and mounting material (6). The crevice may be the result of the mounting technique or the material used for mounting.

XI.1.2 The potential drop along the narrow path of the electrolyte within the crevice between the specimen and the mounting material prevents this area from passivating. Although the face of the specimen passivates, the high current density associated with the active crevice contributes to an increase in the measured current density. Specimen electrodes for polarization measurements must be mounted without crevice sites to avoid such erroneous passive current densities.

#### XI.2 Low Passive Current Densities (Instrumental Effect)

XI.2.1 The low passive current densities shown in Fig.

XI.2 are undoubtedly the result of instrumental problems. This effect can be eliminated by calibrating the current over the entire range of interest before conducting an experiment.

#### XI.3 Cathodic Currents During Anodic Polarization (Oxygen Effect)

XI.3.1 The "negative loop" at potentials between -0.350 V and -0.050 V, shown by dashed lines in Fig. XI.3, occurs when the total cathodic current exceeds the total anodic current. Such results are characteristic of oxygen being present in the solution (7). This effect can be anticipated if the recorded platinum potential is considerably more noble than -0.26 V. The gas purge should remove oxygen from the system, but there may be an air leak or the purge gas may be contaminated with oxygen. It is necessary to take extreme care in the design of glassware equipment and to ensure a high order of purity in the gas that is used to avoid oxygen contamination.

(lanjutan 5)

Q5

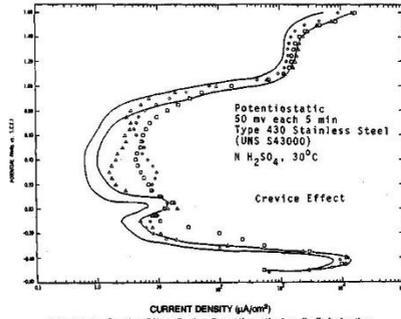


FIG. X1.1 Crevice Effect During Potentiostatic Anodic Polarization

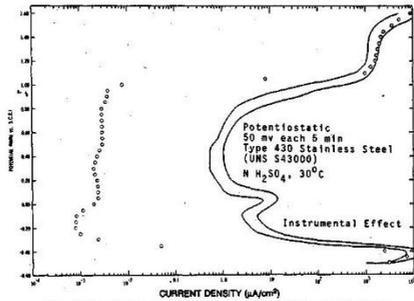


FIG. X1.2 Instrumental Effect During Potentiostatic Anodic Polarization

(lanjutan 6)

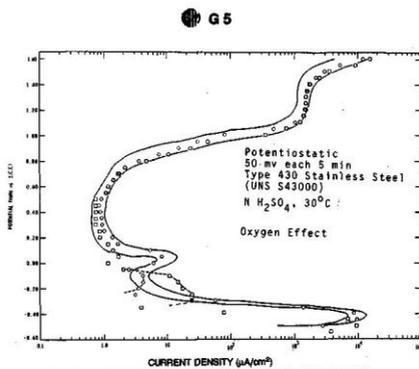


FIG. X1.3 Oxygen Effect During Potentiostatic Anodic Polarization

#### REFERENCES

- (1) Greene, N. D., *Experimental Electrode Kinetics*, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY, 1965.
- (2) France, Jr., W. D., "Controlled Potential Corrosion Tests, Their Applications and Limitations," *Materials Research and Standards*, Vol 9, No. 8, 1969, p. 21.
- (3) Melton, M. G., *Quantitative Analysis*, Thomas Y. Crowell Co., New York, 1955.
- (4) Hies, D. J., and Janz, G. J., *Reference Electrodes, Theory and Practice*, Academic Press, New York, NY, 1961.
- (5) "The Reproducibility of Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements," ASTM Subcommittee G-1/XI, Section I, Interlaboratory Testing Program, June, 1967. Available from ASTM Headquarters as RR: G01-1000.
- (6) Greene, N. D., France, Jr., W. D., and Wilde, B. E., "Electrode Mounting for Potentiostatic Anodic Polarization Studies," *Corrosion*, CORRA, Vol 21, 1965, p. 275.
- (7) Greene, N. D., "Effect of Oxygen on the Active-Passive Behavior of Stainless Steel," *Journal of the Electrochemical Society*, JESOA, Vol 107, 1960, p. 457.

*The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.*

Designation: G 102 – 89 (Reapproved 1994)<sup>1</sup>

## Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation G 102; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

<sup>1</sup> NOTE—Section 6 was added editorially in May 1994.

### 1. Scope

1.1 This practice is intended to provide guidance in converting the results of electrochemical measurements to rates of uniform corrosion. Calculation methods for converting corrosion current density values to either mass loss rates or average penetration rates are given for most engineering alloys. In addition, some guidelines for converting polarization resistance values to corrosion rates are provided.

### 2. Referenced Documents

- 2.1 *ASTM Standards*:  
D2776 Test Methods for Corrosivity of Water in the Absence of Heat Transfer (Electrical Methods)<sup>2</sup>  
G 5 Reference Test Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements<sup>3</sup>  
G 59 Practice for Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements<sup>3</sup>

### 3. Significance and Use

3.1 Electrochemical corrosion rate measurements often provide results in terms of electrical current. Although the conversion of these current values into mass loss rates or penetration rates is based on Faraday's Law, the calculations can be complicated for alloys and metals with elements having multiple valence values. This practice is intended to provide guidance in calculating mass loss and penetration rates for such alloys. Some typical values of equivalent weights for a variety of metals and alloys are provided.

3.2 Electrochemical corrosion rate measurements may provide results in terms of electrical resistance. The conversion of these results to either mass loss or penetration rates requires additional electrochemical information. Some approaches for estimating this information are given.

3.3 Use of this practice will aid in producing more consistent corrosion rate data from electrochemical results. This will make results from different studies more comparable and minimize calculation errors that may occur in transforming electrochemical results to corrosion rate values.

### 4. Corrosion Current Density

4.1 Corrosion current values may be obtained from galvanic cells and polarization measurements, including Tafel extrapolations or polarization resistance measurements. (See Reference Test Method G 5 and Practice G 59 for examples.) The first step is to convert the measured or estimated current value to current density. This is accomplished by dividing the total current by the geometric area of the electrode exposed to the solution. It is assumed that the current distributes uniformly across the area used in this calculation. In the case of galvanic couples, the exposed area of the anodic specimen should be used. This calculation may be expressed as follows:

$$i_{cor} = \frac{I_{cor}}{A} \quad (1)$$

where:

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

$I_{cor}$  = total anodic current,  $\mu\text{A}$ , and

$A$  = exposed specimen area,  $\text{cm}^2$ .

Other units may be used in this calculation. In some computerized polarization equipment, this calculation is made automatically after the specimen area is programmed into the computer. A sample calculation is given in Appendix X1.

4.2 *Equivalent Weight*—Equivalent weight, EW, may be thought of as the mass of metal in grams that will be oxidized by the passage of one Faraday ( $96\,489 \pm 2 \text{ C}$  (amp-sec)) of electric charge.

NOTE 1—The value of EW is not dependent on the unit system chosen and so may be considered dimensionless.

For pure elements, the equivalent weight is given by:

$$EW = \frac{W}{n} \quad (2)$$

where:

$W$  = the atomic weight of the element, and

$n$  = the number of electrons required to oxidize an atom of the element in the corrosion process, that is, the valence of the element.

4.3 For alloys, the equivalent weight is more complex. It is usually assumed that the process of oxidation is uniform and does not occur selectively to any component of the alloy. If this is not true, then the calculation approach will need to be adjusted to reflect the observed mechanism. In addition, some rationale must be adopted for assigning values of  $n$  to

<sup>1</sup> This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee G01 on Corrosion of Metals and is the direct responsibility of Subcommittee G01.11 on Electrochemical Measurements in Corrosion Testing.

Current edition approved Feb. 24, 1989; Published May 1989.

<sup>2</sup> Discontinued—See 1990 Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.02.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.02.

## (lanjutan 1)

the elements in the alloy because many elements exhibit more than one valence value.

4.4 To calculate the alloy equivalent weight, the following approach may be used. Consider a unit mass of alloy oxidized. The electron equivalent for 1 g of an alloy,  $Q$  is then:

$$Q = \sum \frac{n_i f_i}{W_i} \quad (3)$$

where:

$f_i$  = the mass fraction of the  $i^{\text{th}}$  element in the alloy,  
 $W_i$  = the atomic weight of the  $i^{\text{th}}$  element in the alloy, and  
 $n_i$  = the valence of the  $i^{\text{th}}$  element of the alloy.  
 Therefore, the alloy equivalent weight,  $EW$ , is the reciprocal of this quantity:

$$EW = \frac{1}{\sum \frac{n_i f_i}{W_i}} \quad (4)$$

Normally only elements above 1 mass percent in the alloy are included in the calculation. In cases where the actual analysis of an alloy is not available, it is conventional to use the mid-range of the composition specification for each element, unless a better basis is available. A sample calculation is given in Appendix X2 (1).<sup>4</sup>

4.5 Valence assignments for elements that exhibit multiple valences can create uncertainty. It is best if an independent technique can be used to establish the proper valence for each alloying element. Sometimes it is possible to analyze the corrosion products and use those results to establish the proper valence. Another approach is to measure or estimate the electrode potential of the corroding surface. Equilibrium diagrams showing regions of stability of various phases as a function of potential and pH may be created from thermodynamic data. These diagrams are known as Potential-pH (Pourbaix) diagrams and have been published by several authors (2, 3). The appropriate diagrams for the various alloying elements can be consulted to estimate the stable valence of each element at the temperature, potential, and pH of the contacting electrolyte that existed during the test.

NOTE 2—Some of the older publications used inaccurate thermodynamic data to construct the diagrams and consequently they are in error.

4.6 Some typical values of  $EW$  for a variety of metals and alloys are given in Table 1.

4.7 *Calculation of Corrosion Rate*—Faraday's Law can be used to calculate the corrosion rate, either in terms of penetration rate (CR) or mass loss rate (MR) (4):

$$CR = K_1 \frac{i_{\text{corr}}}{\rho} EW \quad (5)$$

$$MR = K_2 i_{\text{corr}} EW \quad (6)$$

where:

CR is given in mm/yr,  $i_{\text{corr}}$  in  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ,  
 $K_1 = 3.27 \times 10^{-3}$ , mm g/ $\mu\text{A cm yr}$  (Note 3),

<sup>4</sup> The boldface numbers in parentheses refer to the list of references at the end of this standard.

$\rho$  = density in g/cm<sup>3</sup>, (see Practice G 1 for density values for many metals and alloys used in corrosion testing),  
 $MR = \text{g}/\text{m}^2\text{d}$ , and  
 $K_2 = 8,954 \times 10^{-3}$ , g cm<sup>2</sup>/ $\mu\text{A m}^2 \text{ d}$  (Note 3).

NOTE 3— $EW$  is considered dimensionless in these calculations.

Other values for  $K_1$  and  $K_2$  for different unit systems are given in Table 2.

4.8 Errors that may arise from this procedure are discussed below.

4.8.1 Assignment of incorrect valence values may cause serious errors (5).

4.8.2 The calculation of penetration or mass loss from electrochemical measurements, as described in this standard, assumes that uniform corrosion is occurring. In cases where non-uniform corrosion processes are occurring, the use of these methods may result in a substantial underestimation of the true values.

4.8.3 Alloys that include large quantities of metalloids or oxidized materials may not be able to be treated by the above procedure.

4.8.4 Corrosion rates calculated by the method above where abrasion or erosion is a significant contributor to the metal loss process may yield significant underestimation of the metal loss rate.

### 5. Polarization Resistance

5.1 Polarization resistance values may be approximated from either potentiodynamic measurements near the corrosion potential (see Practice G 59) or stepwise potentiostatic polarization using a single small potential step,  $\Delta E$ , usually either 10 mV or -10 mV, (see Test Method D 2776). Values of  $\pm 5$  and  $\pm 20$  mV are also commonly used. In this case, the specimen current,  $\Delta I$ , is measured after steady state occurs, and  $\Delta E/\Delta I$  is calculated. Potentiodynamic measurements yield curves of  $I$  versus  $E$  and the reciprocal of the slope of the curve (dE/dI) at the corrosion potential is measured. In most programmable potentiodynamic polarization equipment, the current is converted to current density automatically and the resulting plot is of  $i$  versus  $E$ . In this case, the polarization resistance is given by dE/di at the corrosion potential and 5.2 is not applicable.

5.2 It is necessary to multiply the dE/dI or  $\Delta E/\Delta I$  value calculated above by the exposed specimen geometric area to obtain the polarization resistance. This is equivalent to the calculation shown in 4.1 for current density.

5.3 The Stern-Geary constant  $B$  must be estimated or calculated to convert polarization resistance values to corrosion current density (6, 8).

5.3.1 Calculate Stern-Geary constants from known Tafel slopes where both cathodic and anodic reactions are activation controlled, that is, there are distinct linear regions near the corrosion potential on an  $E \log i$  plot:

$$B = \frac{ba \ bc}{2.303 (ba + bc)} \quad (7)$$

where:

$ba$  = slope of the anodic Tafel reaction, when plotted on base 10 logarithmic paper in V/decade,  
 $bc$  = slope of the cathodic Tafel reaction when plotted on base 10 logarithmic paper in V/decade, and  
 $B$  = Stern-Geary constant, V.

(lanjutan 2)



TABLE 1 Equivalent Weight Values for a Variety of Metals and Alloys

| Common Designation       | UNS    | Elements w/Constant Valence | Lowest                 |                   | Second                 |                   | Third                  |                   | Fourth                 |                   |
|--------------------------|--------|-----------------------------|------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|
|                          |        |                             | Variable Valence       | Equivalent Weight | Variable Valence       | Equivalent Weight | Element/Valence        | Equivalent Weight | Element/Valence        | Equivalent Weight |
| <b>Aluminum Alloys:</b>  |        |                             |                        |                   |                        |                   |                        |                   |                        |                   |
| A1100                    | A91100 | Al/3                        |                        | 8.99              |                        |                   |                        |                   |                        |                   |
| AA2024                   | A92024 | Al/3, Mg/2                  | Cu/1                   | 9.38              | Cu/2                   | 9.32              |                        |                   |                        |                   |
| AA2219                   | A92219 | Al/3                        |                        | 9.51              | Cu/2                   | 9.42              |                        |                   |                        |                   |
| AA3003                   | A93003 | Al/3                        | Mn/2                   | 9.07              | Mn/4                   | 9.03              |                        |                   |                        |                   |
| AA3004                   | A93004 | Al/3, Mg/2                  | Mn/2                   | 9.09              | Mn/4                   | 9.06              | Mn 7                   | 8.98              |                        | 9.00              |
| AA5005                   | A95005 | Al/3, Mg/2                  |                        | 9.01              |                        |                   |                        |                   |                        |                   |
| AA5050                   | A95050 | Al/3, Mg/2                  |                        | 9.03              |                        |                   |                        |                   |                        |                   |
| AA5052                   | A95052 | Al/3, Mg/2                  |                        | 9.05              |                        |                   |                        |                   |                        |                   |
| AA5083                   | A95083 | Al/3, Mg/2                  |                        | 9.09              |                        |                   |                        |                   |                        |                   |
| AA5086                   | A95086 | Al/3, Mg/2                  |                        | 9.09              |                        |                   |                        |                   |                        |                   |
| AA5154                   | A95154 | Al/3, Mg/2                  |                        | 9.08              |                        |                   |                        |                   |                        |                   |
| AA5454                   | A95454 | Al/3, Mg/2                  |                        | 9.06              |                        |                   |                        |                   |                        |                   |
| AA5456                   | A95456 | Al/3, Mg/2                  |                        | 9.11              |                        |                   |                        |                   |                        |                   |
| AA6061                   | A96061 | Al/3, Mg/2                  |                        | 9.01              |                        |                   |                        |                   |                        |                   |
| AA6070                   | A96070 | Al/3, Mg/2, Si/4            |                        | 8.98              |                        |                   |                        |                   |                        |                   |
| AA6101                   | A96101 | Al/3                        |                        | 8.99              |                        |                   |                        |                   |                        |                   |
| AA7072                   | A97072 | Al/3, Zn/2                  |                        | 9.06              |                        |                   |                        |                   |                        |                   |
| AA7075                   | A97075 | Al/3, Zn/2, Mg/2            | Cu/1                   | 9.58              | Cu/2                   | 9.55              |                        |                   |                        |                   |
| AA7079                   | A97079 | Al/3, Zn/2, Mg/2            |                        | 9.37              |                        |                   |                        |                   |                        |                   |
| AA7178                   | A97178 | Al/3, Zn/2, Mg/2            | Cu/1                   | 9.71              | Cu/2                   | 9.68              |                        |                   |                        |                   |
| <b>Copper Alloys:</b>    |        |                             |                        |                   |                        |                   |                        |                   |                        |                   |
| CDA110                   | C11000 |                             | Cu/1                   | 63.55             | Cu/2                   | 31.77             |                        |                   |                        |                   |
| CDA220                   | C22000 | Zn/2                        | Cu/1                   | 58.07             | Cu/2                   | 31.86             |                        |                   |                        |                   |
| CDA230                   | C23000 | Zn/2                        | Cu/1                   | 55.65             | Cu/2                   | 31.91             |                        |                   |                        |                   |
| CDA260                   | C26000 | Zn/2                        | Cu/1                   | 49.51             | Cu/2                   | 32.04             |                        |                   |                        |                   |
| CDA280                   | C28000 | Zn/2                        | Cu/1                   | 46.44             | Cu/2                   | 32.11             |                        |                   |                        |                   |
| CDA444                   | C44300 | Zn/2                        | Cu/1, Sn/2             | 50.42             | Cu/1, Sn/4             | 50.00             | Cu/2, Sn/4             | 32.00             |                        |                   |
| CDA687                   | C68700 | Zn/2, Al/3                  | Cu/1                   | 48.03             | Cu/2                   | 30.29             |                        |                   |                        |                   |
| CDA698                   | C69800 | Al/3                        | Cu/1                   | 47.114            | Cu/2                   | 27.76             |                        |                   |                        |                   |
| CDA510                   | C51000 |                             | Cu/1, Sn/2             | 63.32             | Cu/1, Sn/4             | 60.11             | Cu/2, Sn/4             | 31.66             |                        |                   |
| CDA524                   | C52400 |                             | Cu/1, Sn/2             | 63.10             | Cu/1, Sn/4             | 57.04             | Cu/2, Sn/4             | 31.55             |                        |                   |
| CDA655                   | C65500 | Si/4                        | Cu/1                   | 50.21             | Cu/2                   | 28.51             |                        |                   |                        |                   |
| CDA706                   | C70600 | Ni/2                        | Cu/1                   | 56.92             | Cu/2                   | 31.51             |                        |                   |                        |                   |
| CDA715                   | C71500 | Ni/2                        | Cu/1                   | 46.69             | Cu/2                   | 30.98             |                        |                   |                        |                   |
| CDA752                   | C75200 | Ni/2, Zn/2                  | Cu/1                   | 46.38             | Cu/2                   | 31.46             |                        |                   |                        |                   |
| <b>Stainless Steels:</b> |        |                             |                        |                   |                        |                   |                        |                   |                        |                   |
| 304                      | S30400 | Ni/2                        | Fe/2, Cr/3             | 25.12             | Fe/3, Cr/3             | 18.99             | Fe/3, Cr/6             | 15.72             |                        |                   |
| 301                      | S32100 | Ni/2                        | Fe/2, Cr/3             | 25.13             | Fe/3, Cr/3             | 19.08             | Fe/3, Cr/6             | 15.78             |                        |                   |
| 309                      | S30900 | Ni/2                        | Fe/2, Cr/3             | 24.62             | Fe/3, Cr/3             | 19.24             | Fe/3, Cr/6             | 15.33             |                        |                   |
| 310                      | S31000 | Ni/2                        | Fe/2, Cr/3             | 24.44             | Fe/3, Cr/3             | 19.73             | Fe/3, Cr/6             | 15.36             |                        |                   |
| 316                      | S31600 | Ni/2                        | Fe/2, Cr/3, Mo/3       | 25.50             | Fe/2, Cr/3, Mo/4       | 25.33             | Fe/3, Cr/6, Mo/6       | 19.14             |                        |                   |
| 317                      | S31700 | Ni/2                        | Fe/2, Cr/3, Mo/3       | 25.26             | Fe/2, Cr/3, Mo/4       | 25.03             | Fe/3, Cr/3, Mo/6       | 19.15             |                        |                   |
| 410                      | S41000 |                             | Fe/2, Cr/3             | 25.94             | Fe/3, Cr/3             | 18.45             | Fe/3, Cr/6             | 16.28             |                        |                   |
| 430                      | S43000 |                             | Fe/2, Cr/3             | 25.30             | Fe/3, Cr/3             | 18.38             | Fe/3, Cr/6             | 15.58             |                        |                   |
| 446                      | S44600 |                             | Fe/2, Cr/3             | 24.22             | Fe/3, Cr/3             | 18.28             | Fe/3, Cr/6             | 14.46             |                        |                   |
| 20C83 <sup>4</sup>       | N08020 | Ni/2                        | Fe/2, Cr/3, Mo/3, Cu/1 | 23.98             | Fe/2, Cr/3, Mo/4, Cu/1 | 23.83             | Fe/3, Cr/3, Mo/6, Cu/2 | 18.88             | Fe/3, Cr/6, Mo/6, Cu/2 | 15.50             |
| <b>Nickel Alloys:</b>    |        |                             |                        |                   |                        |                   |                        |                   |                        |                   |
| 200                      | N02200 |                             | Ni/2                   | 29.36             | Ni/3                   | 19.57             |                        |                   |                        |                   |
| 400                      | N04400 | Ni/2                        | Cu/1                   | 35.82             | Cu/2                   | 30.12             |                        |                   |                        |                   |
| 600                      | N06600 | Ni/2                        | Fe/2, Cr/3             | 26.41             | Fe/3, Cr/3             | 25.44             | Fe/3, Cr/6             | 20.73             |                        |                   |
| 800                      | N08800 | Ni/2                        | Fe/2, Cr/3             | 25.10             | Fe/3, Cr/3             | 20.76             | Fe/3, Cr/6             | 16.59             |                        |                   |
| 825                      | N08825 | Ni/2                        | Fe/2, Cr/3, Mo/3, Cu/1 | 25.92             | Fe/2, Cr/3, Mo/4, Cu/1 | 25.32             | Fe/3, Cr/3, Mo/6, Cu/2 | 21.70             | Fe/3, Cr/6, Mo/6, Cu/2 | 17.10             |

(lanjutan 3)

G 102

TABLE 1 Continued

| Common Designation                | UNS    | Elements w/Constant Valence | Lowest                                   |  | Second                                   |                   | Third                 |                   | Fourth                |                   |
|-----------------------------------|--------|-----------------------------|--|--|--|-------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
|                                   |        |                             | Variable Valence                         | Equivalent Weight                        | Variable Valence                         | Equivalent Weight | Element/Valence       | Equivalent Weight | Element/Valence       | Equivalent Weight |
| <i>Nickel Alloys (continued):</i> |        |                             |  |  |  |                   |                       |                   |                       |                   |
| E                                 | N10001 | Ni/2                        | Mo/3, Fe/2                               | 30.05                                    | Mo/4, Fe/2                               | 27.50             | Mo/6, Fe/2            | 23.52             | Mo/6, Fe/3            | 23.23             |
| C-22 <sup>a</sup>                 | N60922 | Ni/2                        | Fe/2, Cr/3, Mo/3, W/4                    | 26.04                                    | Fe/2, Cr/3, Mo/4, W/4                    | 25.12             | Fe/2, Cr/3, Mo/6, W/6 | 23.28             | Fe/3, Cr/6, Mo/6, W/6 | 17.68             |
| C-276                             | N10276 | Ni/2                        | Fe/2, Cr/3, Mo/3, W/4                    | 27.09                                    | Cr/3, Mo/4                               | 25.90             | Fe/2, Cr/3, Mo/6, W/6 | 23.63             | Fe/3, Cr/6, Mo/6, W/6 | 19.14             |
| G                                 | N06007 | Ni/2                        | (1)                                      | 25.46                                    | (2)                                      | 22.22             | (3)                   | 22.04             | (4)                   | 17.03             |
| <i>Carbon Steel:</i>              |        |                             |  |  |  |                   |                       |                   |                       |                   |
|                                   |        |                             | (1) = Fe/2, Cr/3, Mo/3, Cu/1, Nb/4, Mo/2 | 27.92                                    | (2) = Fe/3, Cr/3, Mo/6, Cu/2, Nb/5, Mn/2 | 18.62             |                       |                   |                       |                   |
|                                   |        |                             | (2) = Fe/2, Cr/3, Mo/4, Cu/2, Nb/5, Mn/2 | (4) = Fe/3, Cr/6, Mo/6, Cu/2, Nb/5, Mn/4 |  |                   |                       |                   |                       |                   |
| <i>Other Metals:</i>              |        |                             |  |  |  |                   |                       |                   |                       |                   |
| Mg                                | M14142 | Mg/2                        |  | 12.15                                    |  |                   |                       |                   |                       |                   |
| Mo                                | R03600 |                             | Mo/3                                     | 31.98                                    | Mo/4                                     | 23.98             | Mo/6                  | 15.99             |                       |                   |
| Ag                                | P07016 |                             | Ag/1                                     | 107.87                                   | Ag/2                                     | 53.93             |                       |                   |                       |                   |
| Ta                                | R05210 |                             |  | 36.19                                    |  |                   |                       |                   |                       |                   |
| Sn                                | L13002 | Ta/5                        | Sn/2                                     | 59.34                                    | Sn/4                                     | 29.67             |                       |                   |                       |                   |
| Ti                                | R50400 |                             | Ti/2                                     | 23.95                                    | Ti/3                                     | 15.97             | Ti/4                  | 11.98             |                       |                   |
| Zn                                | Z19001 |                             | Zn/2                                     | 32.68                                    |  |                   |                       |                   |                       |                   |
| B                                 | R60701 |                             | Zr/4                                     | 22.80                                    |  |                   |                       |                   |                       |                   |
| Pb                                | L50045 |                             | Pb/2                                     | 103.59                                   | Pb/4                                     | 51.80             |                       |                   |                       |                   |

<sup>a</sup> Registered trademark Carpenter Technology.

<sup>b</sup> Registered trademark Haynes International.

NOTE 1—Alloying elements at concentrations below 1 % by mass were not included in the calculation, for example, they were considered part of the base metal.

NOTE 2—Mid-range values were assumed for concentrations of alloying elements.

NOTE 3—Only consistent valence groupings were used.

NOTE 4—Equation (4) was used to make these calculations.

TABLE 2 Values of Constants for Use in Faraday's Equation Rate

| A                                     |                                    |                                     |  |                  |
|---------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--|------------------|
| Penetration Rate Unit (CR)            | $i_{cor}$ Unit                     | $\rho$ Unit                         | $K_1$                                      | Units of $K_1^A$ |
| mpy                                   | $\mu\text{A}/\text{cm}^2$          | $\text{g}/\text{cm}^3$              | 0.1288                                     | mpy g/A cm       |
| mm/yr <sup>#</sup>                    | $\text{A}/\text{m}^2$ <sup>#</sup> | $\text{kg}/\text{m}^3$ <sup>#</sup> | 327.2                                      | mm kg/A m y      |
| mm/yr <sup>#</sup>                    | $\mu\text{A}/\text{cm}^2$          | $\text{g}/\text{cm}^3$              | $3.27 \times 10^{-3}$                      | mm g/A cm y      |
| B                                     |                                    |                                     |  |                  |
| Mass Loss Rate Unit                   | $i_{cor}$ Unit                     | $K_2$                               | Units of $K_2^A$                           |                  |
| $\text{g}/\text{m}^2\text{d}^{\#}$    | $\text{A}/\text{m}^2$ <sup>#</sup> | 0.8953                              | g/Ad                                       |                  |
| $\text{mg}/\text{dm}^2\text{d}$ (mdd) | $\mu\text{A}/\text{cm}^2$          | 0.0895                              | $\text{mg cm}^2/\mu\text{A dm}^2 \text{d}$ |                  |
| $\text{mg}/\text{dm}^2\text{d}$ (mdd) | $\text{A}/\text{m}^2$ <sup>#</sup> | $8.953 \times 10^{-3}$              | $\text{mg m}^2/\text{A dm}^2 \text{d}$     |                  |

<sup>A</sup> EW is assumed to be dimensionless.

<sup>#</sup> SI unit.

5.3.2 In cases where one of the reactions is purely diffusion controlled, the Stern-Geary constant may be calculated:

$$B = \frac{b}{2.303} \quad (8)$$

where:

$b$  = the activation controlled Tafel slope in V/decade.

It should be noted in this case that the corrosion current density will be equal to the diffusion limited current density. A sample calculation is given in Appendix X4.

Cases where both activation and diffusion effects are similar in magnitude are known as mixed control. The reaction under mixed control will have an apparently larger  $b$  value than predicted for an activation control, and a plot of  $E$  versus  $\log I$  will tend to curve to an asymptote parallel to the potential axis. The estimation of a  $B$  value for situations

involving mixed control requires more information in general and is beyond the scope of this standard. In general, Eqs 7 and 8 may be used, and the corrosion rate calculated by these two approximations may be used as lower and upper limits of the true rate.

NOTE 4—Electrodes exhibiting stable passivity will behave as if the anodic reaction were diffusion limited, except that the passive current density is not affected by agitation.

5.3.3 It is possible to estimate  $b_a$  and  $b_c$  from the deviation from linearity of polarization curves in the 20–50 mV region around the corrosion potential. Several approaches have been proposed based on analyses of electrode kinetic models. See Refs (9–11) for more information.

5.3.4 In cases where the reaction mechanism is known in detail, the Tafel slopes may be estimated from the rate controlling step in the mechanism of the reaction. In general, Tafel slopes are given by (12):

$$b = \frac{KRT}{nF} \quad (9)$$

where:

$K$  = a constant,  
 $R$  = the perfect gas constant,  
 $T$  = the absolute temperature,  
 $n$  = the number of electrons involved in the reaction step,  
 and  
 $F$  = Faraday's constant.

At 25°C,  $\left(\frac{RT}{2.303 F}\right)$  is 59.2 mV/decade. For simple one electron reactions,  $K$  is usually found to be 2.0.

5.3.5 In cases where the Tafel slopes cannot be obtained from any of the methods described above, it may be necessary to determine the Stern-Geary constant experimentally by measuring mass loss and polarization resistance values.

5.4 The corrosion current density may be calculated from the polarization resistance and the Stern-Geary constant as follows:

$$i_{\text{cor}} = \frac{B}{R_p} \quad (10)$$

The corrosion rate may then be calculated from the corrosion current, as described in Section 4. A sample calculation is given in Appendix X5.

5.5 There are several sources of errors in polarization resistance measurements:

5.5.1 Solution resistivity effects increase the apparent polarization resistance, whether measured by the potentiostatic or potentiodynamic methods (13). The effect of solution resistance is a function of the cell geometry, but the following expression may be used to approximate its magnitude.

$$R_p = R_a - \rho l \quad (11)$$

where:

$R_a$  = the apparent polarization resistance, ohm cm<sup>2</sup>,  
 $\rho$  = the electrolyte resistivity in ohm cm,

$l$  = the distance between the specimen electrode and the Luggin probe tip, or the reference electrode in cm, and  
 $R_p$  = the true polarization resistance in ohm cm<sup>2</sup>.  
 Significant solution resistivity effects cause the corrosion rate to be underestimated. A sample calculation is given in Appendix X6.

5.5.2 Potentiodynamic techniques introduce an additional error from capacitive charging effects. In this case, the magnitude of the error is proportional to scan rate. The error is illustrated by Eq (12):

$$I_{\text{total}} = I_f + c \left(\frac{dV}{dt}\right) \quad (12)$$

where:

$I_{\text{total}}$  = the cell current,  
 $I_f$  = the Faradaic current associated with anodic and cathodic processes,  
 $c$  = the electrode capacitance, and  
 $dV/dt$  = the scan rate.

The capacitance charging effect will cause the calculated polarization resistance to be in error. Generally, this error is small with modest scan rates (14).

5.5.3 Corroding electrodes may be the site for other electrochemical reactions. In cases where the corrosion potential is within 50 to 100 mV of the reversible potential of the corroding electrode, the electrochemical reactions will occur simultaneously on the electrode surface. This will cause either the anodic or cathodic  $b$  value to appear smaller than the corrosion reaction above. Consequently, the Stern-Geary constant  $B$  will be inflated and the predicted corrosion current will be overestimated (15). In this case, the concentration of the corroding electrode ions is generally of the same magnitude or higher than other ions participating in the corrosion process in the electrolyte surrounding the electrode. Other redox couples that do not necessarily participate in the corrosion reaction may have similar effects. This is especially true for metals exhibiting passive behavior.

## 6. Keywords

6.1 corrosion current; corrosion rate; electrochemical; equivalent weight; polarization resistance; Tafel slopes

## APPENDICES

### (Nonmandatory Information)

#### X1. SAMPLE CALCULATION—CORROSION CURRENT DENSITY

##### X1.1 Data:

- X1.1.1 Corrosion Current—27.0  $\mu\text{A}$ .  
 X1.1.2 Specimen Size—round anode area exposed.  
 X1.1.3 Diameter—1.30 cm.  
 X1.1.4 Calculation—See Eq (1) in text:

$$i_{\text{cor}} = \frac{27.0}{(1.30)^2 \frac{\pi}{4}} = \frac{27.0}{1.32} = 20.3 \mu\text{A}/\text{cm}^2$$

#### X2. SAMPLE CALCULATION—ALLOY EQUIVALENT WEIGHT

##### X2.1 Data:

- X2.1.1 Alloy—UNS S31600, actual composition not available.

X2.1.2 Corrosion Potential—300 mV versus SCE in sulfuric acid.

##### X2.2 Assumptions:

(lanjutan 5)

REFERENCES

- (1) Dean, S. W., *Materials Performance*, Vol 26, 1987, pp. 51-52.
- (2) Pourbaix, M., "Atlas of Electrochemical Equilibrium in Aqueous Solutions," National Association of Corrosion Engineers, Houston, TX, 1974.
- (3) Silverman, D. C., *Corrosion*, Vol 37, 1981, pp. 546-548.
- (4) Dean, S. W., Jr., W. D. France, Jr., and S. J. Ketcham, "Electrochemical Methods," *Handbook on Corrosion Testing and Evaluation*, W. H. Ailor, Ed., John Wiley, New York, 1971, pp. 173-174.
- (5) Dean, S. W., Jr., "Electrochemical Methods of Corrosion Testing," *Electrochemical Techniques for Corrosion*, R. Baboian, Ed., National Association of Corrosion Engineers, Houston, TX, 1977, pp. 52-53.
- (6) Stern, M. and Roth, R. M., *Journal of the Electrochemical Society*, Vol 105, 1957, p. 390.
- (7) Stern, M., *Corrosion*, Vol 14, 1958, p. 440t.
- (8) Mansfeld, F., "The Polarization Resistance Technique for Measuring Corrosion Currents," *Corrosion Science and Technology*, Plenum Press, New York, Vol IV, 1976, p. 163.
- (9) Barnartt, S., *Electrochemical Nature of Corrosion, Electrochemical Techniques for Corrosion*, R. Baboian, Ed., National Association of Corrosion Engineers, Houston, TX, pp. 1-10, 1977.
- (10) Oldham, K. B. and Mansfeld, F., "Corrosion Rates from Polarization Curves-A New Method," *Corrosion Science*, Vol 13, No. 70, p. 813 (1973).
- (11) Mansfeld, F., "Tafel Slopes and Corrosion Rates from Polarization Resistance Measurements," *Corrosion*, Vol 29, p. 10 (1972).
- (12) Glasstone, S., Laidler, K. J., and Eyring, H., "The Theory of Rate Processes," McGraw Hill, New York, 1941, pp. 552-599.
- (13) Mansfeld, F., "The Effect of Uncompensated Resistance on True Scan Rate in Potentiodynamic Experiments," *Corrosion*, Vol 38, No. 10, pp. 556-559 (1982).
- (14) Mansfeld, F., and Kendig, M., "Concerning the Choice of Scan Rate in Polarization Measurements," *Corrosion*, Vol 37, No. 9, pp. 545-546 (1981).
- (15) Mansfeld, F., and Oldham, K. L., "A Modification of the Stern-Geary Linear Polarization Equation," *Corrosion Science*, 1971, Vol 11, pp. 787-796.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.

Lampiran 10  
Certificate Baja API 5L grade B



质保书号 (Certificate No) : 1011122935  
地址: 河南省林州市经济开发区凤宝大道  
Address: Fengbao Avenue Linzhou Henan  
Province China

| 订货单位 Customer    |                            | 品名 Description          |                       | PRIME NEWLY PRODUCED SEAMLESS PIPE |                    | 车号 Train no        |                                  | /                        |                               | 合计 Total  | 捆数BBLs: BDLs    |      | 726          |       |        |       |       |      |                          |       |                |                         |           |
|------------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------|-----------------|------|--------------|-------|--------|-------|-------|------|--------------------------|-------|----------------|-------------------------|-----------|
| 收货单位 Consignee   |                            | 标准 Specification        |                       | ASTM A53 (A106) API 5L GR. B       |                    | 到站 Arrival Station |                                  | /                        |                               |           | 支 Quantity: PCS |      | 4979         |       |        |       |       |      |                          |       |                |                         |           |
| 合同号 Contract no  |                            | LGE04G0061              |                       | 许可证号 License No                    |                    | 5L-G699            |                                  | 发货日期 Date of Delivery    |                               |           | /               |      | 重量 Weight: T |       | 512.38 |       |       |      |                          |       |                |                         |           |
| 批号 Lot No.       | 钢种 Steel Grade             | 炉号 Heat No              | 规格及重量 Size and weight |                                    |                    |                    |                                  |                          | 化学成分 Chemical Composition (%) |           |                 |      |              |       |        |       |       |      |                          |       |                |                         |           |
|                  |                            |                         | 外径 Outside Diameter   |                                    | 壁厚 Thickness       |                    | 长度 Length                        | 支数 Quantity              | 捆数 BDLs                       | 重量 Weight | C               | Si   | Mn           | P     | S      | Cr    | Ni    | Cu   | Mo                       | Al    | Pb             | Sn                      |           |
|                  |                            |                         | (mm)                  | (inch)                             | (mm)               | (SCH)              | (m)                              | (pcs)                    | (bbls)                        | (mt)      |                 |      |              |       |        |       |       |      |                          |       |                |                         |           |
| 1609KL<br>093061 | GR.B                       | 16574212                | 73                    | 2 1/2"                             | 5.16               | SCH40              | 6                                | 1732                     | 47                            | 89.71     | 0.21            | 0.23 | 0.45         | 0.013 | 0.01   | 0.033 | 0.018 | 0.03 | 0.01                     | 0.001 | /              | /                       |           |
|                  | GR.B                       | 16574003                | 88.9                  | 3"                                 | 5.49               | SCH40              | 6                                | 1577                     | 66                            | 106.85    | 0.22            | 0.23 | 0.47         | 0.013 | 0.01   | 0.033 | 0.018 | 0.03 | 0.01                     | 0.001 | /              | /                       |           |
|                  | GR.B                       | 16574004                | 114.3                 | 4"                                 | 6.02               | SCH40              | 6                                | 1050                     | 56                            | 101.28    | 0.21            | 0.23 | 0.45         | 0.013 | 0.01   | 0.033 | 0.018 | 0.03 | 0.01                     | 0.001 | /              | /                       |           |
|                  | GR.B                       | 16578004                | 114.3                 | 4"                                 | 8.56               | SCH80              | 6                                | 30                       | 2                             | 4.02      | 0.22            | 0.22 | 0.47         | 0.013 | 0.01   | 0.033 | 0.018 | 0.03 | 0.01                     | 0.001 | /              | /                       |           |
|                  | GR.B                       | 16578005                | 141.3                 | 5"                                 | 9.53               | SCH80              | 6                                | 20                       | 2                             | 3.72      | 0.22            | 0.23 | 0.47         | 0.013 | 0.01   | 0.033 | 0.018 | 0.03 | 0.01                     | 0.001 | /              | /                       |           |
|                  | GR.B                       | 16574005                | 219.1                 | 8"                                 | 12.7               | SCH80              | 6                                | 20                       | 3                             | 7.76      | 0.21            | 0.23 | 0.45         | 0.013 | 0.01   | 0.033 | 0.018 | 0.03 | 0.01                     | 0.001 | /              | /                       |           |
|                  | GR.B                       | 16574010                | 273                   | 10"                                | 9.27               | SCH40              | 6                                | 550                      | 550                           | 199.04    | 0.23            | 0.23 | 0.47         | 0.013 | 0.01   | 0.033 | 0.018 | 0.03 | 0.01                     | 0.001 | /              | /                       |           |
| 批号 Lot No.       | 力学性能 Mechanical properties |                         |                       |                                    |                    |                    | 工艺性能及尺寸检验 Engineering properties |                          |                               |           | 夹杂物级别 Inclusion |      |              |       |        |       |       |      | 脱碳 Depth Of Decarburized |       | 晶粒度 Grain size | 交货状态 Delivery Condition |           |
|                  | 抗拉 Tensile Strength (MPa)  | 屈服 Yield Strength (MPa) | 伸长率 Elongation (%)    | 断面收缩率 R.A. (%)                     | 冲击 Impact Test (J) | 硬度 Hardness (HB)   | 水压 Hydrostatic Test (Mpa)        | 弯曲/压扁 Bending/Flattening | 壁厚 Thickness                  | 探伤 NDT    | A               |      | B            |       | C      |       | D     |      | Ds                       | 内 In  |                |                         | 外 Out     |
| 1609KL<br>093061 | 500/505                    | 270/275                 | 28/29                 | /                                  | /                  | /                  | /                                | PASS                     | /                             | PASS      | /               | /    | /            | /     | /      | /     | /     | /    | /                        | /     | /              | /                       | hot-rolle |
|                  | 500/505                    | 270/275                 | 28/29                 | /                                  | /                  | /                  | /                                | PASS                     | /                             | PASS      | /               | /    | /            | /     | /      | /     | /     | /    | /                        | /     | /              | /                       | hot-rolle |
|                  | 500/505                    | 270/275                 | 28/29                 | /                                  | /                  | /                  | /                                | PASS                     | /                             | PASS      | /               | /    | /            | /     | /      | /     | /     | /    | /                        | /     | /              | /                       | hot-rolle |
|                  | 500/505                    | 270/275                 | 28/29                 | /                                  | /                  | /                  | /                                | PASS                     | /                             | PASS      | /               | /    | /            | /     | /      | /     | /     | /    | /                        | /     | /              | /                       | hot-rolle |
|                  | 500/505                    | 270/275                 | 28/29                 | /                                  | /                  | /                  | /                                | PASS                     | /                             | PASS      | /               | /    | /            | /     | /      | /     | /     | /    | /                        | /     | /              | /                       | hot-rolle |
|                  | 500/505                    | 270/275                 | 28/29                 | /                                  | /                  | /                  | /                                | PASS                     | /                             | PASS      | /               | /    | /            | /     | /      | /     | /     | /    | /                        | /     | /              | /                       | hot-rolle |
|                  | 500/505                    | 270/275                 | 28/29                 | /                                  | /                  | /                  | /                                | PASS                     | /                             | PASS      | /               | /    | /            | /     | /      | /     | /     | /    | /                        | /     | /              | /                       | hot-rolle |

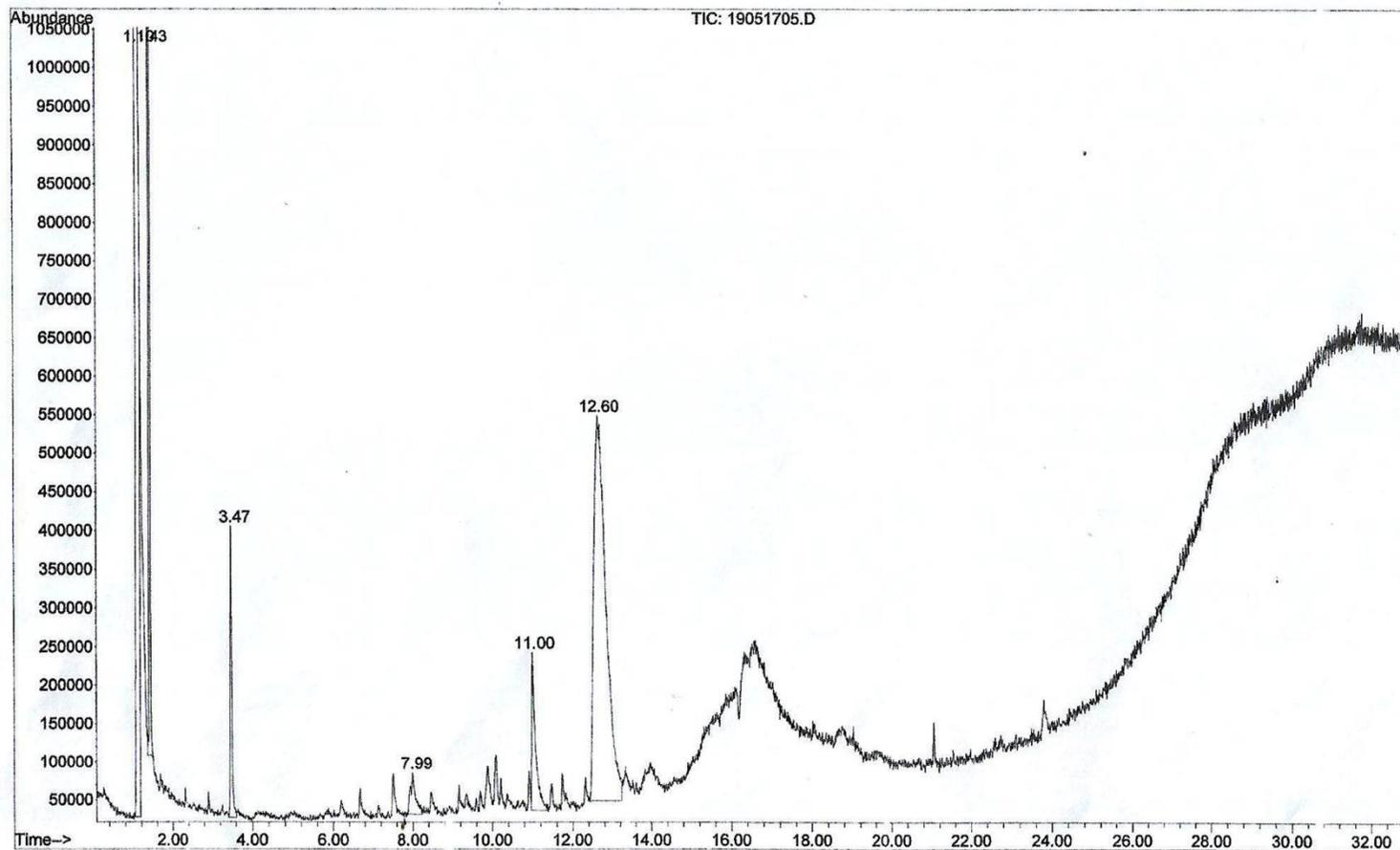
打印时间 Time: 2017-01-10 11:40

制表人 LISTER:

证书专章 Stamp:

Lampiran 11

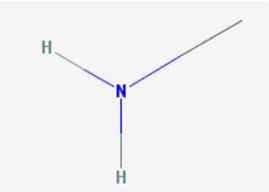
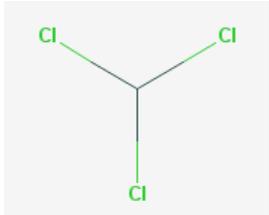
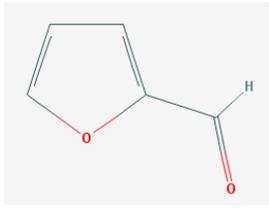
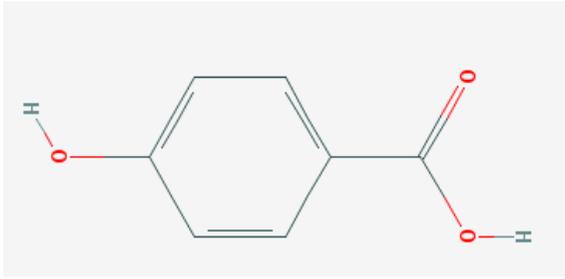
File : C:\MSDCHEM\1\DATA\PROFILING\2017\19051705.D  
Operator : tiko  
Acquired : 19 May 2017 19:03 using AcqMethod PROFILE1.M  
Instrument : Instrument #1  
Sample Name: 5-321  
Misc Info : 0.4 uL split 1:100 scan 20-600 amu  
Vial Number: 1

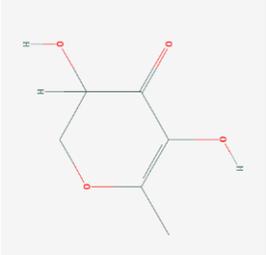
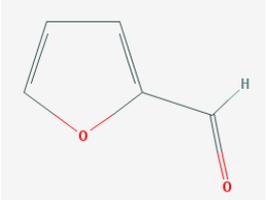


Gambar 4.2 Hasil Pengujian Gas Chromatografi-Mass Spectrometry ekstrak kulit buah mangga

## Lampiran 12

## Daftar Struktur Molekul Hasil Pengujian GCMS

| No. Peak | Menit Ke- | Area (%) | Senyawa                         | Struktur Molekul  |
|----------|-----------|----------|---------------------------------|---|
| 1        | 1.098     | 64,346   | Methylamine-D2 Trideuteroethene |    |
| 2        | 1.427     | 25,399   | Chloroform                      |    |
| 3        | 3.465     | 0,872    | 2-Furancarboxaldehyde (CAS)     |   |
| 4        | 7.989     | 0,368    | Benzoid acid, 4-hydroxy- (CAS)  |  |

|   |        |       |  |   |
|---|--------|-------|--|---|
| 5 | 11.001 | 1,006 | 4H-Pyran-4-one, 2,3-dihydro-3, 5-dihydroxy-6-methyl- (CAS)                               |  |
| 6 | 12.605 | 8,009 | 2-Furancarboxaldehyde, 5-(hydroxymethyl)-2-Furancarboxaldehyde, 5-(hydroxymethyl)- (CAS) |  |

## BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Kota Surabaya pada tanggal 7 Juli 1995, dari pasangan Bapak Hariyanto dan Ibu Siti Salamah. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Jenjang pendidikan formal yang pernah ditempuh adalah TK KHADIJAH 3 SURABAYA, SDN MANUKAN KULON V SURABAYA, SMPN 3 SURABAYA, SMAN 6 SURABAYA.

Pada tahun 2014 penulis melanjutkan pendidikan tingkat perguruan tinggi di Program Studi Diploma III Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan mengambil bidang studi manufaktur. Ketertarikan penulis dalam bidang keorganisasian membuat penulis aktif dalam kegiatan-kegiatan organisasi di lingkungan kampus diantaranya di Himpunan Mahasiswa D3 Mesin (HMDM) sebagai staff BSO Minat Bakat. Penulis juga aktif dalam kegiatan riset dengan bergabung bersama Nogogeni ITS Team periode 2015/2016 sebagai staff divisi Sponsorship & Media serta periode 2016/2017 sebagai kepala divisi Sponsorship & Media. Penulis pernah melakukan kerja praktek di PT. Swadaya Graha, Gresik, Jawa Timur dengan hasil laporan “Proses Produksi Waste Heat Recovery Power Generation Flasher 1 In Tuban Plant”. Bagi pembaca yang ingin lebih mengenal penulis dan ingin berdiskusi lebih luas lagi dapat menghubungi email : [yrizaq@yahoo.com](mailto:yrizaq@yahoo.com) dan no. Tlp : 085645600360.