



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH EKSTRAK BUAH MENGGUDU (*MORINDA CITRIFOLIA*)  
SEBAGAI *GREEN INHIBITOR CORROSION* PADA BAJA KARBON DI  
LINGKUNGAN NaCl 3,5%**

**THESIS**

**RAHAYU KUSUMASTUTI**

**1006787653**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
DEPOK  
11 JULI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH EKSTRAK BUAH MENKUDU (*MORINDA CITRIFOLIA*)  
SEBAGAI *GREEN INHIBITOR CORROSION* PADA BAJA KARBON DI  
LINGKUNGAN NaCl 3,5%**

**THESIS**

**Diajukan sebagai salah satu syarat kualifikasi gelar  
Magister Teknik**

**RAHAYU KUSUMASTUTI**

**1006787653**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI**

**DEPOK**

**11 JULI 2012**

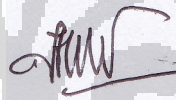
## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Thesis ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Rahayu Kusumastuti**

**NPM : 1006787653**

**Tanda Tangan :**



**Tanggal : 11 Juli 2012**

## HALAMAN PERSETUJUAN

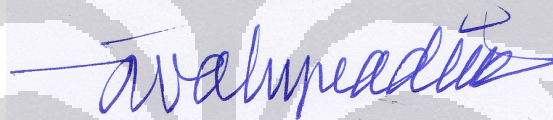
**Judul** : Pengaruh Ekstrak Buah Mengkudu (*Morinda citrifolia*) Sebagai *Green Inhibitor Corrosion* Pada Baja Karbon di Lingkungan NaCl 3,5%

**Nama** : Rahayu Kusumastuti

**NPM** : 1006787653

Laporan Thesis ini telah diperiksa dan disetujui.

11 Juli 2012



Prof. Dr. Johnny Wahyuadi S., DEA.

Pembimbing Thesis

## HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh:

Nama : Rahayu Kusumastuti

NPM : 1006787653

Program Studi : Metalurgi dan Material

Judul Tesis : Pengaruh Ekstrak Buah Mengkudu (*Morinda Citrifolia*) Sebagai *Green Inhibitor Corrosion* Pada Baja Karbon di Lingkungan NaCl 3,5%

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Johnny Wahyuadi S, DEA

Penguji : Dr. Ir. Sutopo, M.Sc

Penguji : Ir. Andi Rustandi, MT

Penguji : Ayende S.T, M.Si

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 11 Juli 2012

Handwritten signatures of the examiners and supervisor. The signatures are in blue and black ink, written over dotted lines. The signatures correspond to the names listed in the 'DEWAN PENGUJI' section.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah saya panjatkan kepada Allah, karena atas berkat rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik, Program Studi Teknik Metalurgi dan Material di Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak dari masa kuliah sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terimakasih kepada:

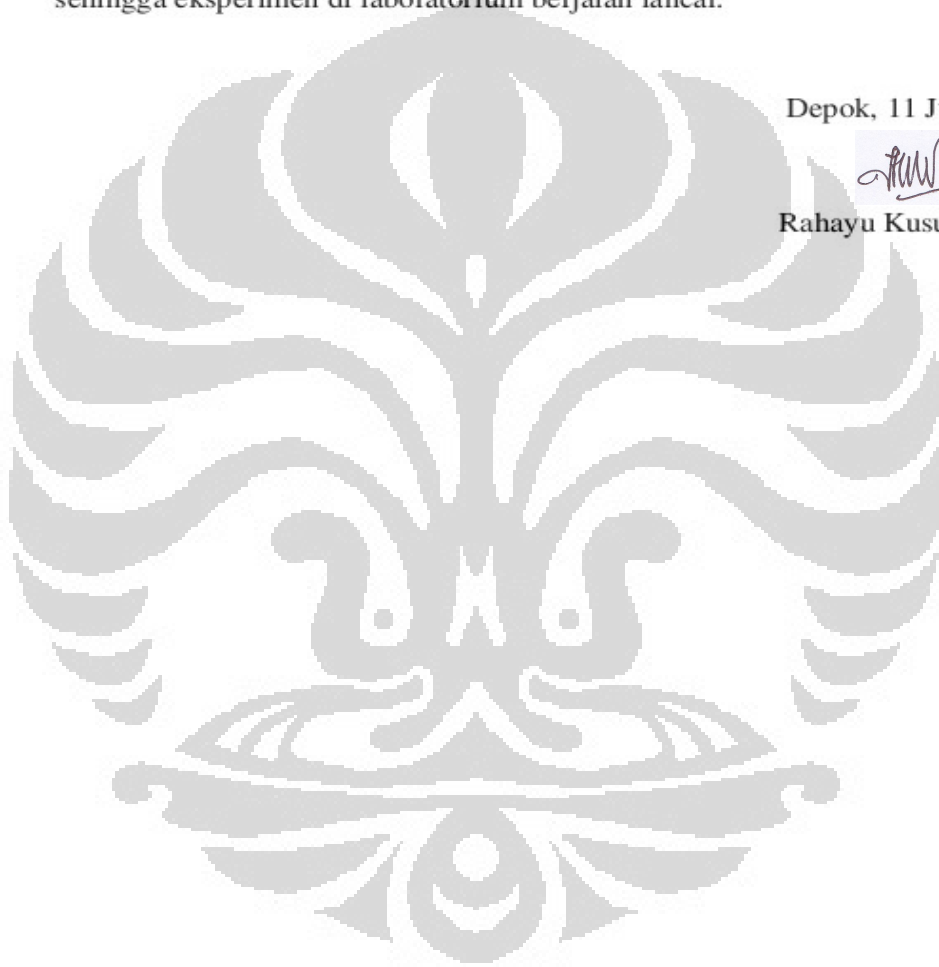
- (1). Prof. Dr. Ir. Johny Wahyuadi Soedarsono, DEA atas segala bimbingannya dalam penyusunan tesis ini.
- (2). Kementrian Riset dan Teknologi (Ristek) selaku pemberi beasiswa bagi penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan studi program magister teknik di Universitas Indonesia dengan lancar.
- (3). Kepala Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir (PTRKN)-BATAN, Serpong yang memberikan izin kepada penulis untuk melanjutkan studi program S2 di departemen metalurgi dan material fakultas teknik, Universitas Indonesia.
- (4). Kepala Bidang Pengembangan Reaktor (BPR) PTRKN, BATAN Serpong, yang memberikan izin dan dukungan secara moril kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan studi program magister dengan lancar.
- (5). Dr. Geni Rina Sunaryo, M.Sc yang telah memberikan bimbingan, support kepada penulis untuk bisa melanjutkan studi dengan pengajuan beasiswa ke Kementrian Ristek.
- (6). Lovely Family: Arya Adhyaksa Waskita (suami) yang telah memberikan bimbingan, dorongan serta semangat luar biasa. Semoga Allah pun memudahkan urusanmu untuk segera menyelesaikan program doktor ilmu komputer dan nantinya dapat memberikan ilmu yang manfaat untuk sesama. Untuk Galih Gilang Ganesha (anak) dan *my lovely baby* yang memberikan semangat serta pengertiannya sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dengan lancar.

- (7). Teman-teman metalurgi angkatan 2010 : Rahmad Indra, Fajar, Uchin, Olya, Ismadi, Giri yang saling memberikan semangat untuk berjuang menyelesaikan studi tepat waktu.
- (8). Teman-teman laboratorium korosi departemen metalurgi dan material fakultas teknik, Universitas Indonesia : Vicky, Ardiles dan temen-teman yang lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah banyak membantu penulis sehingga eksperimen di laboratorium berjalan lancar.

Depok, 11 Juli 2012



Rahayu Kusumastuti



## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

**Nama** : Rahayu Kusumastuti  
**NPM** : 1006787653  
**Program Studi** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Fakultas** : Teknik  
**Jenis Karya** : Thesis

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

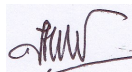
Pengaruh Ekstrak Buah Mengkudu (*Morinda citrifolia*) Sebagai *Green Inhibitor Corrosion* Pada Baja Karbon di Lingkungan NaCl 3,5%

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 11 Juli 2012

Yang menyatakan



(Rahayu Kusumastuti)



## ABSTRAK

Nama : Rahayu Kusumastuti  
Program Studi : Teknik Material dan Metalurgi  
Judul : Pengaruh Ekstrak Buah Mengkudu (*Morinda citrifolia*) Sebagai *Green Inhibitor Corrosion* Pada Baja Karbon di Lingkungan NaCl 3,5%

Tesis ini mempelajari pengaruh injeksi ekstrak buah mengkudu sebagai *green inhibitor corrosion* terhadap baja karbon rendah dalam lingkungan NaCl 3,5%. Berdasarkan pengujian *weight loss* diperoleh informasi bahwa pada perendaman 12 hari dengan konsentrasi 3mL menunjukkan laju korosi terendah yaitu 1.385 mpy dengan efisiensi 76,92 %. Pengujian dengan polarisasi menunjukkan bahwa dengan variasi konsentrasi inhibitor diperoleh laju korosi terendah pada konsentrasi 3 mL yaitu 6,68 mpy dengan efisiensinya 68,08 %. Mekanisme inhibisi inhibitor ekstrak buah mengkudu pada permukaan baja karbon dapat diamati dari kurva polarisasi yang memberikan informasi bahwa inhibitor dari ekstrak buah mengkudu termasuk *mixed type inhibitor* yang merupakan ciri khas inhibitor organik dengan model adsorpsi Langmuir yang menunjukkan telah terbentuk lapisan *monolayer*.

**Kata Kunci:** baja karbon, *green inhibitor corrosion*, ekstrak buah mengkudu, NaCl 3,5%

## ABSTRACT

Name : Rahayu Kusumastuti  
Program : Teknik Material dan Metalurgi  
Title : The Effect of Morinda Citrifolia extraction as a green inhibitor corrosion for mild steel carbon in 3,5% NaCl

The effect of injecting noni fruit extracts, as a green inhibitor corrosion for a low carbon steel in 3.5% NaCl solution has been studied in this thesis. Based on the weight loss experiment, it was known that immersing a low carbon steel in 3mL 3.5% NaCl solution for 12 days produced the the lowest corrosion rates of 1.385 mpy with 76.92 % inhibitor efficiencies. On the other hand, polarization experiment showed the minimum corrosion rate of 6.68 mpy with 68.08% inhibitor efficiencies. Inhibition mechanism of noni fruit extract on carbon steel surface can be observed from the polarization curves. From that curve, it was shown that the monolayer coating has been formed. This phenomena was the characteristic of the organic inhibitor with the Langmuir adsorption models.

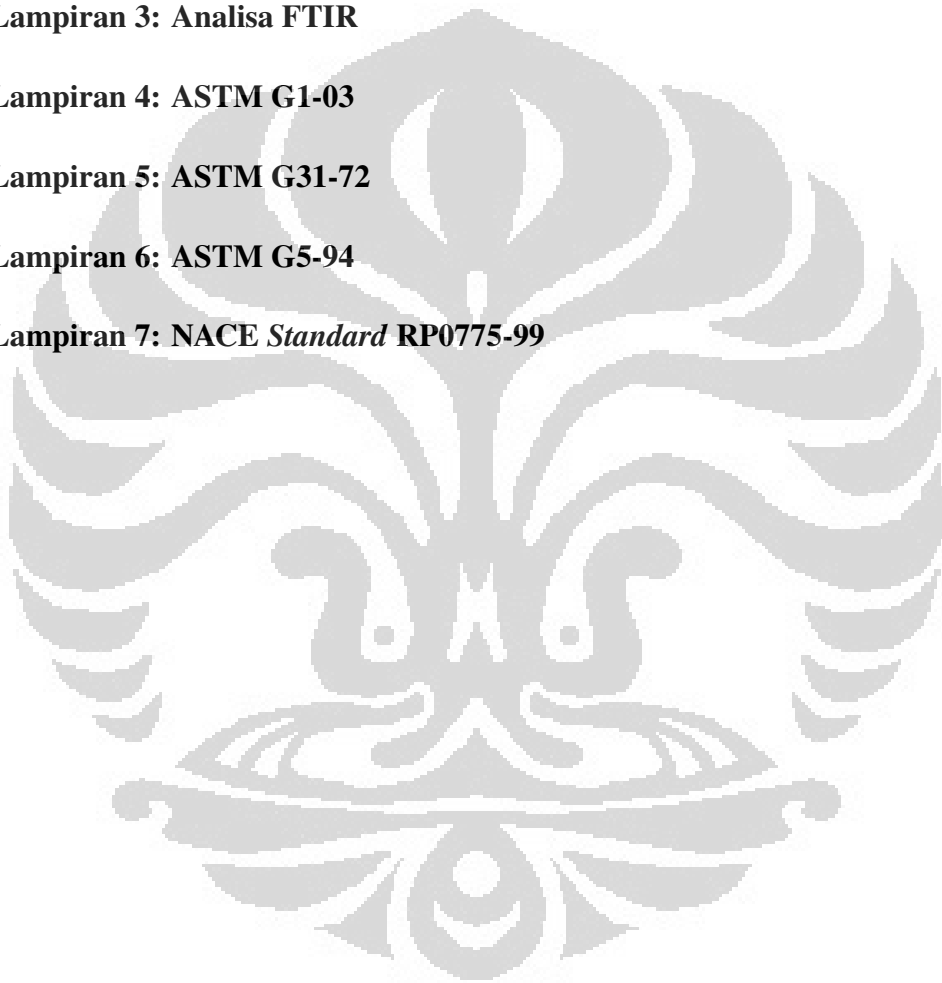
**Keywords:** Carbon Steel, Green Inhibitor Corrosion, Noni Fruit Extract, 3,5% NaCl Solution

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>v</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>viii</b>
<b>Daftar Isi</b>	<b>x</b>
<b>Daftar Gambar</b>	<b>xiii</b>
<b>Daftar Tabel</b>	<b>xv</b>
<b>1 PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang . . . . .	1
1.2 Perumusan Masalah . . . . .	4
1.3 Tujuan Penelitian . . . . .	4
1.4 Ruang Lingkup Penelitian dan Batasan . . . . .	4
<b>2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>6</b>
2.1 Tinjauan Pustaka . . . . .	6
2.1.1 Prinsip Dasar Korosi . . . . .	6
2.2 Jenis-jenis korosi . . . . .	8
2.2.1 <i>General Corrosion</i> . . . . .	8
2.2.2 <i>Local Corrosion</i> . . . . .	8
2.3 Korosi Pada Baja Karbon . . . . .	12
2.4 Pengendalian Korosi dengan Inhibitor . . . . .	13
2.5 Jenis-jenis Inhibitor . . . . .	14
2.6 Adsorpsi Pada Permukaan Logam . . . . .	17

2.7	Jenis-jenis Senyawa Sebagai Inhibitor Korosi . . . . .	18
2.8	Inhibitor Ramah lingkungan ( <i>Green inhibitor</i> ) . . . . .	21
2.9	Mekanisme Proteksi <i>Green Inhibitor Corrosion</i> . . . . .	23
2.10	Tanaman Mengkudu . . . . .	24
2.10.1	Asam Askorbat . . . . .	25
2.11	Penentuan Gugus Fungsi Senyawa Organik Menggunakan FTIR ( <i>Fourier Transform Infrared</i> ) . . . . .	26
2.12	Laju Korosi . . . . .	28
2.12.1	<i>Weight Loss</i> . . . . .	28
2.12.2	Polarisasi Potensiodinamik . . . . .	28
<b>3</b>	<b>METODE PENELITIAN</b>	<b>30</b>
3.1	Peralatan dan Bahan . . . . .	30
3.2	Diagram Alir Penelitian . . . . .	32
3.3	Prosedur Kerja . . . . .	32
3.3.1	Persiapan sample <i>coupon</i> . . . . .	32
3.3.2	Persiapan uji imersi . . . . .	33
3.3.3	Preparasi ekstrak buah mengkudu . . . . .	34
3.3.4	Pembuatan Larutan NaCl 3,5% . . . . .	34
3.3.5	Langkah Kerja Uji Rendam (ASTM G31-72) . . . . .	34
3.3.6	Pengambilan Data dan Pembersihan Sampel . . . . .	36
3.3.7	Pengujian polarisasi . . . . .	37
3.3.8	Analisa Gugus Ikatan Inhibitor dan Logam Menggunakan <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR) . . . . .	38
<b>4</b>	<b>HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b>	<b>39</b>
4.1	Ekstrak Buah mengkudu . . . . .	39
4.1.1	Bahan Aktif Dalam Ekstrak Buah Mengkudu . . . . .	39
4.1.2	Karakterisasi spectra asam askorbat . . . . .	39
4.2	Pengujian Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) . . . . .	40
4.3	Korosifitas Lingkungan . . . . .	40
4.4	<i>Weight Loss</i> , Laju Korosi dan Effisiensi Inhibisi . . . . .	41
4.4.1	Data <i>weight loss</i> dan perhitungan laju korosi . . . . .	42
4.5	Mekanisme Inhibisi . . . . .	47
4.6	Isothermal Langmuir . . . . .	48
4.7	Pengujian Polarisisasi Potensiodinamik . . . . .	50
4.8	Pengujian FTIR Plat Baja Karbon dengan Ekstrak Buah Mengkudu . . . . .	52

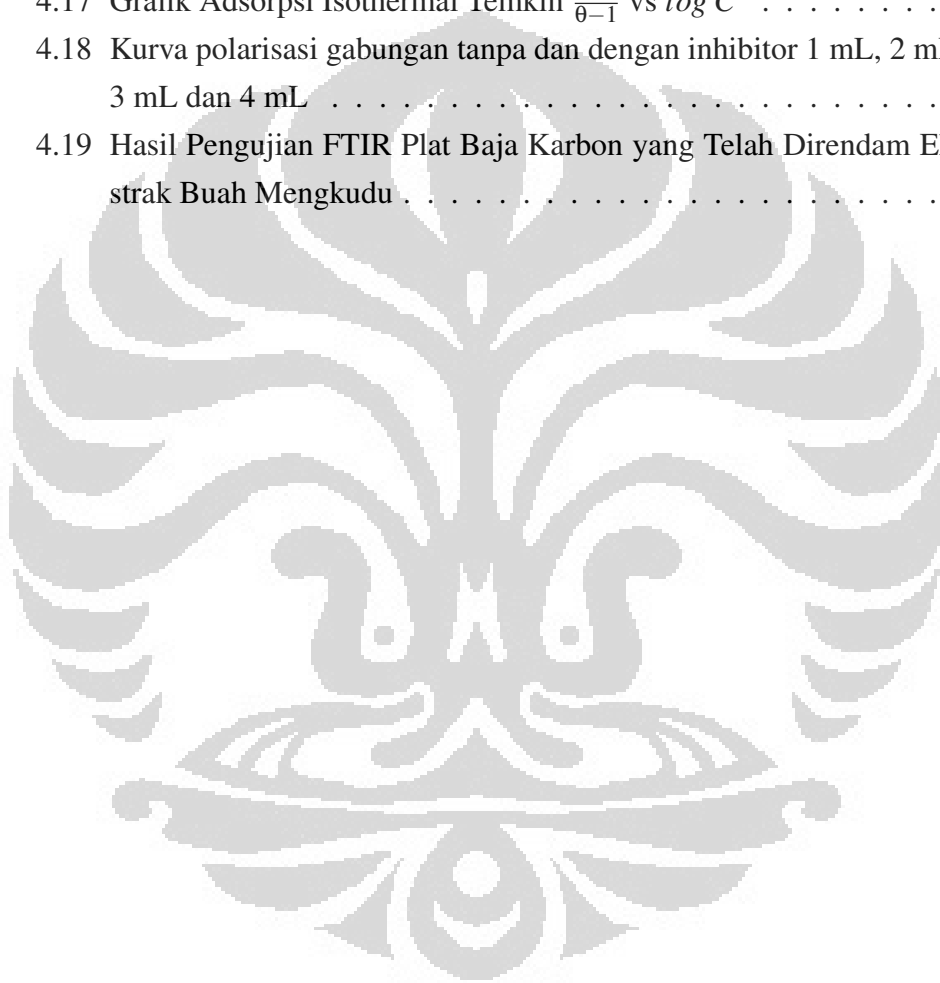
	xii
<b>5 KESIMPULAN</b>	<b>54</b>
<b>Daftar Referensi</b>	<b>55</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>1</b>
<b>Lampiran 1: Analisis ekstrak buah mengkudu menggunakan UV</b>	<b>2</b>
<b>Lampiran 2: Data Polarisasi</b>	<b>5</b>
<b>Lampiran 3: Analisa FTIR</b>	<b>11</b>
<b>Lampiran 4: ASTM G1-03</b>	<b>14</b>
<b>Lampiran 5: ASTM G31-72</b>	<b>23</b>
<b>Lampiran 6: ASTM G5-94</b>	<b>32</b>
<b>Lampiran 7: NACE <i>Standard</i> RP0775-99</b>	<b>45</b>



## DAFTAR GAMBAR

2.1	Skema Korosi Galvanik Dari Dua Logam yang Berbeda . . . . .	8
2.2	Skema Korosi Celah . . . . .	9
2.3	Skema Korosi <i>Pitting Corrosion</i> . . . . .	9
2.4	Skema Korosi <i>Intergranular Corrosion</i> . . . . .	10
2.5	Skema Korosi Erosi . . . . .	10
2.6	Keterkaitan Tiga Kondisi yang Menyebabkan <i>Stress Corrosion Cracking</i> . . . . .	11
2.7	Skema <i>Stress Corrosion Cracking</i> . . . . .	12
2.8	Skema proteksi korosi <i>green inhibitor</i> . . . . .	24
2.9	Struktur senyawa kompleks: a. nikotin, b. kafein . . . . .	24
2.10	Struktur asam askorbat . . . . .	25
2.11	Dekomposisi asam askorbat . . . . .	26
2.12	Terbentuknya lapisan pelindung pada permukaan logam . . . . .	26
2.13	Hasil Analisa Pengujian Menggunakan Spektroskopi InfraRed . . . . .	28
2.14	Kurva polarisasi Tafel . . . . .	29
3.1	Diagram alir penelitian pengaruh penambahan ekstrak buah mengkudu ( <i>Morinda citrifolia</i> ) sebagai <i>green inhibitor</i> pada material baja karbon di lingkungan NaCl 3,5% . . . . .	32
3.2	Sampel baja karbon rendah . . . . .	33
3.3	Bentuk dan ukuran <i>coupon</i> . . . . .	34
3.4	Pelataran uji polarisasi potensiodinamik merk GAMRY . . . . .	38
4.1	Buah Mengkudu . . . . .	39
4.2	Struktur Rantai Karbon Asam Askorbat . . . . .	40
4.3	Hasil Pengujian FTIR Ekstrak Buah Mengkudu . . . . .	40
4.4	Korosifitas Lingkungan Berdasarkan Diagram Pourbaix . . . . .	41
4.5	Perendaman Sampel ( <i>Immersion test</i> ) . . . . .	41
4.6	Uraian rendaman kupon . . . . .	42
4.7	Uraian rendaman kupon . . . . .	42
4.8	Uraian rendaman kupon . . . . .	42
4.9	Uraian rendaman kupon . . . . .	42
4.10	Klasifikasi laju korosi baja karbon . . . . .	45

4.11 Surface Plot <i>Weight loss</i> Terhadap Konsentrasi Inhibitor dan Waktu Perendaman . . . . .	46
4.12 Surface Plot Laju Korosi Terhadap Konsentrasi Inhibitor dan Waktu Perendaman . . . . .	46
4.13 Plot Efisiensi Terhadap Konsentrasi dan Waktu Perendaman . . . . .	47
4.14 Tabel pemodelan matematis isothermal adsorpsi inhibitor . . . . .	47
4.15 Grafik Adsorpsi Isothermal Langmuir $\frac{\theta}{\theta-1}$ vs $\log C$ . . . . .	49
4.16 Grafik Adsorpsi Isothermal Frumkin $\frac{\theta}{\theta-1}$ vs $\log C$ . . . . .	49
4.17 Grafik Adsorpsi Isothermal Temkin $\frac{\theta}{\theta-1}$ vs $\log C$ . . . . .	50
4.18 Kurva polarisasi gabungan tanpa dan dengan inhibitor 1 mL, 2 mL, 3 mL dan 4 mL . . . . .	51
4.19 Hasil Pengujian FTIR Plat Baja Karbon yang Telah Direndam Ekstrak Buah Mengkudu . . . . .	53



## DAFTAR TABEL

3.1	Komposisi kimia benda uji . . . . .	30
3.2	Nilai konstanta (K) berdasarkan nilai laju korosi . . . . .	37
4.1	Data Hasil Pengujian <i>Weight Loss</i> Untuk 3 hari . . . . .	43
4.2	Data Hasil Pengujian <i>Weight Loss</i> Untuk 6 hari . . . . .	44
4.3	Data Hasil Pengujian <i>Weight Loss</i> Untuk 9 hari . . . . .	44
4.4	Data Hasil Pengujian <i>Weight Loss</i> Untuk 12 hari . . . . .	45
4.5	Parameter isothermal Langmuir untuk perendaman 12 hari . . . . .	50
4.6	Hasil polarisasi baja karbon pada lingkungan NaCl 3,5% tanpa injeksi inhibitor dan dengan injeksi inhibitor 1 mL, 2 mL, 3 mL dan 4 mL . . . . .	52
4.7	Gugus Fungsi terhadap Bilangan Gelombang . . . . .	53



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan minyak dan gas bumi yang semakin meningkat setiap tahunnya berpengaruh terhadap kenaikan harga minyak bumi dan gas dunia. Kebutuhan minyak yang tinggi ini menuntut seluruh perusahaan penambangan minyak bumi baik lepas pantai maupun daratan untuk menjaga proses produksinya sebaik-baiknya dan seefisien mungkin. Untuk menjaga proses produksi tetap stabil maka perawatan peralatan memerlukan perhatian khusus agar terhindar dari proses korosi. Dalam industri minyak dan gas, korosi pada alat-alat industri dianggap berbahaya bukan hanya terhadap industri itu sendiri, tetapi juga terhadap lingkungannya, antara lain dapat menyebabkan kehilangan bahan-bahan industri yang berbahaya, terhentinya proses secara tidak terduga, gangguan keamanan dan keselamatan kerja, serta pencemaran lingkungan. Langkah-langkah pencegahan untuk mengatasi persoalan ini telah banyak dilakukan namun korosi masih dapat terjadi [1]. Sangat penting untuk diingat bahwa korosi tidak bisa dihentikan. Laju korosi bisa dikurangi atau diminimalkan, tetapi pengurangan laju korosi jarang mencapai nol [2].

Korosi merupakan fenomena alam dimana suatu material akan terdegradasi ketika suatu material tersebut kontak langsung dengan lingkungannya. Dalam industri minyak bumi dan gas, korosi sangat rentan terjadi terutama pada bagian jalur pipa distribusi atau peralatan yang kontak langsung dengan lingkungan yang korosif seperti air laut. Air laut termasuk lingkungan korosif karena memiliki banyak faktor seperti kandungan oksigen, kandungan garam, mikroba dll. Dalam eksplorasi minyak mentah, tidak hanya *crude oil* yang diangkat tetapi gas, air laut dan mineral pun ikut terangkat. Kontaminasi air laut merupakan salah satu penyebab terjadinya korosi pada internal pipa, sehingga mengakibatkan kebocoran dan mengganggu proses produksi.

Baja karbon merupakan salah satu jenis material yang umum digunakan untuk perpipaan dan peralatan dalam industri minyak dan gas. Akan tetapi, bahan tersebut sangat rentan terhadap korosi. Untuk mencegah terjadinya korosi, maka dilakukan beberapa metode diantaranya adalah proteksi katodik, anoda korban, *impress current* dan inhibitor. Penambahan inhibitor merupakan cara yang paling praktis dan ekonomis dilakukan untuk mencegah korosi daripada metode lain. Inhibitor akan

berinteraksi untuk membentuk layer pada permukaan logam untuk melindunginya dari serangan korosi. Efisiensi inhibitor tergantung pada besar luasan interaksi antara inhibitor dan permukaan logam.

Pada umumnya, inhibitor yang digunakan adalah inhibitor sintetis, inhibitor ini dirasa efektif dalam melindungi logam terhadap korosi, akan tetapi memiliki efek negatif yang cukup membahayakan lingkungan dan juga kesehatan manusia serta harganya kurang ekonomis. Oleh karena itu dilakukanlah penelitian tentang pemanfaatan bahan alam sebagai inhibitor organik (*green inhibitor*). *Green inhibitor corrosion* merupakan zat yang biodegradable, tidak memiliki kandungan logam berat atau senyawa yang bersifat racun sehingga tidak membahayakan kesehatan manusia serta ramah terhadap lingkungan [3].

Suatu bahan alam dapat dijadikan inhibitor organik (*green inhibitor*), dipastikan bahan alam tersebut mengandung senyawa dengan unsur N,S,P dan O dengan tipe dasar rantai panjang hidrokarbon yang mampu membentuk lapisan pelindung hidrofobik pada permukaan logam [4]. Senyawa-senyawa tersebut mampu menyumbangkan elektron kedalam orbital d yang kosong dari permukaan logam dan membentuk ikatan kovalen koordinat serta mampu menerima elektron-elektron bebas dari permukaan logam dengan memanfaatkan orbital anti bonding untuk membentuk ikatan balik. Beberapa contoh senyawa yang dapat di gunakan sebagai green inhibitor diantaranya adalah asam askorbat, alkaloid, tannin, flavanoid, phenolic, asam amino dimana senyawa tersebut memiliki efek inhibisi yang baik sehingga dapat di manfaatkan sebagai inhibitor untuk menghambat proses korosi [5].

Telah banyak penelitian dilakukan dalam pemanfaatan ekstrak bahan alam sebagai *green inhibitor corrosion*, diantaranya adalah:

Soejono Tjitro dkk pada tahun 1994 juga telah melakukan penelitian tentang pengaruh lingkungan terhadap efisiensi inhibisi asam askorbat pada laju korosi tembaga. Adapun hasil yang di perolehnya adalah bahwa penambahan asam askorbat pada lingkungan korosif yang berbeda menunjukkan efisiensi asam askorbat yang berbeda. Faktor lingkungan yang berpengaruh diantaranya adalah temperatur, derajat keasaman dan kestabilan asam askorbat. Penambahan asam askorbat yang paling efisien untuk lingkungan NaCl dan  $CaCO_3$  adalah 50 ppm dan pada lingkungan  $CaSO_4$  adalah 100 ppm, hal ini juga diperkuat penurunan laju korosi yang signifikan [6]. Penelitian yang dilakukan oleh Reinaldo Simões G dkk tentang proses adsorpsi asam askorbat pada baja karbon rendah di lingkungan 0,5 M  $Na_2SO_4$  memberikan informasi bahwa telah terjadi ikatan yang kompleks antara asam askorbat dan baja karbon rendah sehingga terbentuk lapisan yang akan melindungi baja karbon rendah terhadap proses korosi [7].

E.S.Ferreira pada tahun 2003 telah melakukan penelitian tentang efek inhibitor asam askorbat terhadap korosi pada baja karbon di lingkungan asam sulfat. Adapun hasil yang diperoleh adalah bahwa asam askorbat telah membentuk senyawa kompleks dengan logam untuk membentuk suatu layer untuk melindunginya terhadap korosi. Dari kurva polarisasinya, asam askorbat termasuk dalam *mixed type inhibitor* yang effisiensinya adalah 69% [8].

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Andi Rustandi dkk, 2012 tentang pemanfaatan campuran daun sirih dan teh hijau sebagai *green inhibitor corrosion* pada baja api X-52 di lingkungan NaCl 3,5% memberikan informasi bahwa campuran 1000 ppm daun sirih dan 4000 ppm ekstrak daun teh hijau dapat bekerja sebagai *mixed inhibitor corrosion* dengan menurunkan *current densities* pada anoda dan katoda. Adapun efisiensi kinerja inhibitor tersebut sebesar 90% [9].

Dari beberapa penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, dapat diketahui bahwa beberapa senyawa/unsur organik yang berasal dari ekstrak tumbuhan dapat digunakan sebagai inhibitor korosi yang ramah lingkungan. Salah satu tumbuhan yang memiliki potensi untuk dijadikan sebagai inhibitor ramah lingkungan adalah mengkudu yang mengandung senyawa aktif, diantaranya adalah asam askorbat.

Mengkudu (*Morinda citrifolia*) merupakan jenis tanaman yang termasuk keluarga kopi-kopian (Rubiaceae) yang hidup didataran rendah. Tanaman mengkudu mudah sekali di peroleh, mudah di budidayakan, mempunyai umur yang cukup lama, berbuah banyak serta harganya relatif murah. Mengkudu telah terbukti mengandung beberapa senyawa diantaranya adalah asam askorbat, flavanoids, alkaloid (xeronine, prexeronine), senyawa phenolic (*kumarin, iridoid*) yang merupakan senyawa antioksidan alami yang akan melindungi jaringan dari serangan oksigen dan radikal bebas [10–13]. Mengkudu juga mengandung zat anti kanker (damnacanthal), dan zat anti bakteri (acubin, L.asperuloside, alizarin, zat antraquinon). Yin Yin Thoo dkk telah melakukan penelitian tentang ekstraksi senyawa phenolic dan antioksidan pada buah mengkudu dengan menggunakan 40% etanol memberikan hasil bahwa kandungan senyawa phenolic sebesar  $\frac{472,73mg}{100gr}$ , sedangkan untuk senyawa antioksidan  $\frac{791,71\mu mol}{100g}$  [14]. Pengujian kandungan asam askorbat dalam ekstrak buah mengkudu dengan menggunakan spektrofotometer uv-vis di laboratorium kimia FMIPA UI memberikan hasil  $\frac{394,73\mu g}{gr}$ .

Telah terbukti bahwa mengkudu mengandung senyawa asam askorbat maka pada penelitian ini dilakukanlah pemanfaatan ekstrak buah mengkudu sebagai inhibitor korosi pada baja karbon rendah di lingkungan NaCl 3,5% dengan menggunakan metode *weight loss* dan polarisasi potensiodinamik. Hipotesa dari penelitian ini adalah bahwa asam askorbat sebagai senyawa antioksidan akan mampu mem-

bentuk suatu layer untuk melindungi baja karbon dari proses korosi. Diperolehnya penurunan laju korosi yang signifikan dengan efisiensi kinerja inhibitor yang baik. Sejauh pengamatan yang telah dilakukan, penelitian ini belum pernah dilakukan oleh para peneliti terdahulu. Tujuan yang ingin dicapai adalah mengetahui tingkat efektifitas kinerja *green inhibitor* dari ekstrak buah mengkudu.

## 1.2 Perumusan Masalah

Dengan mengacu pada uraian diatas maka timbul permasalahan antara lain:

- Berapa laju korosi baja karbon dalam larutan NaCl 3,5% dengan dan tanpa inhibitor.
- Bagaimana pengaruh waktu perendaman, volume larutan serta konsentrasi ekstrak buah mengkudu terhadap laju korosi baja karbon dalam larutan NaCl 3,5 %.
- Bagaimana mekanisme kerja inhibitor korosi dari ekstrak buah mengkudu.
- Bagaimana efisiensi inhibitor pada perlakuan tersebut.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui:

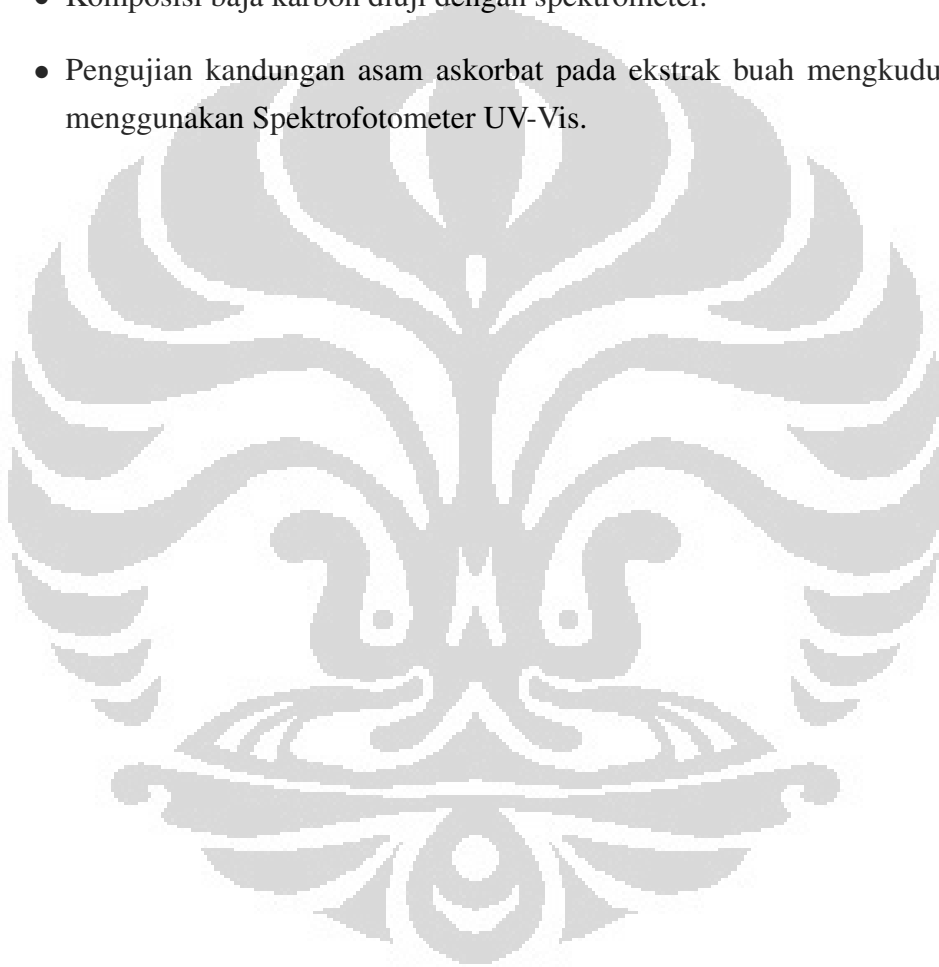
- laju korosi baja karbon pada lingkungan NaCl 3,5 % dengan dan tanpa inhibitor ekstrak buah mengkudu.
- efisiensi ekstrak buah mengkudu sebagai inhibitor korosi pada baja karbon dalam lingkungan NaCl 3,5%.
- Mengetahui mekanisme inhibisi ekstrak buah mengkudu terhadap korosi baja karbon dalam lingkungan NaCl 3,5%.

## 1.4 Ruang Lingkup Penelitian dan Batasan

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang lebih terfokus dibuat batasan yaitu :

- Tekanan operasi selama percobaan dilakukan pada tekanan 1 atm.
- Temperatur percobaan dilakukan pada temperatur kamar.

- Konsentrasi NaCl 3,5%.
- Variasi volume ekstrak buah mengkudu, dilakukan secara duplo.
- Laju korosi diukur berdasarkan berat yang hilang (*weight loss*) pada coupon baja karbon.
- Mekanisme inhibisi diamati dengan metode polarisasi potensiodinamik serta FTIR.
- Komposisi baja karbon diuji dengan spektrometer.
- Pengujian kandungan asam askorbat pada ekstrak buah mengkudu dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis.



## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

##### 2.1.1 Prinsip Dasar Korosi

Korosi merupakan degradasi logam yang disebabkan oleh reaksi kimia atau elektrokimia dengan lingkungannya [15]. Proses ini terjadi karena adanya kecenderungan suatu logam untuk kembali ke keadaan yang lebih stabil. Korosi melibatkan pergerakan ion-ion logam ke dalam larutan di daerah aktif (anoda), penerimaan (*acceptor*) elektron dari bagian logam kurang aktif ke suatu daerah katoda, aliran ion-ion ke dalam larutan dan arus elektronik dalam logam. Proses katodik membutuhkan hadirnya *acceptor* elektron seperti oksigen, bahan pengoksidasi (*oxidation agent*) atau ion-ion hidrogen [16].

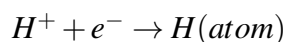
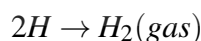
Secara elektrokimia, proses korosi terjadi karena empat faktor utama, yaitu: [17]

1. Anoda, dimana terjadi reaksi oksidasi yang melepaskan elektron dan proses korosi akan berlangsung. Reaksi korosi suatu logam M biasa dinyatakan dalam :

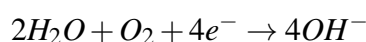


2. Katoda, dimana terjadi reaksi reduksi yang akan menggunakan elektron/mengonsumsi elektron. Dalam katoda biasanya tidak mengalami korosi. Dua reaksi penting yang umum terjadi pada katoda, tergantung pH larutan yang bersangkutan, adalah:

- (a).  $pH < 7$  :



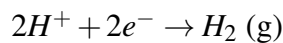
- (b).  $pH \geq 7$  :



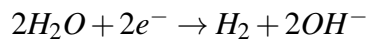
Ketika berlangsung reduksi proton, konsentrasi hidrogen dalam elektrolit menurun dan mengakibatkan peningkatan alkalinitas elektrolit di daerah katoda. Reaksi utama yang terjadi di katoda meliputi:

(a). Evolusi hidrogen:

Dalam suasana asam:

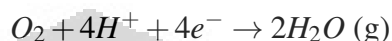


Dalam suasana netral dan basa (Alkali):



(b). Reduksi oksigen:

Dalam suasana asam:



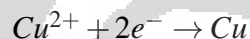
Dalam suasana netral dan basa (Alkali):



(c). Reduksi ion logam:



(d). Pengendapan logam: [17]



3. Elektrolit, sebagai media kontak antara anoda dan katoda sehingga memungkinkan adanya aliran arus listrik.
4. Rangkaian listrik antara anoda dan katoda yang memungkinkan aliran elektron. Korosi akan terjadi di anoda jika antara anoda dan katoda terdapat selisih energi bebas ( $\Delta G$ ). Selisih energi ini merupakan perwujudan potensial listrik. Energi bebas merupakan faktor yang menentukan apakah korosi akan berlangsung secara spontan atau tidak. Agar reaksi korosi berlangsung secara spontan, maka  $\Delta G$  harus negatif [18].

Keempat unsur diatas sangat penting peranannya dalam proses korosi, tidak adanya salah satu unsur diatas, maka proses korosi tidak akan terjadi.

Laju reaksi tersebut dapat dipengaruhi oleh sejumlah faktor lingkungan meliputi:

1. Jika konsentrasi ion  $H^+$  meningkat (pH turun), laju korosi akan meningkat dikarenakan adanya ion  $H^+$  yang lebih untuk menerima elektron di katoda.
2. Jika larutan dibuat lebih basa, laju korosi kemungkinan turun (pasivasi)
3. Konsentrasi padatan terlarut diturunkan, konduktivitas larutan turun. Sehingga impedansi meningkat dan laju reaksi total turun.

## 2.2 Jenis-jenis korosi

Korosi merupakan kerusakan atau penurunan mutu suatu material akibat bereaksi dengan lingkungannya. Menurut jenisnya, korosi di bagi menjadi dua, yaitu : *general corrosion* dan *local corrosion* [19].

### 2.2.1 General Corrosion

*General Corrosion*, merupakan korosi yang terjadi pada seluruh permukaan logam atau paduan yang bersentuhan dengan elektrolit pada intensitas sama. Kondisi yang memungkinkan terjadinya general corrosion meliputi:

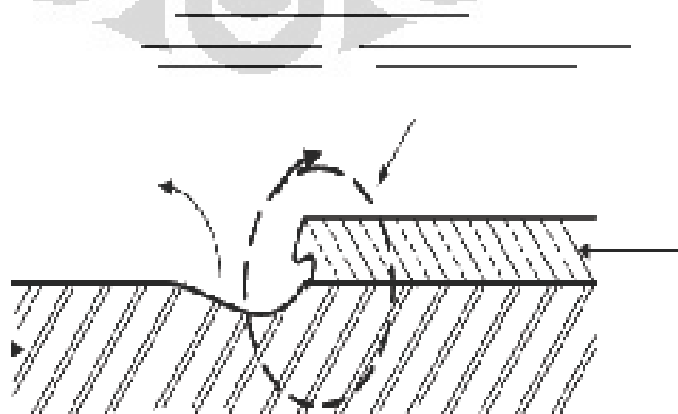
- Logam dan larutan berada dalam satu lingkungan
- Reaksi kimia antara logam dan air yang menghasilkan zat terlarut

Laju reaksi korosi dapat meningkat jika permukaan logam berubah dari kondisi pasif (laju korosi rendah) menjadi kondisi aktif (laju korosi tinggi).

### 2.2.2 Local Corrosion

Korosi lokal akan berlangsung jika terjadi kerusakan lokal pada lapisan pasif permukaan lokal atau lapisan oksida pelindung. Kerusakan ini terlihat secara visual pada daerah tertentu pada permukaan logam. Jenis-jenis korosi lokal diantaranya adalah :

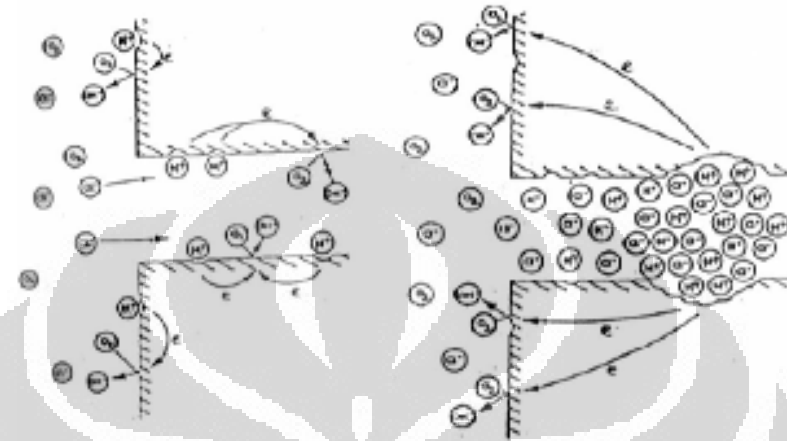
1. Korosi Galvanic (*galvanic corrosion*), yaitu korosi yang terjadi bila dua logam yang berbeda berada dalam satu elektrolit, dalam keadaan ini logam yang kurang mulia (*anodic*) akan terkorosi, bahkan bila paduan tersebut tidak bersenyawa dengan logam lain seperti diperlihatkan pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1:** Skema Korosi Galvanik Dari Dua Logam yang Berbeda

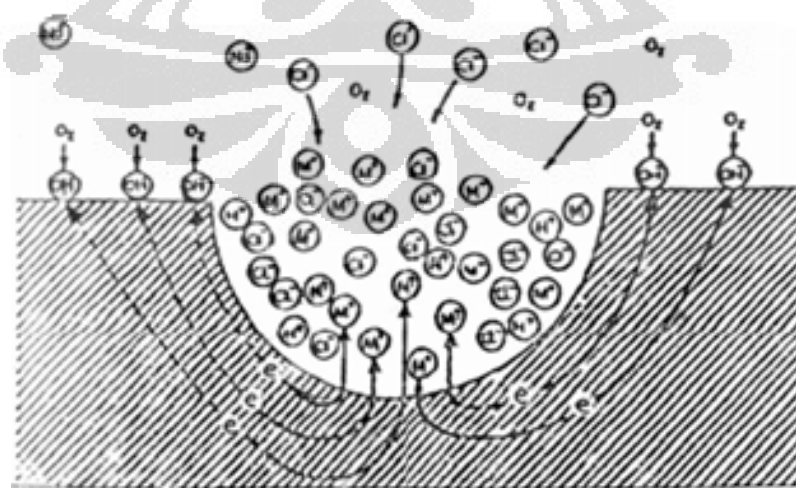


2. Korosi Celah (*crevice corrosion*), yaitu korosi lokal yang biasanya terjadi pada sela-sela sambungan logam yang sejenis atau pada retakan di permukaan logam. Hal ini disebabkan perbedaan konsentrasi ion logam atau konsentrasi oksigen antara celah dan lingkungannya seperti diperlihatkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2: Skema Korosi Celah

3. Korosi Sumuran (*pitting corrosion*), korosi ini terjadi akibat adanya sistem anoda pada logam, dimana daerah tersebut terdapat konsentrasi ion  $Cl^-$  yang tinggi. Korosi jenis ini sangat berbahaya karena pada bagian permukaan hanya lubang kecil, sedangkan pada bagian dalamnya terjadi proses korosi membentuk sumur yang tidak tampak seperti diperlihatkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3: Skema Korosi Pitting Corrosion

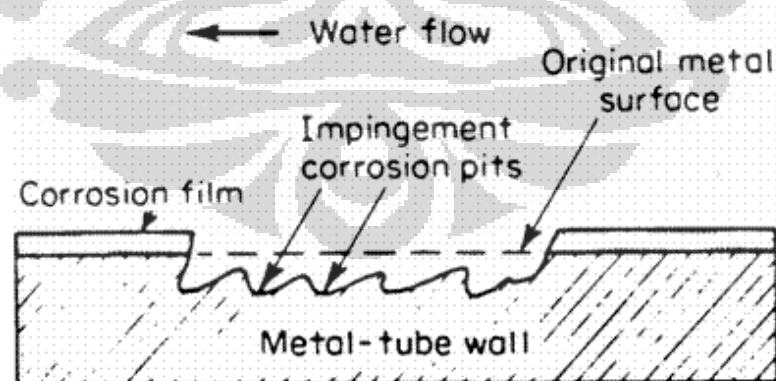
4. Korosi Batas Butir (*intergranular corrosion*), yaitu korosi yang terjadi pada

batas butir, dimana batas butir sering kali merupakan tempat mengumpalnya *impurity* atau suatu *presipitat* dan lebih tegang seperti diperlihatkan pada Gambar 2.4.



**Gambar 2.4:** Skema Korosi *Intergranular Corrosion*

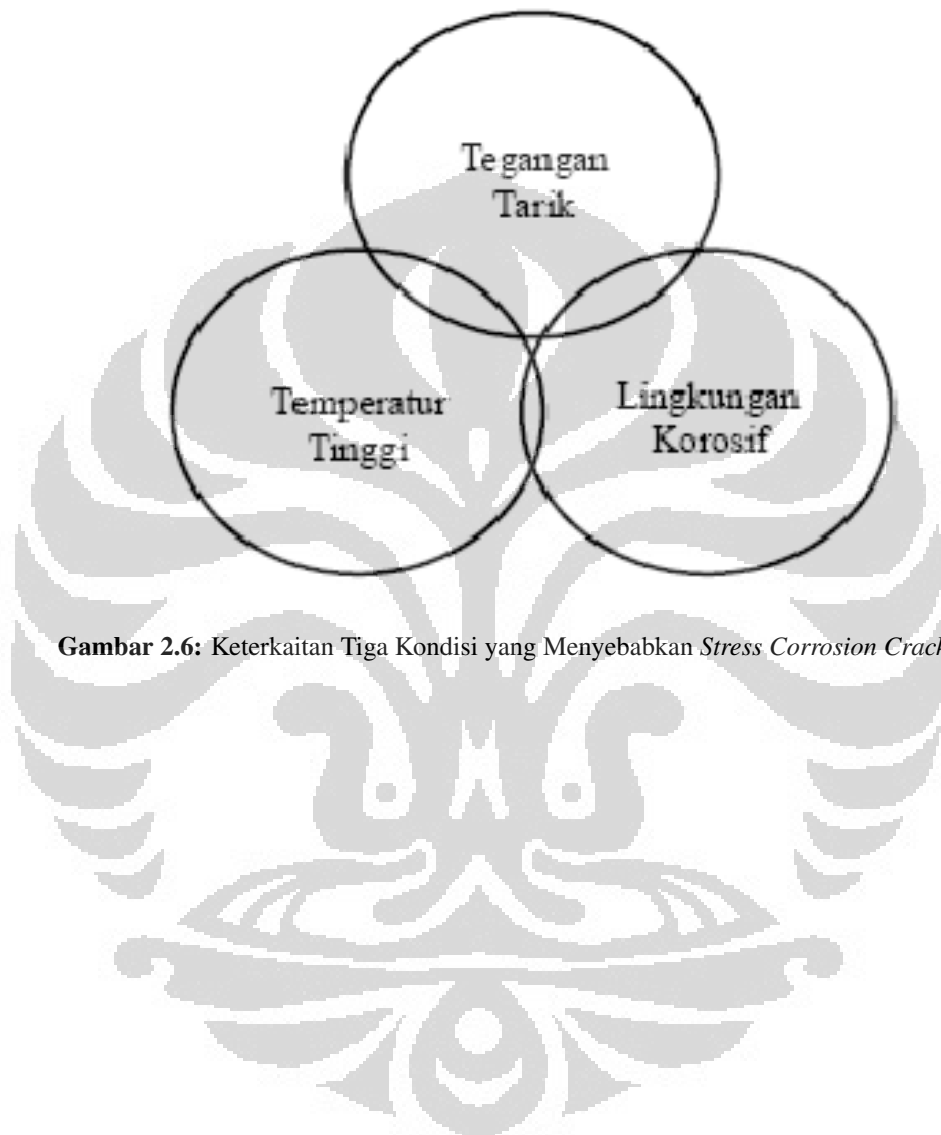
5. Korosi Erosi (*erosion corrosion*), yaitu korosi yang diakibatkan gerakan air atau fluida. Faktor pemicu terjadinya bentuk kerusakan erosi adalah laju aliran, perubahan pola aliran yang turbulen serta kandungan partikel padat dalam fluida seperti diperlihatkan pada Gambar Gambar 2.5 [20].



**Gambar 2.5:** Skema Korosi Erosi

6. Korosi Tegangan (*stress corrosion*), yaitu korosi yang terjadi karena kerejakan akibat adanya tegangan tarik dan media korosif secara bersamaan. *Stress Corrosion Cracking* terjadi karena adanya tiga kondisi yang saling

berkaitan, yaitu adanya tegangan tarik, lingkungan yang korosif dan temperatur tinggi [21]. Ilustrasi keterkaitan ketiga tegangan tersebut diperlihatkan dalam Gambar 2.6. Sedangkan contoh kejadian korosi tegangan diperlihatkan pada Gambar 2.7.



**Gambar 2.6:** Keterkaitan Tiga Kondisi yang Menyebabkan *Stress Corrosion Cracking*



**Gambar 2.7:** Skema *Stress Corrosion Cracking*

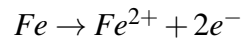
### 2.3 Korosi Pada Baja Karbon

Baja karbon merupakan logam yang mengandung tidak lebih dari 2% unsur paduan. Berdasarkan kandungan unsur karbon, baja karbon dikelompokkan menjadi tiga [22], yaitu:

- Baja karbon rendah yang mengandung maksimum 0,3% C
- Baja karbon medium mengandung 0,3-0,6 % C
- Baja karbon tinggi yang mengandung 0,6 1 % C

Unsur paduan lain yang sering terdapat pada baja karbon diantaranya adalah Mn, P,S yang bertujuan untuk meningkatkan sifat mekaniknya. Baja karbon merupakan salah satu jenis material yang banyak digunakan untuk berbagai keperluan. Hal ini dikarenakan baja karbon dapat diproduksi dengan biaya yang tidak mahal dalam jumlah yang besar dan spesifikasi yang presisi. Baja karbon mempunyai sifat mekanis yang baik, dengan tingkat kelenturan sampai 1400 MPa, dengan *fracture*

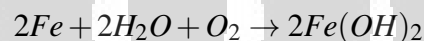
*toughness* mencapai 110 MPa [22], akan tetapi baja karbon sangat mudah mengalami korosi oleh lingkungannya. Adapun reaksi yang terjadi pada baja karbon pada lingkungan air adalah sbb:



Karena air mengalami kontak dengan atmosfer sehingga mengandung oksigen terlarut. Air bersifat netral, sehingga reaksi katodik yang terjadi adalah reduksi oksigen.



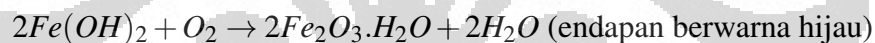
Secara keseluruhan reaksi yang terjadi adalah sbb:



$Fe(OH)_2$  mengendap dan tidak stabil. Dengan adanya oksigen dan air,  $2Fe(OH)_2$  teroksidasi kembali membentuk  $Fe(OH)_3$ . Reaksinya sbb:



Ferroushidroksida  $Fe(OH)_2$  diubah menjadi hidrat ferric oxide atau biasa disebut karat, dengan oksigen akan bereaksi sbb:



## 2.4 Pengendalian Korosi dengan Inhibitor

Pengendalian korosi dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satunya adalah dengan menggunakan inhibitor. Inhibitor merupakan zat kimia yang bila ditambahkan ke dalam suatu lingkungan tertentu dapat menurunkan laju korosi [23] melalui pembentukan lapisan pelindung pada permukaan logam (*Film forming*), adsorpsi permukaan melalui adsorpsi fisis (*Electrostatic*) atau adsorpsi kimia (*Chemisorptions*) [24], atau merubah lingkungan (*Scavenger*). Melalui pengaruh lingkungan (pH) menyebabkan inhibitor dapat mengendap dan selanjutnya teradsorpsi pada permukaan logam membentuk lapisan pasif pada permukaan logam untuk melindungi terhadap korosi. Inhibitor umumnya terdistribusi dalam larutan. Inhibitor mampu menurunkan laju korosi melalui:

- Meningkatkan polarisasi anoda dan katoda (*Slope Tafel*)
- Menurunkan pergerakan atau difusi ion ion ke permukaan logam
- Meningkatkan ketahanan elektrik (Impedansi) permukaan logam

Umumnya inhibitor korosi berasal dari senyawa organik dan anorganik yang mengandung gugus-gugus yang memiliki pasangan elektron bebas seperti nitrit, kromat, pospat, urea, fenilalanin, imidazolin dan senyawa amina [25]. Namun bahan kimia sintesis ini merupakan bahan yang berbahaya, tidak ekonomis dan tidak ramah lingkungan. Oleh karena itu di lakukan penelitian untuk pemanfaatan bahan alam untuk menjadi inhibitor (*green inhibitor*) atau inhibitor organik. Ekstrak bahan alam tersebut dipastikan mengandung atom N, O, P, S serta atom-atom yang memiliki pasangan elektron bebas. Atom yang mengandung pasangan electron bebas tersebut nantinya akan berfungsi sebagai ligan yang akan membentuk senyawa kompleks dengan logam. Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Fraunhofer diketahui bahwa ekstrak daun tembakau, daun teh dan kopi dapat efektif sebagai inhibitor pada logam besi, tembaga, aluminium dalam lingkungan air garam. Keefektifannya diperkirakan karena ekstrak daun tembakau, teh dan kopi ini mengandung unsur nitrogen yang berfungsi sebagai pendonor electron terhadap logam  $Fe^{2+}$  untuk membentuk senyawa kompleks yang bersifat sebagai pelindung terhadap korosi [26, 27]. Selain nitrogen, ekstrak daun teh dan kopi juga mengandung nikotin, hidrazin, alanin, quinolin, alanin, piridin dan amina [12].

## 2.5 Jenis-jenis Inhibitor

Dalam pemanfaatannya, inhibitor di golongan dalam beberapa jenis sebagai berikut.

### a. Inhibitor Organik.

Inhibitor organik termasuk inhibitor pembentuk lapisan (*film-forming*) yang merupakan hasil proses adsorpsi. Temperatur dan tekanan pada sistem lingkungan sangat berperan penting terhadap daya adsorpsi. Inhibitor organik teradsorpsi berdasarkan muatan ion inhibitor dan permukaan. Inhibitor organik berperan sebagai inhibitor anodik dan katodik karena inhibitor ini dapat menginhibisi reaksi anodik dan katodik sehingga akan terjadi penurunan laju korosi yang ditandai dengan melambatnya reaksi anodik, reaksi katodik atau bahkan keduanya. Senyawa yang digunakan sebagai inhibitor organik adalah senyawa heterosiklik yang mengandung atom nitrogen, sulfur atau oksigen yang mempunyai pasangan elektron bebas.

### b. Inhibitor anorganik.

Inhibitor ini bersifat sebagai inhibitor anodik karena inhibitor ini memiliki gugus aktif, yaitu anion negatif yang berguna untuk mengurangi korosi. Beberapa senyawa yang dapat digunakan sebagai inhibitor anorganik diantaranya

adalah fosfat, kromat, dikromat, silikat, borat, tungsten, molibdat dan arsenat. Senyawa-senyawa ini sangat berguna dalam aplikasi pelapisan antikorosi, tetapi mempunyai kelemahan utama yaitu bersifat toksik.

c. Inhibitor Anodik.

Inhibitor jenis ini mampu mempolarkan kurva polarisasi anodik. Inhibitor anoda mampu mempasifkan permukaan logam dengan merawat, memperbaiki lapisan oksida pada permukaan logam dan paduannya. Berdasarkan mekanisme pasifasinya, inhibitor anoda digolongkan menjadi :

- *Oxidizing inhibitor*, yang akan membentuk lapisan oksida yang bersifat pasif pada permukaan anoda (logam) dan bekerja tanpa memerlukan oksigen. contohnya adalah kromat dan nitrit.
- *Non-oxidizing inhibitor*, dalam membentuk lapisan oksida memerlukan oksigen, contohnya: molybdate, benzoate dan tungsten.

Inhibitor anoda merupakan inhibitor yang paling efektif dan paling banyak dimanfaatkan, tetapi inhibitor ini harus dijaga dalam konsentrasi yang sama dengan konsentrasi kritis. jika inhibitor anoda yang diinjeksikan dibawah konsentrasi kritis, maka laju korosi akan meningkat dan menyebabkan terjadinya korosi lokal (*pitting*).

d. Inhibitor Katodik.

Inhibitor ini dapat menurunkan laju reaksi di katoda dengan cara mengurangi konsentrasi oksigen pada lingkungan netral dan mengurangi kadar hidrogen pada lingkungan asam. Inhibitor katoda juga mampu membentuk endapan pada daerah katoda sehingga dapat meningkatkan impedansi di permukaan dan menurunkan laju difusi. Mekanisme inhibitor katoda adalah sebagai berikut:

- Meracuni katoda. Pada kondisi ini reaksi katoda akan ditekan melalui penghalangan dan rekombinasi hidrogen. metode ini cenderung mengakibatkan terjadinya *hydrogen induced cracking* karena selama proses ini hidrogen dapat teradsorpsi ke dalam logam, contoh inhibitor katoda diantaranya adalah arsenik.
- Presipitat Katoda. Dalam inhibitor ini terdapat senyawa-senyawa yang akan mengendap sebagai oksida untuk menghasilkan pelindung pada permukaan logam. Senyawa tersebut diantaranya adalah kalsium dan magnesium.

- *Oxygen Scavenger*. Inhibitor jenis ini akan menurunkan laju korosi dengan cara menghilangkan oksigen terlarut dalam lingkungannya. Senyawa *oxygen scavenger* akan bereaksi dengan oksigen terlarut untuk membentuk senyawa baru. contoh senyawa oxygen scavenger diantaranya adalah sodium sulfit dan hydrazine.

e. Inhibitor Campuran.

Dalam formulasinya terdiri lebih dari dua inhibitor dengan karakter yang beragam. Hal ini disebabkan beberapa faktor, yaitu:

- Inhibitor tunggal hanya mampu menghambat korosi pada logam tertentu saja.
- Inhibitor katoda dan anoda dapat dikombinasikan dan dioptimalkan untuk memberikan performa yang lebih baik.
- Penambahan ion-ion halide akan meningkatkan kinerja inhibitor organik dalam lingkungan asam.

f. Inhibitor *Volatile*.

Inhibitor ini disebut juga sebagai inhibitor fasa uap, karena korosi pun bisa terjadi pada system uap. Sehingga diperlukan inhibitor yang sesuai, yaitu inhibitor yang mudah menguap. Ketika terjadi kontak antara inhibitor dalam fasa uap dengan permukaan logam, terjadilah adsorpsi inhibitor. Uap air akan menghidrolisa inhibitor untuk menghasilkan ion protektif. Contoh senyawa yang dapat di gunakan sebagai volatile inhibitor adalah amine dan nitrit [19].

g. Inhibitor Presipitasi.

Inhibitor jenis ini akan mampu untuk membentuk endapan pada permukaan logam sehingga akan melindungi logam dari proses korosi. Endapan (*presipitat*) tersebut bersifat sebagai layer (*film-forming*) yang akan menonaktifkan daerah anoda dan katoda, contohnya adalah silikat dan phospat. Kinerja inhibitor ini dibagi menjadi 2 golongan, yaitu: inhibitor presipitasi ini akan bekerja dengan cara menurunkan laju korosi tanpa menghentikan reaksi secara menyeluruh dan yang ke dua adalah dengan cara menghentikan laju reaksi secara menyeluruh. Efisiensi inhibitor ditentukan oleh pH dan kejenuhan lingkungan. Sebagai contoh adalah air sadah dengan kandungan magnesium dan kalsium yang tinggi cenderung tidak korosif daripada air tidak sadah, hal ini disebabkan karena garam dalam air sadah akan mengendap pada permukaan logam dan menghasilkan lapisan pelindung.



## 2.6 Adsorpsi Pada Permukaan Logam

Efektifitas dan efisiensi inhibitor secara kualitatif berhubungan dengan jumlah inhibitor yang teradsorpsi pada permukaan logam. Korosi akan menyerang pada daerah yang tidak terlindungi oleh inhibitor. Sehingga reaksi korosi dapat dicegah berdasarkan luas area yang terlindungi oleh inhibitor yang teradsorpsi pada permukaan logam. Proses adsorpsi inhibitor pada permukaan logam dipengaruhi oleh beberapa faktor sebagai berikut.

a. Reaksi inhibitor yang teradsorpsi.

Inhibitor korosi yang teradsorpsi akan bereaksi secara reduksi untuk menghasilkan produk reaksi yang bersifat menginhibisi. Inhibisi yang terjadi karena penambahan zat tertentu disebut inhibisi primer sedangkan inhibisi yang terjadi karena produk hasil reaksi disebut inhibisi sekunder. Beberapa contoh senyawa yang menghasilkan inhibitor sekunder adalah sulfoksida dapat direduksi menjadi sulfida yang merupakan inhibitor yang efisien.

b. Interaksi inhibitor dengan molekul air.

Karena adanya gaya elektrostatis dan interaksi ikatan koordinat antara logam dan air, permukaan logam dalam air terbungkus oleh molekul air yang teradsorpsi. Adsorpsi inhibitor merupakan reaksi penggeseran yang melibatkan penghilangan molekul-molekul air yang teradsorpsi dari permukaan logam. Selama proses adsorpsi, perubahan energi interaksi dengan molekul air dari kondisi terlarut menjadi kondisi teradsorpsi menghasilkan suatu perubahan energi bebas. Sehingga dengan peningkatan ukuran akan menurunkan kelarutan dan meningkatkan daya adsorpsinya yang sejalan dengan peningkatan efisiensi inhibisinya.

c. Muatan pada permukaan logam.

Adsorpsi kemungkinan diakibatkan oleh gaya tarik elektrostatis antara muatan ionik atau dipole dari zat yang teradsorpsi dengan muatan elektrik logam pada *interface* logam/cairan. Di dalam larutan, muatan permukaan logam dapat diekspresikan berdasarkan potensialnya yang sesuai dengan potensial bermuatan nol (*Zero-charge potential*). Potensial tersebut sering diistilahkan dengan  $\Phi$ -potensial. Begitu  $\Phi$ -potensial menjadi lebih positif maka terjadi adsorpsi anion dan sebaliknya begitu  $\Phi$ -potensial lebih negatif maka berlangsung adsorpsi kation.

d. Gugus fungsi dan struktur inhibitor.

Disamping interaksi elektrostatis, inhibitor dapat berikatan dengan permukaan

logam melalui transfer elektron untuk menghasilkan ikatan koordinat. Perpindahan elektron dari zat yang teradsorpsi sangat mudah oleh adanya elektron-elektron dengan ikatan yang relatif lemah, seperti pada anion dan molekul-molekul organik yang mengandung elektron tak berpasangan atau elektron  $\pi$  pada ikatan rangkap khususnya ikatan rangkap tiga atau cincin aromatik. Senyawa-senyawa anorganik yang mengandung unsur-unsur golongan V dan VI juga mampu menghasilkan elektron bebas untuk membentuk ikatan koordinat. Kekuatan ikatan meningkat dengan penurunan keelektronegativitasnya,  $O < N < S < Se$ , sehingga senyawa-senyawa organik tersebut memiliki sifat inhibisi yang bagus.

e. Interaksi spesi inhibitor yang teradsorpsi.

Interaksi lateral antara spesi inhibitor sangat signifikan dikarenakan berpengaruh terhadap daya tutup permukaan (*Coverage area*). Interaksi tersebut bisa berupa gaya tarik (*Attractive*) atau gaya tolak (*Repulsive*). Gaya tarik terjadi antara molekul-molekul yang mengandung komponen hidrokarbon yang besar. Dengan peningkatan panjang rantai, maka gaya tarik Van der Waals antar molekul akan meningkat, dan akan menghasilkan adsorpsi yang lebih kuat dan daya tutup (*Coverage*) yang tinggi. Daya tolak (*Repulsive interaction*) terjadi antara ion-ion atau molekul-molekul yang mengandung dipole dan mengakibatkan adsorpsi yang lemah pada *coverage* yang tinggi. Dalam bentuk ion, interaksi repulsive dapat dirubah menjadi *attractive* jika ion dengan muatan berlawanan teradsorpsi secara simultan. Dalam larutan yang mengandung anion dan kation, adsorpsi kedua ion tersebut akan menghasilkan efisiensi inhibisi yang lebih tinggi dibandingkan larutan dengan ion tunggal. Efek tersebut terlihat jelas dalam larutan yang mengandung ion-ion halida dengan inhibitor lain seperti: Kation-kation quaternary ammonium, kation-kation alkyl benzene piridinium dan berbagai jenis amin.

## 2.7 Jenis-jenis Senyawa Sebagai Inhibitor Korosi

Beberapa senyawa kimia yang dapat dimanfaatkan sebagai inhibitor korosi diantaranya adalah sebagai berikut.

a. Kromat.

Kromat merupakan inhibitor yang murah dan banyak dimanfaatkan pada sistem pendingin resirkulasi (*Recirculation-cooling system*) dari mesin pembakaran dalam (*Internal combustion engine*), *rectifier* dan *cooling tower* [24]. Meskipun performa inhibisi senyawa kromat tidak terlalu terpengaruh oleh perubahan pH,

inhibitor kromat biasa diaplikasikan pada pH sekitar 8,5. Inhibitor kromat dimanfaatkan pada sistem resirkulasi terbuka (*Open recirculation systems*). Menurut Darrin, inhibitor kromat diinjeksikan pada sistem resirkulasi terbuka dengan konsentrasi awal sekitar 1000 ppm kemudian turun secara bertahap menjadi 300 500 ppm [28].

Tetapi efek inhibisi senyawa ini terbatas dengan peningkatan konsentrasi sulfat dan klorida dalam sistem dan mengakibatkan terjadinya kerusakan lokal (*Local attack*). Untuk menangani masalah tersebut, inhibitor kromat biasanya dikombinasikan dengan inhibitor katoda, contohnya seng (Zn). Kombinasi ini beroperasi pada pH 6 7 dan untuk meningkatkan performa dilakukan penambahan senyawa senyawa organik dan fosfat. Dalam sistem dengan konsentrasi klorida yang tinggi contohnya pada brine refrigerasi (*Refrigerating brines*), kromat berfungsi pada pH 8 8.5 dengan konsentrasi 2000 3000 ppm [29]. Disamping itu inhibitor kromat juga dimanfaatkan sebagai inhibitor fasa uap untuk mengendalikannya korosi atmosferik tembaga dan paduannya. Senyawa kromat bersifat racun (*Toxic*) dan kontak dengan kulit dalam jangka panjang dapat mengakibatkan ruam (*Rash*). Sehingga saat ini, inhibitor dengan senyawa aktif kromat jarang di gunakan lagi.

b. Nitrit.

Senyawa nitrit merupakan merupakan inhibitor anoda yang banyak dimanfaatkan pada sistem pendingin jenis air dan juga pada bagian dalam pipa (*Internal pipe*) transportasi minyak dan bahan bakar serta *coolant* jenis emulsi (*Cutting oil-water emulsion*) [24]. Nitrit juga dimanfaatkan sebagai inhibitor korosi fasa uap untuk proteksi korosi atmosferik. Dalam sistem resirkulasi terbuka (*Open recirculation system*), sodium nitrit cenderung mengalami kerusakan lokal oleh pengaruh sulfat dan klorida. Karena nitrit dapat terdekomposisi secara bertahap oleh bakteri dan mengakibatkan *stress corrosion cracking* terhadap logam tembaga dan paduannya, sehingga senyawa ini kurang cocok untuk *cooling tower*. Tetapi masalah ini dapat ditangani dengan penambahan *biocide*. Nitrit juga kehilangan efek inhibisinya pada pH dibawah 5,5 6 [28].

c. Benzoate.

Benzoate merupakan inhibitor anoda tipe *non-oxidizing*. Benzoate akan memicu kerusakan lokal jika diinjeksikan dalam konsentrasi yang tidak cukup. Benzoate dipergunakan dalam formulasi *radiator coolant* (*Engine coolant*) sebagai inhibitor korosi pada sambungan solder. Bersama dengan nitrit berfungsi sebagai inhibisi besi tuang. Ketika sistem yang diproteksi melibatkan logam yang

berbeda (*Dissimilar metal*), benzoate biasanya di campur bersama nitrit dengan rasio 7 : 1.

d. Phosphat.

Phosphat merupakan inhibitor katoda yang banyak diaplikasikan pada larutan netral. Phosphat mengendap sebagai lapisan tipis yang mengendap didaerah katoda pada logam yang terkorosi dan menghalangi kontak langsung antara oksigen dengan daerah katoda pada permukaan logam. Didalam sistem pendingin, pengkerakan (*Scaling*) terjadi akibat reaksi dengan senyawa senyawa yang terdapat dalam air. Phosphat bereaksi dengan kation kation kalsium dan seng menghasilkan lapisan deposit yang bersifat amorf pada permukaan logam.

Phosphat ditambahkan kedalam sistem air (*Water system*) dengan konsentrasi 5 sampai 10 ppm untuk menghambat korosi Fe, Zn, Cu dan Al. Phosphat juga diinjeksikan kedalam boiler (10 ppm) untuk menghambat korosi Fe, Zn, Cu dan Al. Phosphat memerlukan oksigen untuk mengefektifkan dan menghasilkan endapan pada permukaan logam.

e. Amin.

Amin merupakan kelompok senyawa kimia yang memiliki atom nitrogen pada gugus utamanya. Senyawa amin bekerja sebagai inhibitor korosi dengan proses adsorpsi pasangan elektron bebas dari atom nitrogen pada permukaan logam. Karena amin mengandung nitrogen maka tergolong sebagai basa kuat sehingga dapat teradsorpsi pada permukaan logam yang merupakan asam kuat [30]. Amin rantai siklik umumnya memiliki daya inhibisi yang lebih kuat dibandingkan amin rantai asiklik. Hal ini disebabkan karena rantai cincin menghasilkan pasangan elektron bebas pada atom nitrogen yang lebih terekspos untuk disumbangkan pada permukaan logam. Amin siklis dengan hibridisasi nitrogen  $sp_2$  dan sudut ikatan C-N-C umumnya memiliki sifat inhibisi korosi yang bagus. Dengan keberadaan lapisan amin yang teradsorpsi pada permukaan logam maka dihasilkan suatu daerah dengan tahanan tinggi yang mampu menahan kontak antara permukaan logam dan elektrolit. Tahanan ini menurunkan dan menghentikan reaksi galvanik dan pelepasan elektron dari logam sebagai pemicu korosi. Amin merupakan inhibitor jenis kationik yang biasa ditambahkan sebagai inhibitor korosi dalam sistem yang banyak mengandung HCl . Disamping itu amin juga dapat diaplikasikan pada lingkungan yang mudah menguap (*volatile*) untuk mencegah korosi atmosferik.

f. Amoniak.

Pada umumnya penyebab utama kerusakan pada steam kondensat diakibatkan

oleh pengaruh oksigen dan karbon dioksida. Salah satu tindakan pencegahan masalah tersebut melalui penambahan amoniak sebagai netralisasi dan mempertahankan pH 8.5 – 8.8. Tidak seperti halnya amin, amoniak tidak memiliki laju kondensasi yang sama dengan uap air (*Steam*) sehingga tidak dapat dimanfaatkan pada sistem dengan material dasar tembaga dan paduannya [28]. Pada proses *refinery*, korosi meningkat oleh keberadaan air, hidrogen sulfide, karbon dioksida dan zat-zat agresif lain. Senyawa-senyawa tersebut bekerja bersama *fouling* dan *scaling* pada pH yang lebih rendah yang dapat dicegah dengan memodifikasi pH menjadi 7 – 7,5 melalui penambahan campuran amoniak, sodium hidroksida dan sodium karbonat. Salah satu kelemahan utama dari senyawa ini adalah ketika menetralkan HCl akan diperoleh amonium klorida, deposit ini merupakan senyawa yang sangat korosif.

g. Azole.

Azole merupakan senyawa kimia dengan atom nitrogen yang mengandung pasangan elektron bebas yang memungkinkan senyawa ini berikatan dengan logam tembaga dan memberikan efek inhibisi. Salah satu senyawa azole yang dapat dipergunakan sebagai inhibitor korosi adalah benzotriazole (BTA). BTA merupakan inhibitor anoda untuk logam tembaga yang bekerja dengan mekanisme *chemisorptions*.

## 2.8 Inhibitor Ramah lingkungan (*Green inhibitor*)

Sebagian besar senyawa inhibitor anorganik merupakan bahan beracun yang dapat mengganggu kesehatan manusia dan lingkungannya. Pengaruh atau dampak bahan beracun terhadap tubuh ada yang bersifat akut, seperti muntah, diare, sesak nafas, detak jantung tak teratur, kondisi lemah bahkan kematian. Selain itu juga bisa berdampak kronis yang merupakan efek jangka panjang dengan bahan beracun. Sebagai contoh adalah: Nitrit: Nitrit merupakan salah satu inhibitor yang efektif akan tetapi pemanfaatan nitrit sebagai inhibitor korosi mulai dikurangi karena nitrit bersifat racun. Nitrit dapat memicu methemoglobinemia yaitu terjadinya penurunan kemampuan darah dalam membawa oksigen. Nitrit akan bereaksi dengan senyawa fero ( $Fe^{2+}$ ). Ketika hemoglobin teracuni oleh nitrit, hemoglobin teroksidasi menghasilkan methaemoglobin dengan besi dalam kondisi bervalensi tiga ( $Fe^{3+}$ ). Tidak seperti hemoglobin, dengan kondisi besi bervalensi tiga maka methaemoglobin tidak mampu membawa oksigen. Gejala keracunan nitrit ditandai oleh diare dan sakit perut. Ketika lebih dari 80% hemoglobin terkonversi menjadi methaemoglobin maka dapat berakibat kematian. Selain itu, nitrit juga da-

pat bereaksi dengan senyawa amin dan amida yang bersifat karsinogenik yang akan memicu pertumbuhan tumor pada sistem syaraf pusat dan tumor pada anak-anak [31]. Kromat: Kromat merupakan inhibitor paling stabil dalam berbagai sistem aplikasi, akan tetapi senyawa ini bersifat karsinogenik yang dapat mengakibatkan radang kulit, kebocoran selaput hidung, radang tenggorokan dan hati serta bronchitis [32]. Kontaminasi senyawa nitrat dan fosfat dapat mengakibatkan *eutrophication* yaitu pemicu pertumbuhan alga pada daerah perairan akibat kelebihan nutrisi anorganik pada tanaman. Pertumbuhan alga dan tanaman air yang berlebihan akan menyebabkan suplai oksigen di permukaan air menjadi berkurang [33]. Dengan mempertimbangkan dampak negatif yang mungkin terjadi pada penggunaan senyawa anorganik sebagai *corrosion inhibitor* maka dikembangkanlah penelitian untuk menemukan inhibitor ramah lingkungan yang berasal dari ekstrak tumbuhan, yang tidak merusak sistem kesehatan makhluk hidup dan lingkungannya.

Pemanfaatan bahan alam sebagai inhibitor korosi telah lama dilakukan. Ating dkk dari North West University telah melakukan penelitian tentang ekstrak daun nanas sebagai green inhibitor korosi aluminium dalam larutan hipoklorit. Hasil penelitiannya menunjukkan efisiensi inhibitor akan meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi dan temperatur. Studi adsorpsi menunjukkan bahwa langmuir adsorption isotherm merupakan adsorpsi yang paling *aplicable* terjadi pada permukaan aluminium. Dari pengukuran energi Gibbs-nya, diperoleh bahwa energi Gibbsnya rendah dan negatif yang berarti *green inhibitor* teradsorpsi secara spontan pada permukaan aluminium [34].

Sanjay Kumar Sharma dkk dari Alexandria University telah melakukan penelitian tentang ekstrak daun nimba sebagai green inhibitor korosi pada zinc dalam larutan asam sulfat menggunakan metode gravimetri. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa dengan variasi konsentrasi daun nimba, makin besar konsentrasi daun nimba dalam larutan asam sulfat maka makin kecil laju korosi yang terukur dan efisiensi inhibitorynya pun akan meningkat sejalan dengan kenaikan konsentrasi ekstrak daun nimba [35].

Kassim dan Hussin memanfaatkan ekstrak gambir sebagai inhibitor korosi baja karbon rendah dalam lingkungan air. Berdasarkan studi tersebut, ekstrak gambir dapat berfungsi secara optimum pada pH 5 dan konsentrasi 150 ppm dengan efisiensi inhibisi 67% [36].

Sanjay K. Sharma dkk telah melakukan penelitian tentang inhibitor korosi dan pengaruh adsorpsi ekstrak daun nimba sebagai green inhibitor pada baja karbon rendah dalam larutan asam nitrat menggunakan metode gravimetri. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa temperatur dan konsentrasi ekstrak daun nimba akan berpe-

ngaruh terhadap efisiensi inhibitor. Dengan variasi konsentrasi ekstrak daun nimba, ditunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi ekstrak daun nimba, maka laju korosi makin kecil. Konsentrasi asam nitrat juga berpengaruh terhadap laju korosi yang terjadi, makin kecil konsentrasi asam nitrat maka makin kecil pula laju korosi. Semakin besar konsentrasi ekstrak daun nimba maka makin kecil berat produk korosi yang terbentuk [37].

Penelitian yang dilakukan oleh Reinaldo Simoes G dkk tentang proses adsorpsi asam askorbat pada baja karbon rendah di lingkungan 0,5 M  $Na_2SO_4$  memberikan informasi bahwa telah terjadi ikatan yang kompleks antara asam askorbat dan baja karbon rendah sehingga terbentuk lapisan yang akan melindungi baja karbon rendah terhadap proses korosi [7], sehingga dapat disimpulkan bahwa pemakaian green inhibitor korosi dirasa cukup baik, terbukti telah efektif untuk menurunkan laju korosi.

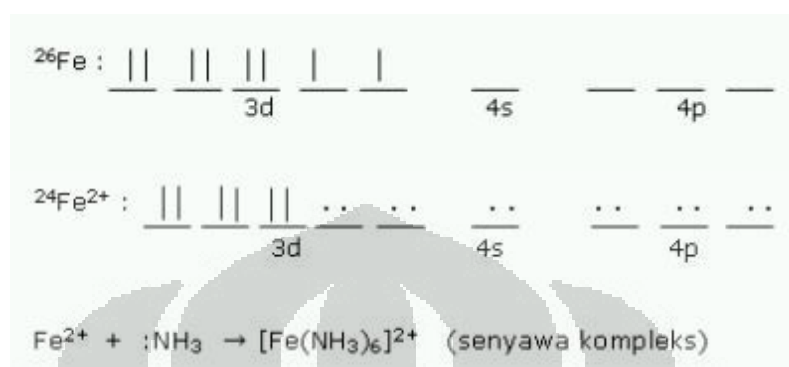
Soejono Tjitro dkk telah melakukan penelitian tentang pengaruh lingkungan terhadap efisiensi inhibisi asam askorbat pada laju korosi tembaga, adapun hasil yang di perolehnya adalah bahwa penambahan asam askorbat pada lingkungan korosif yang berbeda menunjukkan efisiensi asam askorbat yang berbeda. Faktor lingkungan yang berpengaruh diantaranya adalah temperatur, derajat keasaman dan kestabilan asam askorbat. Penambahan asam askorbat yang paling efisien untuk lingkungan NaCl dan  $CaCO_3$  adalah 50 ppm dan pada lingkungan  $CaSO_4$  adalah 100 ppm, hal ini juga diperkuat penurunan laju korosi yang signifikan [6].

E.S. Ferreira dkk juga telah melakukan penelitian tentang efek inhibitor asam askorbat pada korosi mild steel di lingkungan  $H_2SO_4$  memberikan informasi bahwa pada pH 4 pada konsentrasi 1 mmol, asam askorbat dapat mencegah proses korosi dengan cara membentuk layer pada permukaan mild steel. Telah terjadi peningkatan energi aktivasi (EA) dari  $49,4 \frac{kJ}{mol}$  (tanpa inhibitor) menjadi  $65,7 \frac{kJ}{mol}$  (dengan inhibitor asam askorbat), hal ini menunjukkan telah terjadi adsorpsi asam askorbat pada *mild steel*. Pada grafik polarisasi menunjukkan bahwa karakter asam askorbat termasuk sebagai inhibitor tipe campuran (*mixed*) [8].

## 2.9 Mekanisme Proteksi *Green Inhibitor Corrosion*

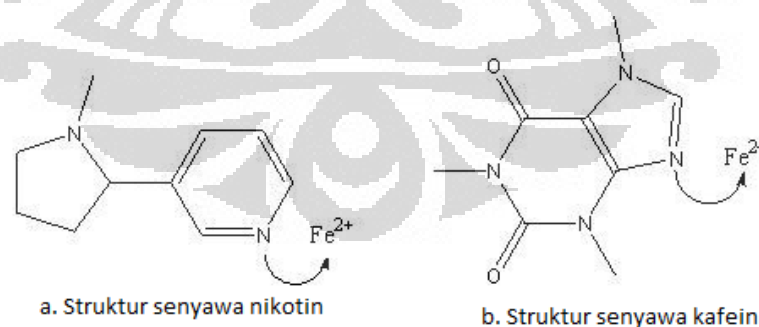
Mekanisme proteksi ekstrak bahan alam terhadap besi/baja dari serangan korosi diperkirakan hampir sama dengan mekanisme proteksi oleh inhibitor organik. Reaksi yang terjadi antara logam  $Fe^{2+}$  dengan medium korosif seperti  $CO_2$  diperkirakan menghasilkan  $FeCO_3$ , oksidasi lanjutan menghasilkan  $Fe_2(CO_3)_3$  dan reaksi antara  $Fe^{2+}$  dengan inhibitor ekstrak bahan alam menghasilkan senyawa kompleks.

Inhibitor ekstrak bahan alam yang mengandung nitrogen mendonorkan sepasang elektronnya pada permukaan logam *mild steel* ketika ion  $Fe^{2+}$  terdifusi ke dalam larutan elektrolit, reaksinya adalah  $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$  (melepaskan elektron) dan  $Fe^{2+} + 2e^- \rightarrow Fe$  (menerima elektron). Ilustrasinya diperlihatkan pada Gambar 2.8.



**Gambar 2.8:** Skema proteksi korosi *green inhibitor*

Produk yang terbentuk di atas mempunyai kestabilan yang tinggi dibanding dengan Fe saja, sehingga sampel besi/baja yang diberikan inhibitor ekstrak bahan alam akan lebih tahan (ter-proteksi) terhadap korosi. Contoh lainnya, dapat juga dilihat dari struktur senyawa nikotin dan kafein yang terdapat dalam ekstrak daun tembakau, teh, dan kopi, dimana kafein dan nikotin yang mengandung gugus atom nitrogen akan menyumbangkan pasangan elektron bebasnya untuk mendonorkan elektron pada logam  $Fe^{2+}$  sehingga terbentuk senyawa kompleks dengan mekanisme yang sama seperti di atas. Ilustrasi struktur nikotin dan kafein diperlihatkan pada Gambar 2.9.



**Gambar 2.9:** Struktur senyawa kompleks: a. nikotin, b. kafein

## 2.10 Tanaman Mengkudu

Mengkudu (*Morinda citrifolia*) termasuk tumbuhan keluarga kopi-kopian (*Rubiaceae*), yang pada mulanya berasal dari wilayah daratan Asia Tenggara dan ke-

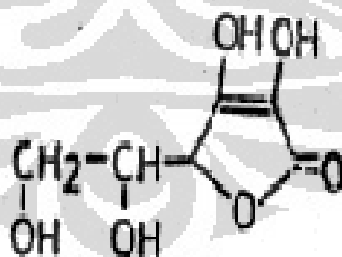


mudian menyebar sampai ke Cina, India, Filipina, Hawaii, Tahiti, Afrika, Australia, Karibia, Haiti, Fiji, Florida dan Kuba. Bangsa Polinesia memanfaatkan "Noni" untuk mengobati berbagai jenis penyakit, diantaranya: tumor, luka, penyakit kulit, gangguan pernapasan (termasuk asma), demam dan penyakit usia lanjut. Tabib Polinesia, yang disebut Kahuna adalah orang memegang peranan penting dalam dunia pengobatan tradisional bangsa Polinesia dan selalu menggunakan mengkudu dalam resep pengobatannya. Di Indonesia sendiri, tanaman mengkudu mudah sekali di peroleh, mudah di budidayakan, mempunyai umur yang cukup lama, berbuah banyak serta harganya relatif murah.

Mengkudu telah terbukti mengandung beberapa senyawa diantaranya adalah asam askorbat, flavanoids, alkaloid (xeronine, prexeronine), senyawa phenolic (kumarin, iridoid) yang merupakan senyawa antioksidan alami yang akan melindungi jaringan dari serangan oksigen dan radikal bebas. Mengkudu juga mengandung zat anti kanker (damnacanthal), dan zat anti bakteri (acubin, L. asperuloside, alizarin, zat antraquinon) [10–13].

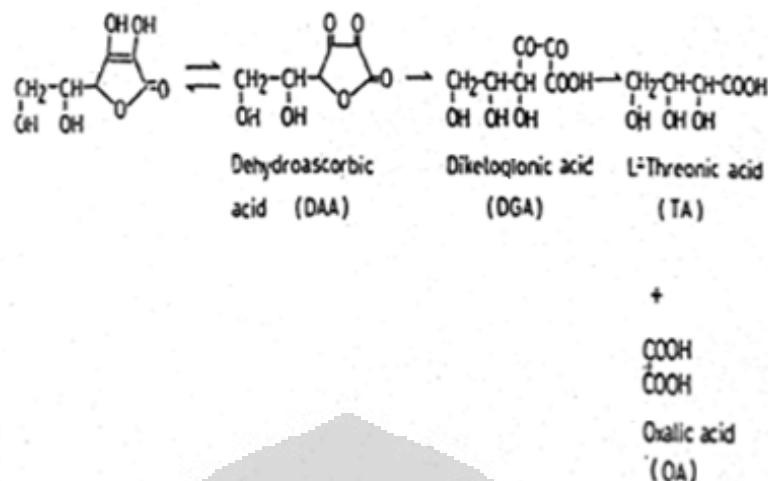
### 2.10.1 Asam Askorbat

Asam askorbat merupakan senyawa antioksidan yang bersifat melindungi terhadap proses oksidasi maupun serangan radikal bebas. Proses oksidasi pun dapat menyebabkan terjadinya korosi pada material golongan ferrit base. Asam askorbat sebagai inhibitor organik (melindungi terhadap proses korosi) memiliki struktur seperti Gambar 2.10.



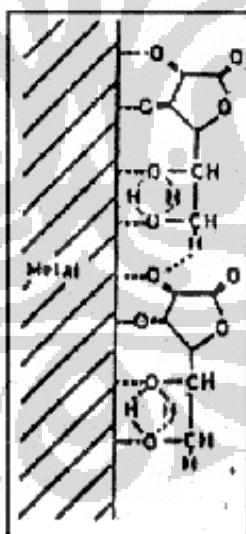
Gambar 2.10: Struktur asam askorbat [8]

Kristal Asam askorbat ini sangat stabil di udara, tetapi di dalam larutan Asam askorbat akan cepat teroksidasi oleh udara dan dengan perlahan-lahan berdekomposisi menjadi *dehydro-ascorbic acid* (DAA). Selanjutnya akan berdekomposisi menjadi beberapa molekul di dalam larutan dengan pH di atas 4 seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.11.



**Gambar 2.11:** Dekomposisi asam askorbat

Asam askorbat ini stabil pada temperatur  $10^\circ\text{C}$ , tetapi pada temperatur di atas  $20^\circ\text{C}$  Asam askorbat akan cepat berdekomposisi. Mekanisme inhibisi Asam askorbat, yaitu teradsorpsi pada permukaan logam. Permukaan logam yang bereaksi dengan inhibitor Asam askorbat ini akan terlindungi oleh lapisan pelindung tipis pada permukaannya. Hal ini seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.12.



**Gambar 2.12:** Terbentuknya lapisan pelindung pada permukaan logam [8]

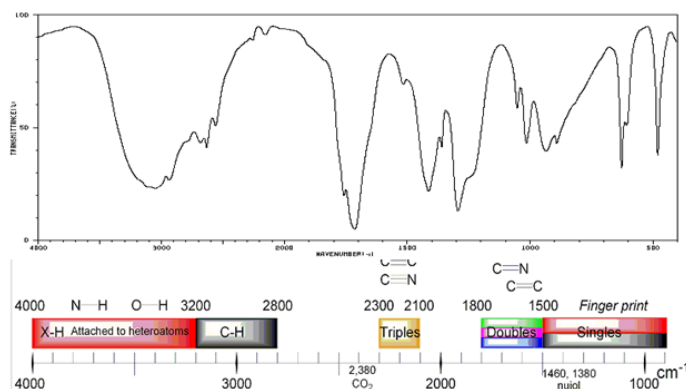
## 2.11 Penentuan Gugus Fungsi Senyawa Organik Menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infrared*)

Jika suatu radiasi gelombang elektromagnetik mengenai suatu materi, maka akan terjadi suatu interaksi, diantaranya berupa penyerapan energy (absorpsi) oleh atom-

atom atau molekul molekul dari materi tersebut. Absorpsi sinar ultraviolet dan cahaya tampak akan mengakibatkan tereksitasinya elektron. Sedangkan absorpsi radiasi inframerah, energinya tidak cukup untuk mengeksitasi elektron, namun menyebabkan peningkatan amplitudo getaran (vibrasi) atom-atom pada suatu molekul [38]. Spektroskopi FTIR (menggunakan metode absorpsi, yaitu metode yang didasarkan atas perbedaan penyerapan radiasi inframerah. Absorpsi inframerah oleh suatu materi dapat terjadi jika dipenuhi dua syarat, yaitu kesesuaian antara frekuensi radiasi inframerah dengan frekuensi vibrasional molekul sampel dan perubahan momen dipol selama bervibrasi [39]. Pada spektroskopi Infra Red (650-4000 nm) selalu disertai transisi rotasional sehingga diperoleh spektrum dengan puncak-puncak yang lebar karena ada pengaruh antara transisi vibrasional dan rotasional. Supaya molekul dapat menyerap energi infra merah, maka gerakan vibrasi atau rotasinya harus disertai perubahan momen dwi kutub/dipole. Setiap jenis ikatan kimia memiliki frekuensi vibrasi berbeda dan jenis ikatan kimia yang sama juga berbeda frekuensi vibrasinya jika diikat oleh senyawa yang berlainan karena lingkungan berbeda. Analisa ini menggunakan spektroskopi infrared untuk mengetahui gugus fungsi suatu senyawa. Gambar dibawah ini merupakan Spektroskopi Inframerah, dimana cara pembacaan hasil analisa yang diperoleh berdasarkan frekuensi. Frekuensi dapat dijadikan penentu gugus fungsi, dengan klasifikasi seluruh daerah frekuensi IR menjadi 4 bagian. Pembagian daerah frekuensi IR adalah sebagai berikut:

- Singles (Finger Print) =  $800-1200\text{ cm}^{-1}$
- Ikatan doubles =  $1400-1800\text{ cm}^{-1}$
- Ikatan triples =  $2100-2300\text{ cm}^{-1}$
- X-H O-H dan heteroatom =  $2800-4000\text{ cm}^{-1}$

Sedangkan ilustrasi hasil pengujian dengan FTIR diperlihatkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13: Hasil Analisa Pengujian Menggunakan Spektroskopi InfraRed

## 2.12 Laju Korosi

Laju korosi didefinisikan sebagai banyaknya logam yang dilepas tiap satuan waktu pada permukaan tertentu [17]. Laju korosi umumnya dinyatakan dengan satuan *mil per year* (mpy). Satu mil adalah setara dengan 0,001 inchi. Laju korosi dapat ditentukan dengan berbagai cara, diantaranya dengan ekstrapolasi kurva tafel.

### 2.12.1 Weight Loss

Suatu material berdasarkan kehilangan berat yang hilang saat proses pencelupan coupon ke dalam lingkungan yang korosif. Laju korosi dapat ditentukan dengan perubahan berat kupon sebanding dengan perubahan waktu [40] seperti Persamaan 2.1.

$$\text{Laju korosi (mpy)} = \frac{534.W}{A.T.D} \quad (2.1)$$

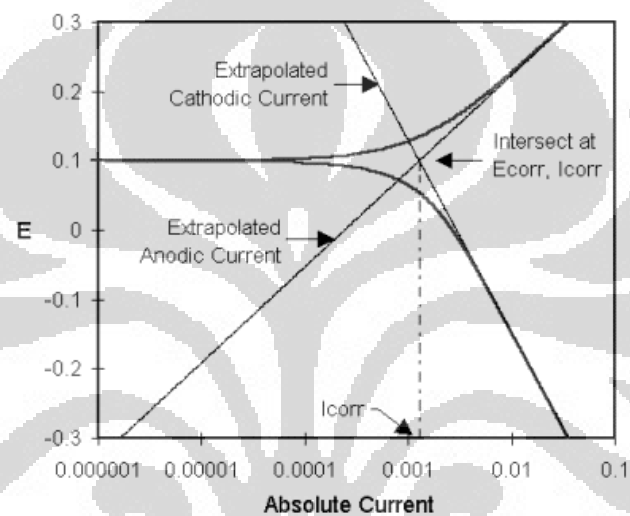
Dengan:

- mpy = laju korosi dalam milli inchi per tahun
- W = berat yang hilang (gr)
- D = kerapatan ( $\frac{gr}{cm^3}$ )
- A = luas area total terekspos dengan fluida ( $cm^2$ )
- T = waktu (jam)

### 2.12.2 Polarisasi Potensiodinamik

Metode polarisasi potensiodinamik merupakan suatu metode elektrokimia yang dikembangkan berdasarkan pada tingkat polarisasi logam yang berinteraksi dengan

lingkungan korosif. Untuk menentukan tingkat polarisasi suatu logam dilakukan dengan berbagai cara, diantaranya adalah dengan *Tafel Extrapolation* (plot tafel) seperti diilustrasikan Gambar 2.14. Metode pengujian dengan cara tafel banyak diaplikasikan untuk mengukur laju korosi pada media korosif secara cepat. Logam yang kontak dengan medium korosif mengakibatkan adanya reaksi reduksi dan oksidasi pada logam tersebut sehingga akan timbul arus. Arus yang terjadi menghasilkan potensial yang disebut potensial korosi ( $E_{corr}$ ), dimana potensial daerah anoda sama dengan potensial daerah katoda. Keberadaan potensial berlebih disebut dengan overpotensial,  $v$ .



**Gambar 2.14:** Kurva polarisasi Tafel

## BAB 3

### METODE PENELITIAN

Penelitian akan dilakukan di laboratorium korosi jurusan Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Adapun variabel penelitian meliputi: (a). Konsentrasi *inhibitor* (Ekstrak buah mengkudu) 1000ppm, 2000ppm, 3000ppm dan 4000ppm, (b). waktu perendaman, 3,6,9,12 hari dan volume *corrodent* (larutan NaCl 3,5%), 450mL.

Dalam penelitian ini dipergunakan benda uji (*specimen*) baja karbon yang berbentuk pelat dengan ukuran 25mm x 20mm x 1mm, yang dilubangi dengan diameter 3mm pada salah satu ujungnya sebagai gantungan. Komposisi kimia benda uji ditunjukkan pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1:** Komposisi kimia benda uji

Unsur	C	Si	Mn	Cr	Cu	Ni	S	P
Kadar (%)	0,06	0,004	0,289	0,017	0,055	0,024	0,017	0,008

Larutan uji sebagai media korosif dipergunakan larutan NaCl 3,5% dengan penambahan inhibitor ekstrak buah mengkudu. Ekstrak buah mengkudu yang digunakan diperoleh dipasaran yang dijual di apotek dengan komposisi 100% ekstrak buah mengkudu yang kemudian di lakukan pengujian kandungan asam askorbat dengan menggunakan Spektrofotometer Uv-vis di laboratorium kimia FMIPA UI dengan hasil 394,73  $\frac{\mu g}{gr}$  dan juga dilakukan pengujian menggunakan FTIR untuk mengetahui gugus fungsinya. Pengujian FTIR dilakukan departemen metalurgi dan material FTUI.

### 3.1 Peralatan dan Bahan

Dalam melakukan penelitian, diperlukan peralatan dan bahan sebagai berikut:

**Peralatan:**

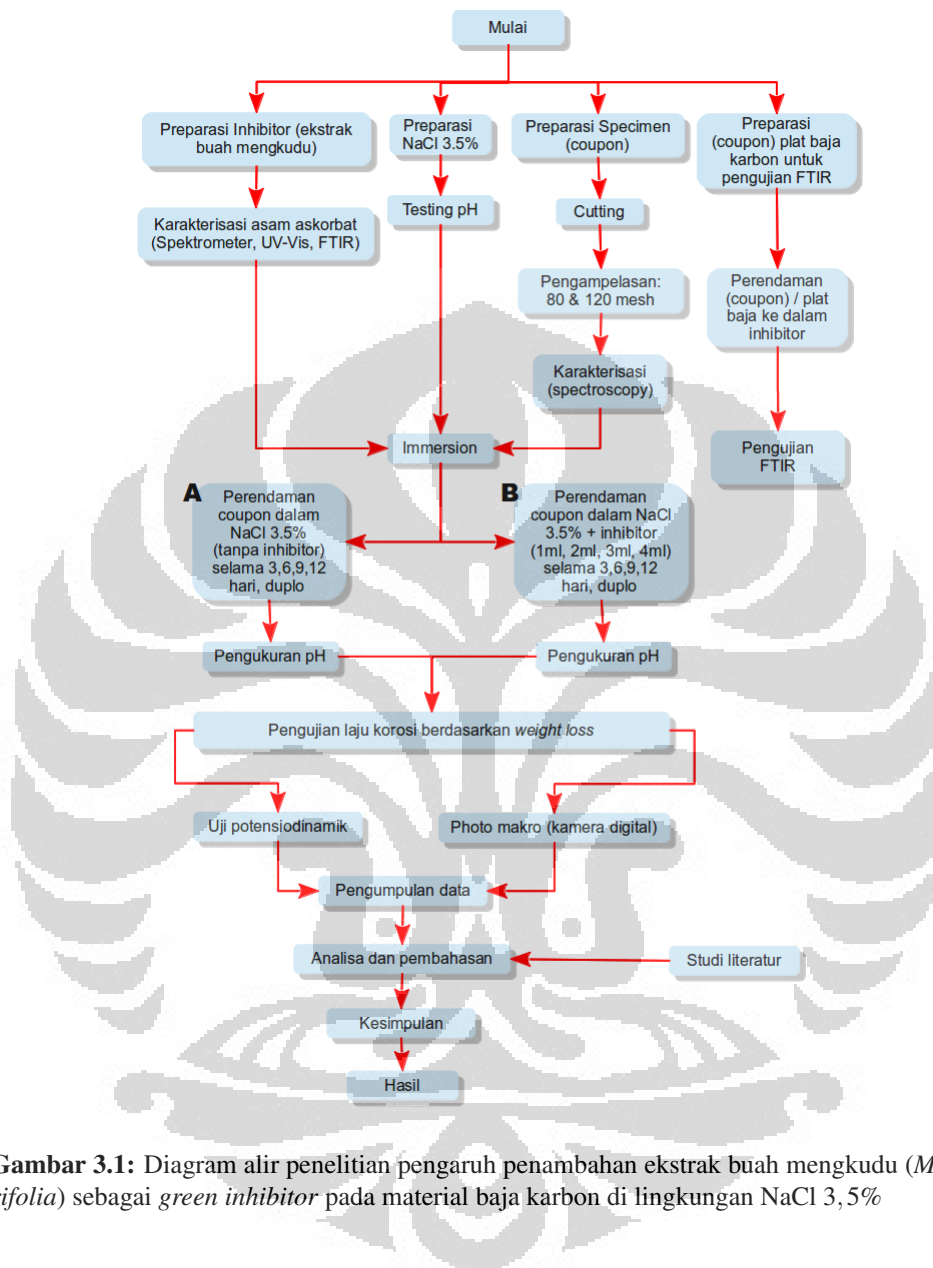
1. Alat pemotong sampel
2. Mesin bor dan mata bor diameter 3mm
3. Mesin (mini grinder) dan kertas amplas 80 dan 120 mesh

4. *Magnetic stirrer*
5. Timbangan digital dengan ketelitian empat digit
6. pH meter digital
7. Botol plastik 500mL
8. Benang dan kertas label
9. Elektroda standar  $\frac{Ag}{AgCl}$
10. Penggaris dan pensil
11. Kamera digital
12. *Beaker glass* dan *Labu Erlenmayer* 100, 500, 1000, 3000ml
13. *Hair dryer*
14. *Ultrasonic agitator*

**Bahan:**

1. Baja karbon rendah, dimensi: 25mm x 20mm x 1mm
2. NaCl 3,5%
3. *Toluene*
4. *Acetone*
5.  $NaHCO_3$
6. HCl 1%
7. Alkohol teknik 70%
8. Garam teknis
9. *Aquades*
10. Ekstrak buah mengkudu

## 3.2 Diagram Alir Penelitian



**Gambar 3.1:** Diagram alir penelitian pengaruh penambahan ekstrak buah mengkudu (*Morinda citrifolia*) sebagai *green inhibitor* pada material baja karbon di lingkungan NaCl 3,5%

## 3.3 Prosedur Kerja

### 3.3.1 Persiapan sample coupon

Pada penelitian ini, material baja karbon yang didapat berupa lembaran berdimensi 250mm x 200mm x 1mm diperlakukan sebagai berikut:

- Sampel dipotong menjadi berukuran 25mm x 20mm x 1mm. Wadah plastik disesuaikan dengan ukuran sampel saat proses pencelupan dimana ukuran



plastik dapat menampung sesuai standar ASTM G31-72 yaitu volume larutan minimal untuk merendam sebuah sampel adalah sebanyak 0,4 kali luas permukaan sampel [?].

- Sampel yang telah dipotong, kemudian dibor dengan mata bor berdiameter 3 mm pada bagian atas untuk menggantungkan sampel dengan benang.
- Sampel diampelas dengan menggunakan kertas amplas 80 dan 120 *mesh*.
- Analisa komposisi coupon dengan menggunakan *spectrometer*.
- Sampel difoto untuk mendapatkan data visual sampel sebelum dilakukan pencelupan seperti diilustrasikan pada Gambar 3.2.
- Penimbangan berat awal sampel dilakukan pada masing-masing sampel ditimbang berat awalnya menggunakan timbangan digital dengan tingkat akurasi empat angka dibelakang koma.

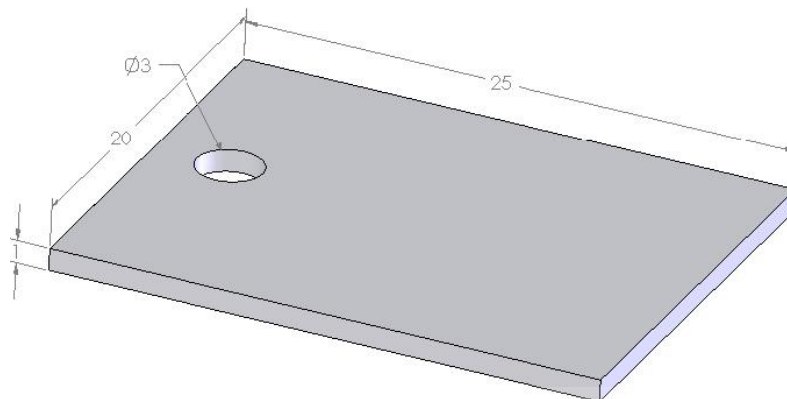


Gambar 3.2: Sampel baja karbon rendah

### 3.3.2 Persiapan uji imersi

Berdasarkan ASTM G31-72 [?], untuk pengujian celup skala laboratorium, volume larutan minimal untuk pengujian adalah seperti Persamaan 3.1:

$$volume\ larutan = 0,4 \times luas\ permukaan\ sample \quad (3.1)$$



**Gambar 3.3:** Bentuk dan ukuran *coupon*

Perhitungan luas permukaan sample adalah sebagai berikut.

$$L = (2pl) + (2pt) + (2lt)(2\pi rt) + (2\pi r^2)$$

$$L = (2 \times 25 \times 20) + (2 \times 25 \times 1) + (2 \times 20 \times 1)(2 \times 3,14 \times 1,5 \times 1) + (2 \times 3,14 \times 1,5^2)$$

$$L = 1066,45 \text{ mm}^2$$

$$\text{Volume minimal} = 0,4 \frac{\text{mL}}{\text{mm}^2} \times 1066,45 \text{ mm}^2 = 426,58 \text{ mL} \sim 425 \text{ mL}$$

Sehingga, volume larutan minimal untuk sebuah sampel dengan luas permukaan  $1066,45 \text{ mm}^2$  adalah  $450 \text{ mL}$ .

### 3.3.3 Preparasi ekstrak buah mengkudu

Proses ekstraksi dari buah mengkudu tidak dilakukan karena inhibitor yang diperoleh telah berbentuk ekstrak yang dapat digunakan secara langsung. Dalam penelitian ini, ekstrak buah mengkudu mempunyai komposisi asam askorbat sebesar  $394,73 \frac{\mu\text{g}}{\text{gr}}$  yang dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer uv-vis. Serta dilakukan pengujian gugus fungsi menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR).

### 3.3.4 Pembuatan Larutan NaCl 3,5%

Larutan NaCl 3,5% di peroleh dengan mencampurkan 35 gr garam NaCl teknis dengan 1000 mL aquadest dalam labu ukur 1 L.

### 3.3.5 Langkah Kerja Uji Rendam (ASTM G31-72) [41]

4 Sampel yang telah dilakukan preparasi, digantung dengan benang dan kemudian dicelupkan kedalam wadah plastik yang telah berisi larutan NaCl 3,5% sebanyak 450 mL pada temperatur ruang, dimana setiap satu sampel direndam pada

1 wadah. Setiap wadah diberi penomoran, dengan perlakuan yang berbeda pada setiap nomornya. Berikut penomoran dan perlakuan yang diberikan.

1. Wadah 3, dengan perendaman sampel selama 3 hari.

- A: pada larutan tidak Ditambahkan inhibitor
- B: ditambahkan 1 mL inhibitor
- C: ditambahkan 2 mL inhibitor
- D: ditambahkan 3 mL inhibitor
- E: ditambahkan 4 mL inhibitor

2. Wadah 6, dengan perendaman sampel selama 6 hari.

- A: pada larutan tidak Ditambahkan inhibitor
- B: ditambahkan 1 mL inhibitor
- C: ditambahkan 2 mL inhibitor
- D: ditambahkan 3 mL inhibitor
- E: ditambahkan 4 mL inhibitor

3. Wadah 9, dengan perendaman sampel selama 9 hari.

- A: pada larutan tidak Ditambahkan inhibitor
- B: ditambahkan 1 mL inhibitor
- C: ditambahkan 2 mL inhibitor
- D: ditambahkan 3 mL inhibitor
- E: ditambahkan 4 mL inhibitor

4. Wadah 12, dengan perendaman sampel selama 12 hari.

- A: pada larutan tidak Ditambahkan inhibitor
- B: ditambahkan 1 mL inhibitor
- C: ditambahkan 2 mL inhibitor
- D: ditambahkan 3 mL inhibitor
- E: ditambahkan 4 mL inhibitor

### 3.3.6 Pengambilan Data dan Pembersihan Sampel [42]

1. Pengukuran pH akhir larutan dengan menggunakan pH meter digital.
2. Keluarkan sampel untuk difoto sebelum melakukan pembersihan.
3. Celupkan sampel kedalam toluene untuk menghilangkan minyak atau *paraffin* pada permukaan sampel. Cuci dengan *acetone* kemudian keringkan dengan *hair dryer*.
4. Masukkan sampel kedalam *beaker glass* berisi larutan HCl 32% 200 ml yang sudah Ditambahkan 2ml inhibitor *baracor* untuk *pickling* dan menghilangkan *scale* dan produk korosi. Masukkan *beaker glass* tersebut kedalam mesin *Ultrasonic Agitator* untuk mempercepat proses.
5. Celupkan sampel kedalam larutan  $\text{NaHCO}_3$  lewat jenuh selama 1 menit untuk menghilangkan suasana asam kemudian bilas dengan *aquadesh*.
6. Cuci sampel dengan *acetone* dan keringkan dengan *hair dryer*.
7. Hitung berat akhir sampel sesudah melakukan pembersihan. Perhitungan laju korosi dengan *weight lost* mengacu pada ASTM G1-03 [43] seperti Persamaan 3.2.

$$\text{Corrosion Rate} = \frac{K.W}{A.T.D} \quad (3.2)$$

- K=Konstanta, yang nilainya berdasarkan laju korosi seperti Tabel 3.2
- T=Waktu perendaman (jam)
- A=Luas permukaan plat ( $\text{cm}^2$ )
- D=Density ( $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ )
- W=Berat yang hilang

**Tabel 3.2:** Nilai konstanta (K) berdasarkan nilai laju korosi

No	Satuan Laju Korosi	Konstanta (K)
1.	Mils per year (mpy)	$3,45 \times 10^6$
2.	Inches per year (ipy)	$3,45 \times 10^3$
3.	Inches per month (ipm)	$2,87 \times 10^2$
4.	Millimeters per year (mm/y)	$8,76 \times 10^4$
5.	Micrometers per year ( $\mu\text{m}/\text{y}$ )	$8,76 \times 10^7$
6.	Picometers per second (pm/y)	$2,78 \times 10^6$
7.	Gram per square meter per hour ( $\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ )	$1,00 \times 10^4 \times D$
8.	Milligrams per square per day (mdd)	$2,40 \times 10^6 \times D$
9.	Micrograms per square per second ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$ )	$2,78 \times 10^6 \times D$

### 3.3.7 Pengujian polarisasi

Prosedur pengujian potensial polarisasi pada injeksi *corrosion inhibitor* yang menghasilkan penurunan laju korosi yang optimal mengacu kepada ASTM G5, *Standard Reference Test Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurement* [44].

1. Pengujian polarisasi menggunakan alat potensiostat merk Gamry seperti diperlihatkan Gambar 3.4.
2. Menuang larutan NaCl 3,5 % kedalam sel polarisasi yang bersih dan kering.
3. Memasang electrode bantu (Carbon), Jembatan garam dan komponen-komponen lain yang kemudian isi jembatan garam dengan larutan.
4. Menyiapkan elektroda kerja, menghaluskannya dengan amplas dan mengulangi pengamplasan agar tidak ada goresan.
5. Menghitung luas permukaan elektroda.
6. Memasang dalam pegangan elektroda (elektroda holder).
7. Membersihkan elektroda.
8. Memasang specimen ke dalam sel pengujian dan atur probe jembatan garam dengan jarak 2 mm atau 2 kali diameter tip.
9. Melakukan pengukuran potensial polarisasi.
10. Membuat plot kurva polarisasi.

11. Mengulangi pengukuran tiga kali kali untuk memastikan konsistensi.



**Gambar 3.4:** Peralatan uji polarisasi potensiodinamik merk GAMRY

### **3.3.8 Analisa Gugus Ikatan Inhibitor dan Logam Menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)**

1. Menyiapan plat sampel baja karbon.
2. Merendam plat baja karbon ke dalam 3 mL ekstrak buah mengkudu dalam 450 mL NaCl 3,5% selama 24 jam.
3. Mengangkat sampel dan keringkan untuk dilakukan pengujian FTIR.
4. Melakukan analisa gugus fungsi berdasarkan spektra bilangan gelombang.

## BAB 4

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian yang mengacu pada prosedur penelitian pada bab 3 maka dihasilkan sejumlah data penelitian baik yang berupa foto, Gambar dan data numerik yang meliputi: data weight loss, laju korosi beserta efisiensi inhibitor, hasil pengujian kandungan asam askorbat dengan Spektroskopi uv-visible, foto makro, Grafik potensiodinamik, *Optical Emission Spectroscopy*, Grafik hasil uji *Fourier Transforms Infrared Spectroscopy* (FTIR).

#### 4.1 Ekstrak Buah mengkudu

Dalam penelitian pemanfaatan ekstrak buah mengkudu sebagai green inhibitor corrosion pada baja karbon di lingkungan NaCl 3,5% dipergunakan ekstrak buah mengkudu yang diperoleh dipasaran, dimana ekstrak buah mengkudu tersebut siap untuk digunakan. Buah mengkudu sendiri diperlihatkan pada Gambar 4.1.



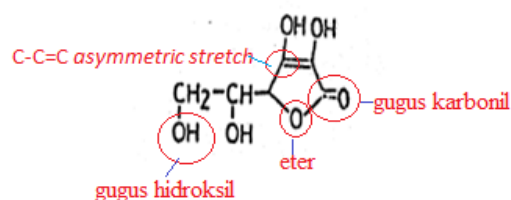
Gambar 4.1: Buah Mengkudu

##### 4.1.1 Bahan Aktif Dalam Ekstrak Buah Mengkudu

Sebagai bahan alam, tanaman mengkudu (*Morinda citrifolia*) diperkirakan mengandung asam askorbat yang merupakan senyawa antioksidan yang baik untuk dimanfaatkan sebagai inhibitor korosi pada baja karbon [45].

##### 4.1.2 Karakterisasi spectra asam askorbat

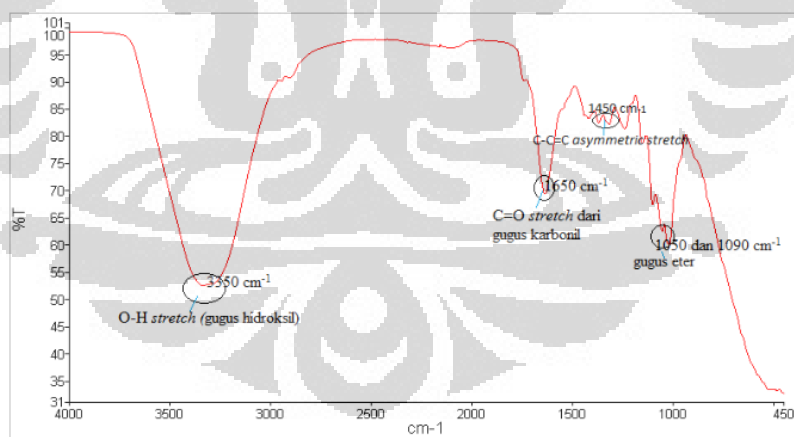
Atom-atom karbon dalam molekul asam askorbat tersusun dengan membentuk struktur siklik seperti terlihat pada rangkaian rantai karbon seperti Gambar 4.2.



**Gambar 4.2:** Struktur Rantai Karbon Asam Askorbat

## 4.2 Pengujian Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Hasil pengujian menggunakan FTIR ditunjukkan pada Gambar 4.3. diperoleh informasi adanya senyawa asam askorbat dalam ekstrak buah mengkudu yang ditunjukkan adanya serapan yang lebar pada bilangan gelombang  $3350\text{cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya gugus hidroksil dari senyawa asam askorbat. Pita serapan pada bilangan gelombang  $1650\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya ikatan  $\text{C}=\text{O}$  stretch dari gugus karbonil. Spektra serapan pada panjang gelombang  $1450\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya ikatan  $\text{C}-\text{C}=\text{C}$  asymmetric stretch dari senyawa aromatic. Spektra serapan pada panjang gelombang  $1050\text{cm}^{-1}$  dan  $1090\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus eter.



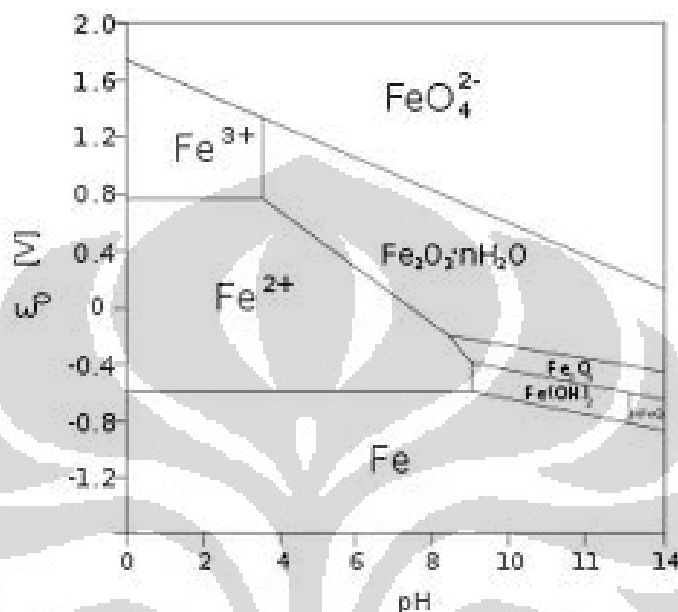
**Gambar 4.3:** Hasil Pengujian FTIR Ekstrak Buah Mengkudu

## 4.3 Korosifitas Lingkungan

$\text{NaCl}$  merupakan golongan garam dimana garam ini akan terdisosiasi sempurna menjadi  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$ . Dengan menggunakan diagram Pourbaix, korosifitas lingkungan dapat diprediksikan berdasarkan hasil pengujian pH dan beda potensial



logam yang ditunjukkan pada Gambar 4.4. Berdasarkan diagram Pourbaix terlihat bahwa logam jika berada di lingkungan NaCl akan terkorosi. Dengan pH 7 dan beda potensial -669,0 mV, maka logam dalam lingkungan NaCl tanpa inhibitor akan terkorosi. Dengan penambahan inhibitor maka akan terjadi pergeseran beda potensial menjadi -559,0 mV.



Gambar 4.4: Korosifitas Lingkungan Berdasarkan Diagram Pourbaix

#### 4.4 Weight Loss, Laju Korosi dan Efisiensi Inhibisi

Pengujian weight loss telah dilakukan terhadap sampel baja karbon dengan variasi konsentrasi ekstrak buah mengkudu, yaitu 1 mL, 2 mL, 3 mL, 4 mL dan waktu perendamannya 3 hari, 6 hari, 9 hari dan 12 hari dengan volume NaCl 450 mL. Pengujian dilakukan seperti terlihat pada Gambar 4.5. Perhitungan laju korosinya dilakukan dengan mengacu pada prosedur standard ASTM G31.



Gambar 4.5: Perendaman Sampel (*Immersion test*)

Hasil pengamatan yang dilakukan terhadap sampel kupon di lingkungan NaCl 3,5% pada *immersion test* seperti terlihat pada Gambar 4.6-Gambar 4.9, masing-masing untuk lama perendaman 3,6,9 dan 12 hari.



**Gambar 4.6:** Uraian rendaman kupon: (1). sebelum direndam, (2). 0 mL, (3). 1 mL, (4). 2 mL, (5). 3 mL, (6). 4 mL



**Gambar 4.7:** Uraian rendaman kupon: (a). sebelum direndam, (b). 0 mL, (c). 1 mL, (d). 2 mL, (e). 3 mL, (f). 4 mL



**Gambar 4.8:** Uraian rendaman kupon: (a). sebelum direndam, (b). 0 mL, (c). 1 mL, (d). 2 mL, (e). 3 mL, (f). 4 mL



**Gambar 4.9:** Uraian rendaman kupon: (a). sebelum direndam, (b). 0 mL, (c). 1 mL, (d). 2 mL, (e). 3 mL, (f). 4 mL

Dari hasil pengamatan yang dilakukan terlihat bahwa telah terjadi interaksi antara logam dengan inhibitor yang ditambahkan ke dalam lingkungan tersebut. Akan tetapi produk korosi terbentuk di beberapa logam. Perendaman pada 12 hari kerja dengan 3 mL memberikan informasi bahwa logam tertutup sempurna oleh inhibitor yang berarti inhibitor telah teradsorpsi di permukaan logam, tidak terlihat adanya produk korosi.

#### 4.4.1 Data *weight loss* dan perhitungan laju korosi

Pengujian dilakukan terhadap logam dengan luas permukaan  $10,67 \text{ cm}^2$  dengan volume NaCl sebanyak 450 mL, selama 3, 6, 9 dan 12 hari. Sedangkan variasi inhibitor

adalah 0, 1, 2, 3 dan 4 mL. Dari hasil pengujian *weight loss* pada waktu 3 hari (72 jam) perendaman, diperoleh informasi bahwa laju korosi terendah diperoleh pada volume inhibitor 2 mL yaitu 3,428 mpy dengan efisiensi 70 %. Hasilnya disajikan pada Tabel 4.1 dengan penjelasan sebagai berikut.

- VI=Volume Inhibitor (mL)
- WL=*Weight Loss* (gr)
- $CR_1$ =*Corrossion Rate* (mpy)
- $CR_2$ =*Rerata Corrossion Rate* (pmy)
- E=Efisiensi (%)

**Tabel 4.1:** Data Hasil Pengujian *Weight Loss* Untuk 3 hari

VI	WL	$CR_1$	$CR_2$	E
0,00	0,020	11,427	10,850	
0,00	0,018	10,284		
1,00	0,014	7,999	6,570	30,000
1,00	0,009	5,142		50
2,00	0,006	3,428	4,285	70,000
2,00	0,009	5,142		50
3,00	0,012	6,856	6,856	40,000
3,00	0,012	6,856		33,330
4,00	0,010	5,713	6,285	50,000
4,00	0,012	6,856		33,330

Untuk pengujian selanjutnya, dengan lama perendaman 6 hari (144 jam), diperoleh informasi bahwa laju korosi terendah diperoleh pada volume inhibitor 2 mL yaitu 1,428 mpy dengan efisiensi 83 %. Hasilnya ditunjukkan pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2:** Data Hasil Pengujian *Weight Loss* Untuk 6 hari

VI	WL	CR <sub>1</sub>	CR <sub>2</sub>	E
0,00	0,016	4,571	6,570	
0,00	0,031	8,570		
1,00	0,005	1,428	2,714	58,330
1,00	0,014	3,999		58,330
2,00	0,011	2,857	2,143	66,667
2,00	0,005	1,428		83,330
3,00	0,009	2,571	3,142	25,000
3,00	0,013	3,714		56,667
4,00	0,008	2,285	3,999	73,330
4,00	0,012	5,713		33,330

Pada pengujian dengan lama perendaman 9 hari (216 jam), diperoleh informasi bahwa laju korosi terendah diperoleh pada volume inhibitor 4 mL yaitu 1,981 mpy dengan efisiensi 50,24 %. Hasilnya diperlihatkan pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3:** Data Hasil Pengujian *Weight Loss* Untuk 9 hari

VI	WL	CR <sub>1</sub>	CR <sub>2</sub>	E
0,00	0,021	3,733	3,856	
0,00	0,019	3,238		
1,00	0,017	3,066	3,152	18,660
1,00	0,016	3,066		22,966
2,00	0,011	2,095	2,228	47,368
2,00	0,012	2,362		40,669
3,00	0,013	2,399	2,333	39,713
3,00	0,012	2,266		43,062
4,00	0,010	1,981	2,266	50,239
4,00	0,013	2,552		35,885

Sedangkan pada pengujian dengan lama perendaman 12 hari (288 jam), Laju korosi paling kecil sebesar 1.385 mpy atau  $0,03710 \frac{mm}{y}$  termasuk laju korosi golongan moderat, dengan efisiensi 76,923%, dengan penambahan inhibitor sebesar 3 mL dan lama waktu perendaman 12 hari. Hal ini sejalan dengan pengukuran menggunakan potensiostat, dimana laju korosi terkecil di peroleh saat penambahan inhibitor 3 mL selama perendaman 12 hari, laju korosinya: 6,679 mpy. Hasilnya disajikan dalam Tabel 4.4. Klasifikasi laju korosi baja karbon [30]

**Tabel 4.4:** Data Hasil Pengujian *Weight Loss* Untuk 12 hari

VI	WL	CR <sub>1</sub>	CR <sub>2</sub>	E
0,00	0,039	5,571	5,299	
0,00	0,035	5,028		
1,00	0,024	3,428	3,428	18,660
1,00	0,024	3,428		22,966
2,00	0,013	1,885	1,585	47,368
2,00	0,009	1,286		40,669
3,00	0,009	1,285	1,385	39,713
3,00	0,010	1.485		43,062
4,00	0,011	1.571	1,578	50,239
4,00	0,011	1,585		35,885

Berdasarkan [24], laju korosi baja karbon dapat dikelompokkan dalam sejumlah kategori seperti diperlihatkan Gambar 4.10.

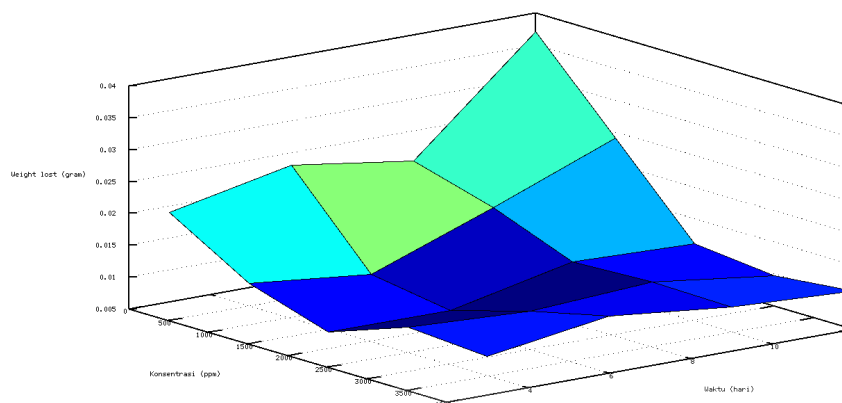
	Average Corrosion Rate		Maximum Pitting Rate (See Paragraph 2.5)	
	mm/y <sup>(A)</sup>	mpy <sup>(B)</sup>	mm/y	mpy
<b>Low</b>	<0.025	<1.0	<0.13	<5.0
<b>Moderate</b>	0.025-0.12	1.0-4.9	0.13-0.20	5.0-7.9
<b>High</b>	0.13-0.25	5.0-10	0.21-0.38	8.0-15
<b>Severe</b>	>0.25	>10	>0.38	>15

<sup>(A)</sup> mm/y = millimeters per year

<sup>(B)</sup> mpy = mils per year

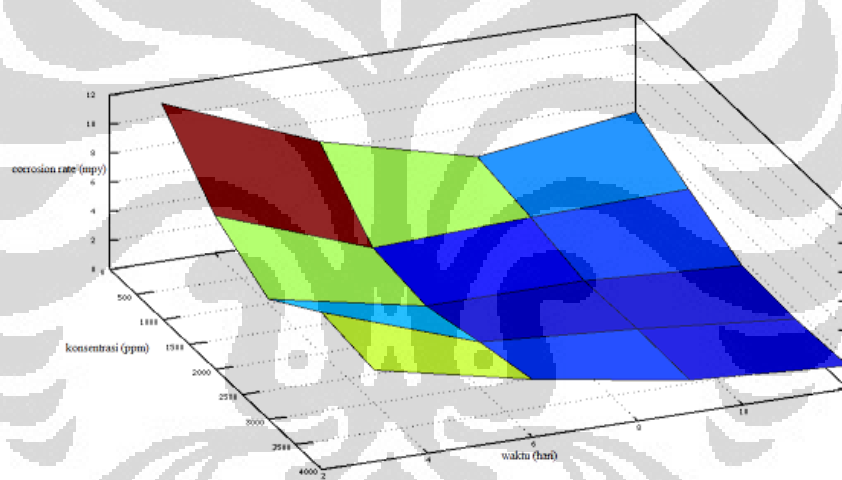
**Gambar 4.10:** Klasifikasi laju korosi baja karbon

Berdasarkan hasil pengujian, diketahui bahwa semakin besar konsentrasi dan semakin lama waktu perendaman, maka *weight loss* cenderung turun. Hal tersebut diperlihatkan pada Gambar 4.11.



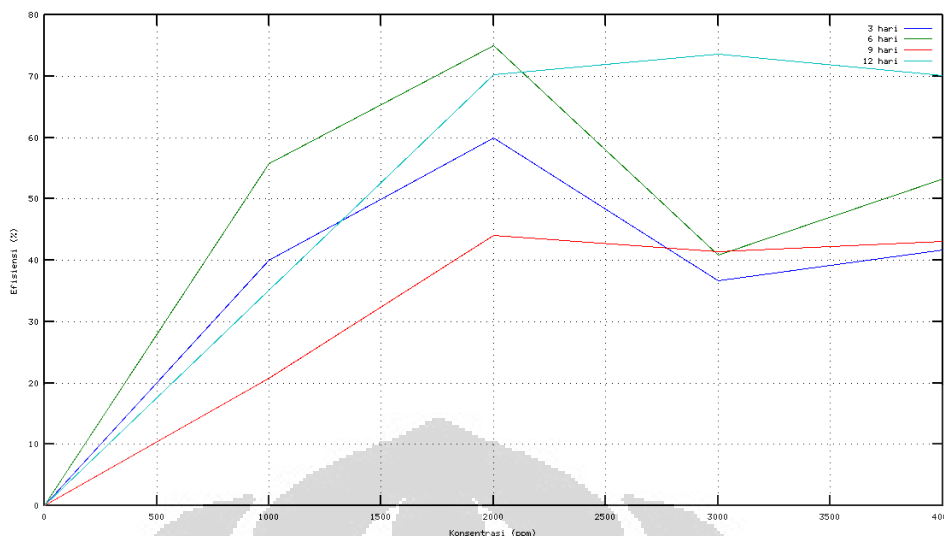
**Gambar 4.11:** Surface Plot *Weight loss* Terhadap Konsentrasi Inhibitor dan Waktu Perendaman

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.12 terlihat adanya hubungan antara konsentrasi, waktu perendaman dan laju korosi. Bahwa semakin besar konsentrasi dan semakin lama waktu perendaman maka laju korosi semakin turun.



**Gambar 4.12:** Surface Plot Laju Korosi Terhadap Konsentrasi Inhibitor dan Waktu Perendaman

Dari Gambar 4.13 terlihat bahwa semakin lama hari semakin besar konsentrasi, efisiensinya semakin cenderung konvergen di satu titik tetapi pada konsentrasi yang rendah, hari yang pendek akan cenderung fluktuatif. Fenomena tersebut merupakan salah satu indikasi kinerja inhibitor organik yang bekerja secara adsorpsi, dimana semakin tinggi konsentrasi inhibitor maka jumlah inhibitor yang teradsorpsi pada permukaan semakin tinggi dan daya tutup semakin besar sehingga daerah permukaan logam yang terekspos secara langsung terhadap media korosif semakin kecil dan laju korosi semakin rendah dan efisiensi semakin besar.



Gambar 4.13: Surface Plot Efisiensi Terhadap Konsentrasi dan Waktu Perendaman

### 4.5 Mekanisme Inhibisi

Kinerja inhibisi corrosion inhibitor dapat dinilai berdasarkan efektifitas inhibitor tersebut dalam proses adsorpsi pada permukaan logam. Adsorpsi yang terjadi pada permukaan yang terkorosi tidak akan pernah mencapai pada kondisi kesetimbangan [46]. Ketika laju korosi rendah, adsorpsi seolah-olah telah mencapai kesetimbangan, sehingga model adsorpsi dapat diamati secara termodinamika berdasarkan suatu model kesetimbangan isothermal yang sesuai. Pemodelan matematis adsorpsi isothermal inhibitor pada permukaan logam ditunjukkan pada Gambar 4.14 [24].

Name	Isotherm*	Verification plot
Langmuir	$\theta/(1 - \theta) = \beta c$	$\theta/(1 - \theta)$ vs $\log c$
Frumkin	$[\theta/(1 - \theta)]e^{\beta} = \beta c$	$\theta$ vs $\log c$
Bockris-Swinkels	$\theta/(1 - \theta)^n [[\theta + n(1 - \theta)]^{n-1}/n^n] = ce^{-\beta/55.4}$	$\theta/(1 - \theta)$ vs $\log c$
Temkin	$\theta = (1/f) \ln Kc$	$\theta$ vs $\log c$
Virial Parson	$\theta e^{2\beta\theta} = \beta c$	$\theta$ vs $\log(\theta/c)$

\* $\theta$ , % P/100, surface coverage;  $\beta$ ,  $\Delta G/2.303 RT$ ;  $\Delta G$ , free energy of adsorption;  $R$ , gas constant;  $T$ , temperature;  $c$ , bulk inhibitor concentration;  $n$ , number of water molecules replaced per inhibitor molecule;  $f$ , inhibitor interaction parameter (0, no interaction; + attraction; and -, repulsion);  $K$ , constant and % P = 1 inhibited corrosion rate/uninhibited corrosion rate.

Gambar 4.14: Tabel pemodelan matematis isothermal adsorpsi inhibitor

## 4.6 Isothermal Langmuir [47]

Adsorpsi isothermal memberikan informasi hubungan antar molekul yang teradsorpsi pada permukaan logam. Didalam sistem padatan atau cairan, molekul-molekul cairan secara kontinyu menabrak permukaan padatan dan sebagian molekul tersebut akan menempel pada permukaan. Kesetimbangan akan tercapai pada waktu dimana laju adsorpsi sama dengan laju desorpsi. Pada kondisi kesetimbangan inilah diperkirakan menghasilkan efisiensi inhibitor yang maksimum.

Proses adsorpsi dibatasi oleh daya tutup (*coverage*) oleh lapisan monomolekular, maka permukaan logam dapat dibagi menjadi dua area: bagian yang tertutup oleh molekul yang teradsorpsi ( $\theta$ ) serta bagian yang kosong atau terbuka ( $1 - \theta$ ). Sehingga laju adsorpsi per luas permukaan total,  $ra = kc(1 - \theta)$  dan laju desorpsinya  $rd = k\theta$ . Jumlah molekul yang teradsorpsi pada saat kesetimbangan diperoleh berdasarkan persamaan  $ra$  dan  $rd$ , yang disebut isothermal Langmuir yang diformulasikan dalam Persamaan 4.1.

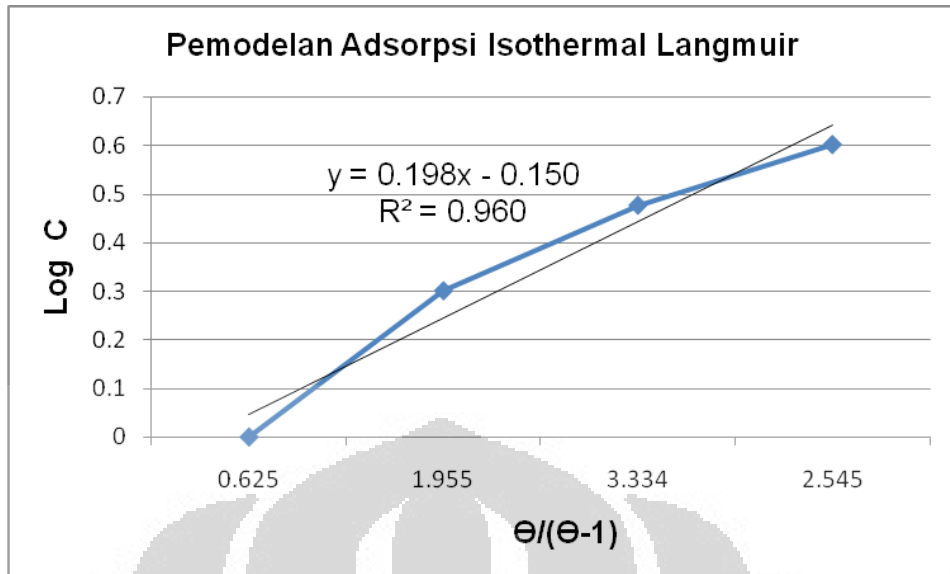
$$\theta = \frac{kc}{k' + kc} = \frac{Kc}{1 + Kc} = \frac{v}{v_m} \quad (4.1)$$

$K = \frac{k}{k'}$  merupakan konstanta kesetimbangan adsorpsi atau  $K_{ads}$ . Daerah  $\theta$  identik dengan luas permukaan yang tertutup oleh inhibitor yang teradsorpsi (*coverage area*) dan terhadap efisiensi inhibitor,  $c$  merupakan konsentrasi inhibitor. Sehingga isothermal Langmuir dapat dirumuskan seperti Persamaan 4.2.

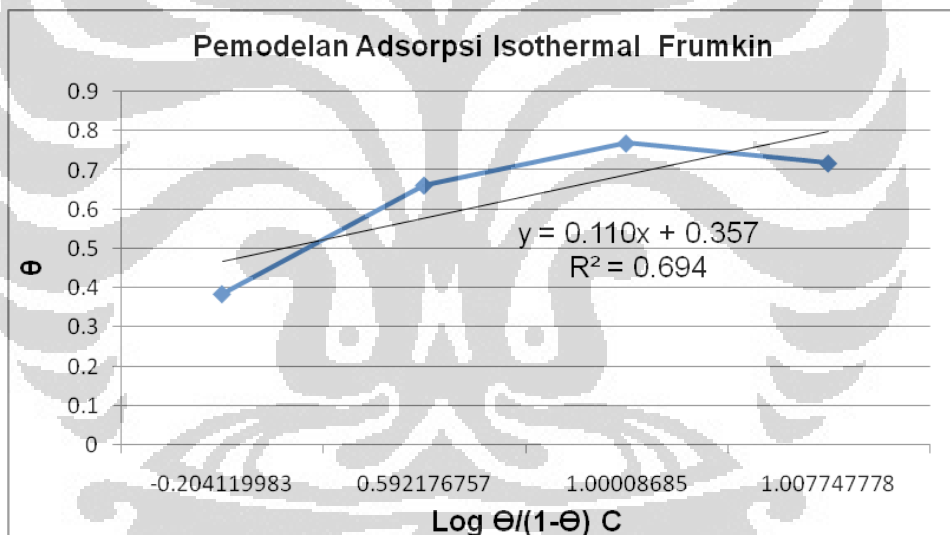
$$\frac{c}{\theta} = \frac{1}{K_{ads}} + c \quad (4.2)$$

Persamaan 4.2 merupakan bentuk garis lurus,  $y = ax + b$ . Dimana  $y = \frac{c}{\theta}$  dan  $x = c$ , dan  $\frac{1}{K_{ads}}$  merupakan intercept. Plot  $\frac{\theta}{\theta - 1}$  vs  $\log C$ , yang ditunjukkan pada Gambar 4.15 menghasilkan garis lurus. Kondisi ini menunjukkan bahwa kinerja atau efek inhibisi ekstrak buah mengkudu mengikuti mekanisme adsorpsi. Plot  $\frac{\theta}{\theta - 1}$  vs  $\log C$  untuk pemodelan adsorpsi isothermal Frumkin dan Temkin diperlihatkan di Gambar 4.16 dan Gambar 4.17.

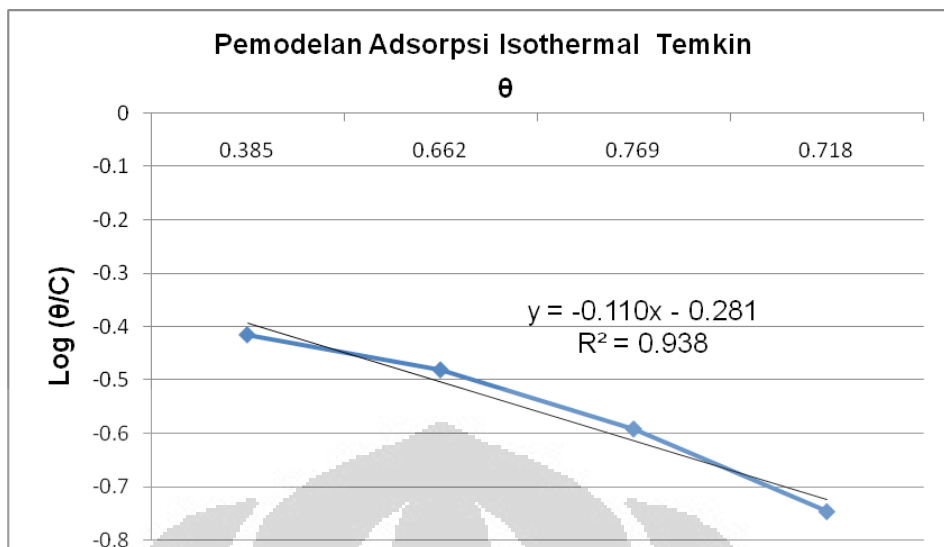




**Gambar 4.15:** Grafik Adsorpsi Isothermal Langmuir  $\frac{\theta}{\theta-1}$  vs  $\log C$



**Gambar 4.16:** Grafik Adsorpsi Isothermal Frumkin  $\frac{\theta}{\theta-1}$  vs  $\log C$



**Gambar 4.17:** Grafik Adsorpsi Isothermal Temkin  $\frac{\theta}{\theta-1}$  vs  $\log C$

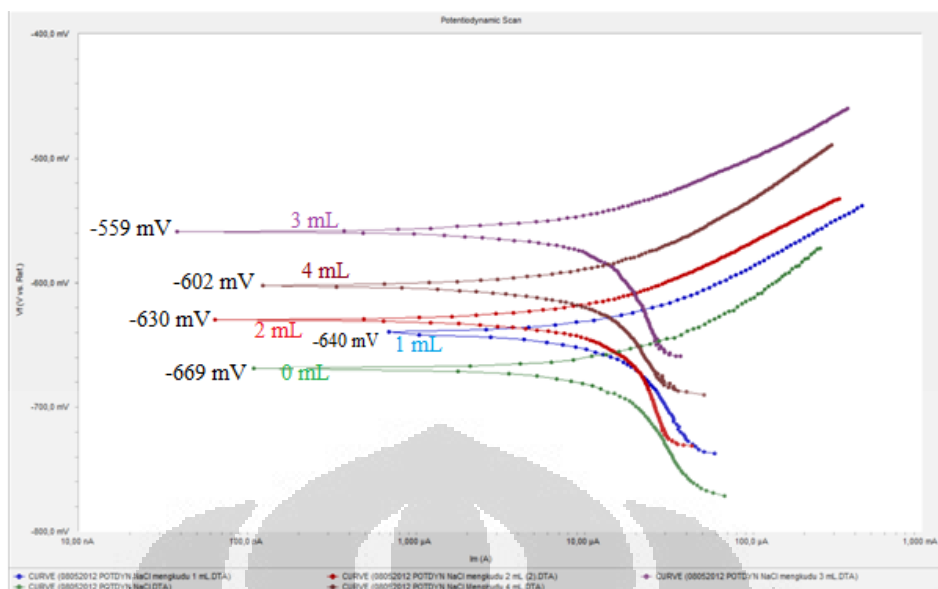
Sedangkan parameter isothermal Langmuir untuk lama perendaman 12 hari diperlihatkan pada Tabel 4.5, dengan C, CR, E dan  $\theta$  masing-masing adalah konsentrasi inhibitor, *Corrosion Rate*, Efisiensi dan *Conv. Area*.

**Tabel 4.5:** Parameter isothermal Langmuir untuk perendaman 12 hari

C (mL)	Log C	CR (mpy)	E (%)	$\theta$	$\frac{\theta}{1-\theta}$	$\frac{C}{\theta}$
0		5,571				
1	3	3,434	38,461	0,385	0,625	2660
2	3,301	1,885	66,154	0,662	1,955	3023,2
3	3,477	1,280	76,923	0,769	3,334	3899,9
4	3,602	1,571	71,795	0.718	2,545	5571,4

## 4.7 Pengujian Polarisasi Potensiodinamik

Pengujian polarisasi telah dilaksanakan di Lab. Korosi, Pusat Penelitian Metalurgi-LIPI untuk sampel tanpa inhibitor dan sampel dengan inhibitor 1 mL, 2 mL, 3 mL, 4 mL dengan waktu perendaman 3, 6, 9 dan 12 hari dengan volume NaCl 3,5% sebesar 450 mL. Kurva polarisasi dengan dan tanpa inhibitor digabungkan menjadi satu Grafik agar mudah dibandingkan. Hasil Kurva polarisasi gabungan ditunjukkan pada Gambar 4.18.



**Gambar 4.18:** Kurva polarisasi gabungan tanpa dan dengan inhibitor 1 mL, 2 mL, 3 mL dan 4 mL

Berdasarkan hasil pengujian polarisasi menunjukkan bahwa penambahan inhibitor ekstrak buah mengkudu dengan konsentrasi 1 mL, 2 mL, 3 mL dan 4 mL ke dalam larutan NaCl 3,5% mampu menggeser potensial korosi ke arah positif dari -669,0 mV tanpa inhibitor menjadi -640,0 mV pada inhibitor 1 mL, -630,0 mV pada inhibitor 2 mL, -559,0 mV pada inhibitor 3 mL dan pada konsentrasi inhibitor 4 mL, potensial korosi bergeser ke arah lebih negatif kembali yaitu pada -602,0 mV. Ditinjau dari pergeseran Kurva polarisasi potensiodynamik tersebut, terlihat bahwa telah terjadi pergeseran potensial korosi yang menunjukkan bahwa inhibitor tersebut termasuk jenis tipe inhibitor campuran (*mixed inhibitor*). Pergeseran potensial tersebut cenderung ke arah anodik, jadi inhibitor termasuk tipe *mixed inhibitor* cenderung anodik.

Injeksi inhibitor juga dapat menurunkan laju korosi dari laju korosi 20,94 mpy tanpa inhibitor menjadi 6,679 mpy pada 3 mL dengan efisiensi sebesar 68,0761%. Penambahan inhibitor dilakukan secara bertahap, mulai dari 1 mL, 2 mL, 3 mL dan 4 mL. Ternyata dihasilkan laju korosi yang berbeda-beda, semakin besar konsentrasi inhibitor maka laju korosinya semakin berkurang. Akan tetapi laju korosi cenderung naik pada saat injeksi inhibitor dengan konsentrasi 4 mL. Besarnya laju korosi diperoleh dengan pengujian polarisasi, ditunjukkan pada table 4.6. Hal ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi 3 mL merupakan titik optimum inhibitor dalam melindungi logam terhadap proses korosi.

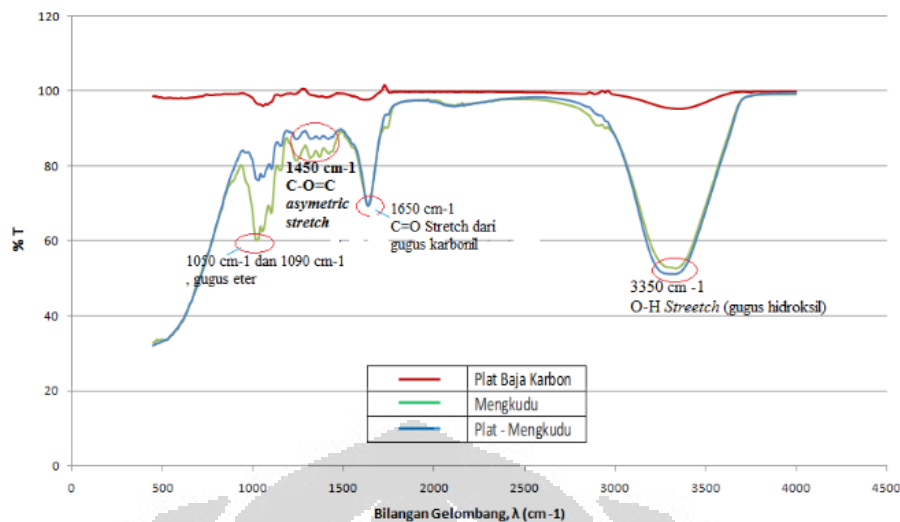
**Tabel 4.6:** Hasil polarisasi baja karbon pada lingkungan NaCl 3,5% tanpa injeksi inhibitor dan dengan injeksi inhibitor 1 mL, 2 mL, 3 mL dan 4 mL

Larutan	$E_{corr}$	$I_{corr}$	$\beta_a$	$\beta_c$	CR	Eff
	(mV)	( $\frac{\mu A}{cm^2}$ )	( $\frac{mV}{dec}$ )	( $\frac{mV}{dec}$ )	(mpy)	(%)
tanpa inhibitor	-669,0	47,30	$118,7e^{-3}$	90,80	20,94	-
+ inhibitor 1 mL	-640,0	28,60	$85,40e^{-3}$	$489,2e^{-3}$	12,67	39,5348
+ inhibitor 2 mL	-630,0	21,20	$84,10e^{-3}$	$465,4e^{-3}$	9,389	55,1797
+ inhibitor 3 mL	-559,0	15,10	$69,90e^{-3}$	$312,9e^{-3}$	6,679	68,0761
+ inhibitor 4 mL	-602,0	20,00	$94,50e^{-3}$	$369,6e^{-3}$	8,865	57,716

#### 4.8 Pengujian FTIR Plat Baja Karbon dengan Ekstrak Buah Mengkudu

Pengujian plat baja karbon yang direndam ekstrak buah mengkudu dimaksudkan untuk mengetahui ikatan yang mungkin terjadi dan gugus fungsi molekul asam askorbat dengan permukaan logam. Dalam setiap molekul asam askorbat terdapat daerah-daerah yang mampu berinteraksi dengan ion-ion logam. sebagai contoh adalah gugus hidroksi (OH) yang berikatan dengan rantai karbon utama dan gugus karbonil pada cincin C. Pengujian *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) dimaksudkan untuk mengidentifikasi keberadaan gugus fungsi dan ikatan kimia dalam suatu sampel.

Dengan membandingkan spektra adsorpsi ekstrak buah mengkudu dengan spektra adsorpsi plat baja karbon yang direndam ekstrak buah mengkudu maka dapat diamati kemungkinan adanya ikatan antara inhibitor dengan permukaan logam. Hasil uji FTIR ekstrak buah mengkudu-plat baja karbon seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.19.



**Gambar 4.19:** Hasil Pengujian FTIR Plat Baja Karbon yang Telah Diredam Ekstrak Buah Mengkudu

Spektra metal karbonil (M-CO) diketahui dengan bilangan gelombang 1650  $\text{cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya *C-O stretching*. *Stretching* bilangan gelombang pada pusat ligan karbonil di dalam kompleks berhubungan dengan logam yang kaya akan elektron. Logam Fe akan mampu berikatan dengan atom O pada gugus karbonil serta gugus hidroksil dan membentuk senyawa kompleks yang menghasilkan spektra adsorpsi pada bilangan gelombang disekitar 3350  $\text{cm}^{-1}$  dan 1650  $\text{cm}^{-1}$ . Kondisi ini dapat mengkonfirmasi bahwa ekstrak buah mengkudu dapat berfungsi sebagai *green inhibitor corrosion* karena kandungan asam askorbatnya. Elektron-elektron valensi pada atom-atom O dari gugus karbonil dan hidroksil disumbangkan ke dalam orbital d pada logam besi yang kosong dan membentuk ikatan kovalen koordinat. Hubungan gugus fungsi terhadap bilangan gelombang disajikan dalam Tabel 4.7.

**Tabel 4.7:** Gugus Fungsi terhadap Bilangan Gelombang

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ )
C-O, <i>stretch</i> pada ether	1050, 1090
C-C=C, <i>asimetric stretch</i> pada aromatik	1450
C=O, <i>stretch</i> keton (karbonil)	1650
O-H, <i>stretch</i> (hidroksil)	3350

## BAB 5

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian diatas maka dapat diambil kesimpulan :

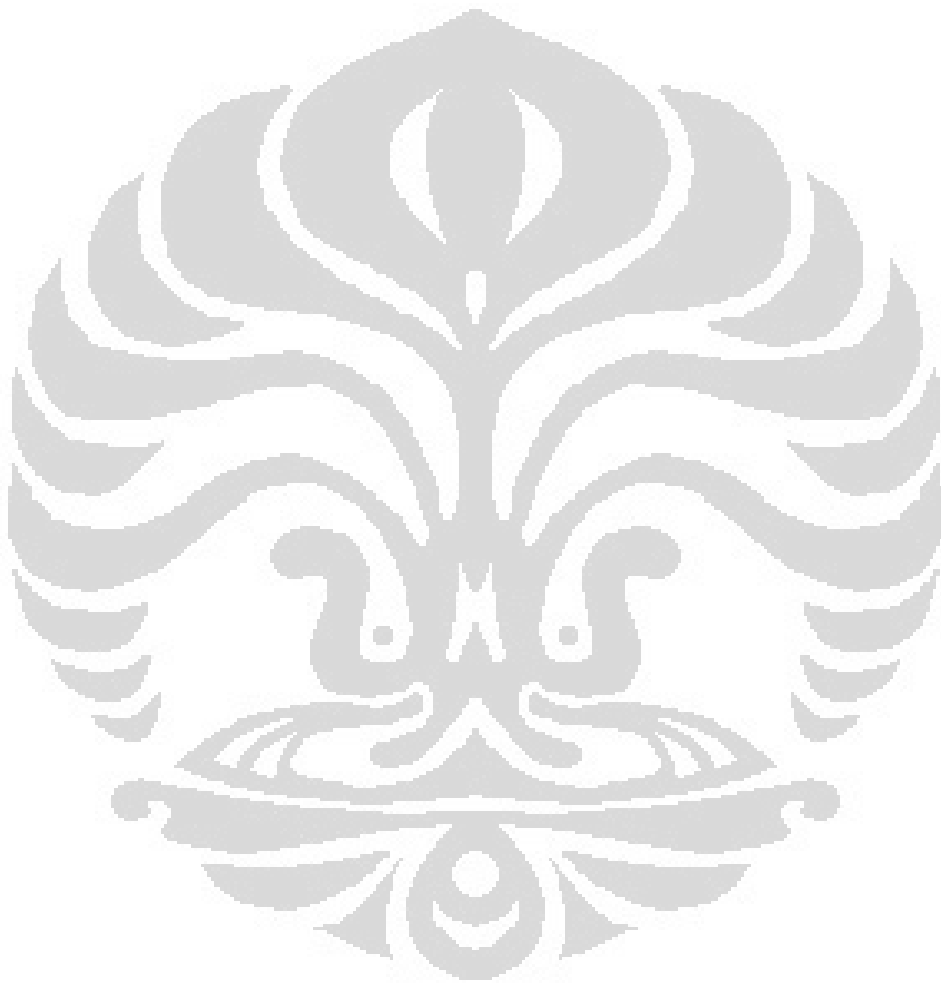
1. Ekstrak buah mengkudu dapat dimanfaatkan sebagai *green inhibitor corrosion* pada baja karbon rendah di lingkungan NaCl 3,5%.
2. *Weight loss* pada baja karbon berbanding terbalik dengan konsentrasi inhibitor, semakin besar konsentasi inhibitor yang diinjeksikan dan semakin lama waktu perendaman maka *weight loss* semakin kecil. Laju korosi terendah diperoleh pada konsentrasi 3 mL dengan masa perendaman 12 hari, yaitu 1,3855 mpy atau  $0,0037 \frac{mm}{y}$  dengan efisiensinya 76,9%.
3. Pada pengujian menggunakan polarisasi diperoleh informasi bahwa laju korosi berbanding terbalik dengan konsentrasi inhibitor. Semakin besar konsentrasi inhibitor yang diinjeksikan maka laju korosinya semakin kecil. Laju korosi terendah diperoleh pada konsentrasi inhibitor sebesar 3 mL, yaitu: 6,679 mpy dengan efisiensi 68,08 %.
4. Mekanisme inhibisi inhibitor ekstrak buah mengkudu pada permukaan baja karbon dapat diamati dari kurva polarisasi yang memberikan informasi bahwa inhibitor dari ekstrak buah mengkudu termasuk *mixed type inhibitor* yang merupakan ciri khas inhibitor organik dengan model adsorpsi Langmuir yang menunjukkan telah terbentuk lapisan *monolayer*.
5. Unjuk kerja ekstrak buah mengkudu sebagai inhibitor karena kandungan bahan aktif asam askorbat yang mampu membentuk *metal complex* dengan logam Fe.

Penelitian ini masih merupakan penelitian awal yang masih perlu dilakukan penelitian lanjut, yang meliputi:

1. Dilakukan variasi temperatur dalam pengujian laju korosi baja karbon terhadap inhibitor ekstrak buah mengkudu.
2. Perlu dilakukan pengujian dengan lingkungan dan spesimen yang beragam.



**LAMPIRAN 1: ANALISIS EKSTRAK BUAH MENGGUDU  
MENGUNAKAN UV**







## LAB AFILIASI KIMIA UI

Departemen Kimia FMIPA-Universitas Indonesia  
Jasa Analisa, Konsultasi dan Pelatihan

Gedung G Lt. Dasar Dept. Kimia FMIPA-Universitas Indonesia, Depok 16424  
Telp. (021) 787 2720 Fax. (021) 787 2720, (021) 786 3432

---

---

### ANALYTICAL REPORT

Job. Number :  
107 / III / 012

Prepared For :

**Ibu Rahayu Kusumasuti**

Date : March 30<sup>th</sup>, 2012

Page 1 of 2

LAB AFILIASI KIMIA UI

Universitas Indonesia



## LAB AFILIASI KIMIA UI

Departemen Kimia FMIPA-Universitas Indonesia  
Jasa Analisa, Konsultasi dan Pelatihan

Gedung G Lt. Dasar Dept. Kimia FMIPA-Universitas Indonesia, Depok 16424  
Telp. (021) 787 2720 Fax. (021) 787 2720, (021) 786 3432

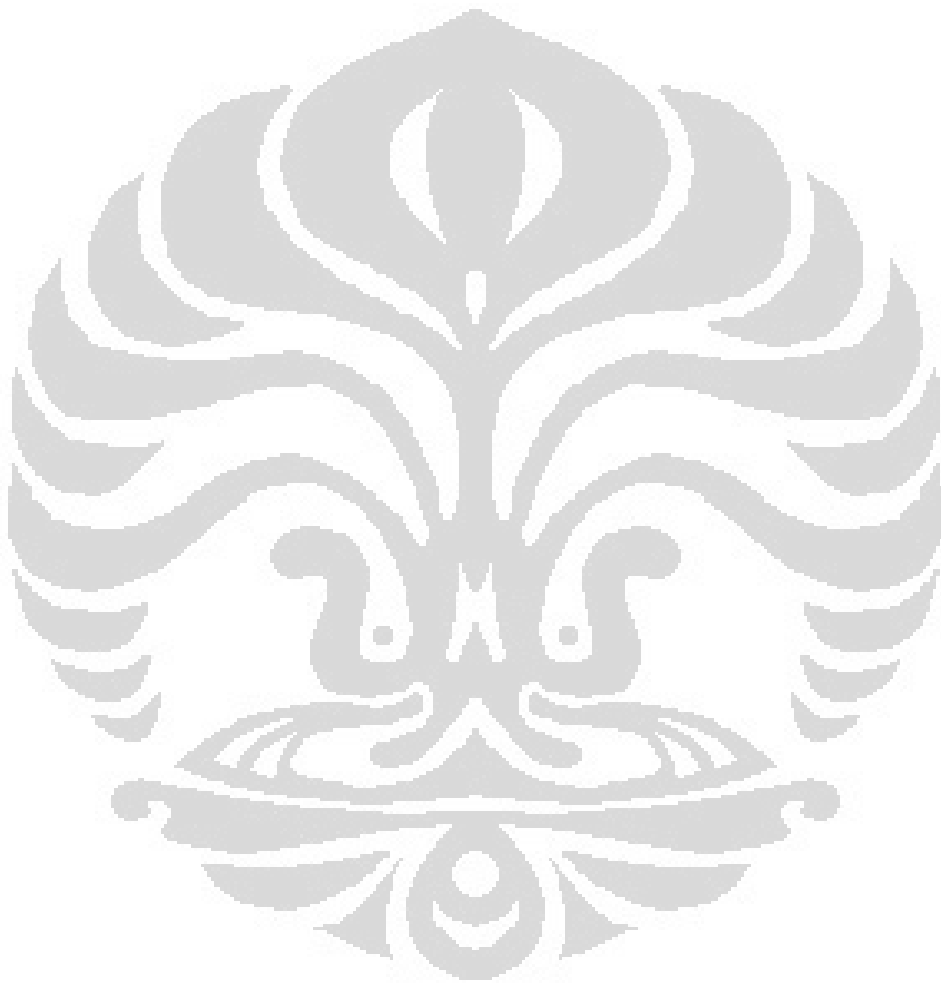
### LABORATORY TEST RESULTS

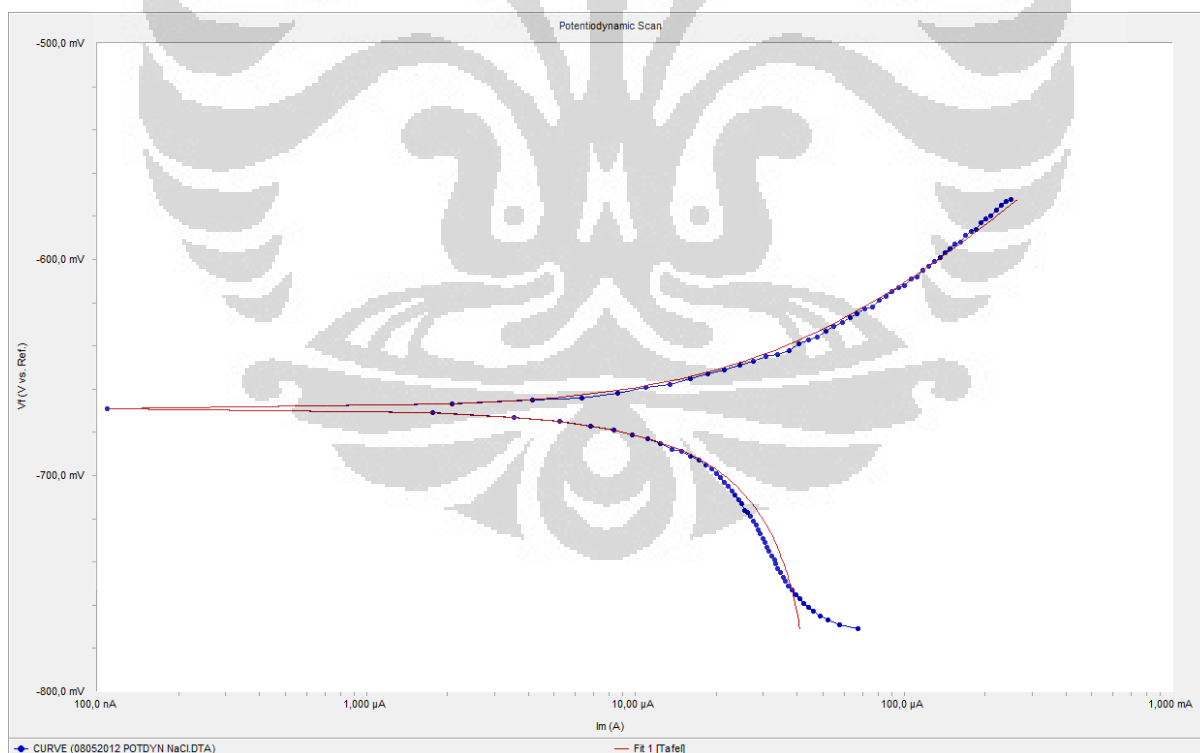
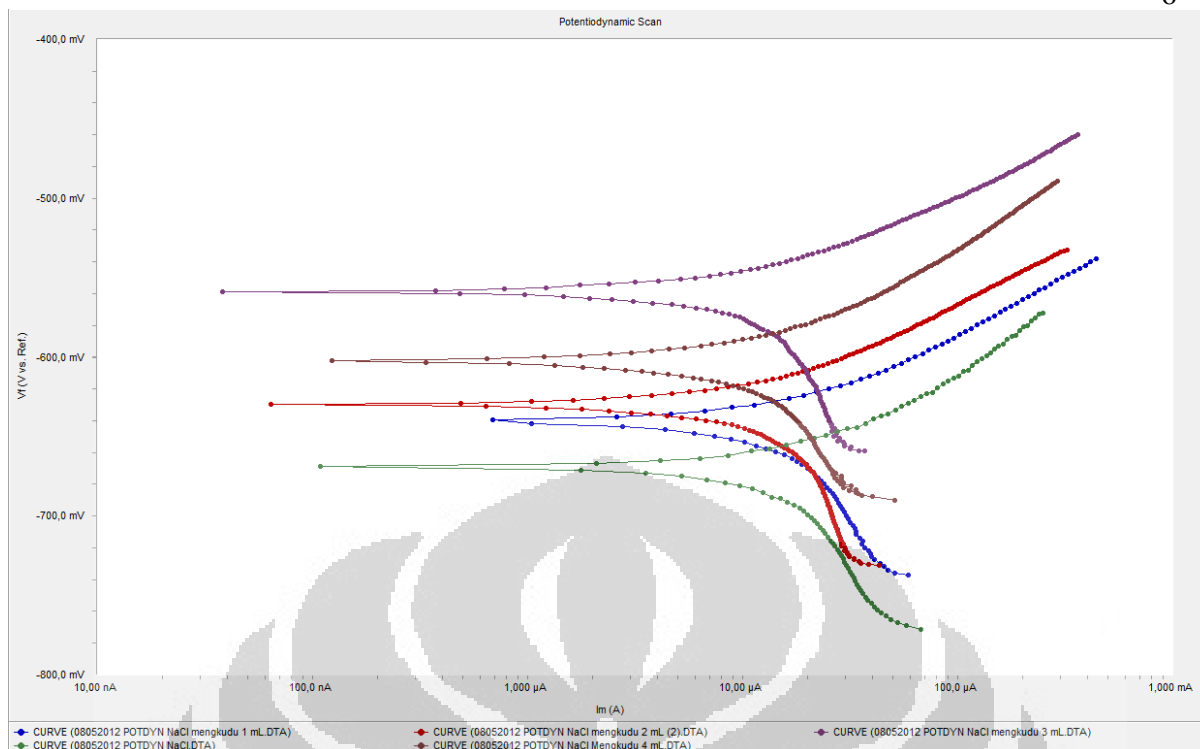
Job. Number	: 107 / III / 012	Date	: 30 - 03 - 2012	
Customer	: Ibu Rahayu Kusumasuti	Attention	:	
Sample Code	: Mengkudu			
Date Received	: 09 - 03 - 2012			
Sample Matrix	: Blood			
No.	Parameters	Sample Result	Unit	Method
1.	Asam Askorbat	394.73	µg/g	Spectrofotometry UV- Vis

March 30<sup>th</sup> 2012

**Drs. Sunardi M.Si**  
Director

## LAMPIRAN 2: DATA POLARISASI





Beta A  $118,7e-3$  V/decade

Beta C  $90,80$  V/decade

Icorr  $47,30$   $\mu$ A

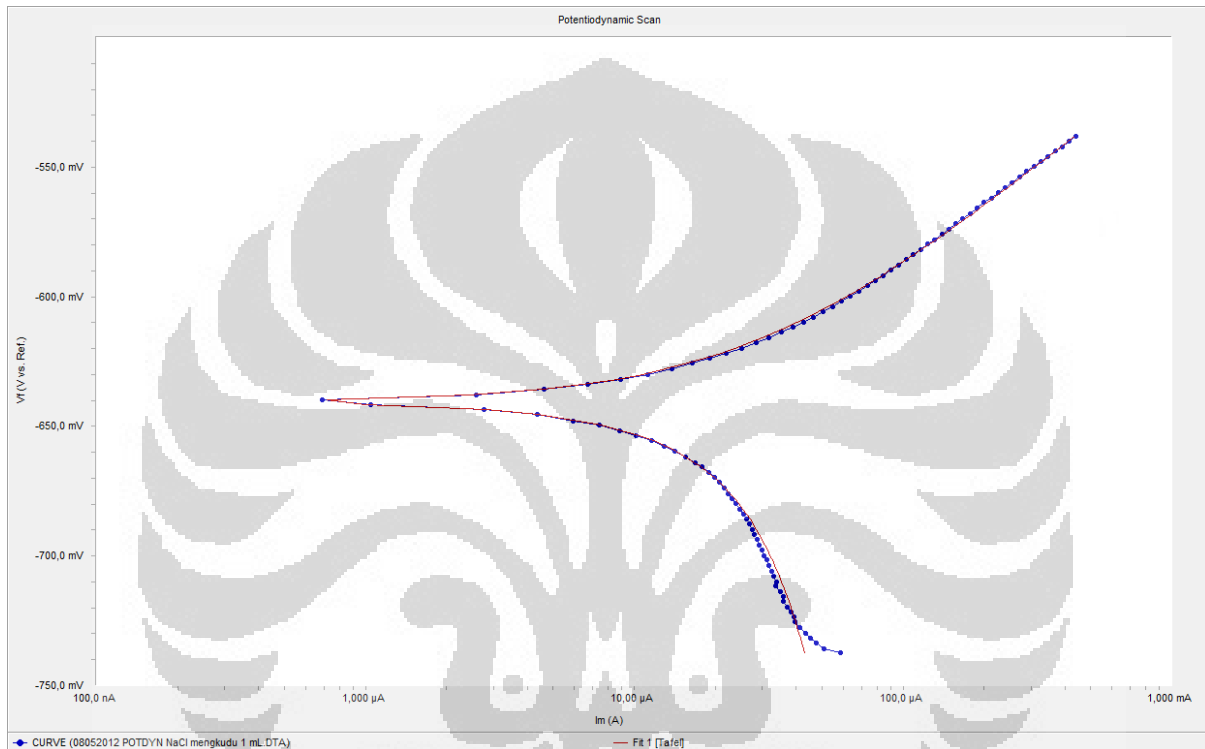
Ecorr -669,0 mV

Corrosion Rate 20,94 mpy

Chi Squared 715,0e-3

Data File 08052012 Tafel NaCl.DTA

Fit Status BetaC is large. This result suggests diffusion control.



Beta A 85,40e-3 V/decade

Beta C 489,2e-3 V/decade

Icorr 28,60  $\mu$ A

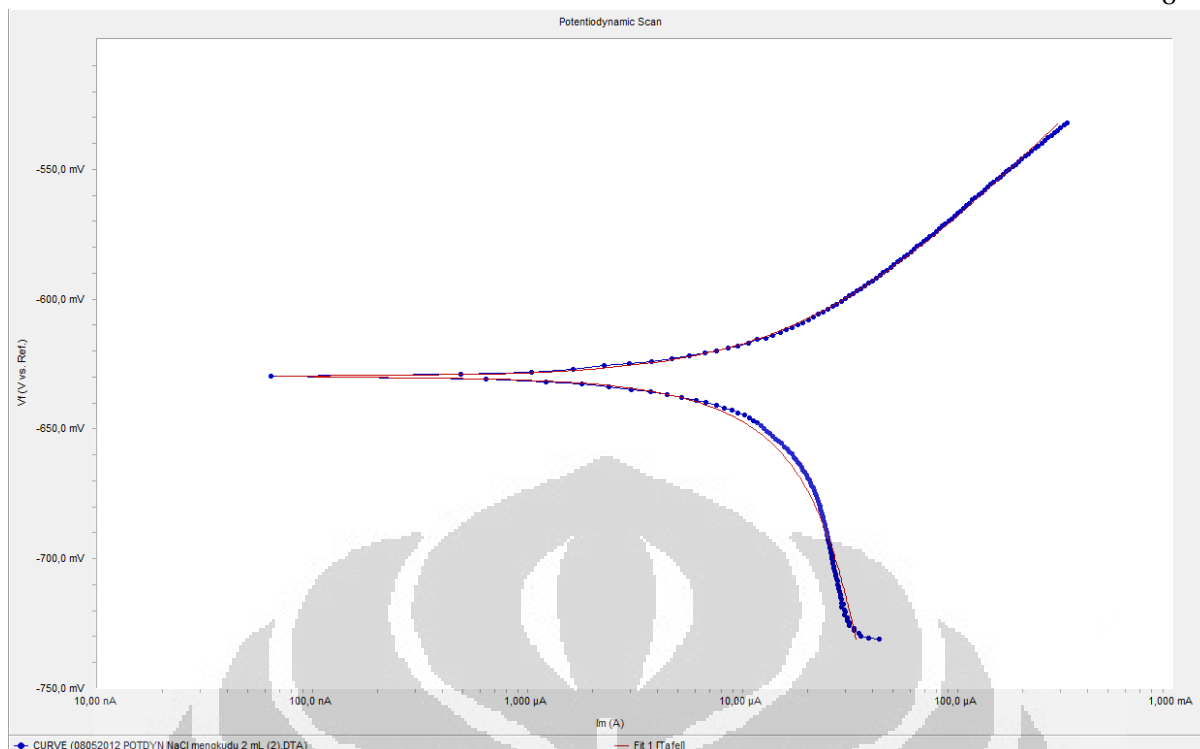
Ecorr -640,0 mV

Corrosion Rate 12,67 mpy

Chi Squared 221,5e-3

Data File 08052012 POTDYN NaCl mengkudu 1 mL.DTA





Beta A  $84,10e-3$  V/decade

Beta C  $465,4e-3$  V/decade

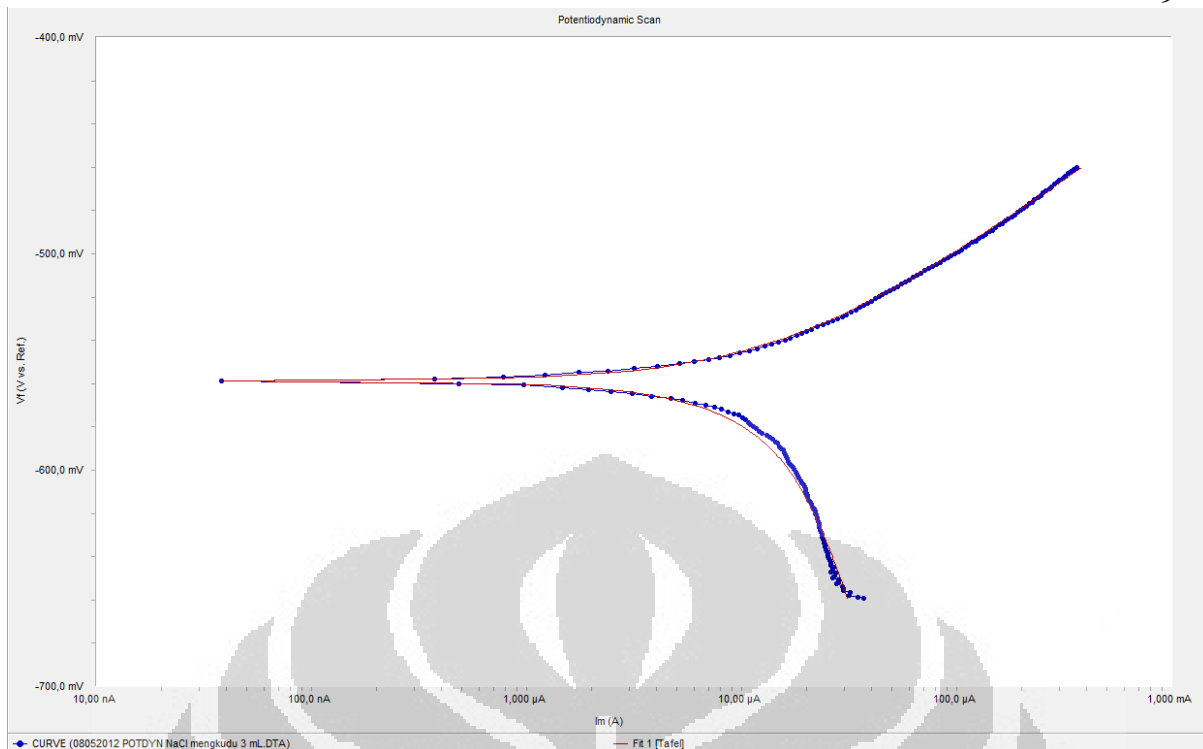
Icorr  $21,20 \mu\text{A}$

Ecorr  $-630,0$  mV

Corrosion Rate  $9,389$  mpy

Chi Squared  $1,094$

Data File 08052012 POTDYN NaCl mengkudu 2 mL (2).DTA



Beta A  $69,90e-3$  V/decade

Beta C  $312,9e-3$  V/decade

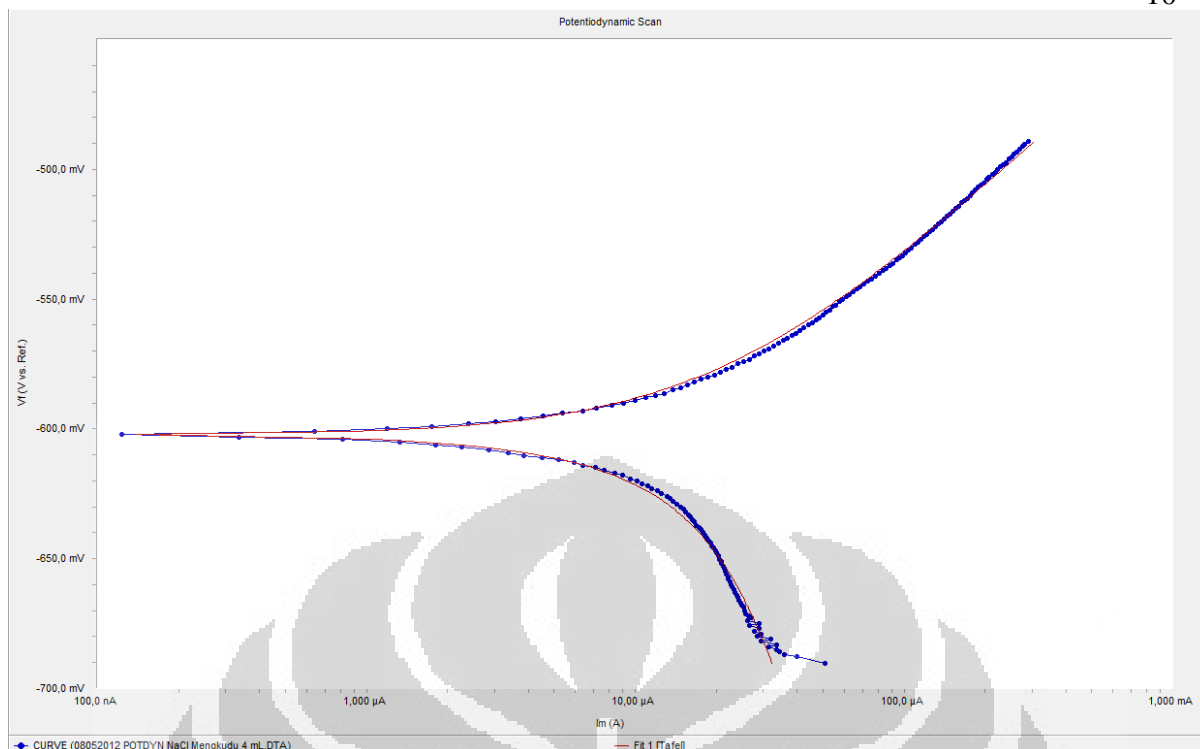
Icorr  $15,10 \mu\text{A}$

Ecorr  $-559,0$  mV

Corrosion Rate  $6,679$  mpy

Chi Squared  $1,856$

Data File 08052012 POTDYN NaCl mengkudu 3 mL.DTA



Beta A  $94,50e-3$  V/decade

Beta C  $369,6e-3$  V/decade

Icorr  $20,00 \mu\text{A}$

Ecorr  $-602,0$  mV

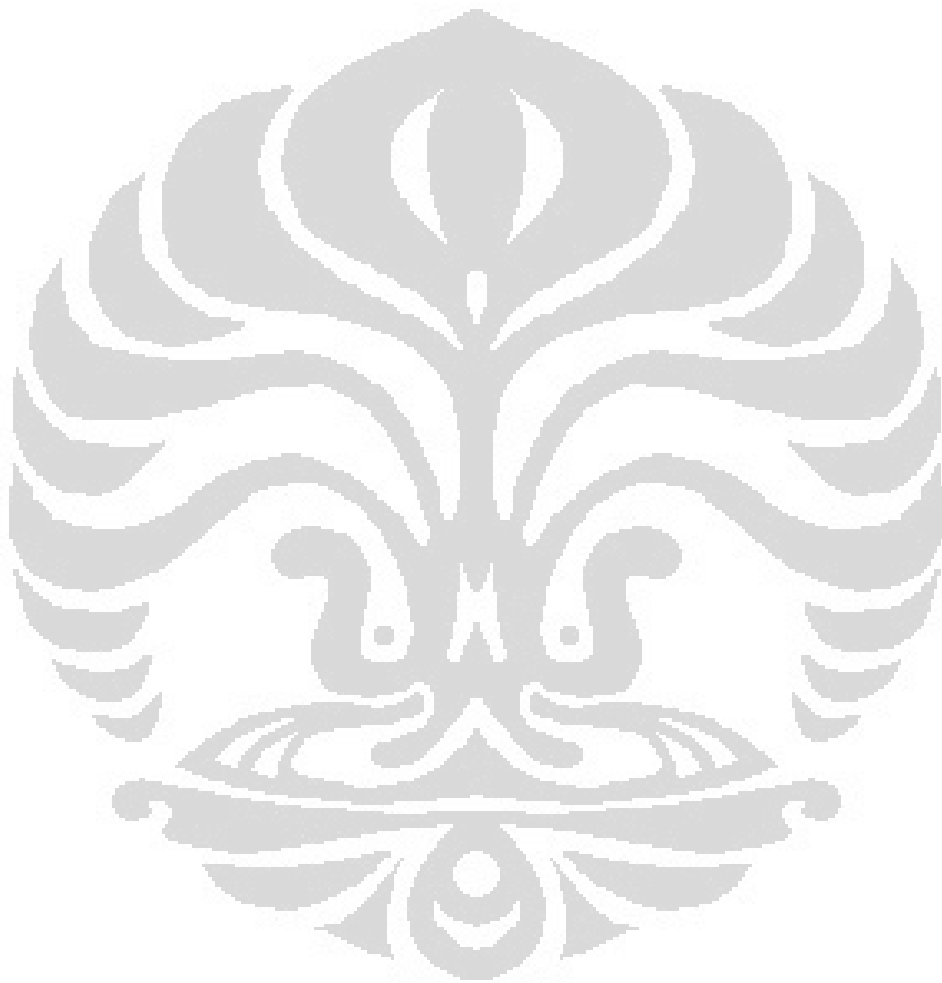
Corrosion Rate  $8,865$  mpy

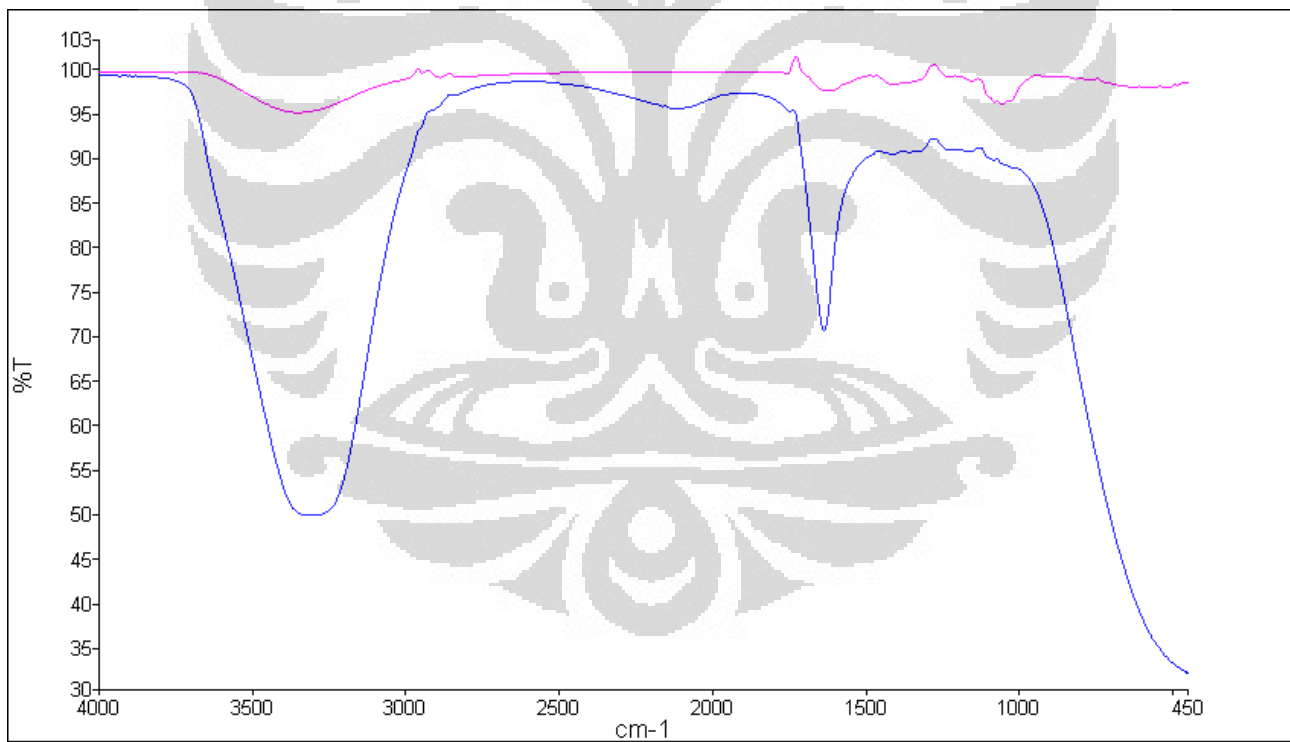
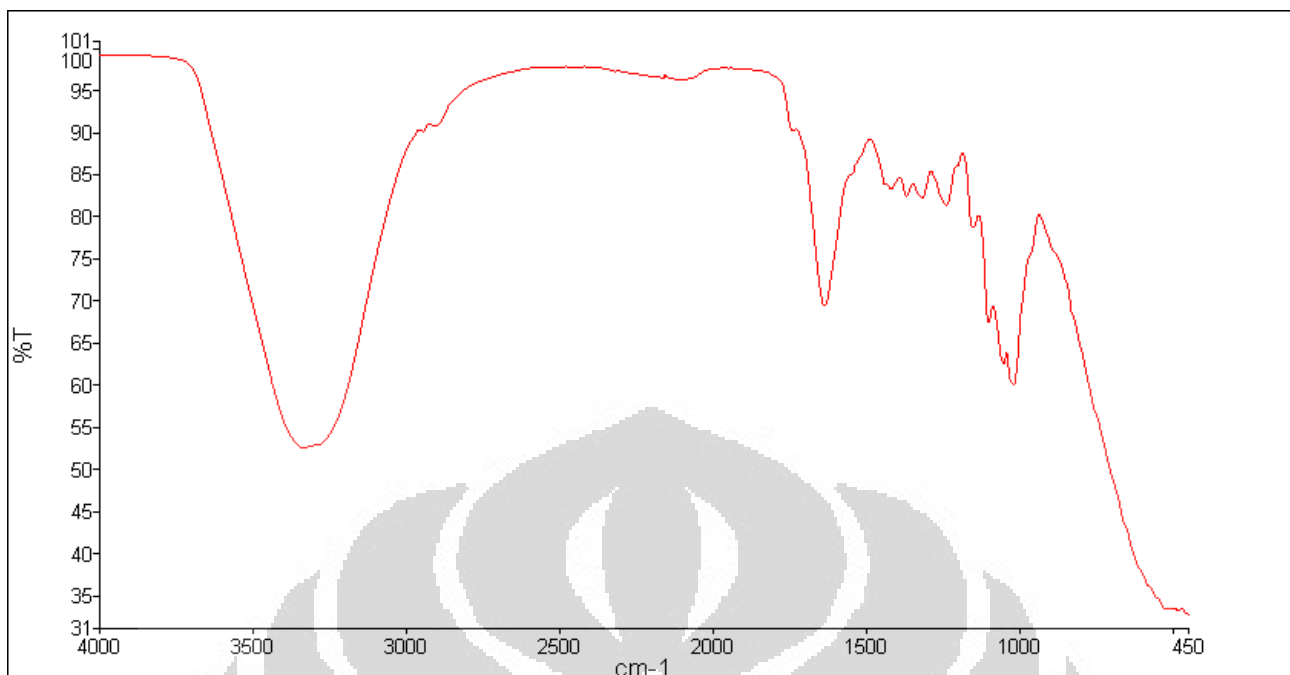
Chi Squared  $1,519$

Data File 08052012 POTDYN NaCl Mengkudu 4 mL.DTA



### LAMPIRAN 3: ANALISA FTIR





Name	Description
Plat-mengkudu	Sample 003 By Administrator Date Tuesday, M...
Platkering	Sample 004 By Administrator Date Tuesday, M...

