



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI EKSTRAK DAUN BELUNTAS (*PLUCHEA
INDICA LESS.*) SEBAGAI INHIBITOR KOROSI RAMAH
LINGKUNGAN TERHADAP BAJA KARBON RENDAH DI
LINGKUNGAN 3,5 % NaCl**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik

**RAKHMAD INDRA PRAMANA
1006804060**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN METALURGI DAN MATERIAL
KOROSI
DEPOK
JULI 2012**

Universitas Indonesia

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Rakhmad Indra Pramana

NPM : 1006804060

Tanda Tangan :

Tanggal : 11 Juli 2012

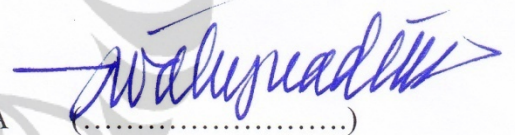
HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :
Nama : Rakhmad Indra Pramana
NPM : 1006804060
Program Studi : Metalurgi dan Material
Judul Tesis : Studi Ekstrak Daun Beluntas (*Pluchea Indica Less.*) Sebagai Inhibitor Korosi Ramah Lingkungan Terhadap Baja Karbon Rendah Di Lingkungan 3.5 % NaCl

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



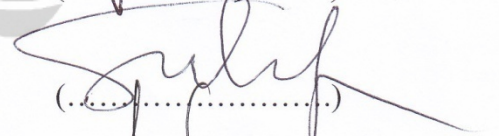
(.....)

Penguji : Ir. Andi Rustandi M.T.



(.....)

Penguji : Dr. Ir. Sutopo M.Sc.



(.....)

Penguji : Ayende S.T., M.Si.



(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 11 Juli 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan, karena atas berkat dan 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 pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Prof. Dr. Ir. Johnny Wahyuadi Soedarsono DEA, dan seluruh dosen yang telah membimbing saya atas segala bimbingannya dalam penyusunan tesis ini.
- (2) Kementerian Negara Riset dan Teknologi yang telah memberikan kesempatan sehingga saya dapat melanjutkan pendidikan ke jenjang Magister.
- (3) Orang tua, Istri, anak, keluarga dan teman-teman saya yang telah memberikan bantuan dukungan baik berupa material maupun moral.
- (4) Kepala Pusat Penelitian, Kepala bidang Rekayasa, kopromotor, teman-teman sejawat di Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik Bandung dan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia atas segala dukungan yang telah diberikan.
- (5) Universitas Indonesia yang telah menjadi salah satu tempat untuk selalu belajar dan menimba ilmu.
- (6) Sahabat, Metalurgi dan Material 2010 dan semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan, namun telah banyak memberikan andil untuk membantu saya dalam menyelesaikan Tesis ini.

Akhir kata, saya berharap semoga Allah S.W.T. berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 11 Juli 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Rakhmad Indra Pramana

NPM : 1006804060

Program Studi : Korosi dan Proteksi

Departemen : Metalurgi dan Material

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Tesis

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 :

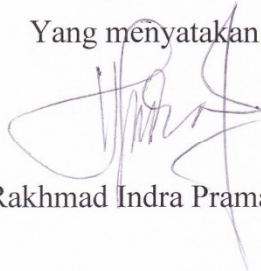
Studi Ekstrak Daun Beluntas (*Pluchea Indica Less.*) Sebagai Inhibitor Korosi Ramah Lingkungan Terhadap Baja Karbon Rendah Di Lingkungan 3,5 % NaCl beserta perangkat yang ada (Jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, 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 2011

Yang menyatakan



(Rakhmad Indra Pramana)

ABSTRAK

Nama : Rakhmad Indra Pramana
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul : Studi Ekstrak Daun Beluntas (*Pluchea Indica Less.*) Sebagai Inhibitor Korosi Ramah Lingkungan Terhadap Baja Karbon Rendah di Lingkungan 3,5 % NaCl

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa pengaruh inhibisi ekstrak cair daun Beluntas (*Pluchea Indica Less.*) terhadap korosi pada baja karbon rendah di lingkungan 3,5% NaCl. Penelitian dilakukan menggunakan pengujian *weight loss*, polarisasi, dan *Fourier transform infrared spectroscopy* (FTIR). Pengujian *weight loss* menunjukkan bahwa perendaman selama 9 hari dengan penambahan ekstrak sebanyak 3 mL memberikan nilai rata-rata efisiensi paling maksimum sebesar 75,97% dengan rata-rata laju korosi paling minimum sebesar 0,89 mpy. Pengujian polarisasi menunjukkan terjadi pergeseran kurva ke arah anodik pada penambahan ekstrak sebanyak 1,2,3 mL, dan bergeser ke arah katodik pada penambahan ekstrak sebanyak 4 mL. Penambahan ekstrak berpengaruh terhadap penurunan laju korosi yaitu dari $24,8 \mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$ menjadi $5,04 \mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$, sehingga memperkuat hasil pengujian *weight loss* bahwa ekstrak daun Beluntas dapat menghambat korosi baja karbon rendah di larutan 3,5% NaCl. Pengujian polarisasi menunjukkan bahwa ekstrak daun Beluntas memiliki tipe inhibisi campuran (*mixed*) dengan kecenderungan lebih dominan ke arah anodik berdasarkan nilai potensial korosi yang berubah secara acak. Pengujian FTIR menunjukkan bahwa ekstrak daun Beluntas teradsorpsi pada permukaan baja karbon rendah dan proses adsorpsinya terjadi melalui gugus fungsi yang dimiliki ekstrak. Mekanisme adsorpsi ekstrak daun Beluntas sesuai dengan Langmuir *adsorption isotherm* yang menunjukkan bahwa telah terjadi pembentukan lapisan monolayer di permukaan baja karbon rendah.

Kata kunci :

Korosi, Inhibitor Organik, Ekstrak Daun Beluntas, Flavonoid

ABSTRACT

Name : Rakhmad Indra Pramana
Study Program : Metalurgy and Material
Judul : Study of Beluntas (*Pluchea Indica Less.*) Leaves Extracts
as Green Corrosion Inhibitor on Low Carbon Steel in 3.5
% NaCl

The study was conducted to analyze the inhibition effect of Beluntas (*Pluchea indica Less.*) leaves extract on the corrosion of low carbon steel in 3.5% NaCl environment. The study was investigated by weight loss, polarization, and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) methods. Weight loss showed that soaking for 9 days with the addition of 3 mL of the extract gave an average value of the maximum efficiency of 75.97% with an average of the minimum corrosion rate of 0.89 mpy. Polarization shows the polarization curve shifts to the anodic direction in addition of 1,2,3 mL extract, and shifted toward the cathodic curve to the addition of 4 mL. The presence of inhibitor causes decrease in the corrosion rate from 24.8 to 5.04 $\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$, thus confirm the results of weight loss that Beluntas leaves extract can inhibit the corrosion of low carbon steel in 3.5% NaCl solution . The polarization showed that the Beluntas leaves extract acts through mixed mode of inhibition, as evident from the values of E_{corr} , which do not increase or decrease in a regular manner from the blank value. FTIR showed that the Beluntas leaves extract adsorbed on the surface of low carbon steel and the process of adsorption occurs through a functional group extract. Beluntas leaves extract shows Langmuir adsorptions isotherm that indicated the monolayer formation on the low carbon steel surface.

Key Words :

Corrosion, Organic Inhibitor, Beluntas Leaves Extract, Flavonoid

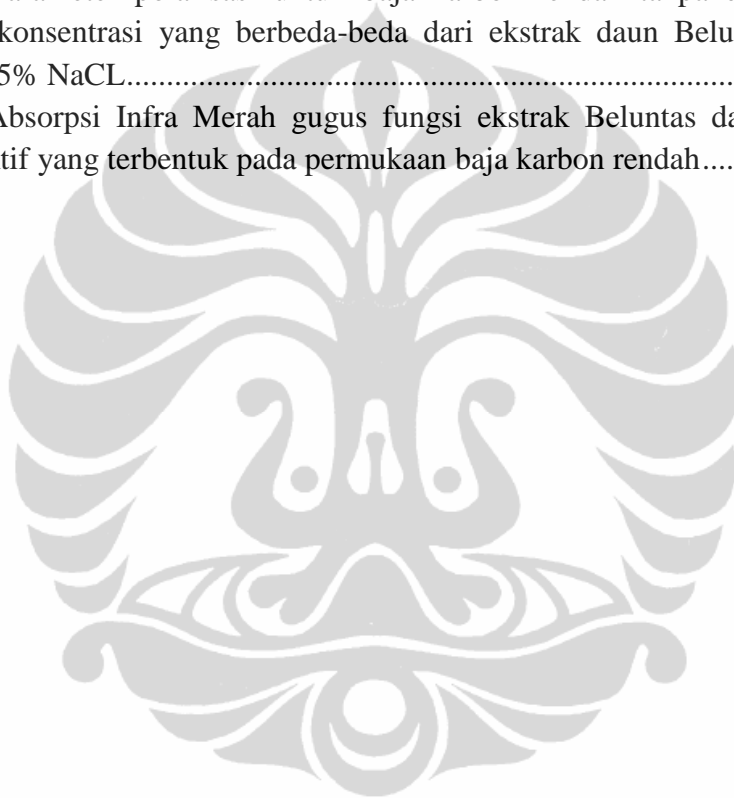
DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Ruang Lingkup Penelitian	5
1.5. Sistematika Penulisan	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Pendahuluan	7
2.2. Definisi Korosi	7
2.3. Reaksi Elektrokimia	8
2.3.1. Reaksi Anodik	8
2.3.2. Reaksi Katodik	9
2.4. Metode Pengukuran Korosi dan Efisiensi Inhibisi	9
2.4.1. Kehilangan Berat	9
2.4.2. Polarisasi	11
2.4.2.1. Galvanostatik	11
2.4.2.2. Potensiostatik	12
2.4.2.3. Desain sel	13
2.5. <i>Fourier Transform Infra Red Spectrometric (FTIR)</i>	14
2.6. Inhibitor	16
2.7. Klasifikasi Inhibitor	18
2.8. <i>Environmental Conditioner</i>	18
2.9. <i>Interface Inhibitor</i>	19
2.9.1. <i>Liquid Phase Inhibitor</i>	19
2.9.1.1. Inhibitor Anodik	19
2.9.1.2. Inhibitor Katodik	20
2.9.1.3. Inhibitor Campuran (<i>mixed</i>)	20
2.9.2. <i>Vapor Phase Inhibitor</i>	21
2.10. Mekanisme Inhibisi Inhibitor Campuran	21
2.11. Inhibitor Ramah Lingkungan	22
2.11.1. Uncaria Gambir	25
2.11.2. Neem	26

2.11.3.	Solanum Melongena	27
2.11.4.	Jasminum Nudiflorum Lindl.	28
2.11.5.	Henna	29
2.11.6.	Justicia Gendarussa	30
2.12.	Air Laut	30
2.13.	Beluntas (<i>Pluchea Indica Less.</i>)	32
2.13.1.	Flavonoid	34
2.13.2.	Alkaloid	35
2.13.3.	Tannin	35
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		37
3.1.	Diagram Alir Penelitian	37
3.2.	Alat dan Bahan	38
3.2.1.	Alat	38
3.2.2.	Bahan	39
3.3.	Prosedur Kerja	39
3.3.1.	Preparasi Sampel Uji Kehilangan Berat	39
3.3.1.1.	Pemotongan, Pengeboran dan Pengampelasan sampel	39
3.3.1.2.	Pengambilan Foto dan Penimbangan Berat Awal Sampel	40
3.3.2.	Persiapan Ekstrak Daun Beluntas	40
3.3.3.	Pembuatan Larutan 3,5% NaCl	40
3.3.4.	Pengujian Kehilangan Berat	40
3.3.5.	Polarisasi	42
3.3.6.	<i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR)	44
BAB 4 HASIL PENGUJIAN dan PEMBAHASAN		45
4.1.	Pengujian <i>Spectroscopy</i> Sampel Uji	45
4.2.	Pengamatan Visual	45
4.2.1.	Sebelum Perendaman	45
4.2.2.	Setelah Perendaman	46
4.3.	Pengujian Perendaman/ Kehilangan Berat	48
4.3.1.	Pengaruh Penambahan Konsentrasi Terhadap Laju Korosi dan Efisiensi Inhibisi	50
4.3.2.	Pengaruh Variasi Waktu Terhadap Laju Korosi dan Efisiensi Inhibisi	53
4.4.	Pengujian Polarisisasi	57
4.5.	Pengujian <i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR)	59
4.6.	<i>Adsorption Isotherm</i>	62
BAB 5 KESIMPULAN		67
DAFTAR REFERENSI		69

DAFTAR TABEL

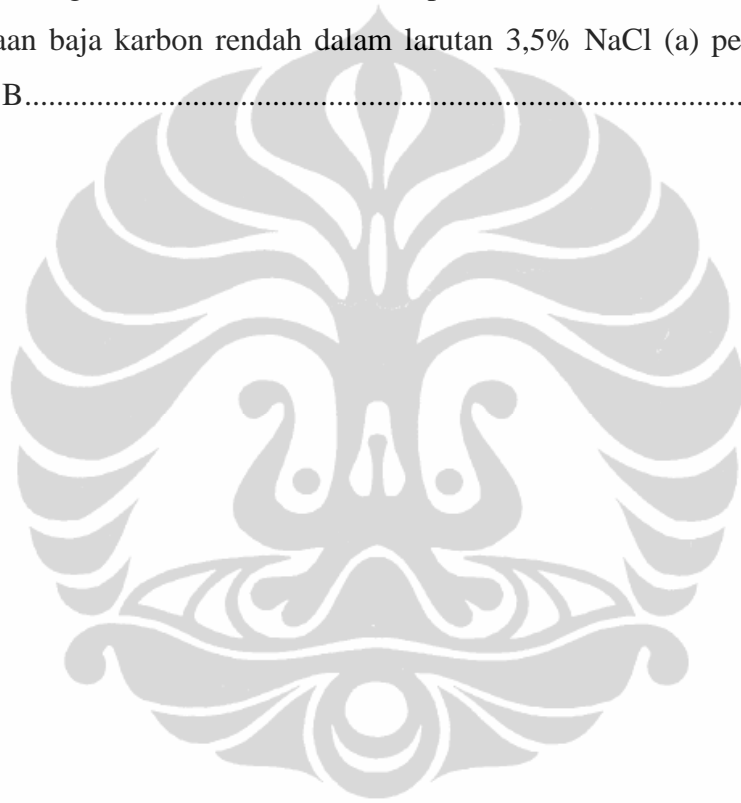
Tabel 2. 1. Satuan laju korosi dengan nilai K	10
Tabel 2. 2. Daerah absorpsi IR menggunakan hukum hooke	15
Tabel 2. 3. Frekuensi gugus untuk gugus fungsi organik	16
Tabel 4. 1. Komposisi Baja Karbon	44
Tabel 4. 2. Data Uji Rendam Selama 3 Hari.....	47
Tabel 4. 3. Data uji rendam selama 6 Hari.....	48
Tabel 4. 4. Data uji rendam selama 9 Hari.....	48
Tabel 4. 5. Data Uji Rendam Selama 12 Hari.....	49
Tabel 4. 6. Parameter polarisasi untuk baja karbon rendah tanpa dan dengan penambahan konsentrasi yang berbeda-beda dari ekstrak daun Beluntas dalam lingkungan 3,5% NaCL.....	56
Tabel 4. 7. Absorpsi Infra Merah gugus fungsi ekstrak Beluntas dan adsorpsi lapisan protektif yang terbentuk pada permukaan baja karbon rendah.....	59



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Reaksi elektrokimia yang terjadi selama proses korosi	8
Gambar 2. 2. Skema sirkuit polarisasi galvanostatic	11
Gambar 2. 3. Skema sirkuit polarisasi potensiostatik	13
Gambar 2. 4. Klasifikasi inhibitor.....	18
Gambar 2. 5. Pengaruh konsentrasi NaCl pada laju korosi besi	31
Gambar 2. 6. Pohon dan daun Beluntas (<i>Pluchea Indica Less.</i>)	32
Gambar 2. 7. Struktur dasar (a) Flavonol dan (b) Quercetin	33
Gambar 3. 1. Diagram alir penelitian ekstrak daun Beluntas sebagai inhibitor korosi ramah lingkungan.....	36
Gambar 3. 4. Rangkaian sel pengujian polarisasi	42
Gambar 4. 1. Sampel baja karbon rendah sebelum proses perendaman	44
Gambar 4. 2. Larutan 3,5% NaCl dan larutan dengan inhibitor	45
Gambar 4. 3. Sampel baja karbon rendah setelah proses perendaman 3 hari	45
Gambar 4. 4. Larutan 3,5% NaCl dan larutan dengan inhibitor	46
Gambar 4. 5. Larutan 3,5% NaCl tanpa inhibitor setelah perendaman.....	46
Gambar 4. 6. Perbandingan kepekatan larutan setelah proses perendaman.....	47
Gambar 4. 7. Grafik pengaruh penambahan konsentrasi terhadap laju korosi sampel A.....	50
Gambar 4. 8. Grafik pengaruh penambahan konsentrasi terhadap laju korosi sampel B.....	50
Gambar 4. 9. Grafik pengaruh penambahan konsentrasi terhadap efisiensi inhibisi sampel A.....	51
Gambar 4. 10 Grafik pengaruh penambahan konsentrasi terhadap efisiensi inhibisi sampel B.....	51
Gambar 4. 11. Grafik pengaruh waktu terhadap laju korosi sampel A.....	53
Gambar 4. 12. Grafik pengaruh waktu terhadap laju korosi sampel B	53
Gambar 4. 13. Grafik pengaruh waktu terhadap efisiensi inhibisi sampel A	54
Gambar 4. 14. Grafik pengaruh waktu terhadap laju korosi sampel B	54
Gambar 4. 15. Kurva polarisasi tanpa dan dengan penambahan variasi konsentrasi dari ekstrak daun Beluntas dalam lingkungan 3,5% NaCl.....	55
Gambar 4. 16. Spektra FTIR ekstrak daun Beluntas.....	58

Gambar 4. 17. Spektra FTIR lapisan adsorpsi pada permukaan baja karbon rendah setelah direndam dalam larutan 3,5% NaCl selama 48 jam ditambah 3000 ppm ekstrak daun Beluntas	58
Gambar 4. 18. Spektra FTIRbaja karbon rendah, ekstrak daun Beluntas dan lapisan adsorpsi ekstrak daun beluntas pada permukaan baja karbon rendah	59
Gambar 4. 19. A. Langmuir, B. Temkin, C. Frumkin isotherm dari kehilangan berat 9 hari.....	62
Gambar 4. 20. Langmuir isotherm untuk adsorpsi inhibitor ekstrak daun Beluntas pada permukaan baja karbon rendah dalam larutan 3,5% NaCl (a) pengujian A, (b) pengujian B.....	64



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 FOTO SEBELUM DAN SETELAH PERENDAMAN



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Korosi terhadap logam telah menimbulkan permasalahan yang serius di berbagai bidang seperti industri dan konstruksi termasuk perusahaan yang bergerak terhadap pelayanan publik seperti pembangkit listrik dan perusahaan air minum. Permasalahan tersebut dapat berupa terjadinya kerusakan pada peralatan, mesin dan struktur dari suatu konstruksi. Kerusakan-kerusakan yang diakibatkan oleh korosi dapat mengakibatkan terhentinya aktifitas produksi dan lebih parah lagi jika sampai menelan korban jiwa. Hal-hal yang berkaitan dengan korosi telah menjadi perhatian mulai dari lingkungan paling kecil seperti keluarga bahkan negara sekalipun. Dari berbagai permasalahan yang ditimbulkan oleh korosi, salah satunya akan berimbas terhadap membengkaknya alokasi biaya yang harus dikeluarkan untuk mengatasi masalah tersebut. Sebagai contoh: biaya tahunan untuk pengendalian korosi di Amerika Serikat diperkirakan antara 8 milyar sampai 126 milyar US Dollar pertahun (Fontana, 1987, 1), dan biaya tersebut semakin meningkat menjadi hampir 300 milyar US Dollar pertahun pada tahun 1995 (Roberge, 2000, 2). Oleh karena itu negara-negara industri telah menyisihkan sekitar 5% dari pendapatan negaranya untuk mencegah terjadinya korosi, melakukan perawatan berkala terhadap produk-produk yang telah ada sehingga meminimalkan terjadinya korosi atau mengganti produk-produk yang rusak atau yang telah terkontaminasi korosi (William D. Callister, 1997). Di lain pihak ketergantungan manusia terhadap material besi dan paduannya semakin meningkat yang ditandai dengan penggunaannya secara luas dalam aplikasi di industri.

Untuk mencegah terjadinya bermacam-macam kerusakan tersebut maka beberapa metode dilakukan untuk menghambat atau meminimalkan terjadinya proses korosi, seperti proteksi katodik, anoda korban, arus tanding dan inhibitor. Dari beberapa cara tersebut, penggunaan inhibitor korosi merupakan salah satu metode yang paling praktis untuk melindungi logam dari serangan korosi (Khaled, 2008). Inhibitor korosi adalah suatu zat kimia dan ketika

ditambahkan dalam konsentrasi kecil ke dalam suatu lingkungan dapat menurunkan atau mencegah terjadinya proses korosi (Uhlig, 2000, 1089). Inhibitor akan membentuk suatu lapisan yang bersifat melindungi, berasal dari reaksi larutan dengan permukaan yang mengalami korosi (Jones, 1996, 503).

Inhibitor yang digunakan saat ini lebih banyak dibuat dari bahan kimia yang cenderung bersifat racun terhadap lingkungan dan memiliki harga yang cukup mahal di pasaran. Oleh karena itu, dari permasalahan tersebut diperlukan suatu terobosan untuk menemukan inhibitor yang memiliki kriteria-kriteria seperti tidak beracun, mudah didapat, dan ramah lingkungan. Terobosan yang telah dan terus dilakukan oleh berbagai pihak saat ini memiliki kecenderungan untuk menemukan bahan/ zat yang dapat dijadikan sebagai inhibitor korosi ramah lingkungan sehingga pada akhirnya dapat diaplikasikan di berbagai bidang. Inhibitor korosi ramah lingkungan merupakan zat yang dapat terurai, tidak memiliki kandungan logam berat atau senyawa yang bersifat racun (Ebenso, Eddy, & Odiongenyi, 2008).

Untuk memperoleh zat-zat yang dapat dijadikan sebagai bahan inhibitor ramah lingkungan dengan kriteria-kriteria seperti tersebut di atas, maka telah dilakukan penelitian-penelitian dengan menggunakan bahan-bahan ekstrak yang berasal dari tumbuhan. Pemilihan ekstrak tumbuhan disebabkan produk yang berasal dari alam lebih ramah lingkungan, dapat diterima secara ekologi, murah, sudah tersedia di alam dan merupakan material yang dapat diperbarui (Oguzie, 2008). Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan diketahui ekstrak yang berasal dari tumbuhan memiliki kemampuan sebagai inhibitor. Kemampuan untuk menghambat terjadinya proses korosi yang dimiliki oleh ekstrak yang berasal dari tumbuhan diakibatkan di dalam komposisinya terdapat unsur pokok yang bersifat heterosiklik seperti alkaloid dan flavonoid, sedangkan unsur seperti tannin, selulosa dan senyawa polisiklik dapat meningkatkan terjadinya pembentukan film diseluruh permukaan logam (Raja & Sethuraman, 2008). Beberapa penelitian yang telah dilakukan dan menunjukkan keberhasilan untuk memperlambat terjadinya korosi pada logam di dalam berbagai lingkungan antara lain: A.Y. El-Etre dan M. Abdallah pada tahun 1999 melakukan penelitian inhibitor

menggunakan madu terhadap logam dan paduan baja karbon di lingkungan dengan kandungan air garam tinggi yang memperlihatkan hasil baik dengan proses inhibisi meningkat seiring dengan kenaikan konsentrasi (El-Etre & Abdallah, 2000), P.C.Okafor, M.E. Ikpi, I.E. Uwah, E.E.Ebenso, U.J.Ekpe, S.A. Umoren pada tahun 2008 melakukan penelitian terhadap ekstrak daun, biji dan campuran keduanya dari *Phyllanthus Amarus* terhadap mild steel dalam media asam dan menunjukkan efisiensi inhibisi meningkat dengan peningkatan konsentrasi ekstrak (Okafor, et al., 2008), A.M. Abdel-Gaber, B.A. Abd-El-Nabey, M. Saadawy pada tahun 2009 melakukan penelitian menggunakan ekstrak Lupine sebagai inhibitor terhadap baja dalam lingkungan asam dan memperlihatkan bahwa ekstrak lupine merupakan inhibitor korosi yang efisien, memiliki tipe inhibisi campuran dan efisiensi meningkat dengan penambahan konsentrasi (Abdel-Gaber, Abd-El-Nabey, & Saadawy, 2009), Ambrish Singh, V.K. Singh, M.A. Quraishi pada tahun 2010 melakukan penelitian mengenai ekstrak cair daun Kalmegh untuk mild steel di lingkungan HCl dan menghasilkan proses inhibisi disebabkan adanya pembentukan film di interface larutan logam/asam melalui adsorpsi molekul ekstrak kalmegh (Singh, Singh, & Quraishi, 2010), M. Hazwan Hussin dan M. Jain Kassim pada tahun 2010 melakukan penelitian menggunakan ekstrak Uncaria gambir terhadap mild steel di lingkungan HCl, menunjukkan bahwa ekstrak ethyl acetate Uncaria Gambir memiliki sifat inhibisi terhadap korosi dengan tipe campuran dan dominan kearah anodik (Hussin & Kassim, 2011), Ayssar Nahle, Ideisan Abu-Abdoun, Ibrahim Abdel-Rahman, dan Maysoon Al Khayat pada tahun 2010 melakukan penelitian menggunakan ekstrak Neem terhadap baja karbon di lingkungan HCl menunjukkan bahwa ekstrak Neem merupakan inhibitor yang efisien untuk baja karbon dalam larutan HCl (Nahle, Abu-Abdoun, Abdel-Rahman, & Al-Khayat, 2010).

Dari beberapa penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, dapat diketahui bahwa beberapa 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 beluntas (*Pluchea indica Less*). Daun beluntas memiliki kandungan alkaloid, flavonoida, tanin, minyak asiri, asam chlorogenik, natrium,

kalium, aluminium, kalsium, magnesium, dan fosfor, sedangkan akarnya mengandung flavonoid dan tanin (Dalimartha, 1999), dan dari penelitian sebelumnya terbukti bahwa kandungan seperti tanin dan flavonoid dapat dimanfaatkan dalam pembuatan inhibitor ramah lingkungan (Raja & Sethuraman, 2008). Namun demikian, penelitian yang berkaitan dengan penggunaan beluntas (*Pluchea indica* L.) sebagai inhibitor ramah lingkungan masih sangat terbatas. Oleh sebab itu, diperlukan suatu penelitian untuk menyelidiki apakah kandungan-kandungan yang dimiliki oleh daun beluntas dapat menghambat terjadinya korosi pada baja karbon di lingkungan 3,5% NaCl. Diharapkan bahwa ekstrak daun beluntas dapat digunakan sebagai inhibitor ramah lingkungan.

1.2. Perumusan Masalah

Pemanfaatan ekstrak daun beluntas (*Pluchea indica* L.) sebagai inhibitor korosi ramah lingkungan masih sangat terbatas. Hal ini menyebabkan diperlukan adanya suatu penelitian terhadap ekstrak daun beluntas yaitu dengan memberikan variasi konsentrasi ekstrak sebesar 0, 2, 3, 4 mL dan variasi waktu selama 3, 6, 9, 12 hari pada pengujian kehilangan berat dan variasi konsentrasi ekstrak sebesar 0, 1, 2, 3, 4 mL pada pengujian polarisasi. Harapannya adalah kandungan-kandungan yang terdapat dalam ekstrak daun beluntas memiliki sifat-sifat penghambat korosi dengan tingkat efisiensi inhibisi yang baik, sehingga dapat dijadikan alternatif inhibitor korosi ramah lingkungan yang dapat digunakan pada baja karbon rendah.

1.3. Tujuan Penelitian

Secara umum, penelitian ini bertujuan mendapatkan ekstrak daun beluntas (*Pluchea indica* L.) yang diharapkan memiliki kandungan-kandungan yang dapat dijadikan sebagai green inhibitor korosi. Sedangkan tujuan khusus penelitian ini adalah:

1. Menganalisis kemampuan ekstrak daun beluntas untuk mengurangi laju korosi pada baja karbon di lingkungan 3.5% NaCl.
2. Mengukur efisiensi dari inhibitor ekstrak daun beluntas dalam aplikasinya sebagai sistem proteksi internal

3. Mempelajari jenis mekanisme inhibisi dari ekstrak daun beluntas.
4. Memperoleh ekstrak yang dapat dijadikan sebagai inhibitor ramah lingkungan.

1.4. Ruang Lingkup dan Batasan Masalah

Kegiatan eksperimental pada penelitian ini secara umum terdiri dari tiga jenis kegiatan, yang dalam pelaksanaannya akan saling berhubungan, yaitu:

1. Proses persiapan material yang akan dianalisis berupa baja karbon rendah dilakukan dengan melakukan uji spectroscopy untuk mengetahui komposisi dasarnya, dilanjutkan dengan proses pembuatan larutan 3,5% NaCl. Ekstrak daun beluntas yang akan digunakan adalah ekstrak cair dalam bentuk telah jadi.
2. Pada pengujian kehilangan berat akan dilakukan perendaman material baja karbon rendah kedalam larutan 3,5% NaCl disertai dengan memberikan variasi konsentrasi ekstrak daun Beluntas sebesar 0, 2, 3, 4 mL dan variasi waktu selama 3, 6, 9, 12 hari. Pengujian polarisasi akan dilakukan dengan memberikan variasi konsentrasi ekstrak daun Beluntas sebesar 0, 2, 3, 4 mL. pengujian *fourier transform Infra Red* (FTIR) dilakukan dengan merendam material baja selama 48 jam kedalam larutan 3,5% NaCl yang telah ditambahkan ekstrak daun Beluntas dengan konsentrasi sebesar 3 mL.
3. Proses pengukuran dilakukan pada pengujian kehilangan berat dan polarisasi, sehingga dari masing-masing pengukuran tersebut diharapkan akan diperoleh laju korosi dan efisiensi inhibisi dengan penambahan konsentrasi ekstrak dan variasi waktu. Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui adanya adsorpsi ekstrak daun Beluntas di permukaan baja karbon rendah.

1.5. Sistematika Penulisan

Bab 1 Pendahuluan

Berisi tentang latar belakang penulisan, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup dan batasan masalah, dan sistematika penulisan.

Bab 2 Tinjauan Pustaka

Berisi tentang prinsip dasar korosi, jenis-jenis korosi, korosi baja karbon pada lingkungan NaCl, inhibitor korosi ramah lingkungan, dan perhitungan laju korosi dan efisiensi inhibitor.

Bab 3 Metodologi

Berisi diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian, dan prosedur kerja yang menjelaskan preparasi sampel, pembuatan larutan rendam, persiapan inhibitor organik, pengujian, dan pembersihan sampel.

Bab 4 Hasil Penelitian dan Pembahasan

Berisi tentang hasil penelitian, pengolahan data penelitian, analisa hasil penelitian berupa gambar, tabel (angka), dan grafik, serta perbandingan dengan hasil penelitian lain dan jurnal-jurnal tentang inhibitor organik.

Bab 5 Kesimpulan

Berisi tentang kesimpulan yang diambil dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pendahuluan

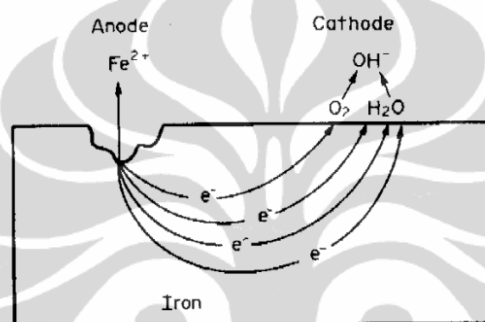
Korosi terhadap logam di berbagai bidang seperti industri, konstruksi, bahkan bidang-bidang yang membidangi pelayanan terhadap publik seperti pembangkit listrik dan perusahaan air minum menimbulkan permasalahan yang serius. Permasalahan tersebut dapat berupa terjadinya kerusakan pada peralatan, permesinan, struktur dari suatu konstruksi seperti struktur bangunan, terhentinya aktifitas produksi, bahkan sampai menelan korban jiwa. Salah satu material yang mudah berinteraksi dengan lingkungannya sehingga mengakibatkan terjadinya korosi adalah besi dan campurannya. Besi dan campurannya merupakan material yang digunakan secara luas di industri dan lingkungan yang berbeda-beda pula, baik itu di lingkungan yang bersifat asam maupun di lingkungan air laut. Oleh karena itu penting untuk mempelajari perilaku korosi dari material ini ketika berada dalam berbagai lingkungan yang agresif. Untuk mencegah terjadinya korosi maka berbagai cara digunakan untuk menghambat atau meminimalkan efek dari korosi tersebut seperti proteksi katodik, anoda korban, arus tanding dan inhibitor.

2.2. Definisi Korosi

Korosi dapat di definisikan sebagai kerusakan atau kemunduran sifat-sifat yang dimiliki oleh material karena bereaksi dengan lingkungan disekitarnya (Fontana, 1987, 1). Atom logam di alam berada didalam senyawa kimia yaitu mineral. Korosi sebenarnya mengembalikan logam untuk kembali menjadi berada dalam keadaan bergabung didalam senyawa kimianya dimana senyawa kimia tersebut akan sama atau bahkan identik terhadap mineral ketika logam diekstraksi (Jones, 1996, 5). Ada tiga syarat agar korosi dapat terjadi yaitu harus ada elektrolit, anoda sebagai tempat terjadinya oksidasi dan katoda sebagai tempat terjadinya reduksi. Korosi terjadi karena terdapat perbedaan potensial listrik diantara dua elektroda sehingga listrik dapat mengalir di elektrolit diantara dua elektroda tersebut.

2.3. Reaksi Elektrokimia(Fontana, 1987, 14)

Proses korosi yang terjadi pada logam pada umumnya melibatkan transfer muatan listrik didalam larutan. Ketika material logam mengalami proses korosi maka prosesnya akan terjadi secara elektrokimia. Reaksi elektrokimia merupakan reaksi yang memiliki dua atau lebih reaksi parsial oksidasi dan reduksi. Reaksi parsial tersebut harus terjadi bersama-sama dengan laju yang sama pada permukaan logam. Skema dari dua reaksi tersebut dapat dilihat dari Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Reaksi elektrokimia yang terjadi selama proses korosi

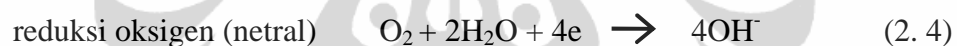
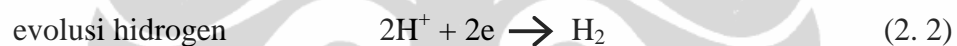
2.3.1. Reaksi anodik

Reaksi oksidasi ditunjukkan oleh adanya penambahan valensi atau peningkatan produksi elektron. Pada beberapa kasus, reaksi oksidasi dapat terjadi secara seragam di permukaan logam dan pada kasus yang lain dapat terjadi secara lokal di suatu area. Reaksi oksidasi terkadang disebut juga sebagai reaksi anodik dan reaksi anodik didalam setiap reaksi korosi merupakan oksidasi dari logam menjadi ionnya. Karakteristik dari atom-atom logam adalah kehilangan atau menyerahkan elektron. Atom-atom bermuatan positif melepaskan dirinya dari permukaan logam dan masuk menuju larutan atau elektrolit sebagai ion-ion. Aliran elektron yang bertindak sebagai arus listrik mengalir menuju ke katoda dimana mereka akan diikat. Tempat dimana reaksi oksidasi berlangsung disebut anoda. Reaksi anodik biasanya diilustrasikan sebagai berikut:



2.3.2. Reaksi Katodik

Reaksi reduksi atau reaksi katodik merupakan pengurangan muatan valensi atau pengurangan konsumsi elektron. Pada reaksi reduksi, elektron yang dihasilkan dari masing-masing atom logam (oksidasi) harus ditransfer ke bentuk kimia lain yang sekaligus menjadi bagiannya. Tempat dimana reaksi reduksi terjadi disebut katoda. Elektron sampai ke katoda dengan melewati elektrolit dan ketika sampai di katoda elektron mungkin dilepaskan. Jadi reaksi katodik disebut juga sebagai reaksi yang mengkonsumsi elektron. Ketika terjadi reduksi, proton menyebabkan konsentrasi ion didalam elektrolit menurun dan meningkatkan sifat alkalin dari elektrolit di daerah katoda. Reaksi katodik yang seringkali terjadi pada korosi logam dapat berupa evolusi hidrogen, reduksi oksigen yang terjadi pada larutan asam, reduksi oksigen yang terjadi pada larutan netral dan reduksi ion logam. Reaksi-reaksi tersebut diilustrasikan sebagai berikut:



2.4. Metode Pengukuran Korosi dan Efisiensi Inhibisi

2.4.1. Kehilangan Berat (Jones, 1996, 24)

Metode paling mendasar yang digunakan untuk mengukur korosi adalah dengan mengekspose sampel material ke dalam lingkungan korosi. Dalam hal ini pengukurannya ditekankan pada laju korosi seragam dari sampel (*coupon*) yang mengalami kehilangan berat. Sebelum dilakukan proses pengujian, terlebih dahulu dilakukan preparasi terhadap sampel yang akan digunakan. Pada umumnya sampel yang digunakan berbentuk segiempat atau lingkaran. Permukaan sampel kemudian dibersihkan dari oksida-oksida yang menempel menggunakan kertas ampelas dan dilanjutkan dengan melakukan penimbangan berat awal sampel. Kemudian sampel direndam kedalam larutan selama waktu yang telah ditentukan.

Setelah proses perendaman selesai, dilakukan pembersihan dan penimbangan berat akhir sampel. Hasil pengurangan berat awal dan berat akhir digunakan untuk mengukur laju korosi. Nilai laju korosi diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut (ASTM, 2004):

$$\text{Laju Korosi (mpy)} = \frac{K.W}{D.A.T} \quad (2.6)$$

Dimana: K = konstanta

W = pengurangan berat (gr)

D = massa jenis (gr/cm^3)

A = luas permukaan yang direndam (cm^2)

T = waktu (jam)

Pada perhitungan laju korosi, untuk nilai K disesuaikan dengan satuan-satuan yang digunakan. Hubungan satuan laju korosi dengan nilai K ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Corrosion Rate Units Desired	Constant (K) in Corrosion Rate Equation
mils per year (mpy)	3.45×10^6
inches per year (ipy)	3.45×10^3
inches per month (ipm)	2.87×10^2
millimetres per year (mm/y)	8.76×10^4
micrometres per year ($\mu\text{m/y}$)	8.76×10^7
picometres per second (pm/s)	2.78×10^6
grams per square meter per hour ($\text{g/m}^2\cdot\text{h}$)	$1.00 \times 10^4 \times D$
milligrams per square decimeter per day (mdd)	$2.40 \times 10^6 \times D$
micrograms per square meter per second ($\mu\text{g/m}^2\cdot\text{s}$)	$2.78 \times 10^6 \times D$

Tabel 2. 1. Satuan laju korosi dengan nilai K

Sumber: (ASTM, 2004) “telah diolah kembali”

Efisiensi inhibitor diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut (Roberge, 2000, 833):

$$\text{Inhibition efficiency (IE\%)} = \frac{CR_o - CR_i}{CR_o} \times 100 \quad (2.7)$$

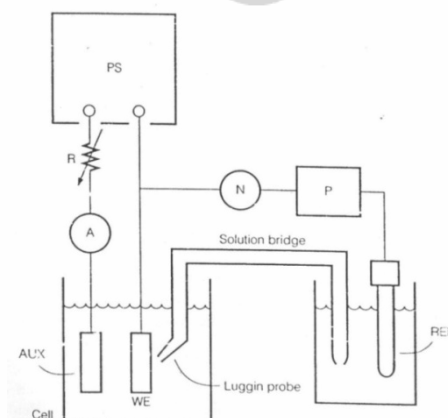
CR_o : nilai laju korosi tanpa inhibitor, CR_i : nilai laju korosi ditambah inhibitor.

2.4.2. Polarisasi (Jones, 1996, 75)

Korosi secara termodinamik memiliki kemungkinan terjadi disetiap kondisi lingkungan, sedangkan banyak material atau paduan ketika mengalami korosi prosesnya berjalan dengan lambat. Oleh karena itu penting untuk mengetahui seberapa cepat korosi terjadi. Salah satu cara yang digunakan untuk mengukur laju korosi adalah dengan menggunakan polarisasi elektrokimia. Polarisasi η adalah perubahan potensial $E-e$ dari kesetimbangan potensial elektroda *half-cell* yang disebabkan oleh laju reaksi permukaan dari reaksi *half-cell*. Polarisasi katodik η_c terjadi karena elektron disuplai ke permukaan logam karena laju reaksi berjalan dengan lambat akan menyebabkan potensial permukaan E menjadi lebih negatif e . Pada polarisasi anodik η_a , elektron dihilangkan dari permukaan logam yang disebabkan oleh kurangnya perubahan potensial positif sebagai akibat dari pelepasan elektron berjalan secara lambat pada reaksi yang terjadi di permukaan. Metode yang digunakan dalam polarisasi diklasifikasikan menjadi 2 yaitu: galvanostatik dan potensiostatik.

2.4.2.1. Galvanostatik

Galvanostatik merupakan prosedur yang cukup sederhana dan digunakan pertama kali untuk mengukur polarisasi dengan arus konstan pada spesimen atau elektroda kerja (WE). Skema sirkuit untuk galvanostatik dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2. Skema sirkuit polarisasi galvanostatic

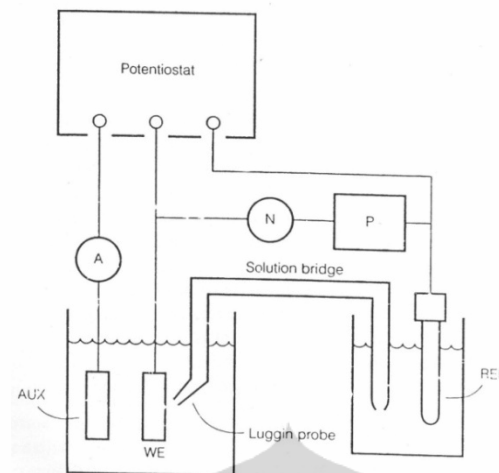
Sumber: (Jones, 1996, 75)“telah diolah kembali”

Arus (I) disuplai dari *power supply* (PS) dc melalui elektroda bantu (AUX) menuju ke elektroda kerja (WE). Potensial dari elektroda kerja diukur terhadap elektroda referensi (REF) yang dihubungkan dengan rangkaian potensiometer (P) dan detektor (N). Elektroda referensi ditempatkan di dalam bejana yang berisi larutan elektrolit. Jembatan garam dan *Luggin probe* digunakan untuk meminimalkan gangguan tahanan *ohmic* dalam elektrolit. Elektroda kerja dipolarisasi sebagai katoda ketika dihubungkan dengan terminal negatif dari PS, sedangkan AUX dipolarisasi sebagai anoda ketika dihubungkan dengan terminal positif. Fungsi katoda dan anoda akan terbalik jika terminalnya dibalik.

Metode galvanostatik ini tidak dapat digunakan untuk menentukan kurva aktif-pasif karena potensial yang dimiliki bukanlah fungsi *single-valued* dari arus. Oleh karena itu metode ini tidak sesuai ketika digunakan untuk mengetahui daerah pasif dari spesimen uji.

2.4.2.2. Potensiostatik

Potensiostat secara otomatis mengatur arus polarisasi yang digunakan untuk mengontrol potensial diantara elektroda kerja dan elektroda referensi untuk setiap nilai yang telah ditentukan. Potensiostat juga memiliki elemen untuk mengukur potensial dan arus. Untuk mencapai potensial yang telah ditentukan maka arus akan membuat elektroda kerja mengalami polarisasi mengacu ke elektroda referensi dengan tetap berada pada potensial konstan dengan sedikit atau tidak ada arus yang melewati sirkuit pengukur potensial. Didalam metode potensiostatik, potensial naik dari E_{corr} di daerah aktif sejalan dengan arus yang tercatat diakhir. Arus yang digunakan meningkat bersama potensial dengan mengikuti kurva anodik seperti metode galvanostatik. Berbeda dengan metode galvanostatik yang tidak dapat mendefinisikan kurva polarisasi anodik ketika potensial diatas E_{pp} , maka potensiostatik dapat mendefinisikannya dengan mengikuti kurva anodik sampai daerah *passive loop* dengan tepat. Hasil dari kurva polarisasi anodik untuk potensiodinamik akan sama persis dengan hasil kurva polarisasi anodik untuk potensiostatik yang dicapai akan dicapai pada pada laju ekuivalen polarisasi. Skema sirkuit untuk galvanostatik dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3. Skema sirkuit polarisasi potensiostatik

Sumber: (Jones, 1996, 75)“telah diolah kembali”

2.4.2.3. Desain sel (Roberge, 2000, 1025)

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

- a. Elektroda kerja merupakan sampel uji berupa logam yang akan diuji dalam pengujian korosi dimana reaksi elektrokimia yang terjadi pada sampel tersebut akan dipelajari. Sampel yang digunakan dapat memiliki dimensi kecil tetapi masih dapat mewakili struktur sampel ujinya. Elektroda kerja dapat berupa logam tanpa atau dengan *coating*.
- b. Elektroda referensi merupakan elektroda yang digunakan untuk mengukur potensial elektroda kerja. Kriteria yang harus dimiliki oleh elektroda referensi adalah harus memiliki potensial elektrokimia yang konstan selama tidak ada aliran arus yang mengalir melewatinya. Elektroda referensi yang digunakan

Universitas Indonesia

adalah *saturated calomel electrode* (SCE) dan *silver/silver chloride* (Ag/AgCl). Untuk membantu memposisikan elektroda referensi ketika mendeteksi potensial elektroda kerja maka dapat digunakan Luggin capillary. Elektroda referensi dapat mendeteksi potensial elektroda kerja melalui ujung Luggin capillary yang diletakkan pada posisi dekat dengan elektroda kerja

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

2.5. *Fourier Transform Infra Red Spectrometric* (FTIR) (Silverstein, Webster, & Kiemle, 2005)

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

pada sampel. *Absorbance* adalah logaritma yang sesuai dengan *transmittance*; $A = \log_{10}(1/T)$.

Molekul memiliki dua tipe vibrasi/ getaran yaitu regang dan tekuk. getaran regang adalah gerakan secara berirama (*rhythmical*) sepanjang sumbu ikat, seperti adanya jarak antar atom yang naik atau turun. getaran tekuk mungkin terdiri dari perubahan sudut ikatan antara ikatan dengan atom pada umumnya atau pergerakan dari gugus atom terhadap beda molekul tanpa adanya pergerakan dari atom dalam gugus terhadap atom lain. Frekuensi dari regang dapat diperkirakan dengan menggunakan hukum hooke. Perkiraan perhitungan frekuensi regang berdasarkan hukum hooke dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Bond Type	Force Constant f in dyne/cm	Absorption Region (cm^{-1})	
		Calculated	Observed
C—O	5.0×10^5	1113	1300–800
C—C	4.5×10^5	1128	1300–800
C—N	4.9×10^5	1135	1250–1000
C=C	9.7×10^5	1657	1900–1500
C=O	12.1×10^5	1731	1850–1600
C≡C	15.6×10^5	2101	2150–2100
C—D	5.0×10^5	2225	2250–2080
C—H	5.0×10^5	3032	3000–2850
O—H	7.0×10^5	3553	3800–2700

Tabel 2. 2. Daerah absorpsi IR menggunakan hukum hooke

Sumber: (Silverstein, et al., 2005) “telah diolah kembali”

Sedangkan untuk perkiraan frekuensi dimana gugus fungsi organik yang dapat diserap oleh radiasi IR disebut sebagai frekuensi gugus. Frekuensi gugus jarang sekali memiliki nilai sama disebabkan frekuensi gugus tersebut terjadi sebagai interaksi dengan getaran lain yang terkait dengan satu atau dua atom yang menyusun gugus. Oleh karena itu serapan maksimum untuk gugus fungsi dapat ditentukan. Tabel frekuensi gugus untuk beberapa gugus fungsi dapat dilihat dari Tabel 2.3.

Bond	Type of Compound	Frequency Range, cm^{-1}	Intensity
C—H	Alkanes	2850–2970	Strong
		1340–1470	Strong
C—H	Alkenes (>C=C<H)	3010–3095	Medium
		675–995	Strong
C—H	Alkynes ($\text{—C}\equiv\text{C—H}$)	3300	Strong
C—H	Aromatic rings	3010–3100	Medium
		690–900	Strong
O—H	Monomeric alcohols, phenols	3590–3650	Variable
	Hydrogen-bonded alcohols, phenols	3200–3600	Variable, sometimes broad
	Monomeric carboxylic acids	3500–3650	Medium
	Hydrogen-bonded carboxylic acids	2500–2700	Broad
N—H	Amines, amides	3300–3500	Medium
C=C	Alkenes	1610–1680	Variable
		1500–1600	Variable
C=C	Aromatic rings	1500–1600	Variable
		2100–2260	Variable
C=C	Alkynes	2100–2260	Variable
C—N	Amines, amides	1180–1360	Strong
C=N	Nitriles	2210–2280	Strong
C—O	Alcohols, ethers, carboxylic acids, esters	1050–1300	Strong
C=O	Aldehydes, ketones, carboxylic acids, esters	1690–1760	Strong
NO ₂	Nitro compounds	1500–1570	Strong
		1300–1370	Strong

Tabel 2. 3. Frekuensi gugus untuk gugus fungsi organik

Sumber: (Skoog, Holler, & Crouch, 2007) “telah diolah kembali”

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

- Analisis yang dilakukan lebih cepat jika dibandingkan dengan menggunakan metode *scanning*, hal ini terkait dengan semua frekuensi yang berasal dari sumber cahaya dapat digunakan bersama-sama.
- Radiasi yang masuk ke sistem detektor lebih banyak karena tidak harus melalui celah (*slitless*) sehingga sensitifitasnya lebih besar dibandingkan sistem dispersi.

2.6. Inhibitor

Inhibitor korosi adalah zat kimia dimana ketika ditambahkan dalam konsentrasi yang kecil ke suatu lingkungan dapat memperkecil atau mencegah terjadinya korosi (Roberge, 2000, 833). Beberapa hal yang menjadi pertimbangan ketika inhibitor akan digunakan dalam proses pencegahan korosi antara lain (Raja & Sethuraman, 2008):

- a. Memiliki manfaat pada penggunaan *in-situ* tanpa menyebabkan gangguan yang berarti terhadap proses yang terjadi dalam sistem yang sedang dilindungi.
- b. Biaya penggunaan inhibitor terkadang sangat tinggi ketika material yang digunakan mahal atau ketika jumlah yang dibutuhkan sangat besar.
- c. Ketersediaan inhibitor menentukan terhadap proses pemilihannya, jika ketersediaannya memiliki jumlah yang terbatas maka inhibitor tersebut akan menjadi sangat mahal.
- d. Pemilihan inhibitor yang ramah lingkungan.

Inhibitor dikatakan efisien jika memiliki kecocokan dengan lingkungannya, memberikan nilai ekonomis dan ketika digunakan dalam konsentrasi yang kecil akan memberikan pengaruh sesuai dengan tujuan yang telah direncanakan sebelumnya. Tingkat keefektifan inhibitor akan berkurang dengan adanya beberapa keadaan seperti adanya peningkatan larutan yang korosif, peningkatan konsentrasi dan peningkatan temperatur. Sedangkan lingkungan yang paling banyak menggunakan inhibitor adalah (Jones, 1996, 504):

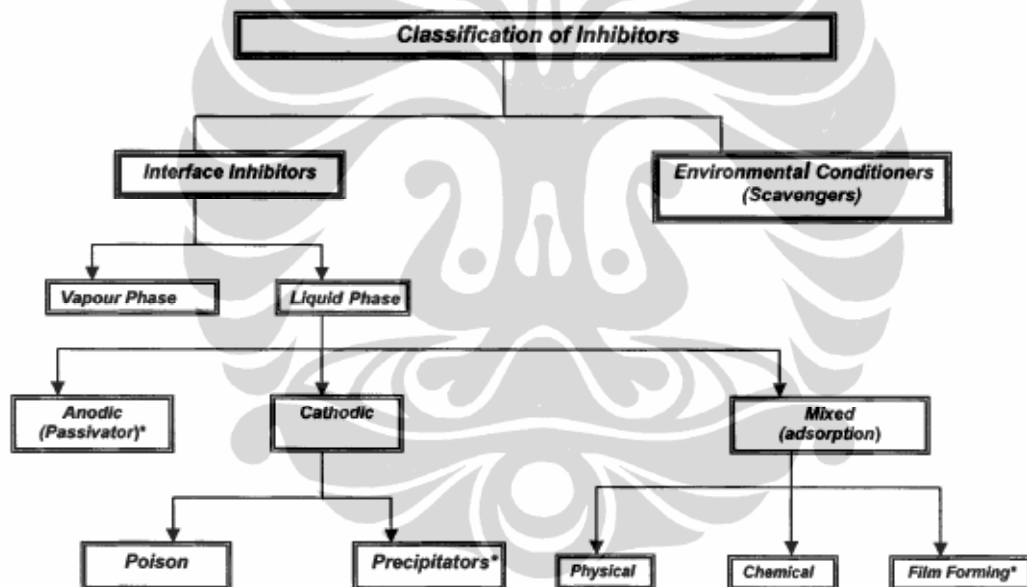
- a. Industri yang bergerak dalam bidang proses pendinginan air yang memiliki nilai pH 5 sampai 9.
- b. Larutan asam untuk pickling dengan tujuan untuk menghilangkan karat dan mill scale selama proses produksi dan fabrikasi dari bagian logam atau pembersihan beberapa.
- c. Produksi primer dan sekunder dari minyak mentah dan proses setelah refining.

Inhibitor jika digunakan pada sistem yang berhubungan dengan suplai air minum memiliki batasan, hal ini berkenaan dengan kandungan racun inhibitor dan biaya. Oleh karena itu hanya inhibitor yang tidak beracun yang bisa digunakan dan jika sistem tidak menggunakan sistem resirkulasi. Kriteria tersebut juga sama ketika akan digunakan pada sistem untuk pendingin air. Perhatian

penuh juga harus diberikan yaitu untuk pembuangan air yang disirkulasikan bersama dengan inhibitor yang mengandung racun, penanganan harus dilakukan dengan hati-hati.

2.7. Klasifikasi Inhibitor (Uhlig, 2000, 1090)

Pemilihan inhibitor yang akan digunakan didalam suatu sistem dengan tujuan untuk menghambat terjadinya korosi terhadap logam yang digunakan didasarkan pada logam yang digunakan dan lingkungan sekitarnya. Klasifikasi inhibitor dapat dilihat pada gambar. Klasifikasi inhibitor dibagi menjadi dua yaitu *environmental conditioner* dan *interface inhibitor*. Diagram dari klasifikasi inhibitor dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4. Klasifikasi inhibitor

Sumber: (Uhlig, 2000, 1090) “telah diolah kembali”

2.8. *Environmental Conditioner*

Untuk mengontrol terjadinya korosi pada suatu media dapat dilakukan dengan cara menghilangkan jenis korosi yang ada pada media tersebut. Inhibitor dapat menghilangkan jenis korosi yang ada pada media dengan cara mengambil zat-zat yang memiliki sifat agresif yang sehingga korosi pada media tersebut dapat turun. Proses pengambilan zat-zat yang agresif disebut sebagai

environmental conditioners atau *scavengers*. Di beberapa situasi seperti pada larutan alkali atau daerah disekitar kondisi netral, penggunaan *scavenger* dapat digunakan mengontrol korosi dengan menurunkan kandungan oksigen, hal ini disebabkan reduksi oksigen merupakan reaksi katodik.

2.9. Interface Inhibitor

Proses kontrol korosi pada inhibitor interface dilakukan dengan cara membentuk suatu lapisan film pada daerah interface/antarmuka dari logam atau lingkungannya. Dari gambar 2.4, *interface inhibitor* dibagi menjadi dua yaitu inhibitor fasa cair (liquid phase) dan inhibitor fasa uap (vapor phase)

2.9.1. Inhibitor Fasa Cair

Inhibitor fasa cair dapat diklasifikasikan menjadi 3 kelompok yaitu: inhibitor anodik, katodik dan campuran, pengklasifikasian tersebut tergantung kepada reaksi yang mana yang akan dihambat apakah reaksi anodik, reaksi katodik atau kedua reaksi elektrokimia tersebut.

2.9.1.1. Inhibitor Anodik

Inhibitor anodik juga sering disebut sebagai inhibitor *passivating*. Inhibitor anodik membentuk atau memfasilitasi pembentukan dari lapisan film yang memiliki sifat pasif yang menghambat reaksi terlarutnya logam anodik. Dalam penggunaan inhibitor anodik juga harus memperhatikan konsentrasi kritisnya, karena jika pemberian konsentrasinya tidak sesuai maka dapat mengakibatkan korosi yang terjadi akan semakin cepat. Keefektifan pemberian konsentrasi kritis tersebut tergantung pada faktor alamiah dan konsentrasi dari ion-ion yang bersifat agresif.

2.9.1.2. Inhibitor Katodik

Cara kerja Inhibitor katodik adalah dengan menurunkan laju reduksi (*cathodic poison*) atau dengan melakukan proses pengendapan selektif pada daerah katodik (*cathodic precipitator*) sehingga korosi dapat dikontrol. *Cathodic poison* dapat menyebabkan penggelembungan dan penggetasan oleh hidrogen

disebabkan adanya proses penyerapan hidrogen terhadap baja. *Cathodic poison* dapat terjadi di larutan asam sedangkan tipe korosi yang dapat terjadi adalah *hydrogen-induced cracking (HIC)*, *hydrogen embrittlement* atau *sulfide stress cracking*. *Cathodic precipitator* menyebabkan meningkatnya alkalinitas pada daerah katodik dan senyawa endapan yang tidak dapat larut pada permukaan logam.

2.9.1.3. Inhibitor Campuran (*mixed*)

Inhibitor campuran pada dasarnya adalah senyawa organik, digolongkan kedalam inhibitor campuran disebabkan tidak dapat dimasukkan kedalam golongan anodik maupun katodik. Keefektifan dari inhibitor organik dihubungkan dengan luasnya daerah adsorpsi yang dapat melindungi permukaan logam. Penyerapan tergantung pada struktur inhibitor, muatan yang terdapat di permukaan logam dan elektrolit. Proses yang dilakukan untuk melindungi logam dilakukan dengan cara: *physical adsorption*, *chemisorption* dan pembentukan film.

- a. *Physical* (elektrostatik) *adsorption*. Proses adsorpsinya dihasilkan dari daya tarik menarik elektrostatik antara inhibitor dan permukaan logam. Jika permukaan logam memiliki muatan positif maka inhibitor dengan muatan negatif (anion) akan mudah untuk teradsorpsi. Tetapi jika molekulnya memiliki muatan positif maka molekul tersebut akan bergabung dengan muatan negatif sebagai perantara sehingga dapat menghambat muatan positif logam. Kelebihan dari inhibitor ini adalah proses adsorpsinya yang cepat dan kekurangannya adalah inhibitor ini mudah untuk lepas dari permukaan. Peningkatan temperatur akan mengakibatkan kerusakan pada molekul inhibitor yang teradsorpsi.
- b. *Chemisorption*. Proses adsorpsi yang terjadi melibatkan proses berbagi muatan atau serah terima muatan antara molekul inhibitor dan permukaan logam. Dalam prosesnya *Chemisorption* berlangsung lebih lambat jika dibandingkan dengan *physical adsorption*, tetapi ketika temperatur naik proses adsorpsi dan inhibisinya akan naik juga. *Chemisorption* memiliki

tingkat keefektifan yang paling baik dibandingkan dengan proses adsorpsi lainnya, hal ini disebabkan oleh proses adsorpsi yang terjadi adalah berbagi muatan antara molekul inhibitor dengan permukaan logam.

- c. Pembentukan film. Molekul inhibitor yang teradsorpsi dapat mengalami reaksi di permukaan sehingga dapat terbentuk film *polymeric* dengan ketebalan sekitar seratus angstrom. Proses inhibisinya akan efektif jika film yang terbentuk tidak larut dan menempel di permukaan logam dan mencegah akses dari larutan ke permukaan logam.

2.9.2. Vapor-Phase Inhibitor

Penggunaan inhibitor jenis ini bertujuan untuk memberikan perlindungan sementara terhadap korosi atmosferik. Caranya adalah dengan menggunakan kertas pembungkus atau menempatkan didalam suatu wadah tertutup. Proses inhibisinya diakibatkan oleh penguapan yang lambat dari inhibitor sehingga logam terlindung dari udara dan kelembaban.

2.10. Mekanisme Inhibisi Inhibitor Campuran (Uhlig, 2000, 1093)

Adsorpsi yang terjadi diakibatkan oleh adanya gaya elektrostatis antara muatan listrik yang terdapat di permukaan logam dan muatan ionik yang dimiliki oleh molekul inhibitor. Muatan yang dimiliki oleh inhibitor berasal dari adanya ikatan elektron bebas, pasangan elektron tunggal, π -elektron, cincin aromatik, dan gugus fungsi yang mengandung elemen dari kelompok V atau VI dari tabel periodik. Kekuatan adsorpsi inhibitor tergantung pada muatan yang terdapat di gugus penahan atau pusat reaksi. Gugus penahan atau pusat reaksi ini pada dasarnya adalah gugus fungsi yang dimiliki oleh inhibitor organik. Inhibitor organik dapat memiliki gugus fungsi paling sedikit satu gugus fungsi.

Mekanisme adsorpsi inhibitor adalah dengan menghilangkan molekul air yang teradsorpsi di permukaan logam yang terendam dalam larutan digantikan dengan adsorpsi molekul organik (Hussin & Kassim, 2011; Singh, Singh, & Quraishi, 2010).



Universitas Indonesia

n adalah jumlah molekul air yang digantikan oleh satu molekul inhibitor.

Kekuatan adsorpsi dapat disimpulkan dari *adsorption isotherm* yang menunjukkan hubungan kesetimbangan antara konsentrasi inhibitor di permukaan logam dengan di larutan. Untuk mengetahui kekuatan adsorpsi dilakukan dengan mencocokkan data eksperimen dengan beberapa jenis *isotherm*. Dari hasil yang paling cocok kemudian data termodinamikanya akan dievaluasi. Jenis *adsorption isotherm* yang digunakan untuk menunjukkan efisiensi inhibitor ditunjukkan dalam Tabel 3.

Name	Isotherm ^b	Verification Plot
Langmuir	$\theta/(1 - \theta) = \beta \cdot c$	$\theta/(1 - \theta)$ vs. $\log c$
Frumkin	$[\theta/(1 - \theta)]e^{f\theta} = \beta \cdot c$	θ vs. $\log c$
Bockris–Swinkels	$\theta/(1 - \theta)^n \cdot [\theta + n(1 - \theta)]^{n-1}/n^n = c \cdot e^{-\beta}/55.4$	$\theta/(1 - \theta)$ vs. $\log c$
Temkin	$\theta = (1/f) \ln K \cdot c$	θ vs. $\log c$
Virial Parson	$\theta \cdot e^{2f\theta} = \beta \cdot c$	θ vs. $\log(\theta/c)$

Tabel 1. Jenis *adsorption isotherm*

Sumber: (Uhlig, 2000, 1093) “telah diolah kembali”

2.11. Inhibitor Ramah Lingkungan

Penggunaan inhibitor merupakan salah satu cara yang paling efektif untuk mencegah korosi (Mejeha, Uroh, Okeoma, & Alozie, 2010). Saat ini manusia telah semakin sadar akan pentingnya untuk selalu menjaga kelestarian lingkungan dan berusaha untuk mengurangi pencemaran serta polusi terhadap udara, air dan tanah. Banyak negara yang telah memberlakukan peraturan-peraturan yang semakin ketat berkenaan dengan pelestarian lingkungan. Hal tersebut juga berlaku terhadap penanggulangan korosi khususnya dalam penggunaan inhibitor yang pada dasarnya merupakan zat kimia yang memiliki kandungan bersifat racun baik terhadap manusia, lingkungan dan makhluk hidup lainnya. Oleh karena itu banyak pihak yang berlomba-lomba untuk menemukan dan menggunakan inhibitor yang ramah lingkungan sebagai alternatif pengganti inhibitor yang terbuat dari bahan yang bersifat racun tersebut.

Inhibitor sendiri diklasifikasikan berdasarkan mekanisme dan komposisinya. Inhibitor dengan mekanisme Adsorpsi merupakan kelas inhibitor yang paling besar dan secara umum merupakan senyawa organik yang memiliki prinsip kerja dengan menyerap ke permukaan logam kemudian menekan terlarutnya logam dan mencegah reaksi reduksi (Fontana, 1987, 282). Penggunaan inhibitor banyak dimanfaatkan pada sistem yang menggunakan proses resirkulasi. Proses inhibisi korosi bersifat *reversible* sehingga untuk menjaga agar lapisan film inhibisinya tetap melindungi permukaan logam, maka konsentrasi minimum dari senyawa inhibitor tersebut harus selalu ada di lingkungan tersebut. Oleh karena itu agar proses inhibisi korosi tetap berjalan diperlukan adanya sistem sirkulasi yang baik dan menghindari adanya daerah aliran yang tersendat atau tidak mengalir sehingga dapat mengganggu proses jalannya sirkulasi.

Ketika digunakan, inhibitor memiliki kemudahan dan memberikan keuntungan untuk penggunaan secara in-situ tanpa menyebabkan gangguan yang signifikan terhadap proses dimana inhibitor digunakan. Tetapi dalam penggunaannya, inhibitor memiliki pertimbangan ketika akan digunakan antara lain: biaya dari inhibitor dapat menjadi sangat mahal ketika materialnya mahal atau ketika jumlah yang akan digunakan sangat besar, racun yang terkandung di dalam inhibitor dapat menimbulkan efek yang membahayakan terhadap manusia dan spesies lain disebabkan kebanyakan bahan yang digunakan berasal dari bahan kimia. Penggunaan inhibitor yang bersifat racun mulai dibatasi, disebabkan kesadaran semua pihak untuk menjaga lingkungan sehingga secara otomatis akan beralih untuk menggunakan produk inhibitor yang ramah lingkungan pula. Kesadaran ini juga mendorong beberapa pihak untuk membuat peraturan-peraturan yang melarang penggunaan bahan-bahan kimia yang memiliki sifat racun terhadap lingkungan. Hal ini mendorong banyak dilakukan penelitian untuk mencari alternatif inhibitor lain yang ramah lingkungan, murah dan memiliki senyawa yang efektif dengan pengaruh yang kecil atau bahkan tidak ada terhadap lingkungan (Li, Deng, & Fu, 2010). Salah satu sumber bahan untuk inhibitor yang dijadikan alternatif selain bahan kimia adalah sumber yang berasal dari ekstrak tumbuhan yang berasal dari daun, kulit kayu, biji, buah dan akar. Bahan-bahan tersebut mengandung nitrogen, oxygen atau sulfur di dalam suatu sistem

Universitas Indonesia

konjugasi dan berfungsi melalui penyerapan molekul pada permukaan logam yang akan membentuk suatu pembatas yang melindungi terhadap serangan korosi.

Latar belakang pemilihan ekstrak tumbuhan antara lain ekstrak tumbuhan dapat diterima oleh lingkungan, sudah tersedia di alam dan merupakan sumber yang dapat diperbaharui untuk berbagai kebutuhan inhibitor (Abdel-Gaber, Abdel-Nabey, Sidahmed, El-Zayady, & Saadawy, 2006). Saat ini alternatif bahan yang akan dijadikan inhibitor mengarah ke sumber-sumber yang ada di alam seperti madu dan ekstrak yang berasal dari tumbuhan. Pemilihan ekstrak tumbuhan disebabkan zat yang terkandung dalam ekstrak dapat diterima oleh lingkungan, ketersediaan sumber daya alam dan keanekaragamannya yang melimpah namun masih terbatas pemanfaatannya dan merupakan sumber daya alam yang dapat diperbarui untuk kebutuhan akan inhibitor (Abdel-Gaber, Khamis, Abo-ElDahab, & Adeel, 2008). Sedangkan kemanjuran inhibisi korosi dari ekstrak tumbuhan berasal dari adanya jenis organik kompleks seperti tannin, alkaloid dan nitrogen, karbohidrat, dan protein seperti produk hidrolisis asamnya. Selain itu juga terdapat fakta bahwa flavonoid dan phenyl-carboxylic acids termasuk senyawa yang paling aman dan efektif sehingga dapat digunakan tidak hanya dibidang farmasi, kosmetik atau produk makanan namun digunakan juga sebagai produk anti korosi atau anti scaling yang ramah lingkungan (Pirvu, Barbulescu, Nichita, Nita, & Mihul, 2011).

Ekstrak tumbuhan yang digunakan sebagai bahan inhibitor dapat berasal dari bagian yang terdapat di tumbuhan seperti akar (El-Etre, 2008) dengan media HCl, biji (Dahmani, Et-Touhami, Al-Deyab, Hammouti, & Bouyanzer, 2010; Quraishi, Yadav, & Ahamad, 2009; Subhashini, Rajalakshmi, Prithiba, & Mathina, 2010) dengan media HCl, buah (Singh, Singh, & M.A.Quraishi, 2010) dengan media HCl, kulit buah (Eddy & Ebenso, 2008; Kumar, Pillai, & Thusnavis, 2010) masing-masing dalam media H₂SO₄ dan HCl, sedangkan daun dengan media H₂SO₄ (A.Ostovari, Hoseinieh, Peikari, Shadizadeh, & Hashemi, 2009; Abdel-Gaber, et al., 2006; N.O. Eddy, 2009; Nnabuk Okon Eddy, 2009; I.B.Obot & Obi-Egbedi, 2011; Oguzie, 2006; Saratha, Devi, Meenakshi, & Shyamala, 2011; Sanjay Kumar Sharma, Mudhoo, Jain, & Khamis, 2009), dengan

media HCl (A.Ostovari, et al., 2009; Ating, S.A.Umoren, Udousoro, Ebenso, & Udoh, 2010; El-Etre, 2007; Lebrini, Robert, Lecante, & Roos, 2011; Li, et al., 2010; Nnanna, Onwuagba, Mejeha, & Okeoma, 2010; Obot, S.A.Umoren, & Obi-Egbedi, 2011; Rajendran, et al., 2009; Satapathy, Gunasekaran, Sahoo, Amit, & Rodrigues, 2009), dengan media asam, netral/air laut, alkalin (El-Etre, Abdallah, & El-Tantawy, 2005), dengan media HNO₃ (Sanjay K. Sharma, Mudhoo, Jain, & Sharma, 2010), dengan media air laut (Rustandi, Soedarsono, & Suharno, 2012). Selain berasal dari tumbuhan, bahan lain berasal dari alam yang dapat digunakan sebagai inhibitor adalah madu. Penggunaan madu alam sebagai inhibitor ramah lingkungan terhadap tembaga di larutan netral, dilakukan oleh El-Etre (A.Y.El-Etre, 1998). Metode kehilangan berat dan polarisasi potensiostatik digunakan untuk mengetahui inhibisi madu alam tersebut. Dari kedua metode diketahui bahwa efisiensi inhibisi meningkat seiring dengan penambahan konsentrasi madu alam tersebut. Proses adsorpsinya mengikuti *Langmuir adsorption isotherm* dan merupakan inhibitor tipe katodik.

Berikut ini adalah beberapa penelitian yang telah dilakukan terhadap inhibitor yang bersumber dari ekstrak tumbuhan:

2.11.1. Uncaria Gambir (Hussin & Kassim, 2011)

Uncaria gambir merupakan tanaman herbal yang berasal dari asia tenggara. Kandungan yang dimiliki oleh uncaria gambir antara lain monomer flavan, (+)-catechin (+)epicatechin dan alkaloid. Kandungan yang paling banyak adalah catechin dengan kandungan sampai 80%, catechin termasuk dalam grup flavonoid (C₆C₃C₆). Catechin menunjukkan aktivitas anti oksidatif yang dapat menghentikan oksidasi dari carcinogenesis pada organ dalam maupun organ luar.

Metode yang digunakan untuk mengetahui perilaku inhibisi dan adsorpsi dari ekstrak Uncaria Gambir terhadap *mild steel* di dalam lingkungan 1 M HCL adalah kehilangan berat, polarisasi dan *electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS), *scanning electron microscope*(SEM) dan termodinamika.

Dari metode kehilangan berat diketahui bahwa pada konsentrasi 1000 ppm adalah konsentrasi optimum yang memberikan efisiensi inhibisi yang paling

tinggi. Laju korosi mengalami penurunan seiring dengan peningkatan konsentrasi sampai 1000 ppm mengindikasikan terjadi peningkatan adsorpsi inhibitor di antarmuka logam atau larutan. Sedangkan penurunan inhibisi korosi setelah konsentrasi tersebut disebabkan oleh tertariknya molekul inhibitor kembali ke larutan. Pengaruh tersebut menyebabkan melemahnya interaksi logam dan inhibitor sehingga inhibitor akan digantikan kembali oleh air atau ion klorida yang akan berpengaruh juga pada penurunan efisiensi inhibisi. Hal tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi inhibitor berdiri sendiri. Pengujian polarisasi menunjukkan bahwa ekstrak *Uncaria Gambir* memiliki efisiensi inhibisi tertinggi (IE) 78,45% pada konsentrasi 1000 ppm. Peningkatan konsentrasi inhibitor akan menurunkan rapat arus korosi, yang disebabkan oleh adanya adsorpsi inhibitor di antarmuka baja atau larutan. Sedangkan penurunan rapat arus terjadi pada daerah katodik dan anodik sehingga *Uncaria Gambir* memiliki tipe inhibitor campuran dengan efektifitas utama kearah anodik. Pengujian EIS menunjukkan bahwa pembentukan film semakin kuat seiring dengan peningkatan konsentrasi. Proses adsorpsi molekul ekstrak *Uncaria Gambir* terhadap permukaan mild steel sesuai dengan Langmuir isotherm dengan asumsi bahwa daerah adsorpsi pada permukaan logam terdistribusi secara seragam, memiliki energi yang identik dan jumlah maksimal molekul yang teradsorpsi di tiap daerah adalah satu, hal tersebut menunjukkan adanya adsorpsi *monolayer* dari inhibitor pada permukaan mild steel.

2.11.2. Neem (Nahle, et al., 2010)

Ekstrak Neem yang digunakan adalah berasal dari daerah Uni Emirat Arab dengan kandungan utamanya adalah tannin dan senyawa kompleks limonoid . Metode yang digunakan untuk mengetahui pengaruh inhibisi dari ekstrak cair Neem terhadap baja karbon di larutan HCl adalah menggunakan metode kehilangan berat dan polarisasi dengan variasi temperatur. Dari metode polarisasi diketahui bahwa efisiensi inhibisi yang dimiliki oleh ekstrak neem semakin meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasinya. Inhibisi korosi dari ekstrak Neem dipengaruhi oleh adanya kandungan tanin yang tinggi dan senyawa kompleks yang disebut triterpene. Selama tanin mengandung *polyphenolic moieties* maka tanin

akan dapat membentuk garam taninate dan ion *ferric*. Terbentuknya ikatan *ferric* garam taninate yang tinggi dapat melindungi permukaan logam. Proses adsorpsi inhibitor pada permukaan logam mengikuti *Temkin adsorption isotherm* dan merupakan inhibitor dengan tipe campuran (*mixed*). Pengujian kehilangan berat dilakukan dengan merendam baja karbon selama beberapa waktu disertai dengan memberikan variasi konsentrasi dan variasi temperatur. Dari pengujian tersebut diketahui bahwa pada temperatur normal dengan konsentrasi rendah dapat menurunkan laju korosi, tetapi ketika temperatur dinaikkan laju korosi tidak turun dengan segera. Hal tersebut terjadi karena pada temperatur yang lebih tinggi, ion-ion dari inhibitor masih terlarut sehingga adsorpsi dari inhibitor cenderung kecil. Ketika konsentrasi ditingkatkan maka akan lebih banyak molekul inhibitor yang teradsorpsi di permukaan logam sehingga akan menurunkan laju korosi. Oleh karena itu laju korosi baja karbon dalam 1.0 M HCl merupakan fungsi konsentrasi dari ekstrak Neem. Mekanisme adsorpsi seperti ini termasuk kedalam *physical adsorption* karena inhibitor yang teradsorpsi akan turun seiring dengan peningkatan temperatur. Ekstrak Neem merupakan inhibitor ramah lingkungan yang dapat digunakan pada baja karbon di lingkungan 1,0 M HCl.

2.11.3. Solanum Melongena (Mejha, et al., 2010)

Ekstrak daun *Solanum Melongena* mengandung campuran senyawa organik kompleks yaitu flavonoid, beberapa senyawa phenolic (chlorogenic dan asam caffeic), enzim (polyphenol oxidase dan lipoxygenase), asam amino, protein sederhana, ether extractable lipid, fiber sederhana, beberapa vitamin (thiamine, pyridoxine dan niacin) dan beberapa senyawa organik lainnya. Senyawa-senyawa organik tersebut menunjukkan aktifitas antioksidan. Tannin dan beberapa senyawa antioksidan yang terdapat pada ekstrak tumbuhan memberikan kontribusi untuk menghambat korosi yang terjadi di baja ketika berada di lingkungan asam. Metode yang digunakan untuk mengetahui pengaruh inhibisi ekstrak daun *Solanum Melongena* pada korosi aluminium di lingkungan asam *tetraoxosulphate* (VI) adalah *gravimetric* dengan merendam aluminium didalam larutan uji 0,5 M H₂SO₄ dengan penambahan dan tanpa penambahan inhibitor. Dari pengujian yang dilakukan, diketahui bahwa dengan penambahan ekstrak daun *Solanum*

Melongena akan menurunkan laju korosi ketika logam berada di lingkungan asam. Laju korosi turun seiring dengan peningkatan konsentrasi inhibitor. Sedangkan Efisiensi inhibisi dari inhibitor akan turun seiring dengan semakin lamanya waktu yang digunakan untuk proses perendaman. Tetapi efisiensi inhibisi akan meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi dari inhibitor diakibatkan oleh adanya molekul dari ekstrak daun *Solanum Melongena* yang teradsorpsi di permukaan logam sehingga melindungi permukaan logam dari serangan korosi selanjutnya. Peningkatan konsentrasi inhibitor akan memperluas *Surface coverage* (θ) di permukaan logam. Selain itu, molekul yang teradsorpsi pada permukaan logam akan membentuk suatu pembatas terhadap perpindahan muatan dan transfer massa antara logam dan lingkungan, sehingga dapat melindungi permukaan logam dari serangan korosi. Semakin luas permukaan yang dilindungi sebagai akibat dari peningkatan adsorpsi molekul ekstrak maka akan semakin tinggi pula perlindungan terhadap korosi yang diberikan oleh inhibitor.

2.11.4. Jasminum Nudiflorum Lindl. (Li, et al., 2010)

Kandungan yang dimiliki oleh ekstrak daun *Jasminum Nudiflorum Lindl* (JNLLE) adalah flavonoid dari phillyrin ($C_{27}H_{34}O_{11}$), verbascoside ($C_{29}H_{36}O_{15}$), secoiridoid glucoside dari jasnudifloside H ($C_{43}H_{62}O_{23}$). JNLLE digunakan untuk inhibisi korosi *cold rolled steel* (CRS) di lingkungan HCl. Dari metode kehilangan berat diperoleh bahwa dengan peningkatan konsentrasi ekstrak daun JNLLE akan meningkatkan pula efisiensi inhibisi. Efisiensi inhibisi maksimum yang dicapai adalah sebesar 97.9%, mengindikasikan bahwa JNLLE merupakan inhibitor yang sangat baik untuk CRS di lingkungan 1.0 M HCl. Mekanisme inhibisinya disebabkan oleh adsorpsi inhibitor pada permukaan CRS dan mengikuti *Langmuir adsorption isotherm*. Dari pengujian polarisasi diketahui bahwa JNLLE tidak termasuk kedalam inhibitor tipe campuran disebabkan potensial korosi tidak mengalami perubahan yang signifikan seiring dengan penambahan konsentrasinya. Oleh karena itu jenis inhibisi yang dimiliki oleh JNLLE masuk kedalam kategori *geometric blocking*, dengan kata lain pengaruh inhibisi berasal dari reduksi dari daerah reaksi pada permukaan logam yang terkorosi. Dari pengujian polarisasi diketahui juga bahwa molekul JNLLE teradsorpsi ke kedua

daerah anodik dan katodik. Dari pengujian EIS diketahui bahwa impedansi dari komponen yang diinhibisi mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan konsentrasi dari inhibitor di lingkungan 1.0 M HCl. Selain itu diketahui juga bahwa molekul inhibitor mengalami adsorpsi di antarmuka logam atau larutan. Pengujian FTIR menunjukkan adanya pembentukan kompleks Fe^{2+} - JNLLE dan teradsorpsi di permukaan logam melalui gugus fungsi C=O dan C=C atau C=N. Image yang dihasilkan SEM membuktikan bahwa JNLLE dapat teradsorpsi di permukaan logam untuk membentuk protektif film yang rapat dan padat.

2.11.5. Henna (Rajendran, et al., 2009)

Kandungan alamiah yang dimiliki oleh Henna antara lain memiliki anti inflammasi, antipiretik, dan efek analgesik. Unsur pokok yang dikandung oleh ekstrak henna adalah Lawsone. Struktur dari lawsone terdiri dari unit benzene, unit p-benzoquinone dan phenolik. Dari pengujian kehilangan berat diketahui bahwa efisiensi inhibisi maksimum memiliki nilai sebesar 81% dan terus turun seiring penambahan konsentrasi inhibitor ketika baja karbon direndam dalam 100 mL larutan dengan kandungan Cl^- sebesar 60 ppm. Hal tersebut diakibatkan oleh semakin banyak konsentrasi inhibitor ditambahkan maka akan mengakibatkan lapisan film protektif yang terbentuk di permukaan logam akan larut ke larutan sehingga merusak lapisan itu sendiri. Namun nilai efisiensi akan semakin meningkat ketika dalam kondisi yang sama ditambahkan Zn^{2+} yang mengindikasikan adanya pengaruh sinergi antara kedua komponen. Penambahan pH mempengaruhi juga terhadap efisiensi inhibisi. Efisiensi inhibisi menjadi turun ketika berada dalam lingkungan dengan pH rendah, karena lingkungan asam mengandung ion H^+ yang agresif dan dapat merusak lapisan film pelindung. Ketika pH ditingkatkan akan menyebabkan efisiensi inhibisi akan meningkat pula, karena gugus $-\text{OH}$ fenolik akan terionisasi menjadi anion fenolat $-\text{O}^-\text{Na}^+$. Sedangkan pengaruh periode proses perendaman menunjukkan bahwa semakin lama proses perendamannya akan menyebabkan efisiensi inhibisinya menjadi turun. Hal ini disebabkan dengan semakin lama periode perendaman maka film protektif yang terbentuk di permukaan logam mengalami kerusakan karena tidak mampu untuk menahan serangan Cl^- . Rusaknya lapisan film seiring dengan

semakin lamanya periode pencelupan terjadi karena pada daerah anodik logam lebih cenderung untuk membentuk $FeCl_2$ dibandingkan untuk membentuk Fe^{2+} - Lawsonsone kompleks. Kurva polarisasi menunjukkan bahwa penambahan 2 mL ekstrak Henna akan mengubah potensial korosi ke arah anodik mengindikasikan pembentukan Fe^{2+} -Lawsonsone, sedangkan penambahan 2 mL ekstrak dan 50 ppm Zn^{2+} mengubah potensial korosi ke arah katodik mengindikasikan pembentukan $Zn(OH)_2$. FTIR menunjukkan pembentukan kompleks Fe^{2+} - Lawsonsone terjadi di anodik melalui gugus fungsi fenolik oksigen, cincin aromatis dan gugus C=O p-benzo quinone, sedangkan adsorpsi di daerah katodik diindikasikan terjadi pada serapan 1300 cm^{-1} .

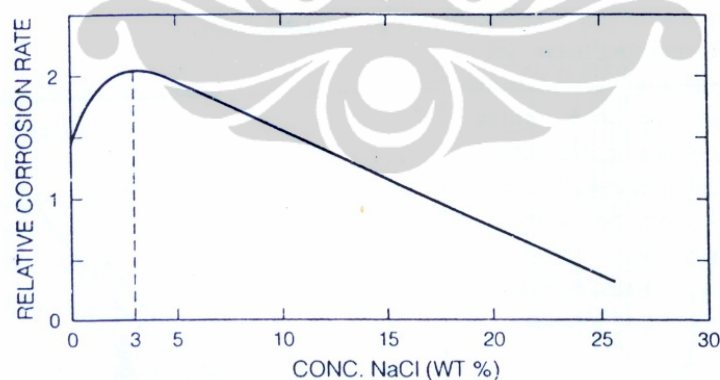
2.11.6. Justicia Gendarussa (Satapathy, et al., 2009)

Justicia Gendarussa termasuk dalam keluarga *acanthaceae* dan biasanya ditemukan di daerah pesisir India. Justicia Gendarussa memiliki kandungan alkaloid, lignan, minyak tumbuhan, flavonoid dan O-substituted aromatic amine. Dari investigasi yang dilakukan diketahui bahwa dengan semakin meningkatnya temperatur laju korosi akan meningkat, sedangkan efisiensi inhibisi menurun. Efisiensi inhibisi maksimum meningkat seiring dengan penambahan konsentrasi. Ekstrak justicia gendarussa memiliki efektifitas inhibisi untuk menurunkan korosi pada rentang temperatur $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dari hasil polarisasi menunjukkan bahwa ekstrak justicia gendarussa bertindak sebagai inhibitor campuran. Lapisan inhibitor yang terbentuk mengandung molekul ekstrak justicia gendarussa, klorida dan oksida besi. Penyerapan molekul ekstrak justicia gendarussa pada permukaan logam mengikuti mekanisme *Langmuir isotherm*, sedangkan pembentukan lapisan inhibitor mengandung Fe-Inhibitor kompleks dan terletak pada pori-pori lapisan oksidanya. Sedangkan peningkatan energi aktivasi dari proses korosi dengan penambahan konsentrasi ekstrak Justicia Gendarussa mengindikasikan *physical adsorption*.

2.12. Air Laut (Jones, 1996, 366)

Permasalahan korosi dapat timbul ketika suatu material berinteraksi atau berada dalam suatu lingkungan yang mengandung air laut. Air laut mengandung

sekitar 3,4% garam, sedikit alkaline dan memiliki pH 8. Air laut merupakan salah satu elektrolit yang baik dan dapat menyebabkan korosi galvanik dan *crevice*. Korosi yang terjadi dipengaruhi oleh laju suplai oksigen terlarut ke permukaan baja. Laju suplai oksigen ditentukan oleh konsentrasi oksigen, pergerakan air laut, koefisien difusi oksigen, dan karakteristik produk korosi pada permukaan baja sebagai pembatas terjadinya difusi oksigen. Produk korosi pada permukaan baja berupa film terdiri dari oksida dan hidroksida besi, sulfida besi, endapan kapur, bakteri dan makhluk laut dengan ukuran makroskopik. Film tersebut dapat melindungi baja dengan bertindak sebagai pembatas difusi oksigen sehingga dapat menurunkan laju korosi (Uhlig, 2000, 545). Contoh korosi yang juga dipengaruhi oleh adanya air laut adalah terjadi pada jalur pipa yang digunakan pada industri perminyakan. Korosi tersebut timbul karena sifat agresif dari cairan yang dialirkan didalamnya (El-Etre & Abdallah, 2000) dan cairan tersebut dapat berupa minyak yang mengandung air dan sulfur, air formasi dengan kandungan garam tinggi atau air laut. Air laut merupakan suatu sistem kimia kompleks yang dipengaruhi oleh konsentrasi dan akses dari oksigen terlarut, salinitas, konsentrasi ion minor, aktifitas biologi dan polutan. Pengaruh konsentrasi NaCl pada laju korosi besi dapat dilihat dari Gambar 2.5.



Gambar 2. 5. Pengaruh konsentrasi NaCl pada laju korosi besi

Sumber: (Jones, 1996, 366) “telah diolah kembali”

Peningkatan laju korosi disebabkan oleh adanya peningkatan konduktifitas dari larutan. Konduktifitas yang tinggi akan menyebabkan polarisasi yang rendah dengan arus korosi yang tinggi antara anoda dan katoda, sedangkan

konduktifitas rendah menyebabkan produk reaksi anodik cenderung untuk membatasi reduksi oksigen di katodik. Kelarutan garam tinggi akan menurunkan kelarutan oksigen terlarut dan laju korosi akan terus turun setelah mencapai maksimum pada konsentrasi NaCl sekitar 3%. Sedangkan untuk mensimulasikan air laut dalam skala laboratorium biasanya menggunakan larutan NaCl dengan konsentrasi 3.5%.

Reaksi korosi yang terjadi pada baja karbon didalam larutan netral/NaCl adalah sebagai berikut (Rustandi, et al., 2012):

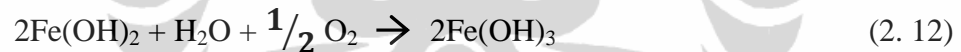
Reaksi anodik



Reaksi katodik adalah reduksi oksigen



Reaksi akhir yang dihasilkan adalah:



2.13. Beluntas (*Pluchea Indica Less.*)

Mempertimbangkan hasil-hasil yang telah dicapai dari penelitian-penelitian sebelumnya berkenaan dengan penggunaan inhibitor korosi dengan bahan yang berasal dari alam, maka akan digunakan ekstrak daun Beluntas dengan maksud untuk mengetahui adanya kemungkinan efektifitas sebagai inhibitor korosi ramah lingkungan.



Gambar 2. 6. Pohon dan daun Beluntas (*Pluchea Indica Less.*)

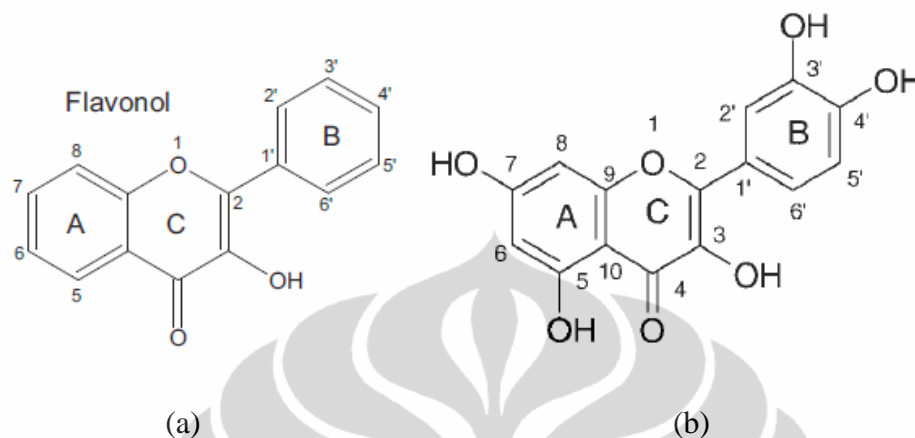
Sumber: (Sulistiyangingsih, 2009) “telah diolah kembali”

Beluntas merupakan tumbuhan perdu dengan tinggi dapat mencapai 2 m atau lebih, tumbuh di daerah kering di tanah yang keras berbatu, pantai dekat laut sampai daerah dengan ketinggian 1.000 m diatas permukaan laut. Batangnya berkayu, bulat, tegak, bercabang. Memiliki daun tunggal, berbentuk bulat telur, tepi rata, ujung runcing, pangkal tumpul, berbulu halus, panjang 3,8 sampai 6,4 cm, lebar 2 sampai 4 cm, memiliki pertulangan menyirip dengan warna hijau muda hingga hijau, berbau harum dan berasa agak getir. Akar beluntas berupa akar tunggang dan bercabang (Ardiansyah, 2002). Pada umumnya masyarakat di pedesaan secara tradisional menggunakan daun beluntas sebagai bahan obat seperti untuk batuk, penurun panas, penghilang bau badan, diare, menyembuhkan penyakit kulit bahkan dikonsumsi sebagai lalapan.

Kandungan-kandungan yang dimiliki oleh daun Beluntas yaitu alkaloid, flavonoid, tanin, minyak atsiri, asam chlorogenik, natrium, kalium, magnesium dan fosfor (Dalimartha, 1999; Setiaji D., 2005). Flavonoid merupakan senyawa aktif dengan prosentase paling tinggi jika dibandingkan dengan alkaloid dan tanin (Andarwulan, Batari, Sandrasari, Bolling, & Wijaya, 2010; susetyarini, 2009). Flavonoid yang terkandung dalam daun beluntas tersusun oleh beberapa zat aktif, dengan kandungan paling utama adalah quercetin (Andarwulan, et al., 2010). Quercetin dengan rumus molekul $C_{15}H_{10}O_7$ masuk kedalam kelompok flavonol

Universitas Indonesia

yang merupakan salah satu dari 7 kelompok utama dari flavonoid (Lakhanpal & Rai, 2007). Struktur molekul dari flavonol dan quercetin ditunjukkan oleh gambar dibawah ini:



Gambar 2. 7. Struktur dasar (a) Flavonol dan (b) Quercetin

Sumber: (Dusan Malesev, 2007) “telah diolah kembali”

2.13.1. Flavonoid (Ferdian, 2008)

Flavonoid Adalah suatu kelompok senyawa fenol yang terbanyak terdapat di alam. Senyawa-senyawa ini bertanggung jawab terhadap zat warna merah, ungu, biru, dan sebagian zat warna kuning dalam tumbuhan. Semua flavonoid menurut strukturnya merupakan turunan senyawa induk “ flavon “ yakni nama sejenis flavonoid yang terbesar jumlahnya dan juga lazim ditemukan. Flavonoid banyak ditemukan dalam bentuk tepung putih pada tumbuhan primula, contohnya pada tanaman beluntas. Flavonoid dalam tumbuhan mempunyai empat fungsi : 1) Sebagai pigmen warna, 2) Fungsi fisiologi dan patologi, 3) Aktivitas Farmakologi, dan 4) Flavonoid dalam makanan. Pada bidang farmakologi, salah satu kegunaan flavonoid adalah dapat digunakan sebagai antioksidan. Flavonoid dapat digunakan sebagai obat karena mempunyai bermacam macam bioaktivitas seperti antiinflamasi, anti kanker, antifertilitas, antiviral, antidiabetes, antidepresant, diuretic, dll. Dalam proses aktifitas inhibisi korosi dari ekstrak tumbuhan diakibatkan oleh adanya kandungan heterosiklik seperti flavonoid (Okafor, et al., 2008; Raja & Sethuraman, 2008).

2.13.2. Alkaloid (Ferdian, 2008)

Merupakan senyawa organik yang jumlahnya melimpah dialam, baik dari segi jumlahnya maupun sebarannya. Umumnya alkaloid adalah senyawa metabolit sekunder yang bersifat basa, yang mengandung satu atau lebih atom nitrogen berasal dari tumbuhan dan hewan, biasanya dalam cincin heterosiklik, dan bersifat aktif biologis menonjol. Alkaloid pada tanaman dipercaya sebagai sumber nitrogen, sebagai perlindungan tanaman, perkecambahan dan menstimulasi pertumbuhan tanaman. Sama seperti flavonoid, alkaloid juga termasuk dalam senyawa heterosiklik oleh karena itu alkaloid juga bertanggung jawab terhadap proses aktifitas inhibisi korosi dari ekstrak tumbuhan (Okafor, et al., 2008; Raja & Sethuraman, 2008).

2.13.3. Tannin (Rukmana, 2010)

Tanin memiliki struktur kimia kompleks, biasanya banyak ditemukan pada tumbuhan berpembuluh. Tanin merupakan senyawa fenolik larut air, dapat menimbulkan reaksi umum dari senyawa fenol serta memiliki sifat-sifat khusus seperti pretisipasi alkaloid, gelatin dan protein-protein lain dan memiliki rasa yang sepat. Tanin biasanya berupa senyawa *amorf*, higroskopis berwarna coklat kuning dapat larut dalam air dan pelarut organik polar. Semakin murni tanin akan berakibat kepada kelarutannya dalam air akan berkurang dan makin mudah membentuk kristal. Beberapa bentuk tanin terbukti mempunyai aktivitas antioksidan. Tannin dapat meningkatkan pembentukan film diatas permukaan logam sehingga dapat membantu dalam proses inhibisi korosi (Okafor, et al., 2008; Raja & Sethuraman, 2008). Proses inhibisi dari tannin dikaitkan kepada pembentukan lapisan pasif dari tannates pada permukaan logam. Selama tannin mengandung gugus polifenolik moieties dan gugus tersebut memiliki kemampuan untuk membentuk garam tanninate dengan ion *ferric* maka inhibisi korosi dari tannin dapat disebabkan oleh pembentukan jaringan dari garam *ferric tanninate* yang melindungi permukaan logam (Nahle, et al., 2010). Tannin juga diketahui dapat membentuk senyawa kompleks dengan kation logam yang berbeda, khususnya pada suatu media dasar. berdasarkan latar belakang tersebut

maka dalam proses manufaktur biasanya tannin digunakan sebagai cat anti karat dan *coating* (El-Etre, et al., 2005).

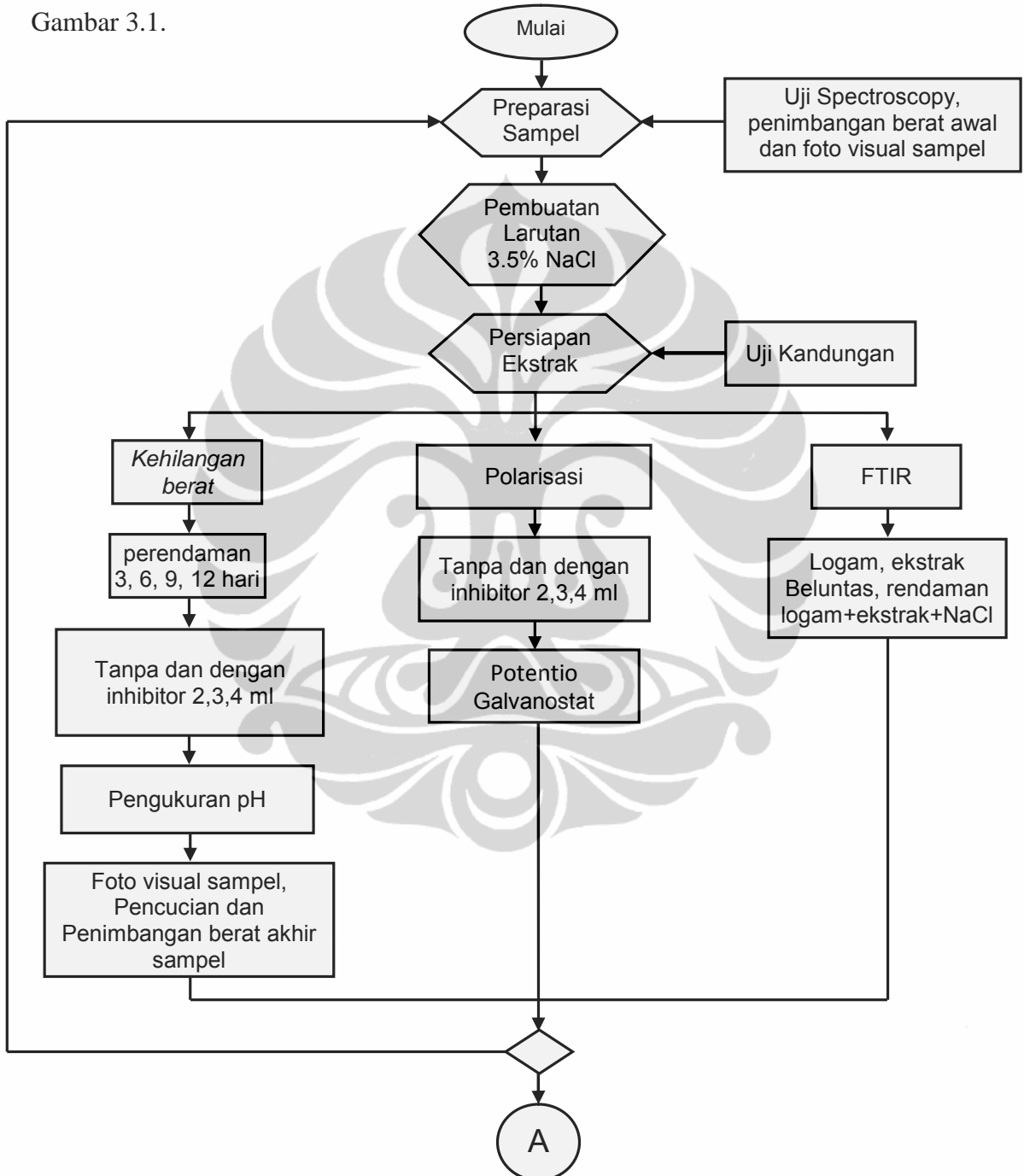
Dari penelitian sebelumnya diketahui bahwa kandungan seperti flavonoid dan tanin dapat dijadikan sebagai produk anti korosi dan anti skaling yang ramah lingkungan (Pirvu, et al., 2011; Raja & Sethuraman, 2008).



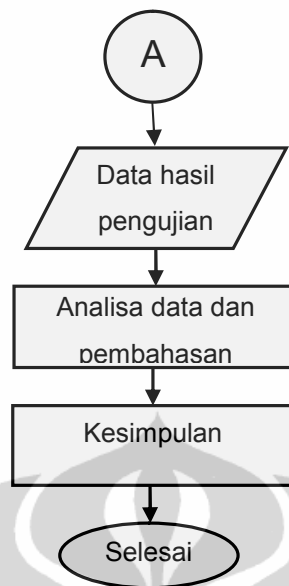
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Alur proses penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat dari diagram alir Gambar 3.1.



Gambar 3. 1. Diagram alir penelitian ekstrak daun Beluntas sebagai inhibitor korosi ramah lingkungan



Gambar 3.1 (sambungan). Diagram alir penelitian ekstrak daun Beluntas sebagai inhibitor korosi ramah lingkungan

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat

- a. Alat pemotong sampel
- b. Mesin bor dan mata bor diameter 3 mm
- c. Mesin gerinda kecil dan kertas ampelas
- d. Timbangan digital
- e. pH meter digital
- f. Multimeter, kabel dan solder
- g. Benang, gunting, *cutter*, wadah plastik, dan kertas label
- h. Elektroda standar Ag/AgCl
- i. Penggaris dan pensil
- j. Kamera digital
- k. *Pipet* 5 ml, *Beaker glass* 500 dan 1000 ml
- l. *Hair dryer*
- m. *Ultrasonic agitator*

3.2.2. Bahan

- a. Plat baja karbon
- b. *Toluene*
- c. *Acetone*
- d. NaHCO_3
- e. *HCl*
- f. Inhibitor *baracor*
- g. Garam teknis
- h. Aquades
- i. *Resin* dan *hardener*
- j. Ekstrak daun Beluntas

3.3. Prosedur Kerja

Proses pengujian berupa pengujian kehilangan berat, polarisasi dan FTIR dilakukan di beberapa laboratorium pengujian. Pengujian kehilangan berat dilakukan di laboratorium korosi Departemen Metalurgi dan Material FTUI, pengujian polarisasi dilakukan di laboratorium korosi dasar Pusat Penelitian Metalurgi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Serpong, dan Pengujian FTIR dilakukan di Laboratorium *advanced characterization* Departemen Metalurgi dan Material FTUI.

3.3.1. Preparasi Sampel Uji Kehilangan berat

3.3.1.1. Pemotongan, pengeboran dan pengampelasan sampel

Preparasi sampel untuk uji kehilangan berat dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu: sampel baja karbon rendah dengan dimensi 25 mm x 20 mm x 1 mm diperoleh dengan cara memotong plat berdimensi 250 mm x 200 mm x 1 mm menggunakan mesin pemotong. Sampel yang telah dibuat masing-masing dibor dengan mata bor berdiameter 3 mm pada sisi bagian atas. Lubang tersebut akan digunakan sebagai tempat untuk menggantung sampel dengan benang pada proses perendaman. Tahapan selanjutnya adalah melakukan proses pengampelasan terhadap sampel dengan menggunakan kertas ampelas ukuran #80 dan #120

dengan tujuan untuk menghilangkan oksida yang masih menempel di permukaan sampel (ASTM, 2004).

3.3.1.2. Pengambilan Foto dan Penimbangan Berat Awal Sampel

Data awal sampel dilakukan dengan melakukan pengambilan foto awal dan penimbangan berat awal sampel. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan data visual awal sampel sebelum dilakukan proses perendaman. Masing-masing sampel ditimbang berat awalnya menggunakan timbangan digital.

3.3.2. Persiapan Ekstrak Daun Beluntas

Ekstrak cair daun Beluntas yang akan digunakan di pengujian diperoleh dari Balai Materia Medica, Batu. Sebelum digunakan ekstrak ditempatkan dalam wadah gelap, terhindar dari cahaya matahari langsung dan diletakkan di suhu ruang. Hal tersebut dilakukan untuk menjaga agar kandungan zat-zat dalam ekstrak daun Beluntas tetap stabil dan tidak mengalami penurunan efektifitas. Sedangkan untuk mengetahui kadar flavonoid yang terkandung dalam ekstrak daun Beluntas maka dilakukan pengujian penetapan kadar flavonoid di Departemen Farmasi Fakultas MIPA UI. Dari pengujian, diperoleh hasil kadar flavonoid ekstrak daun Beluntas dengan pembandingan Quercetin sebesar 2,0463% atau 2 gram flavonoid dalam 100 gram ekstrak dihitung terhadap quercetin.

3.3.3. Pembuatan Larutan 3,5% NaCl

Dalam proses uji kehilangan berat, sampel akan direndam kedalam wadah plastik berisi larutan 3,5% NaCl dengan volume minimal larutan rendam mengacu pada standar ASTM G31-71 (ASTM, 2004). Pembuatan larutan 3,5% NaCl dilakukan dengan mencampur dan melarutkan 35 gram garam teknis ke dalam 1000 ml aquades. Untuk mempercepat proses pelarutan garam dengan aquades digunakan *stirrer* dan mesin *stirring*.

3.3.4. Pengujian Kehilangan Berat

Proses pengujian kehilangan berat dilakukan dengan melakukan perendaman sampel kedalam larutan 3,5% NaCl dengan menggunakan variabel yang telah ditentukan dilakukan di laboratorium korosi Departemen Metalurgi dan

Universitas Indonesia

Material FTUI. Variabel yang digunakan dalam pengujian adalah variabel waktu dan variabel konsentrasi ekstrak daun beluntas. Waktu yang digunakan untuk melakukan proses perendaman sampel di dalam larutan 3,5% NaCl ditentukan selama 3, 6, 9 dan 12 hari. Untuk variabel konsentrasi ekstrak daun Beluntas terdiri dari larutan 3,5% NaCl tanpa penambahan inhibitor dan larutan 3,5% NaCl dengan penambahan inhibitor. Larutan dengan penambahan inhibitor dibuat dengan menambahkan inhibitor ekstrak daun beluntas sebanyak 2, 3 dan 4 mL yang ditambahkan ke dalam larutan 3,5% NaCl, sedangkan untuk tipe tanpa penambahan inhibitor maka larutan 3,5% NaCl tidak diberikan penambahan inhibitor sama sekali. Banyaknya larutan 3,5% NaCl yang digunakan untuk pengujian rendam skala laboratorium ditentukan dengan menggunakan standard ASTM G31-72 (ASTM, 2004).

$$\text{Vol. Larutan} = 0.4 \times \text{luas permukaan sampel uji} \quad (3.1)$$

dimensi sampel adalah $p= 25 \text{ mm}$, $l= 20 \text{ mm}$, $t= 1 \text{ mm}$

L sampel = L permukaan balok – L permukaan lubang

$$\begin{aligned} &= 2(p \times l + p \times t + l \times t) - (2\pi r^2 + 2\pi r t) \\ &= 2(25 \times 20 + 25 \times 1 + 20 \times 1) - (2\pi(1.5)^2 + 2\pi(1.5)1) \\ &= 1090 \text{ mm}^2 - 23,562 \text{ mm}^2 \\ &= 1066,438 \text{ mm}^2 \\ &= 1.65 \text{ inch}^2 \end{aligned}$$

Volume minimal = $0.4 \times \text{luas permukaan sampel}$

$$= 0.4 \times 1066,438$$

$$= 426,5752 \text{ mL}$$

Jadi volume minimal 3,5% NaCl yang dapat digunakan adalah sebanyak 426,5752 mL. Berdasarkan volume minimal yang dapat digunakan dan untuk memudahkan dalam proses pengukuran maka dalam proses pengujian akan digunakan volume larutan sebanyak 450 mL.

Proses penimbangan berat awal sampel, pengambilan foto awal sampel dan pengukuran pH awal larutan dilakukan sebelum proses perendaman. Dalam proses pengujian kehilangan berat, proses pengulangan pengujian dibuat dua kali (*duplo*), hal ini dilakukan untuk memastikan konsistensi.

Setelah proses perendaman selesai kemudian dilakukan pengukuran pH akhir larutan, dilanjutkan dengan memfoto sampel. Untuk proses pembersihan sampel dilakukan dengan menggunakan standard NACE RP0775-99 (Nace, 1999). Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut: permukaan spesimen dibersihkan dengan mencelupkan kedalam toluen untuk menghilangkan dari kemungkinan adanya lapisan minyak atau parafin, dibilas dengan *acetone* dan dikeringkan menggunakan *hair dryer*. Dilanjutkan dengan merendam kedalam larutan HCl 32% sebanyak 200 ml dicampur dengan 2 ml inhibitor *baracor* dengan tujuan untuk *pickling* dan menghilangkan kerak dan produk korosi yang terbentuk selama perendaman. Untuk mempercepat proses pembersihan dapat digunakan *Ultrasonic Agitator*. Suasana asam yang terdapat di sampel dihilangkan dengan mencelupkan sampel kedalam larutan NaHCO_3 jenuh selama 1 menit, membilas dengan aquades, mencuci sampel dengan *acetone* dan dikeringkan kembali dengan *hair dryer*. Beratnya ditimbang sebagai berat akhir dan dilanjutkan dengan memfoto sampel sebagai bukti visual.

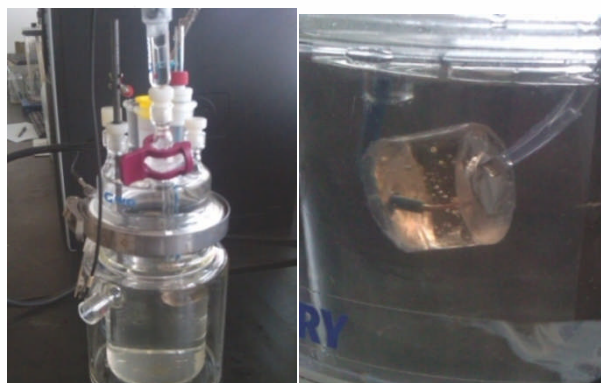
Setelah berat awal dan berat akhir dari sampel diketahui maka dilakukan pengukuran untuk menghitung laju korosi (C_R) dan efisiensi inhibisi ($IE\%$) dari inhibitor pada sampel yang direndam pada larutan 3,5% NaCl baik yang tidak menggunakan dan yang menggunakan inhibitor dari waktu yang telah ditentukan.

3.3.5. Polarisasi

Untuk proses pengujian dan pengukuran polarisasi mengacu pada ASTM G5 (ASTM, 1999), *Standard Reference Test Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurement*. Sebelum sampel digunakan sebagai elektroda kerja, terlebih dahulu dilakukan proses *mounting*. Sampel uji dihubungkan dengan kabel tembaga yang berfungsi sebagai suplai listrik pada saat proses polarisasi dilakukan, disolder pada sisi sampel yang

nantinya akan ditutup dengan *resin*. Untuk mempercepat proses pengerasan resin pada saat proses mounting, maka resin ditambahkan *hardener*. Setelah proses penyambungan selesai sampel diletakkan didalam tabung plastik, *resin* kemudian dituangkan sehingga hanya menyisakan satu permukaan yang tidak tertutup. Sampel yang telah *dimounting* kemudian dibiarkan beberapa lama sampai dipastikan *resin* telah menjadi keras dan sampel siap digunakan. Tahap berikutnya adalah menggosok sisi sampel yang tidak tertutup *resin* dengan kertas ampelas menggunakan mesin ampelas dan air sebagai pelumasnya. Setelah itu sampel dikeringkan dan disimpan dalam *dessicator* untuk menjaga tetap kering dan tidak terkontaminasi dengan lingkungan sekitarnya untuk meminimalkan terjadinya proses korosi.

Proses pengujian dan pengukuran polarisasi menggunakan *Gamry Potentiostat instrument*. Elektroda yang digunakan dalam pengukuran polarisasi terdiri dari 3 elektroda terdiri dari: elektroda kerja berupa sampel baja karbon rendah, *counter electrode* berupa batang karbon, dan elektroda referensi berupa *silver/silver chloride* (Ag/AgCl). elektroda kerja adalah sampel uji baja karbon rendah dengan luas permukaan sisinya sebesar 1 cm^2 . Sebelum proses polarisasi dilakukan, terlebih dahulu mengukur *open circuit potensial* (ocp) antara elektroda kerja dan lingkungan dengan memasukkan elektroda kerja kedalam larutan uji selama 30 menit. Proses polarisasi dilakukan pada rentang potensial katodik sebesar $-0,1 \text{ V}$ terhadap E_{corr} sampai potensial anodik $0,1 \text{ V}$ terhadap E_{corr} dengan *scan rate* sebesar $0,25 \text{ mV s}^{-1}$. Setelah itu dilanjutkan dengan memplot kurva polarisasi yang diperoleh.



Gambar 3. 2. Rangkaian sel pengujian polarisasi

Setelah proses polarisasi dilakukan dilanjutkan dengan menghitung efisiensi inhibisi (*IE%*).

Efisiensi inhibisi diperoleh dengan(Li, et al., 2010):

$$IE\% = \frac{I_{corr} - I_{corr}(i)}{I_{corr}} \times 100 \quad (3.2)$$

I_{corr}: densitas arus korosi tanpa penambahan inhibitor

I_{corr}(i): densitas arus korosi dengan penambahan inhibitor

3.3.6. *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)*

Spektrometer FTIR merupakan suatu instrument yang memiliki kehandalan ketika digunakan untuk menentukan suatu jenis ikatan yang dimiliki oleh inhibitor organik sekaligus dapat digunakan untuk menentukan adanya kemungkinan terbentuknya ikatan antara inhibitor organik yang teradsorpsi pada permukaan logam (Singh, Singh, & Quraishi, 2010). Pengujian FTIR dilakukan menggunakan FTIR spektrometer Spectrum Two dari Perkin Elmer. Sebagai perbandingan maka digunakan tiga sampel uji yang terdiri dari: a) baja karbon rendah, b) ekstrak cair daun Beluntas, dan c) baja karbon rendah yang direndam selama 48 jam dalam larutan 3,5% NaCl dengan penambahan ekstrak daun Beluntas sebanyak 3 mL. Pengujian dari masing-masing sampel diharapkan menghasilkan spektrum baja karbon rendah, spektrum gugus fungsi dari ekstrak daun beluntas murni dan spektrum gugus fungsi ekstrak yang teradsorpsi pada permukaan logam. Hasil yang diperoleh dapat digunakan untuk mengetahui apakah ekstrak daun Beluntas mengalami adsorpsi pada permukaan logam sehingga dapat berfungsi sebagai pembatas antara permukaan logam dan lingkungan disekitarnya dan pada akhirnya dapat melindungi logam dari korosi.

BAB 4 HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian *Spectroscopy* Sampel Uji

Pengujian *spectroscopy* dilakukan untuk mengetahui dan memastikan komposisi dari suatu material. Material yang digunakan sebagai sampel uji pada penelitian ini adalah material baja karbon rendah. Hasil uji *spectroscopy* yang menunjukkan komposisi dari material dapat dilihat dari Tabel 4.1

Tabel 4. 1. Komposisi Baja Karbon

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

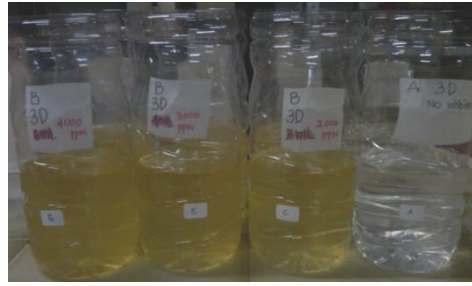
4.2. Pengamatan Visual

4.2.1. Sebelum Perendaman



Gambar 4. 1. Sampel baja karbon rendah sebelum proses perendaman

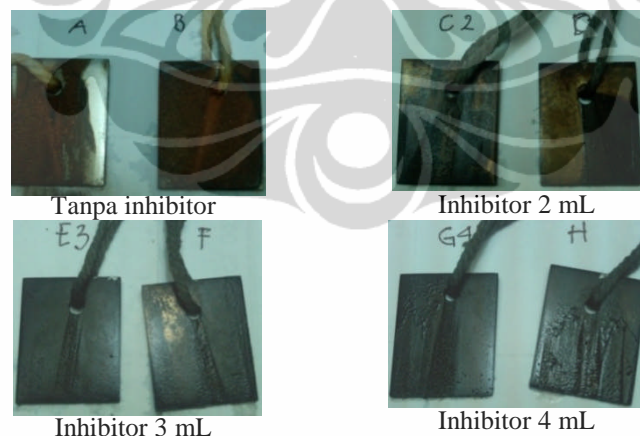
Gambar 4.1. berturut-turut merupakan sampel baja karbon rendah sebelum dilakukan proses perendaman dan sampel tersebut telah digosok menggunakan kertas ampelas yang dilakukan pada seluruh permukaannya. Dari pengamatan visual terlihat bahwa tidak terdapat produk korosi yang menempel di permukaannya dan tidak terlihat adanya goresan. Bentuk awal sampel Gambar 4.1. mewakili juga bentuk awal sampel untuk perendaman 6, 9 dan 12 hari.



Gambar 4. 2. Larutan 3,5% NaCl dan larutan dengan inhibitor

Gambar 4.2 menunjukkan larutan 3,5% NaCl tanpa inhibitor dan ditambah inhibitor sebelum dilakukan proses perendaman. Dari pengamatan terlihat bahwa larutan tanpa inhibitor memiliki warna putih bening, sedangkan larutan dengan ditambah inhibitor terlihat memiliki warna hijau muda untuk penambahan 2 mL sampai warna hijau lebih tua pada penambahan 3 dan 4 mL. Perbedaan warna tersebut disebabkan oleh perbedaan pemberian konsentrasi dari ekstrak daun Beluntas, semakin tinggi konsentrasinya maka warnanya akan semakin tua. Kondisi awal larutan untuk perendaman selama 3 hari juga mewakili kondisi awal untuk larutan untuk perendaman selama 6, 9 dan 12 hari.

4.2.2. Setelah perendaman



Gambar 4. 3. Sampel baja karbon rendah setelah proses perendaman 3 hari

Kondisi akhir dari sampel setelah dilakukan proses perendaman selama 3 hari dapat dilihat pada Gambar 4.3. Secara visual terlihat perbedaan antara sampel yang direndam didalam larutan tanpa inhibitor dengan larutan dengan inhibitor. Terlihat jelas bahwa pada sampel dalam larutan tanpa inhibitor di permukaannya

berwarna hitam dan di permukaannya juga menempel produk korosi berwarna coklat kemerahan. Produk korosi tersebut ada juga yang jatuh dan mengendap di dasar wadah. Berbeda dengan sampel yang direndam di dalam larutan dengan penambahan inhibitor, diseluruh permukaan sampel terlihat ditutupi oleh suatu lapisan berwarna hitam namun tidak terlihat adanya produk korosi yang menempel di permukaannya. Lapisan berwarna hitam yang terbentuk di permukaan sampel kemungkinan merupakan lapisan yang bersifat pasif dan ketika ditambah dengan perlindungan yang berasal dari ekstrak daun Beluntas berakibat dapat meningkatkan sifat proteksinya dan menghambat proses korosi. Hal ini terlihat dari penurunan laju korosi yang stabil seiring dengan penambahan konsentrasi inhibitor dan variasi waktu dari 3 sampai 12 hari.



Gambar 4. 4. Larutan 3,5% NaCl dan larutan dengan inhibitor

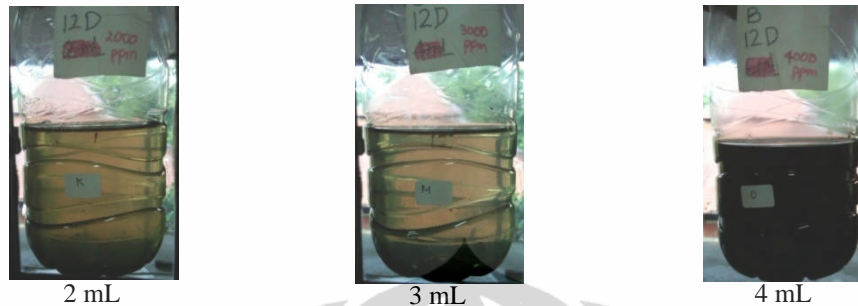
Gambar 4.4 menunjukkan pengamatan visual dari larutan yang telah digunakan dalam proses perendaman selama 3 hari. Untuk larutan tanpa inhibitor Gambar 4.5. tidak mengalami perubahan warna, sama seperti warna semula yaitu berwarna bening, tetapi dibagian dasar wadah terdapat endapan yang kemungkinan berasal dari produk korosi sampel yang jatuh.



Gambar 4. 5. Larutan 3,5% NaCl tanpa inhibitor setelah perendaman

Untuk larutan dengan penambahan inhibitor mengalami perubahan warna, dari yang awalnya berwarna hijau muda sampai hijau tua berubah menjadi berwarna hitam pekat. Perubahan warna larutan kemungkinan disebabkan oleh adanya interaksi antara ekstrak dengan lingkungan disekitarnya. Perubahan warna

larutan ini hampir sama untuk semua kondisi perendaman, yang membedakan hanya terletak pada kepekatan warnanya yaitu semakin pekat dengan semakin lamanya proses perendaman.



Gambar 4. 6. Perbandingan kepekatan larutan setelah proses perendaman

4.3. Pengujian Perendaman/ Kehilangan Berat

Pengujian perendaman dilakukan selama 3, 6, 9, 12 hari, dengan menggunakan empat variabel yaitu larutan tanpa inhibitor dan larutan dengan penambahan inhibitor ekstrak daun Beluntas sebesar 2, 3, 4 mL. Dari data hasil pengujian perendaman dapat digunakan untuk mengetahui kehilangan berat (*kehilangan berat*) sampel uji sehingga dapat digunakan untuk menentukan, laju korosi (CR) dan efisiensi inhibisi dari inhibitor. Data hasil uji rendam beserta laju korosi dan persentase efisiensi inhibisi dapat dilihat pada Tabel 4.2. sampai 4.5.

Data perendaman 3 hari (72 jam)

Tabel 4. 2. Data Uji Rendam Selama 3 Hari

mL	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Weight Loss (g)	Weight Loss (mg)	CR (mpy)	AVG CR	IE%	θ
A 0	4.4227	4.4113	0.0114	11.4	6.51	7.25	*	*
B 0	4.3280	4.3140	0.0140	14	7.99		*	*
C 2	4.3906	4.3850	0.0056	5.6	3.19	3.57	50.88	0.509
D 2	4.3295	4.3226	0.0069	6.9	3.94		50.71	0.507
E 3	4.4568	4.4515	0.0053	5.3	3.03	3.43	53.51	0.535
F 3	4.2835	4.2768	0.0067	6.7	3.82		52.14	0.521
G 4	4.3902	4.3851	0.0051	5.1	2.91	3.19	55.26	0.553
H 4	4.3624	4.3563	0.0061	6.1	3.48		56.43	0.564

Pada uji rendam 3 hari, laju korosi minimum kelompok A dan kelompok B memiliki nilai 2.91 dan 3.48 mpy yang terjadi pada penambahan inhibitor sebesar 4 mL dengan efisiensi inhibisinya masing-masing sebesar 55.26 % dan 56.43 %.

Data perendaman 6 hari (144 jam)

Tabel 4. 3. Data uji rendam selama 6 Hari

mL	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Weight Loss (g)	Weight Loss (mg)	CR (mpy)	AVG CR	IE%	θ
Q 0	4.5026	4.4861	0.0165	16.5	4.73	4.44	*	*
R 0	4.3396	4.3250	0.0146	14.6	4.17		*	*
S 2	4.3115	4.3051	0.0064	6.4	1.83	2.08	61.21	0.612
T 2	4.4093	4.4011	0.0082	8.2	2.34		43.84	0.438
U 3	4.4282	4.4212	0.007	7	1.99	1.87	57.58	0.576
V 3	4.2789	4.2728	0.0061	6.1	1.74		58.22	0.582
W 4	4.2860	4.2811	0.0049	4.9	1.39	1.54	70.30	0.703
X 4	4.4460	4.4401	0.0059	5.9	1.68		59.59	0.596

Pada uji rendam 6 hari, laju korosi minimum kelompok A dan kelompok B memiliki nilai 1.39 dan 1.68 mpy terjadi pada penambahan inhibitor sebesar 4 mL dengan efisiensi inhibisinya masing-masing sebesar 70.30 % dan 59.59 %.

Data perendaman 9 hari (216 jam)

Tabel 4. 4. Data uji rendam selama 9 Hari

mL	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Weight Loss (g)	Weight Loss (mg)	CR (mpy)	AVG CR	IE%	θ
Y 0	4.2500	4.2307	0.0193	19.3	3.67	3.68	*	*
Z 0	4.3183	4.2989	0.0194	19.4	3.69		*	*
QQ 2	4.4444	4.4370	0.0074	7.4	1.41	1.78	61.66	0.617
RR 2	4.3077	4.2964	0.0113	11.3	2.15		41.75	0.418
SS 3	4.3908	4.3862	0.0046	4.6	0.88	0.89	76.17	0.762
TT 3	4.2276	4.2229	0.0047	4.7	0.89		75.77	0.758
UU 4	4.3701	4.3648	0.0053	5.3	1.01	1.33	72.54	0.725
VV 4	4.3395	4.3308	0.0087	8.7	1.66		55.16	0.552

Pada uji rendam 9 hari, laju korosi minimum kelompok A dan kelompok B memiliki nilai 0.88 dan 0.89 mpy terjadi pada penambahan inhibitor sebesar 3000 ppm dengan efisiensi inhibisinya masing-masing sebesar 76.17 % dan 75.77 %. Perendaman selama 216 jam dengan Pemberian konsentrasi inhibitor sebesar 3 mL merupakan pengujian dengan nilai paling optimum dibandingkan dengan perendaman yang lain. laju korosi yang dicapai memiliki nilai paling rendah dengan efisiensi paling tinggi untuk menghambat proses korosi.

Data perendaman 12 hari (288 jam)

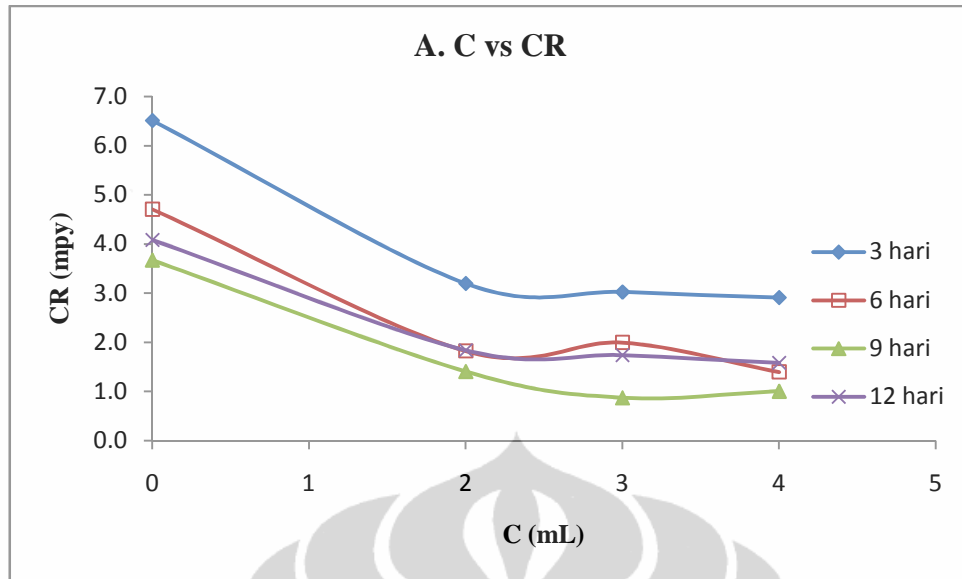
Tabel 4. 5. Data Uji Rendam Selama 12 Hari

mL	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Weight Loss (g)	Weight Loss (mg)	CR (mpy)	AVG CR	IE%	θ
I 0	4.4035	4.3749	0.0286	28.6	4.08	3.98	*	*
J 0	4.3238	4.2967	0.0271	27.1	3.87		*	*
K 2	4.3613	4.3484	0.0129	12.9	1.84	1.71	54.89	0.549
L 2	4.1106	4.0995	0.0111	11.1	1.58		59.04	0.590
M 3	4.7064	4.6942	0.0122	12.2	1.74	1.59	57.34	0.573
N 3	4.2921	4.2820	0.0101	10.1	1.44		62.73	0.627
O 4	4.3960	4.3849	0.0111	11.1	1.58	1.49	61.19	0.612
P 4	4.4584	4.4485	0.0099	9.9	1.41		63.47	0.635

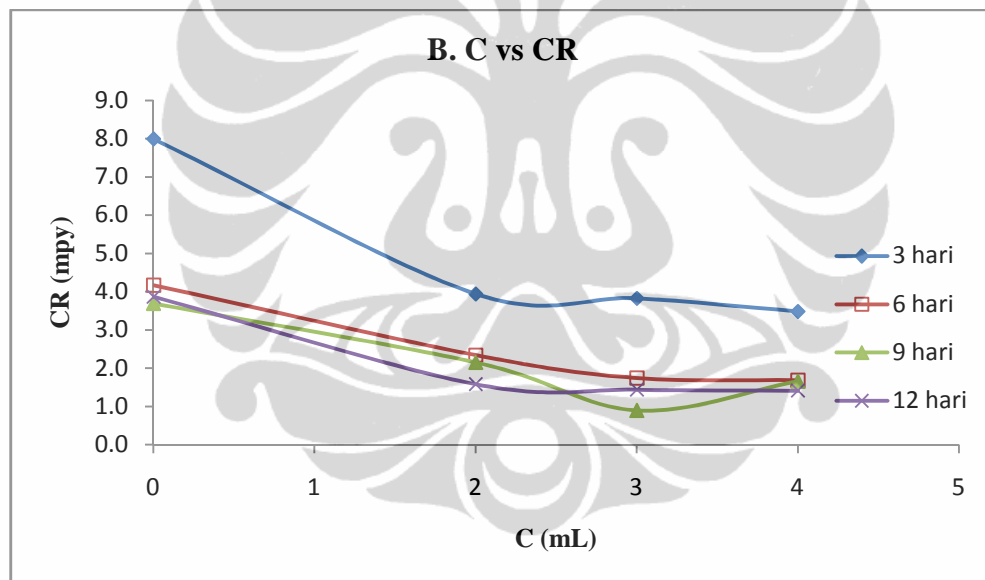
Pada uji rendam 12 hari, laju korosi minimum kelompok A dan kelompok B terjadi pada penambahan inhibitor sebesar 4 mL, laju korosi masing-masing sebesar 1.58 dan 1.41 mpy dengan efisiensi inhibisinya masing-masing sebesar 61.19 % dan 63.47 %.

4.3.1. Pengaruh Penambahan Konsentrasi Terhadap Laju Korosi dan Efisiensi Inhibisi

Laju korosi dan efisiensi inhibisi dari baja karbon rendah dalam larutan 3,5% NaCl seiring dengan penambahan variasi konsentrasi dari kelompok A dan B sebagai fungsi dari variasi konsentrasi ekstrak daun Beluntas ditunjukkan oleh Gambar 4.7 sampai 4.10.



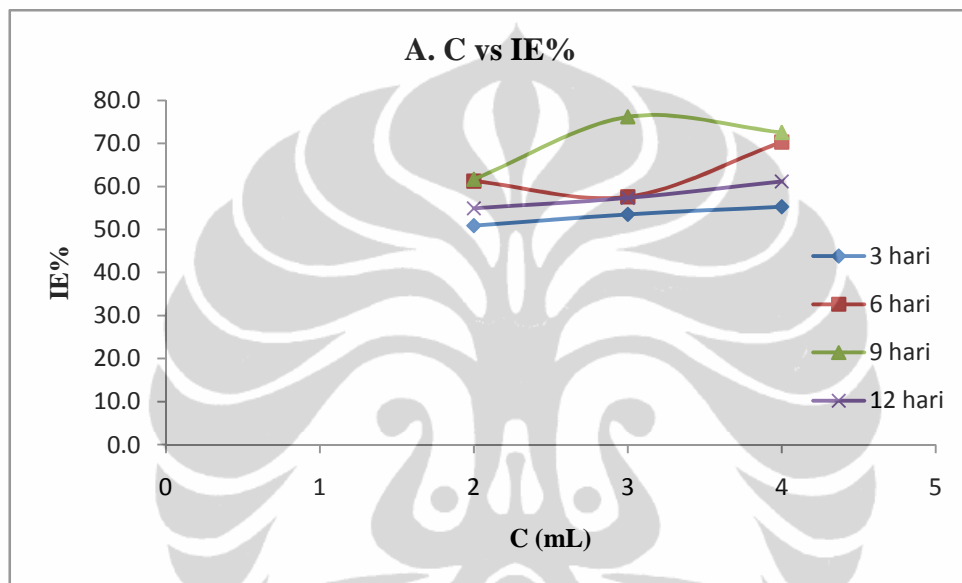
Gambar 4. 7. Grafik pengaruh penambahan konsentrasi terhadap laju korosi sampel A



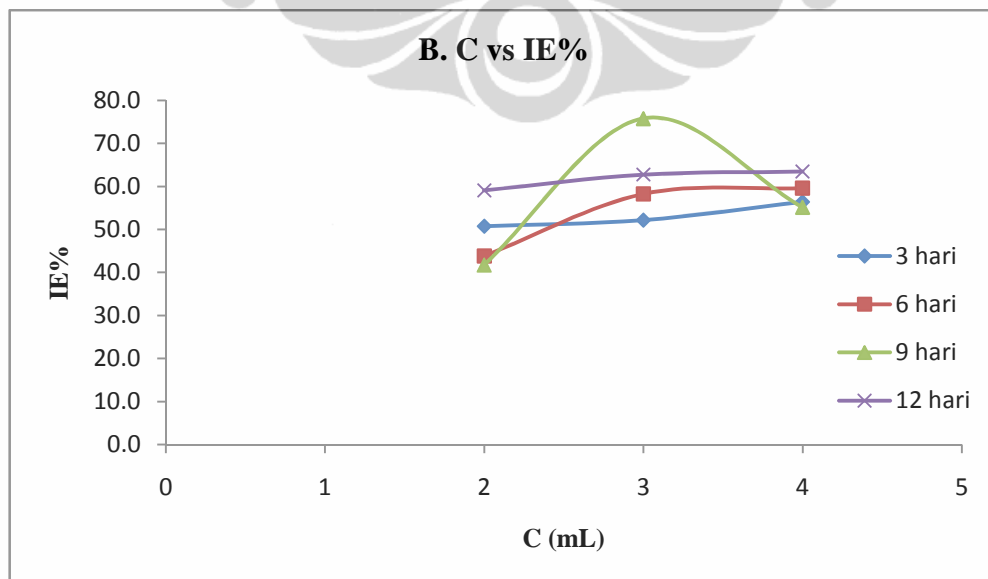
Gambar 4. 8. Grafik pengaruh penambahan konsentrasi terhadap laju korosi sampel B

Dari gambar 4.7 dan 4.8 terlihat bahwa ekstrak daun Beluntas dapat menahan laju korosi dari baja karbon rendah ketika berada dalam larutan uji. Penurunan laju korosi maksimum terjadi pada penambahan konsentrasi ekstrak sebesar 3 mL pada perendaman selama 216 jam. Laju korosi mengalami penurunan seiring dengan penambahan konsentrasi inhibitor. Penurunan laju korosi ini dapat dihubungkan dengan adanya peningkatan adsorpsi inhibitor di *interface* baja karbon rendah atau larutan seiring dengan peningkatan konsentrasi

(Hussin & Kassim, 2011; Satapathy, et al., 2009). Pemberian konsentrasi ekstrak daun Beluntas setelah 3 mL menyebabkan peningkatan laju korosi, yang berakibat kepada turunnya perlindungan terhadap korosi. Kecenderungan seperti itu dapat disebabkan oleh molekul inhibitor yang awalnya teradsorpsi di permukaan baja karbon tertarik kembali ke larutan sehingga dapat merusak lapisan film pelindung ketika konsentrasi inhibitor mendekati atau menjauhi konsentrasi kritisnya (Hussin & Kassim, 2011; Satapathy, et al., 2009).



Gambar 4. 9. Grafik pengaruh penambahan konsentrasi terhadap efisiensi inhibisi sampel A

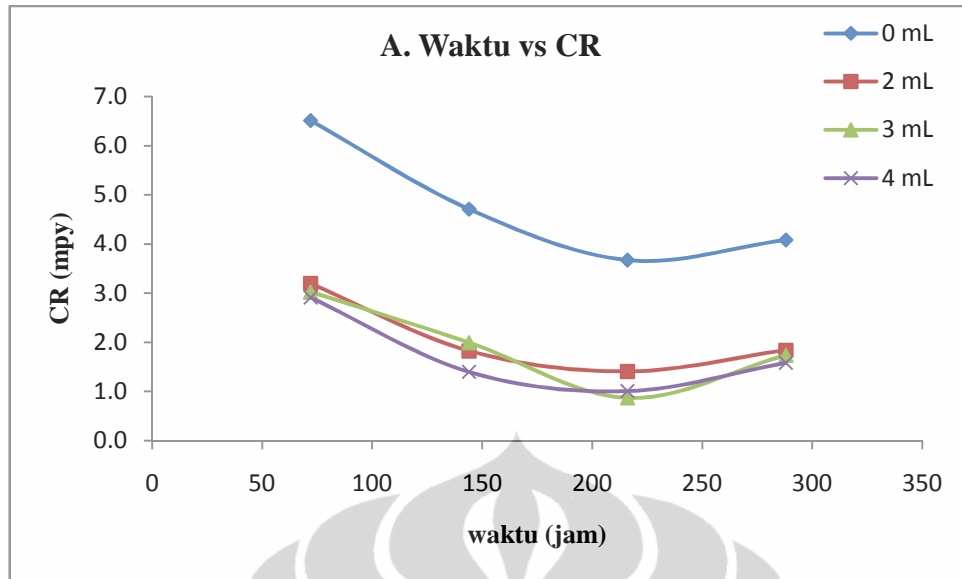


Gambar 4. 10 Grafik pengaruh penambahan konsentrasi terhadap efisiensi inhibisi sampel B

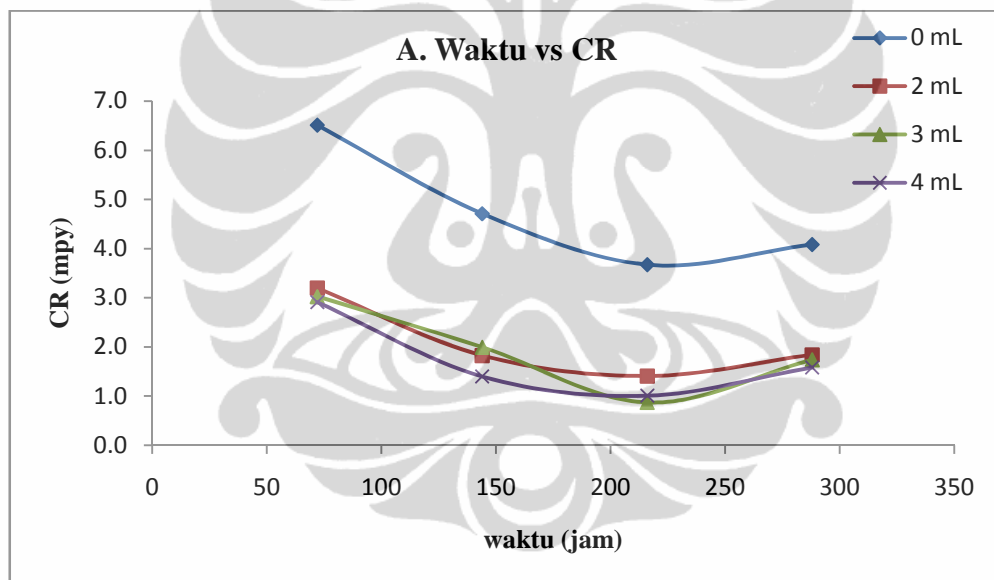
Dari gambar 4.9 dan 4.10 diketahui bahwa pada perendaman selama 3 dan 12 hari, efisiensi inhibisi mengalami peningkatan seiring dengan penambahan konsentrasi inhibitor. Sedangkan pada perendaman selama 6 dan 9 hari pemberian konsentrasi inhibitor sebesar 2 mL memberikan nilai efisiensi inhibisi paling rendah dan mengalami peningkatan optimum pada pemberian konsentrasi inhibitor sebesar 3 mL dan kembali turun pada pemberian konsentrasi inhibitor sebesar 4 mL. Dalam hal ini, peningkatan efisiensi inhibisi disebabkan oleh adanya peningkatan *surface coverage* (θ) dari molekul inhibitor yang teradsorpsi di permukaan baja karbon rendah seiring dengan peningkatan konsentrasi inhibitor (A.Y.El-Etre, 1998; El-Etre & Abdallah, 2000; Li, et al., 2010). Sedangkan penurunan nilai efisiensi inhibisi seiring penambahan konsentrasi inhibitor kemungkinan disebabkan oleh molekul inhibitor yang awalnya teradsorpsi di permukaan baja karbon tertarik kembali ke larutan sehingga dapat merusak lapisan film pelindung ketika konsentrasi inhibitor mendekati atau menjauhi konsentrasi kritisnya (Hussin & Kassim, 2011; Satapathy, et al., 2009). Rusaknya film pelindung secara otomatis akan mengurangi *surface coverage* molekul inhibitor yang teradsorpsi di permukaan baja karbon rendah.

4.3.2. Pengaruh Variasi Waktu Terhadap Laju Korosi dan Efisiensi Inhibisi

Laju korosi dan efisiensi inhibisi dari baja karbon rendah dalam larutan 3,5% NaCl sebagai fungsi variasi waktu dari ekstrak daun Beluntas ditunjukkan oleh gambar 4.11 sampai 4.14.



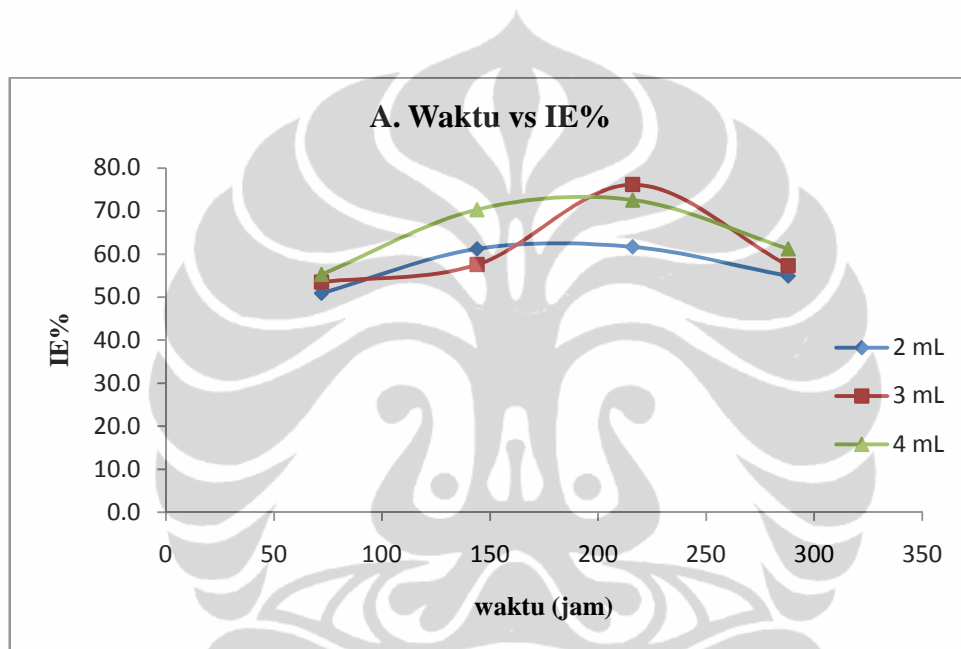
Gambar 4. 11. Grafik pengaruh waktu terhadap laju korosi sampel A



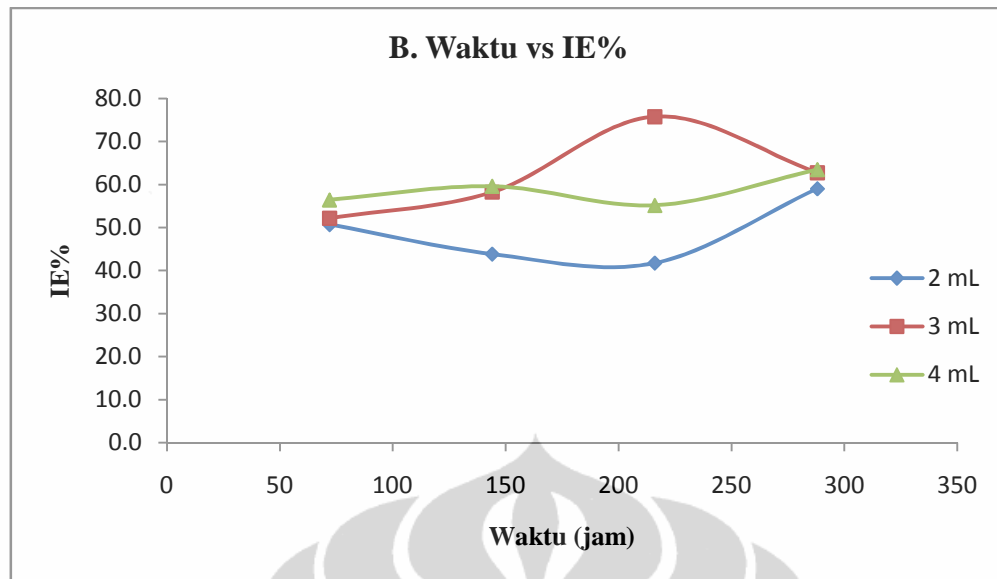
Gambar 4. 12. Grafik pengaruh waktu terhadap laju korosi sampel B

Gambar 4.11 dan 4.12 menunjukkan grafik pengaruh variasi waktu terhadap laju korosi dari baja karbon rendah dalam larutan 3,5% NaCl tanpa dan dengan penambahan inhibitor ekstrak daun Beluntas pada kelompok A dan kelompok B. Dari kedua gambar diketahui bahwa waktu perendaman 216 jam atau 9 hari merupakan waktu yang optimum sehingga mengakibatkan laju korosi baja karbon rendah mencapai minimum sebesar 0.88 dan 0.89 mpy dengan penambahan inhibitor sebesar 3 mL. Ekstrak daun Beluntas dapat menahan atau menurunkan laju korosi baja karbon rendah ketika direndam dalam larutan 3,5%

NaCl dan laju korosi akan semakin turun seiring dengan bertambahnya waktu perendaman. Hal ini dapat dihubungkan dengan adanya lapisan protektif yang teradsorpsi pada permukaan baja karbon rendah menjadi semakin tebal atau semakin banyak seiring dengan semakin lamanya waktu perendaman (Li, et al., 2010). Oleh karena itu, dari hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa pembentukan lapisan yang bersifat protektif di permukaan baja karbon rendah dipengaruhi juga oleh waktu.



Gambar 4. 13. Grafik pengaruh waktu terhadap efisiensi inhibisi sampel A

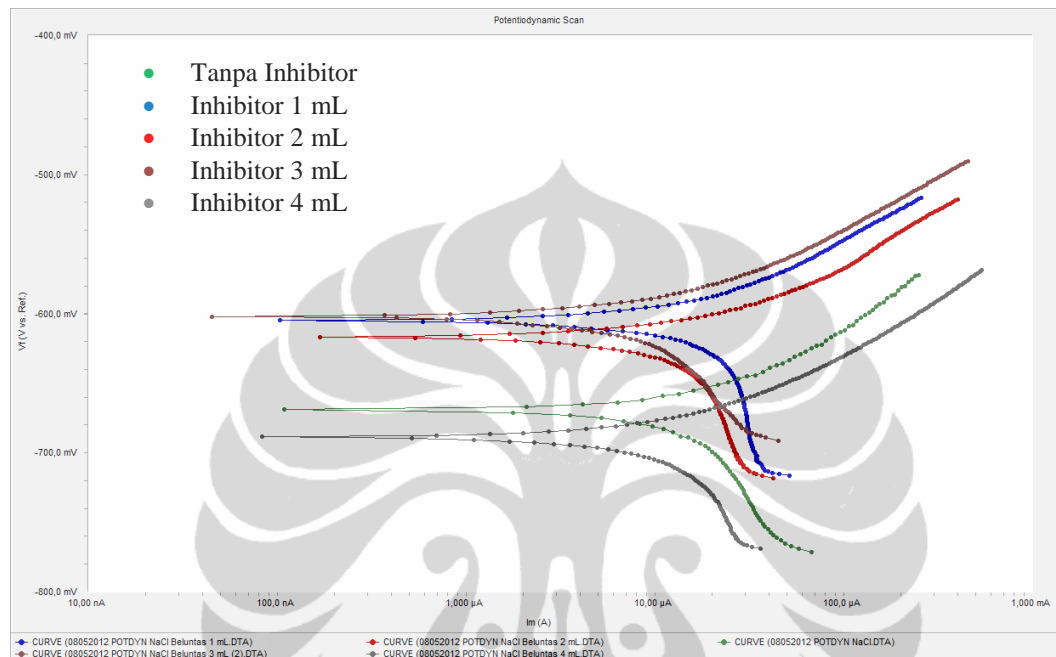


Gambar 4. 14. Grafik pengaruh waktu terhadap laju korosi sampel B

Gambar 4.13 dan 4.14 menunjukkan grafik pengaruh variasi waktu terhadap efisiensi inhibisi dari baja karbon rendah dalam larutan 3,5% NaCl tanpa dan dengan penambahan inhibitor ekstrak daun Beluntas pada kelompok A dan kelompok B. Dari kedua gambar tersebut terlihat bahwa dari masing-masing konsentrasi inhibitor akan memberikan peningkatan efisiensi inhibisi seiring dengan semakin lamanya waktu perendaman sampai waktu yang paling optimum dan akan turun setelah nilai optimum tersebut tercapai. nilai efisiensi inhibisi paling optimum terjadi pada konsentrasi inhibitor sebesar 3 mL dengan waktu yang paling optimum adalah 216 jam atau 9 hari. Nilai efisiensi inhibisi pada konsentrasi 3 mL untuk kelompok A: 76.17 % dan kelompok B: 75.77 %. Efisiensi inhibisi dari ekstrak daun Beluntas mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan waktu rendam, hal ini terjadi karena semakin lama waktu perendaman maka lapisan film pelindung yang teradsorpsi di *interface* baja karbon rendah atau larutan akan semakin banyak (Singh, Singh, & Quraishi, 2010). Penurunan nilai efisiensi inhibisi pada waktu perendaman yang terjadi setelah waktu optimum tercapai kemungkinan disebabkan oleh inhibitor yang teradsorpsi pada permukaan baja karbon tertarik kembali ke larutan sehingga menimbulkan kerusakan pada lapisan yang bersifat protektif tersebut (Li, et al., 2010).

4.4. Pengujian Polarisasi

Kurva polarisasi untuk baja karbon rendah tanpa dan dengan penambahan variasi konsentrasi ekstrak daun beluntas di dalam lingkungan 3,5% NaCl ditunjukkan pada Gambar 4. 15.



Gambar 4. 15. Kurva polarisasi tanpa dan dengan penambahan variasi konsentrasi dari ekstrak daun Beluntas dalam lingkungan 3,5% NaCl.

Nilai dari rapat arus korosi (I_{corr}), potensial korosi (E_{corr}), *Tafel slope* anodik dan katodik (β_a dan β_c), dan efisiensi inhibisi ($E\%$) ditunjukkan pada Tabel 4. 6.

Tabel 4. 6. Parameter polarisasi untuk baja karbon rendah tanpa dan dengan penambahan konsentrasi yang berbeda-beda dari ekstrak daun Beluntas dalam lingkungan 3,5% NaCl

Lingkungan	Konsentrasi Inhibitor (mL)	E_{corr} (mV vs Ag/AgCl)	I_{corr} ($\mu A cm^{-2}$)	β_a (mV/decade)	β_c (mV/decade)	CR (mpy)	IE (%)
3,5% NaCl	0	-669	24,80	74,5	385,4	10,97	*
	1	-605	24,10	81,7	256,1	10,66	2,82
	2	-617	13,70	48,4	203,4	6,05	44,76
	3	-602	5,04	34,1	79,0	2,23	79,68
	4	-689	13,30	59,2	176,6	5,89	46,37

Dari kurva polarisasi dapat diketahui bahwa baja karbon rendah ketika direndam dalam lingkungan 3,5% NaCl memiliki potensial korosi sekitar -669

mV mengacu terhadap elektroda Ag/AgCl. Ketika ditambahkan ekstrak daun beluntas dengan konsentrasi sebesar 1 mL, potensial korosi mengalami perubahan ke arah daerah anodik dengan nilai -605 mV mengacu terhadap elektroda Ag/AgCl. Ketika ditambahkan ekstrak daun beluntas dengan konsentrasi sebesar 2 mL dan 3 mL, potensial korosi masih berada di daerah anodik dengan masing-masing memiliki nilai sebesar -617 mV dan -602 mV mengacu terhadap elektroda Ag/AgCl. Dengan penambahan konsentrasi ekstrak daun Beluntas sebesar 1, 2, 3 mL potensial korosi E_{corr} mengalami perubahan ke arah anodik, mengindikasikan bahwa ekstrak daun Beluntas mengontrol reaksi terutama kearah anodik dengan membentuk senyawa kompleks pada daerah anodik dari permukaan baja karbon rendah (Rajendran, et al., 2009). Sedangkan ketika ditambahkan ekstrak daun beluntas dengan konsentrasi sebesar 4 mL, potensial korosi mengalami perubahan ke arah katodik dengan nilai -689 mV mengacu terhadap elektroda Ag/AgCl. Perubahan potensial korosi E_{corr} ini terjadi kemungkinan karena reaksi katodik juga dikontrol oleh pembentukan senyawa kompleks di daerah katodik pada permukaan baja karbon rendah (Rajendran, et al., 2009). Perubahan nilai E_{corr} pada larutan dengan pemberian variasi konsentrasi ekstrak daun Beluntas yang mengalami peningkatan dan penurunan secara acak ketika dibandingkan dengan nilai E_{corr} larutan tanpa inhibitor. Kecenderungan tersebut mengindikasikan bahwa inhibitor ekstrak daun Beluntas memiliki tipe inhibisi campuran (*mixed*) (Kumar, et al., 2010; Singh, Singh, & Quraishi, 2010) dengan inhibisi korosi lebih dominan kearah anodik.

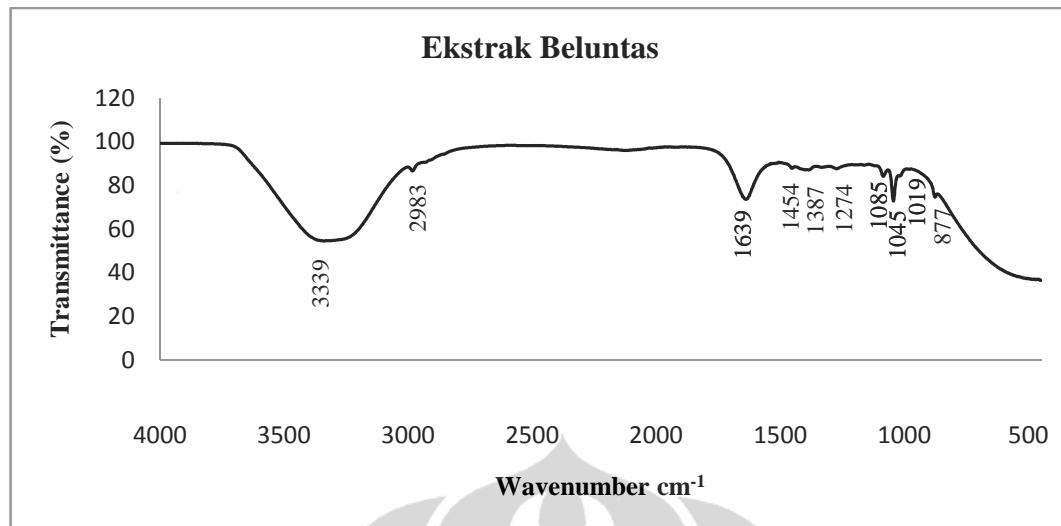
Dari Tafel plot diketahui bahwa pemberian variasi konsentrasi inhibitor dapat menurunkan nilai rapat arus korosi (I_{corr}) di kedua kurva anodik dan katodik dibandingkan dengan larutan tanpa inhibitor. Hal ini mengindikasikan bahwa reaksi korosi telah mengalami penurunan sehingga akan berakibat pula pada penurunan laju korosinya. Penurunan nilai densitas arus korosi (I_{corr}) akibat penambahan konsentrasi inhibitor disebabkan oleh adanya proses adsorpsi dari inhibitor di *interface* baja karbon rendah atau larutan 3,5% NaCl (Hussin & Kassim, 2011), sehingga reaksi anodik dan katodik mengalami proses inhibisi. Proses inhibisinya semakin meningkat seiring dengan adanya peningkatan konsentrasi ekstrak daun Beluntas di dalam di larutan 3,5% NaCl.

Universitas Indonesia

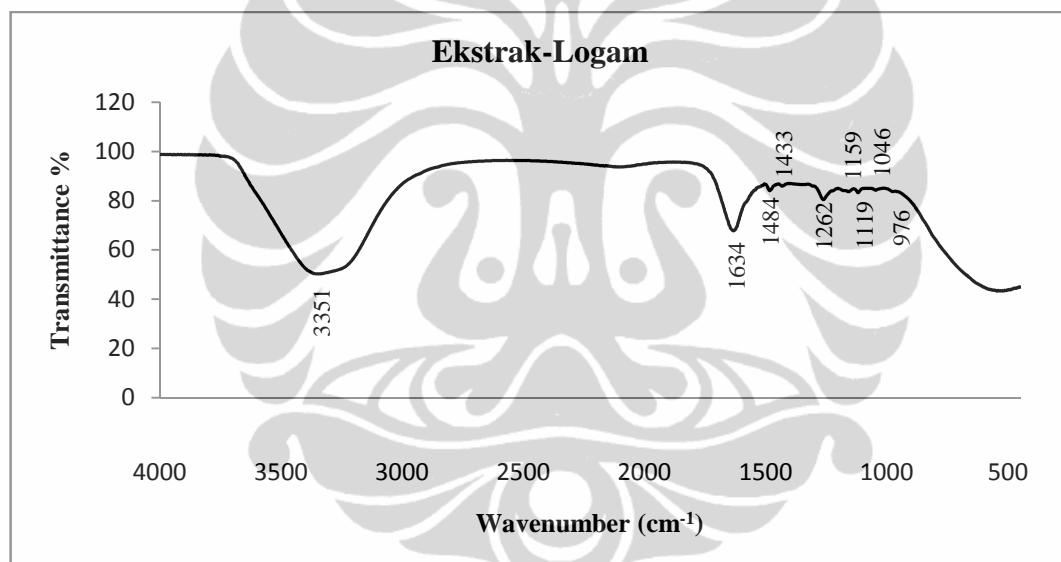
Perubahan nilai β_a dan β_c mengindikasikan bahwa proses adsorpsi ekstrak daun Beluntas dapat mengubah mekanisme kelarutan anodik maupun evolusi hidrogen di katodik (Kumar, et al., 2010; Singh, Singh, & Quraishi, 2010). Selain itu, terjadinya perubahan nilai β_a dan β_c ketika diberi penambahan konsentrasi ekstrak daun Beluntas mengindikasikan bahwa molekul-molekul inhibitor mengalami proses adsorpsi pada kedua daerah anodik dan katodik (Li, et al., 2010). Nilai efisiensi inhibisi semakin meningkat seiring dengan penambahan konsentrasi inhibitor dan mencapai nilai tertinggi pada konsentrasi 3 mL dengan nilai 79,68% dan setelah itu nilai efisiensinya kembali turun.

4.5. Pengujian *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR)

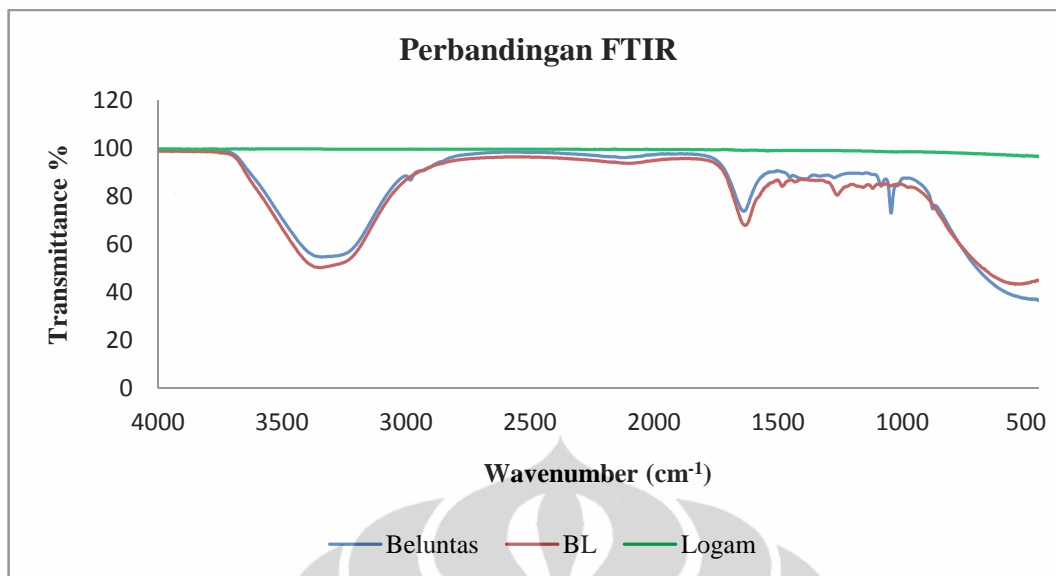
Spektrometer FTIR merupakan suatu alat yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis ikatan gugus fungsi, khususnya gugus fungsi yang terkandung dalam senyawa-senyawa organik. Ekstrak yang digunakan sebagai inhibitor organik pada dasarnya mengandung senyawa organik dan ketika senyawa organik tersebut digunakan sebagai inhibitor diharapkan akan terjadi proses adsorpsi ke permukaan logam sehingga logam terlindung dari korosi. Dari beberapa penelitian sebelumnya (Kumar, et al., 2010; Lalitha, Ramesh, & Rajeswari, 2005; Li, et al., 2010; Manov, Lamazouere, & Aries, 2000; Qu, Jiang, Bai, & Li, 2007; Rajendran, et al., 2009; Singh, Singh, & Quraishi, 2010), telah memastikan bahwa spektrometer FTIR merupakan alat yang dapat digunakan untuk menentukan jenis ikatan yang berasal dari inhibitor organik yang teradsorpsi di permukaan logam. Oleh karena itu spektrometer FTIR digunakan untuk mengidentifikasi apakah terdapat proses adsorpsi pada permukaan baja karbon rendah setelah dilakukan perendaman didalam larutan 3,5% NaCl sekaligus untuk memberikan informasi adanya ikatan baru yang terbentuk. Gambar dan tabel dibawah ini menunjukkan hasil pengujian FTIR yang dilakukan pada ekstrak daun beluntas, dan adsorpsi lapisan protektif yang terbentuk pada permukaan baja karbon rendah setelah direndam selama 48 jam dalam larutan 3,5% NaCl yang ditambah 3 mL inhibitor ekstrak daun beluntas dapat dilihat pada tabel dibawah:



Gambar 4. 16. Spektra FTIR ekstrak daun Beluntas



Gambar 4. 17. Spektra FTIR lapisan adsorpsi pada permukaan baja karbon rendah setelah direndam dalam larutan 3,5% NaCl selama 48 jam ditambah 3 mL ekstrak daun Beluntas



Gambar 4. 18. Spektra FTIRbaja karbon rendah, ekstrak daun Beluntas dan lapisan adsorpsi ekstrak daun beluntas pada permukaan baja karbon rendah

Tabel 4. 7. Absorpsi Infra Merah gugus fungsi ekstrak Beluntas dan adsorpsi lapisan protektif yang terbentuk pada permukaan baja karbon rendah

No.	Bilangan Gelombang Beluntas (cm ⁻¹)	Bilangan Gelombang Adsorpsi (cm ⁻¹)	Bilangan Gelombang Tabel Korelasi (*) (cm ⁻¹)	Perkiraan Gugus Fungsi
1	3339	3351	3200 - 3600	Regang O-H
2	2983	-	2850 - 2970	Regang C-H
3	1639	1634	1610 - 1680	Regang C=C
4	1454	1484	1340 - 1470	Lentur C-H
5	1387	1433	1340 - 1470	Lentur C-H
6	1274	1262	1050 - 1300	Lentur C-O
7	1085	1159	1050 - 1300	Lentur C-O
8	1045	1119	1050 - 1300	Lentur C-O
9	1019	1046	1050 - 1300	Lentur C-O
10	877	976	675 - 995	Lentur C-H

Keterangan (*) : Bilangan gelombang adalah rujukan dari tabel korelasi (Skoog, et al., 2007)

Berdasarkan hasil pengamatan spektra FTIR dapat diketahui bahwa ekstrak daun Beluntas memiliki gugus O-H, C=C dan C-H dan C-O, sehingga diperkirakan bahwa golongan senyawa aktif pada ekstrak daun beluntas merupakan senyawa aromatik atau fenolik yaitu suatu jenis dari golongan senyawa flavonoid dan tripernoid (Lathifah, 2008).

Dari perbandingan spektrum FTIR antara ekstrak daun beluntas dan ekstrak daun beluntas yang teradsorpsi pada permukaan daun beluntas diketahui bahwa frekuensi gugus fenolik regang O-H mengalami perubahan dari 3339 cm^{-1} menjadi 3351 cm^{-1} . Frekuensi regang C=C pada cincin aromatik mengalami perubahan dari 1639 cm^{-1} menjadi 1634 cm^{-1} . Perubahan tersebut mungkin disebabkan oleh pembentukan kompleks Quercetin - Fe^{2+} dan teradsorpsi di permukaan baja karbon rendah (Li, et al., 2010; Rajendran, et al., 2009). Frekuensi C-O mengalami perubahan dari 1274 cm^{-1} menjadi 1262 cm^{-1} , perubahan tersebut kemungkinan juga diakibatkan karena adanya ekstrak daun beluntas yang teradsorpsi di permukaan baja karbon rendah (Qu, et al., 2007). Oleh karena itu proses adsorpsi ekstrak daun Beluntas memiliki kemungkinan dapat terjadi melalui gugus fenolik oksigen, C=C, dan C-O (Kumar, et al., 2010; Li, et al., 2010; Qu, et al., 2007; Rajendran, et al., 2009).

Dari hasil perbandingan spektra FTIR antara ekstrak daun beluntas dengan lapisan yang teradsorpsi di permukaan baja karbon rendah diketahui memiliki spektra gugus fungsi yang serupa namun terdapat beberapa perubahan serapan di daerah tertentu. Perubahan serapan tersebut kemungkinan disebabkan oleh adanya ikatan antara ekstrak daun beluntas dengan logam, sehingga menunjukkan bahwa lapisan yang teradsorpsi di permukaan baja karbon rendah adalah ekstrak daun beluntas.

4.6. *Adsorption Isotherm*

Adsorption isotherm dapat memberikan informasi dasar dari interaksi antara inhibitor dan permukaan baja karbon rendah. Untuk menentukan proses adsorpsi maka digunakan nilai *surface coverage* (θ) yang dihasilkan dari pemberian konsentrasi ekstrak daun Beluntas yang berbeda. Adsorpsi inhibitor organik di interface logam dengan larutan terjadi oleh adanya proses adsorpsi substitusi antara molekul organik dalam larutan Org(sol) dan molekul air yang terdapat pada permukaan logam $\text{H}_2\text{O(sol)}$ (Hussin & Kassim, 2011; Singh, Singh, & Quraishi, 2010):



Org(sol) dan Org(ads) adalah molekul organik di dalam larutan dan molekul organik yang teradsorpsi di permukaan logam. H₂O(ads) adalah molekul air di permukaan logam dimana n adalah koefisien yang menunjukkan jumlah molekul air yang akan digantikan oleh satu molekul dari inhibitor organik. Proses adsorpsi korosi dapat diketahui dengan menggunakan *adsorption isotherm*. Untuk menjelaskan proses adsorpsi korosi adalah dengan melakukan usaha untuk menyesuaikan nilai θ dengan jenis-jenis *adsorption isotherm* yang umum digunakan antara lain Langmuir, Temkin dan Frumkin (Singh, Singh, & Quraishi, 2010). Langmuir *adsorption isotherm* dihubungkan dengan fenomena *physisorption* atau *chemisorption*. Temkin *adsorption isotherm* menjelaskan tentang heterogenitas yang terbentuk pada permukaan logam. Sedangkan Frumkin *adsorption isotherm* dihubungkan dengan fenomena *chemisorption* (Hussin & Kassim, 2011). Teori yang digunakan untuk menjelaskan jenis *adsorption isotherm* adalah:

$$\text{Langmuir : } \frac{c}{\theta} = \frac{1}{K} + C \quad (4.2)$$

$$\text{Frumkin : } \log \left\{ \frac{\theta}{(1-\theta)C} \right\} = \log K + g\theta \quad (4.3)$$

$$\text{Temkin : } \log \left[\frac{\theta}{C} \right] = \log K - g\theta \quad (4.4)$$

θ adalah *surface coverage*, K adalah konstanta kesetimbangan adsorpsi-desorpsi, C adalah konsentrasi inhibitor dan g adalah parameter *adsorbate*.

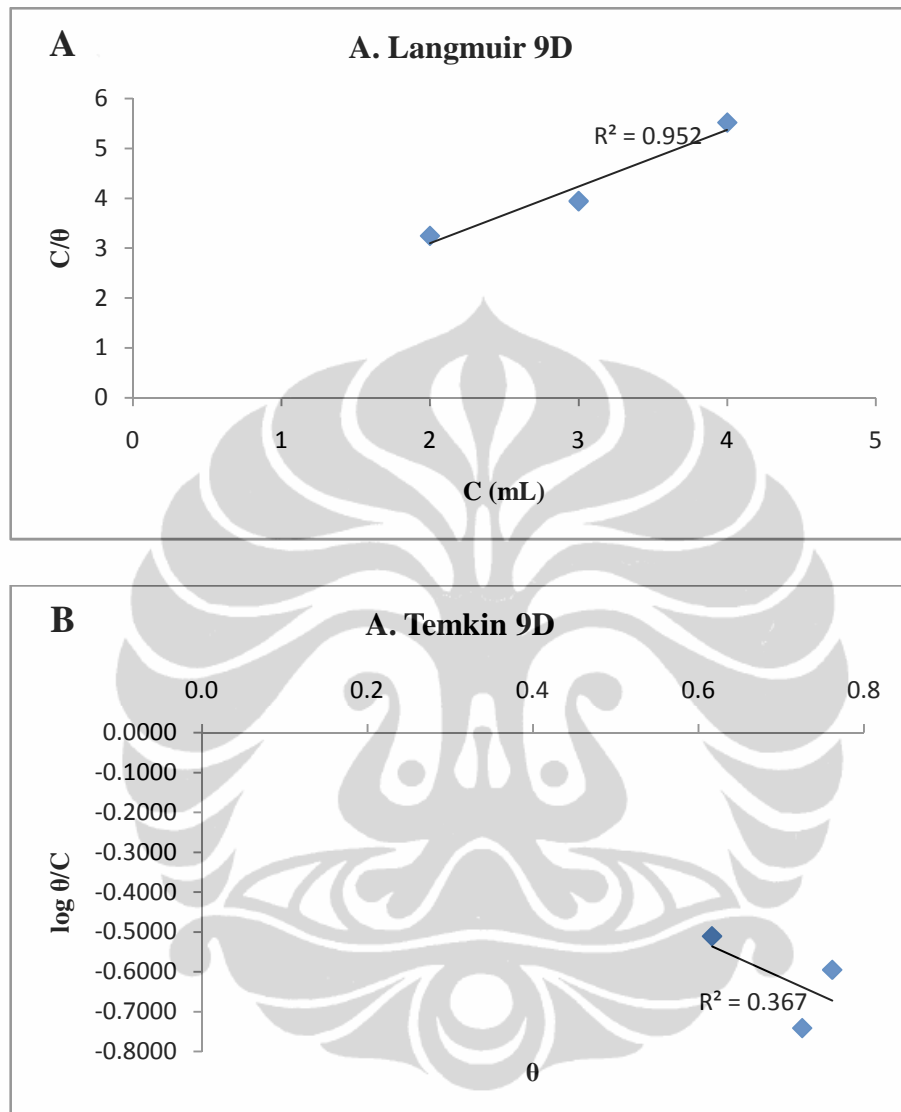
Surface coverage ditentukan dengan menggunakan persamaan (A.Y.El-Etre, 1998; Singh, Singh, & Quraishi, 2010):

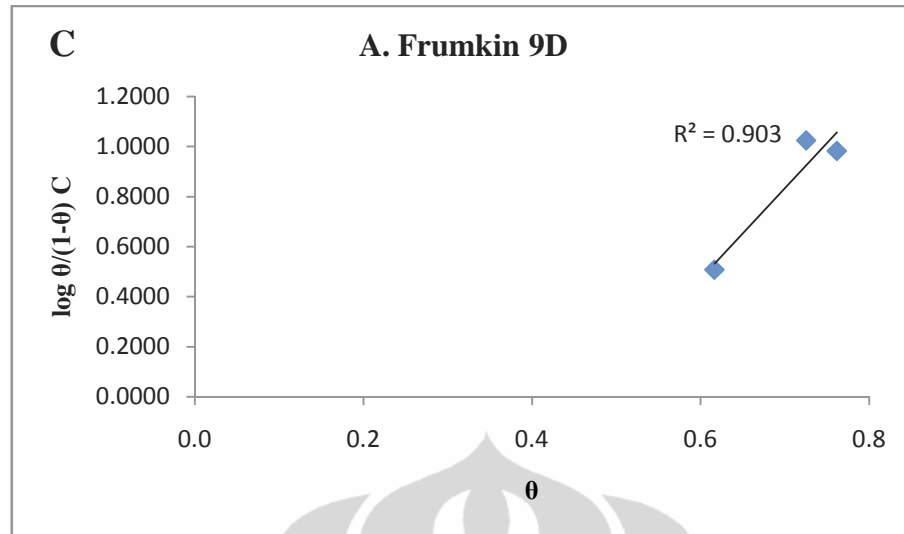
$$\theta = \frac{w_0 - w_i}{w_0} \quad (4.5)$$

w_0 dan w_i : nilai kehilangan berat tanpa dan dengan penambahan inhibitor

Dalam hal ini untuk memperoleh Informasi dasar dari interaksi antara inhibitor dan permukaan baja karbon rendah akan digunakan hasil pengukuran kehilangan berat dengan nilai yang paling optimum yaitu kehilangan berat 9 hari

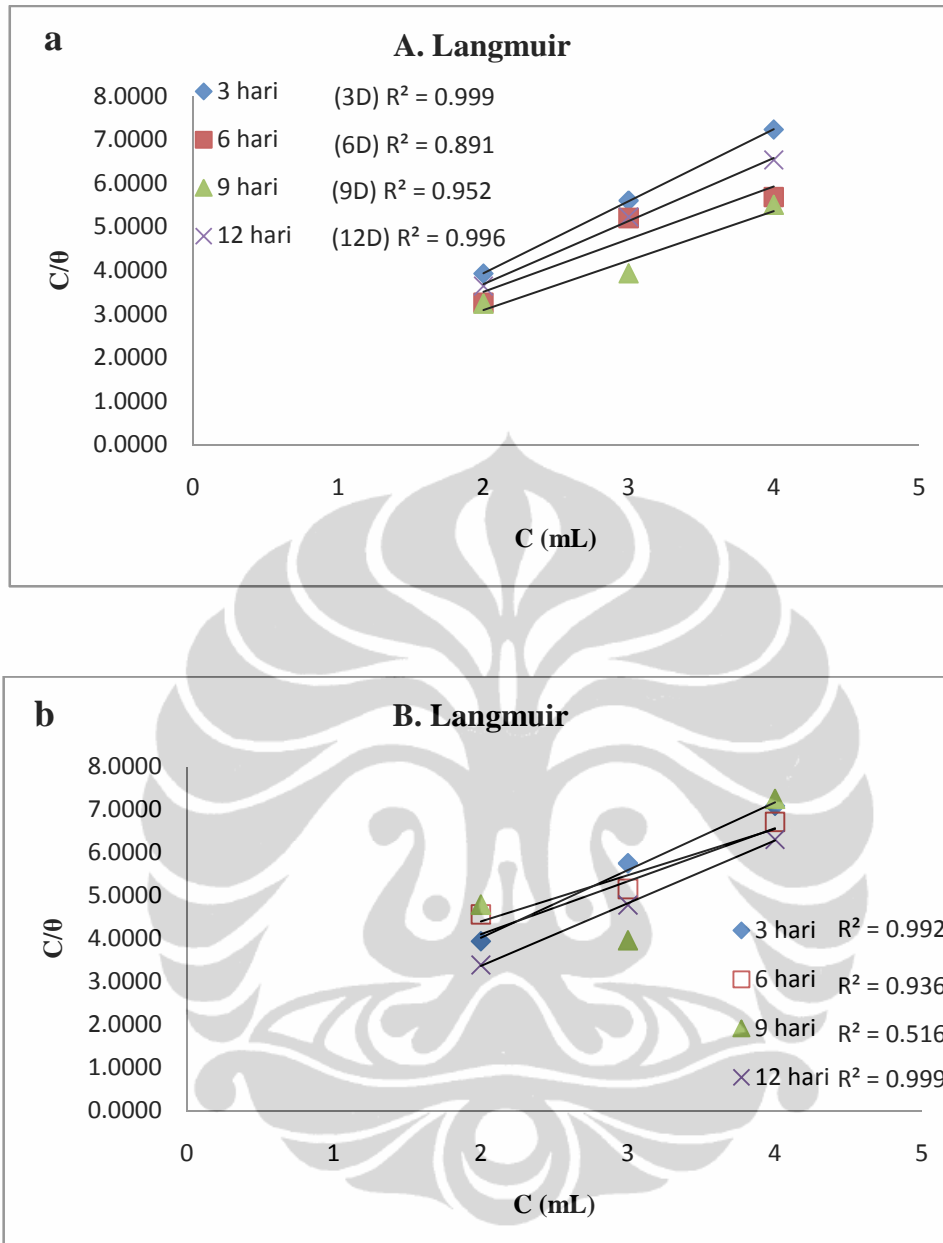
kelompok A. Grafik yang diperoleh dari masing-masing *adsorption isotherm* dapat dilihat pada Gambar 4.19.





Gambar 4. 19. A. Langmuir, B. Temkin, C. Frumkin *isotherm* dari kehilangan berat 9 hari

Dari Gambar 4.19 diketahui nilai r^2 untuk Langmuir *isotherm* adalah 0,952, Frumkin *isotherm* adalah 0,367 dan Temkin *isotherm* adalah 0,903. Dari hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa Langmuir *isotherm* memberikan korelasi yang paling sesuai dengan data eksperimen. Hal ini juga menjelaskan bahwa inhibitor membentuk monolayer ke permukaan baja karbon rendah. Dalam Langmuir *isotherm* diasumsikan bahwa daerah adsorpsi pada permukaan baja karbon rendah terdistribusi secara merata, sama dan jumlah maksimum dari molekul inhibitor per daerah adalah satu yang menunjukkan adsorpsi *monolayer*. Selain itu dalam Langmuir *isotherm* diasumsikan bahwa molekul-molekul inhibitor tidak saling berinteraksi antara satu dengan yang lainnya (A.Y.El-Etre, 1998; El-Etre & Abdallah, 2000; Li, et al., 2010; Mejeha, et al., 2010; Singh, Singh, & Quraishi, 2010). Grafik Plot dari keseluruhan Langmuir adsorption *isotherm* ditunjukkan oleh Gambar 4.20.



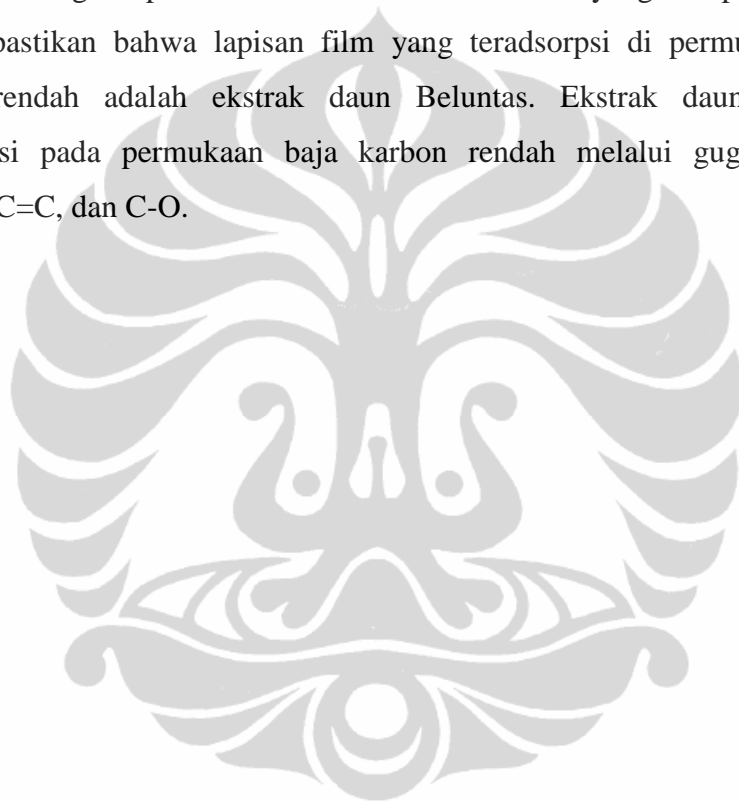
Gambar 4. 20. Langmuir *isotherm* untuk adsorpsi inhibitor ekstrak daun Beluntas pada permukaan baja karbon rendah dalam larutan 3,5% NaCl (a) pengujian A, (b) pengujian B

BAB 5 KESIMPULAN

1. Ekstrak daun Beluntas merupakan bahan organik, dengan kandungan utamanya adalah Quercetin. Dari pengujian kehilangan berat dan polarisasi menunjukkan bahwa ekstrak daun Beluntas dapat menghambat proses korosi pada baja karbon rendah di lingkungan 3,5% NaCl.
2. Pengujian kehilangan berat dan polarisasi membuktikan bahwa terjadi penurunan laju korosi dan peningkatan efisiensi inhibisi seiring dengan peningkatan konsentrasi dan waktu perendaman. Penurunan laju korosi disebabkan oleh adanya peningkatan adsorpsi inhibitor di *interface* baja karbon rendah atau larutan 3,5% NaCl. Sedangkan peningkatan efisiensi inhibisi disebabkan oleh peningkatan *surface coverage* (θ) dari inhibitor yang teradsorpsi di permukaan baja karbon rendah.
3. Pengujian kehilangan berat menunjukkan bahwa rata-rata laju korosi paling minimum adalah sebesar 0,89 mpy dengan efisiensi inhibisi paling maksimal sebesar 75,97% terjadi pada perendaman selama 216 jam dengan penambahan inhibitor sebesar 3 mL. Mekanisme adsorpsi ekstrak daun Beluntas pada permukaan baja karbon rendah mengikuti Langmuir *adsorption isotherm*, dengan asumsi bahwa adsorpsi ekstrak daun Beluntas pada permukaan baja karbon rendah terdistribusi secara merata, sama dan jumlah maksimum dari molekul inhibitor per daerah adalah satu yang menunjukkan adsorpsi *monolayer*.
4. Pengujian polarisasi menunjukkan bahwa ekstrak daun Beluntas dapat menurunkan rapat arus korosi (I_{corr}) baja karbon rendah dalam larutan 3,5% NaCl dari 24,8 $\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$ menjadi 5,04 $\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$ seiring dengan peningkatan konsentrasi ekstrak dari 1 mL sampai 3 mL. Ketika rapat arus korosi mengalami penurunan maka akan berpengaruh terhadap penurunan laju korosi mengacu pada potensial korosi larutan tanpa inhibitor dari 10,97 mpy menjadi 2,23 mpy. Pada penambahan konsentrasi 1, 2 dan 3 mL potensial korosi berubah kearah anodik mengacu dari larutan tanpa inhibitor, namun ketika ditambahkan konsentrasi 4 mL potensial korosi berubah kearah

katodik. Perubahan nilai potensial korosi terjadi secara acak sehingga ekstrak daun Beluntas merupakan inhibitor dengan tipe campuran (*mixed*) dengan arah inhibisi lebih dominan kearah anodik. Turunnya rapat arus korosi dan potensial korosi terjadi seiring dengan peningkatan konsentrasi ekstrak dengan penurunan maksimal terjadi pada konsentrasi 3 mL.

5. Pengujian FTIR menunjukkan perbandingan spektrum antara ekstrak daun beluntas dan lapisan film yang teradsorpsi pada permukaan daun beluntas. dari perbandingan spektra tersebut memiliki bentuk yang serupa sehingga dapat dipastikan bahwa lapisan film yang teradsorpsi di permukaan baja karbon rendah adalah ekstrak daun Beluntas. Ekstrak daun Beluntas teradsorpsi pada permukaan baja karbon rendah melalui gugus fenolik oksigen, C=C, dan C-O.



DAFTAR PUSTAKA

- A.Ostovari, Hoseinie, S. M., Peikari, M., Shadizadeh, S. R., & Hashemi, S. J. (2009). Corrosion inhibition of mild steel in 1 M HCl solution by Henna extract: A comparative study of the inhibition by henna and its constituents (Lasone gallic acid, alpha-D-Glucose and tannic acid). *Corrosion Science*, *51*, 1935-1949.
- A.Y.El-Etre. (1998). Natural Honey as corrosion inhibitor for metals and alloys. I. Copper in neutral aqueous solution. *Corrosion Science*, *40*, 1845-1850.
- Abdel-Gaber, A. M., Abd-El-Nabey, B. A., & Saadawy, M. (2009). The role of acid anion on the inhibition of the acidic corrosion of steel by lupine extract. *Corrosion Science*, *51*, 1038 - 1042.
- Abdel-Gaber, A. M., Abd-El-Nabey, B. A., Sidahmed, I. M., El-Zayady, A. M., & Saadawy, M. (2006). Inhibitive action of some plant extracts on the corrosion of steel in acidic media. *Corrosion Science*, *48*, 2765-2779.
- Abdel-Gaber, A. M., Khamis, E., Abo-ElDahab, H., & Adeel, S. (2008). Inhibition of aluminium corrosion in alkaline solutions using natural compound. *Materials Chemistry and Physics*, *109*, 297-305.
- Andarwulan, N., Batari, R., Sandrasari, D. A., Bolling, B., & Wijaya, H. (2010). Flavonoid content and antioxidant activity of vegetables from Indonesia. *Food Chemistry*, *121*.
- Ardiansyah, L. N., N. Andarwulan. (2002). Aktivitas Antibakteri Ekstrak Daun Beluntas (*Pluchea indica* Less.). *Prosiding Seminar Tahunan PATPI Malang*.

- ASTM, I. (1999). Standard reference test method for making potentiostatic and potentiodynamic anodic polarization measurements, *G5 - 94*. United States.
- ASTM, I. (2004). Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals, *G 31 - 72*.
- Ating, E. I., S.A.Umoren, Udousoro, I. I., Ebenso, E. E., & Udoh, A. P. (2010). Leaves extract of *Ananas sativum* as green corrosion inhibitor for aluminium in hydrochloric acid solutions. *Green chemistry letters and reviews*, 3, 61-68.
- Dahmani, M., Et-Touhami, A., Al-Deyab, S. S., Hammouti, B., & Bouyanzer, A. (2010). Corrosion inhibition of C38 steel in 1 M HCl: a comparative study of black pepper extract and its isolated piperine. *international journal of electrochemical science*, 5, 1060-1069.
- Dalimartha, S. (1999). *Atlas tumbuhan obat Indonesia jilid 1* (1st ed. ed.). Jakarta: Trubus Agriwidya.
- Dusan Malesev, V. K. (2007). Investigation of metal-flavonoid chelates and the determination of flavonoids via metal-flavonoid complexing reactions. *J. ASerb. Chem. Soc.*
- Ebenso, E. E., Eddy, N. O., & Odiongenyi, A. O. (2008). Corrosion inhibitive properties and adsorption behaviour of ethanol extract of *piper guinensis* as a green corrosion inhibitor for mild steel in H₂SO₄. *African Journal of Pure and Applied Chemistry*, 2 (11), 107-115.
- Eddy, N. O. (2009). Ethanol extract of *phyllanthus amarus* as a green inhibitor for the corrosion of mild steel in H₂SO₄. *Portugaliae electrochimica acta*, 27, 579-589.

- Eddy, N. O. (2009). Inhibitive and adsorption properties of ethanol extract of colocasia esculenta leaves for the corrosion of mild steel in H₂SO₄. *International journal of physical sciences*, 4, 165-171.
- Eddy, N. O., & Ebenso, E. E. (2008). Adsorption and inhibitive properties of ethanol extracts of Musa sapientum peels as a green corrosion inhibitor for mild steel in H₂SO₄. *African Journal of Pure and Applied Chemistry*, 2, 046-054.
- El-Etre, A. Y. (2007). Inhibition of acid corrosion of carbon steel using aqueous extract of olive leaves. *Journal of colloid and interface science*, 314, 578-583.
- El-Etre, A. Y. (2008). Inhibition of C-steel corrosion in acidic solution using the aqueous extract of zallouh root. *Materials Chemistry and Physics*, 108.
- El-Etre, A. Y., & Abdallah, M. (2000). Natural honey as corrosion inhibitor for metals and alloys. II. C-steel in high saline water. *Corrosion Science*, 42, 731-738.
- El-Etre, A. Y., Abdallah, M., & El-Tantawy, Z. E. (2005). Corrosion inhibition of some metals using lawsonia extract. *Corrosion Science*, 47, 385-395.
- Ferdian, A. (2008, 05-03-2012). Analisa kimia berkhasiat daun beluntas.
- Fontana, M. G. (1987). Corrosion Engineering (3rd. ed.). New York: McGraw Hill.
- Hussin, M. H., & Kassim, M. J. (2011). The corrosion inhibition and adsorption behavior of uncaria gambir extract on mild steel in 1 M HCl. *Materials Chemistry and Physics*, 125, 461-468.

- I.B.Obot, & Obi-Egbedi, N. O. (2011). Anti-corrosive properties of xanthone on mild steel corrosion in sulphuric acid: experimental and theoretical investigations. *Current Applied Physics*, 11, 382-392.
- Jones, D. A. (1996). Principles and Prevention of Corrosion (2nd. ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Khaled, K. F. (2008). new synthesized guanidine derivative as a green corrosion inhibitor for mild steel in acidic solutions. *international journal of electrochemical science*, 3, 462 - 475.
- Kumar, K. P. V., Pillai, M. S. N., & Thusnavis, G. R. (2010). Pericarp of the fruit of garcinia mangostana as corrosion inhibitor for mild steel in hydrochloric acid medium. *Portugaliae electrochimica acta*, 28, 373-383.
- Lakhanpal, P., & Rai, D. K. (2007). Quercetin: a versatile flavonoid. *Internet journal of medical update*, 2.
- Lalitha, A., Ramesh, S., & Rajeswari, S. (2005). Surface protection of copper in acid medium by azoles and surfactants. *Electrochimica Acta*, 51, 47-55.
- Lathifah, Q. A. (2008). *Uji efektifitas ekstrak kasar senyawa antibakteri pada buah belimbing wuluh(Averrhoa bilimbi L.) dengan variasi pelarut*. universitas islam negeri (UIN) malang, malang.
- Lebrini, M., Robert, F., Lecante, A., & Roos, C. (2011). Corrosion inhibition of C38 steel in 1 M hydrochloric acid medium by alkaloids extract from Oxandra asbeckii plant. *Corrosion Science*, 53, 687-695.
- Li, X.-H., Deng, S.-D., & Fu, H. (2010). Inhibition by Jasminum nudiflorum Lindl. leaves extract of the corrosion of cold rolled steel in hydrochloric acid solution. *J. Appl Electrochem*, 40, 1641-1649.

- Manov, S., Lamazouere, A. M., & Aries, L. (2000). Electrochemical study of the corrosion behaviour of zinc treated with a new organic chelating inhibitor. *Corrosion Science*, 42, 1235-1248.
- Mejeha, I. M., Uroh, A. A., Okeoma, K. B., & Alozie, G. A. (2010). The inhibitive effect of *Solanum melongena* L. leaf extract on the corrosion of aluminium in tetraoxosulphate (VI) acid. *African Journal of Pure and Applied Chemistry*, 4, 158-165.
- Nace, I. (1999). Preparation, Installation, Analysis, and Interpretation of Corrosion Coupons in Oilfield Operations (Vol. Nace Standard RP0775-99).
- Nahle, A., Abu-Abdoun, I., Abdel-Rahman, I., & Al-Khayat, M. (2010). UAE neem extract as a corrosion inhibitor for carbon steel in HCl solution. *Hindawi publishing corporation*, 2010.
- Nnanna, L. A., Onwuagba, B. N., Mejeha, I. M., & Okeoma, K. B. (2010). Inhibition effects of some plant extracts on the acid corrosion of aluminium alloy. *African Journal of Pure and Applied Chemistry*, 4, 011-016.
- Obot, I. B., S.A.Umoren, & Obi-Egbedi, N. O. (2011). Corrosion inhibition and adsorption behaviour for aluminum by extract of *Anigeria robusta* in HCl solution: Synergistic effect of iodide ions. *J. Mater. Environ. Sci*, 2, 60-71.
- Oguzie, E. E. (2006). Studies on the inhibitive effect of *occimum viridis* extract on the acid corrosion of mild steel. *Materials Chemistry and Physics*, 99, 441-446.
- Oguzie, E. E. (2008). Evaluation of the inhibitive effect of some plant extracts on the acid corrosion of mild steel. *Corrosion Science*, 50, 2993-2998.

- Okafor, P. C., Ikpi, M. E., Uwah, I. E., Ebenso, E. E., Ekpe, U. J., & Umoren, S. A. (2008). Inhibitory action of phyllanthus amarus extract on the corrosion of mild steel in acidic media. *Corrosion Science*, 50, 2310-2317.
- Pirvu, L., Barbulescu, D., Nichita, C., Nita, S., & Mihul, S. C. (2011). Obtaining and chemical characterization of some vegetal extracts with corrosion-scaling inhibition properties. Part II. Junglandis folium and Agrimoniae herba extract. *Romanian biotechnological letters*, 16.
- Qu, Q., Jiang, S., Bai, W., & Li, L. (2007). Effect of ethylenediamine tetraacetic acid disodium on the corrosion of cold rolled steel in the presence of benzotriazole in hydrochloric acid. *electrochimica Acta*, 52, 6811-6820.
- Quraishi, M. A., Yadav, D. K., & Ahamad, I. (2009). Green approach to corrosion inhibition by black pepper extract in hydrochloric acid solution. *The open corrosion journal*, 2, 56-60.
- Raja, P. B., & Sethuraman, M. G. (2008). Natural products as corrosion inhibitor for metals in corrosive media - a review. *Materials Letters*, 62, 113 - 116.
- Rajendran, S., Agasta, M., Devi, R. B., Devi, B. S., Rajam, K., & Jeyasundari, J. (2009). Corrosion inhibition by an aqueous extract of Henna leaves (*Lawsonia inermis* L). *Zastita Materijala*, 50.
- Roberge, P. R. (2000). Handbook of Corrosion Engineering. New York: McGraw Hill.
- Rukmana, R. M. (2010). *Pengaruh ekstrak daun beluntas (Pluchea indica Less) terhadap proses spermatogenesis pada mencit (Mus musculus L)*. Universitas islam negeri (UIN) Maulana malik ibrahim, Malang.
- Rustandi, A., Soedarsono, J. W., & Suharno, B. (2012). The use of mixture of Piper Betle and Green Tea as a green corrosion inhibitor for API X-52

steel in aerated 3,5 % NaCl solution at various rotation rates. *Advanced materials research*, 383-390.

Saratha, R., Devi, M. S., Meenakshi, H. N., & Shyamala, R. (2011). Enhanced corrosion resistance of Tecoma stans extract on mild steel in 0.5M H₂SO₄ solution. *International journal of current research*, 2, 092-096.

Satapathy, A. K., Gunasekaran, G., Sahoo, S. C., Amit, K., & Rodrigues, P. V. (2009). Corrosion inhibition by Justicia gendarussa plant extract in hydrochloric acid solution. *Corrosion Science*, 51, 2848-2856.

Setiaji D., S. A. (2005). Ekstrak daun Beluntas (*Pluchea indica* Less.) sebagai obat antistres pada ayam broiler. *Media peternakan*, 28.

Sharma, S. K., Mudhoo, A., Jain, G., & Khamis, E. (2009). Corrosion inhibition of Neem (*Azadirachta indica*) leaves extract as a green corrosion inhibitor for Zinc in H₂SO₄. *Green chemistry letters and reviews*, 2, 47-51.

Sharma, S. K., Mudhoo, A., Jain, G., & Sharma, J. (2010). Corrosion inhibition and adsorption properties of *Azadirachta indica* mature leaves extract as green inhibitor for mild steel in HNO₃. *Green chemistry letters and reviews*, 3, 7-15.

Silverstein, R. M., Webster, F. X., & Kiemle, D. J. (2005). *Spectrometric Identification of Organic Compounds* (Seventh edition ed.). United states of America: John Wiley & Sons.

Singh, A., Singh, V. K., & M.A.Quraishi. (2010). Effect of fruit extract of some environmentally benign green corrosion inhibitors on corrosion of mild steel in hydrochloric acid solution. *J. Mater. Environ. Sci*, 1, 162-174.

- Singh, A., Singh, V. K., & Quraishi, M. A. (2010). Aqueous extract of kalmegh (*andrographis paniculata*) leaves as green inhibitor for mild steel in hydrochloric acid solution. *Hindawi publishing corporation*.
- Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2007). *Principles of Instrumental Analysis* (6th. ed.). Belmont, USA: Thomson Brooks/Cole.
- Subhashini, S., Rajalakshmi, R., Prithiba, A., & Mathina, A. (2010). Corrosion mitigating effect of cyamopsis tetragonoloba seed extract on mild steel in acid medium. *E-journal of chemistry*, 7, 1133-1137.
- Sulistiyaningsih. (2009). *Potensi daun beluntas (Pluchea indica Less.) sebagai inhibitor terhadap pseudomonas aeruginosa multi resistant dan methicillin resistant stapylococcus aureus*. Bandung: Fakultas farmasi universitas padjajaran.
- Susetyarini, E. (2009). Karakteristik dan kandungan senyawa aktif daun beluntas (*Pluchea indica*). *Berk. Penel. Hayati edisi khusus*, 3A(107-110).
- Uhlig, H. H. (2000). *Uhlig's Corrosion Handbook* (2nd ed.). New York: Wiley & Sons, Inc.
- William D. Callister, J. (1997). *Materials Science And Engineering An Introduction* (4th ed. ed.). New York: John Wiley & Sons. Inc.

Lampiran 1: Foto Hasil Perendaman

Perendaman 3 hari (72 jam)

Sebelum

Sampel baja karbon rendah (mewakili untuk semua proses perendaman)



Larutan 3,5% NaCl tanpa dan dengan pemberian inhibitor 2, 3, 4 mL



Setelah



("Lanjutan")

Perendaman 6 hari (144 jam)

Sebelum



Setelah



("Lanjutan")

Perendaman 9 hari (216 jam)

Sebelum

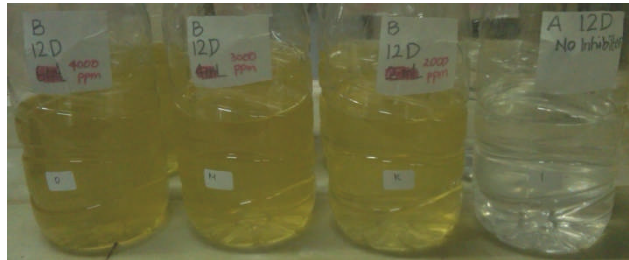


Setelah



("Lanjutan")

Perendaman 12 hari (288 jam)
Sebelum



Setelah

