



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH TEH ROSELA MERAH (*Hibiscus sabdariffa*) SEBAGAI
INHIBITOR ORGANIK PADA BAJA KARBON RENDAH
BERDASARKAN WAKTU PERENDAMAN DI LINGKUNGAN NaCl 3,5%**

SKRIPSI

GIAFIN BIBSY RAHMAULITA

0706268505

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
JUNI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH TEH ROSELA MERAH (*Hibiscus sabdariffa*) SEBAGAI
INHIBITOR ORGANIK PADA BAJA KARBON RENDAH
BERDASARKAN WAKTU PERENDAMAN DI LINGKUNGAN NaCl 3,5%**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

GIAFIN BIBSY RAHMAULITA

0706268505

FAKULTAS TEKNIK

DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL

DEPOK

JUNI 2011

Ur

Created with

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Giafin Bibsy Rahmaulita

NPM : 0706268505

Tanda Tangan :

Tanggal : Juni 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Giafin Bibsy Rahmaulita
NPM : 0706268505
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Pengaruh Teh Rosela Merah (*Hibiscus Sabdariffa*)
sebagai Inhibitor Organik Pada Baja Karbon
Rendah berdasarkan Waktu Perendaman Di
Lingkungan NaCl 3,5%

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof.Dr.Ir. Johnny Wahyuadi, DEA. ()
Penguji 1 : Ir. Muhammad Anis, M.Met, Ph.D ()
Penguji 2 : Deni Ferdian, ST, M.Sc ()

Ditetapkan : Depok, Juni 2011

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan ke hadirat Allah SWT, Sang Maha Mulia dan Maha Mengetahui yang telah memberikan rahmat, anugrah dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya. Penulisan skripsi dilakukan dalam rangka untuk memenuhi salah satu syarat untuk menggapai gelar Sarjana Teknik (ST) jurusan Metalurgi dan Material di Departemen Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi ini berjudul “Pengaruh Teh Rosela Merah (*Hibiscus sabdariffa*) sebagai Inhibitor Organik pada Baja Karbon Rendah berdasarkan Waktu Perendaman Di Lingkungan NaCl 3,5%”.

Skripsi ini tidak akan dapat terselesaikan dengan baik tanpa adanya dukungan dari berbagai pihak. Karenanya, pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberi bimbingan dan kesempatan kepada penulis hingga skripsi ini dapat diselesaikan :

1. Prof. Dr. Ir. Johnny Wahyuadi Soedarsono, DEA, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
2. Prof. Dr. –Ing. Bambang Suharno selaku Kepala Departemen Metalurgi dan Material FTUI atas motivasi yang telah diberikan kepada penulis.
3. Ir. Muhammad Anis, M.Met, Ph.D selaku Pembimbing Akademik dan dosen penguji I yang selalu memotivasi dan mendukung penulis.
4. Ir. Ahmad Herman Yuwono, Phd, selaku Koordinator Mata Kuliah Spesial Departemen Metalurgi dan Material FTUI
5. Deni Ferdian, ST, M.Sc selaku dosen penguji II.
6. Orangtua (Dr. Ir. Sugiarto, MSc; Ety Maftijanti Noor), kakak (Tyagita Meyril Rahmadhani, S.Si), dan adik (Bentito Zulyan Pamungkas) yang tiada henti memberikan doa, semangat, dan mendukung penulis baik moril maupun materiil serta kasih sayang.
7. Eyang Uti, om-om, tante-tante, dan adik-adik sepupu yang selalu memberikan doa dan semangat kepada penulis.

8. M. Wildan Permana, Arri Prasetyo, Andhi Gunaatmaja, Rangga AdiPutra, Adhi Nugroho, Dobiet, rekan perjuangan penulis dalam melakukan penelitian Inhibitor Organik.
9. Andika Amanatillah dan Dito Iandiano, selaku asisten Laboratorium Korosi, yang banyak membantu memudahkan penulis dalam menggunakan peralatan Laboratorium Korosi.
10. Hesti Ibrahim, Erliza Erbariyanti, Miska Rahmaniati, Astrini Wulandari, Sari Agung Retno, Hendy Setiawan, Himawan Sutanto, Farhan Arief, Hasbi Fahada, dan seluruh rekan Metalurgi 2007 yang terus memberikan semangat kepada penulis dalam melakukan dan menyelesaikan penelitian.

Depok, 7 Juni 2011

Giafin Bibsy Rahmaulita

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

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

Nama : Giafin Bibsy Rahmaulita
NPM : 0706268505
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Departemen : Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

Pengaruh Teh Rosela Merah (*Hibiscus Sabdariffa*) sebagai Inhibitor Organik Pada Baja Karbon Rendah Berdasarkan Waktu Perendaman Di Lingkungan NaCl 3,5%

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada Tanggal : Juni 2011
Yang menyatakan

(.....)

Ur

Created with

ABSTRAK

Nama : Giafin Bibsy Rahmaulita
NPM : 0706268505
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Pengaruh Teh Rosela Merah (*Hibiscus Sabdariffa*) sebagai Inhibitor Organik Pada Baja Karbon Rendah berdasarkan Waktu Perendaman Di Lingkungan NaCl 3,5%

Kandungan antioksidan pada teh rosela merah, asam askorbat, dapat dikembangkan sebagai inhibitor untuk menghambat laju korosi untuk baja karbon rendah di lingkungan NaCl 3,5%. Metode yang digunakan adalah metode kehilangan berat dengan variasi waktu perendaman (3, 6, 9, 12 hari). Pada semua waktu perendaman, konsentrasi teh rosela merah yang digunakan adalah 10 gpl, sedangkan penambahan inhibitor teh rosela merah sebanyak 2 ml. Hasil penelitian ini dapat ditunjukkan oleh nilai efisiensi yang diperoleh, efisiensi terendah sebesar 8% pada waktu pengujian 3 hari, sedangkan efisiensi optimum sebesar 16% pada pengujian 9 hari.

Kata kunci :

Laju Korosi; Baja Karbon Rendah; Antioksidan; Teh rosela merah; Inhibitor organik;

Metode kehilangan berat; Waktu perendaman; NaCl 3,5%

ABSTRACT

Name : Giafin Bibsy Rahmaulita
NPM : 0706268505
Major : Metallurgy and Material Engineering
Title : The Effect of Red Roselle Tea (*Hibiscus Sabdariffa*) as an Organic Inhibitor on Low Carbon Steel Based on Immersion Time In 3.5% Sodium Chloride Solution

The content of antioxidants in red roselle tea, ascorbic acid, can be developed as an inhibitor to inhibit corrosion rate for low carbon steel in 3.5% sodium chloride solution. The method that used is a method of weight loss with variation of immersion time (3, 6, 9, 12 days). In all the immersion time, concentration of red roselle tea that used was 10 gpl, while the addition of inhibitors of red rosella tea as much as 2 ml. The results could be demonstrated by the efficiency values obtained, the lowest efficiency of 8% at 3 days of testing, while the optimum efficiency of 16% at 9 days of testing.

Keywords :
Corrosion rate; Low carbon steel; Antioxidant; Red roselle tea; Organic inhibitors; Weight loss method; Immersion time; Sodium chlorida 3,5%

DAFTAR ISI

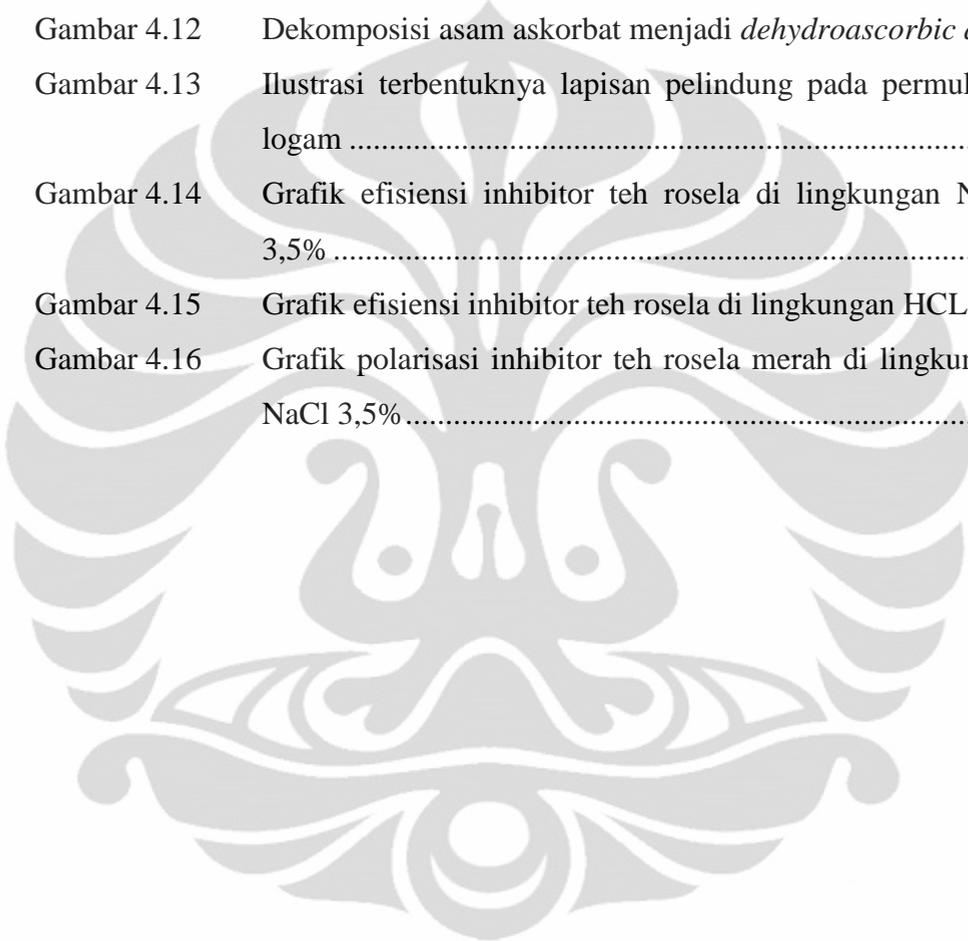
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR RUMUS	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Prinsip Dasar Korosi	6
2.2 Jenis-Jenis Korosi.....	7
2.3 Korosi Logam pada Lingkungan Air Laut	11
2.4 Inhibitor Korosi	12
2.5 Teh Rosela Merah (<i>Hibiscus sabdariffa</i>)	16
2.6 Perhitungan Laju Korosi dan Efisiensi Inhibitor.....	18
3. METODOLOGI PENELITIAN.....	19

3.1	Diagram Alir Penelitian.....	19
3.2	Alat dan Bahan	20
3.2.1	Alat.....	20
3.2.2	Bahan	20
3.3	Prosedur Kerja.....	20
3.3.1	Preparasi Sampel.....	20
3.3.2	Pembuatan Larutan Rendam NaCl 3,5%	22
3.3.3	Pembuatan Inhibitor Organik.....	23
3.3.4	Uji Rendam (<i>Immersion Test</i>).....	23
3.3.5	Pembersihan Sampel.....	24
4.	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	26
4.1	Hasil Penelitian.....	26
4.1.1	Hasil Pengujian Komposisi Kimia Sampel.....	26
4.1.2	Hasil Pengamatan Visual Sampel	26
4.1.3	Hasil Pengujian pH Larutan Rendam	29
4.1.4	Hasil Pengujian Potensial Sampel	30
4.1.5	Hasil Pengujian <i>Weight Loss</i> , Perhitungan laju Korosi dan Efisiensi Inhibitor.....	31
4.2	Pembahasan	32
4.2.1	Analisa Pengujian Komposisi Kimia Sampel.....	32
4.2.2	Pengamatan Visual Tanpa dan Dengan Penambahan Teh Rosela Merah	33
4.2.3	Pengaruh Waktu Uji Rendam terhadap pH Larutan Rendam.....	34
4.2.4	Pengaruh Waktu Uji Rendam terhadap Potensial Logam.....	37
4.2.5	Pengaruh Waktu Uji Rendam terhadap Pengurangan Berat Logam, Laju Korosi, dan Efisiensi Inhibitor.....	41
4.2.6	Perbandingan dengan Hasil Penelitian Lain	46
5.	KESIMPULAN.....	49
6.	DAFTAR PUSTAKA	51
7.	LAMPIRAN.....	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema proses korosi	7
Gambar 2.2	Bentuk korosi seragam	8
Gambar 2.3	Bentuk korosi galvanis	8
Gambar 2.4	Bentuk korosi celah	9
Gambar 2.5	Bentuk korosi sumuran	9
Gambar 2.6	Bentuk <i>Stress corrosion cracking</i>	10
Gambar 2.7	Bentuk <i>Hydrogen Damage</i>	10
Gambar 2.8	Bentuk korosi intergranular	11
Gambar 2.9	Skema korosi erosi.....	11
Gambar 2.10	Pengaruh konsentrasi ion klorida terhadap laju korosi.....	12
Gambar 2.11	Bunga rosela merah	16
Gambar 2.12	Struktur kimia asam askorbat	17
Gambar 2.13	Ilustrasi terbentuknya lapisan pelindung	17
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	20
Gambar 3.2	Sampel pengujian.....	23
Gambar 4.1	Inhibitor teh rosela merah.....	33
Gambar 4.2	Diagram pH awal terhadap waktu perendaman.....	35
Gambar 4.3	Diagram pH akhir terhadap waktu perendaman	36
Gambar 4.4	Diagram potensial awal sampel terhadap waktu perendaman	38
Gambar 4.5	Diagram potensial akhir sampel terhadap waktu perendaman	39
Gambar 4.6	Diagram pourbaix Fe hasil plot data pH dan potensial akhir pada pengujian 3 hari tanpa penambahan inhibitor dan dengan penambahan inhibitor.....	40
Gambar 4.7	Diagram pourbaix Fe hasil plot data pH dan potensial akhir pada pengujian 6 hari tanpa penambahan inhibitor dan dengan penambahan inhibitor.....	40
Gambar 4.8	Diagram pourbaix Fe hasil plot data pH dan potensial akhir pada pengujian 9 hari tanpa penambahan inhibitor dan dengan penambahan inhibitor.....	40

Gambar 4.9	Diagram pourbaix Fe hasil plot data pH dan potensial akhir pada pengujian 12 hari tanpa penambahan inhibitor dan dengan penambahan inhibitor.....	41
Gambar 4.10	Grafik pengurangan berat logam terhadap waktu perendaman.....	42
Gambar 4.11	Grafik rata-rata laju korosi terhadap waktu perendaman.....	43
Gambar 4.12	Dekomposisi asam askorbat menjadi <i>dehydroascorbic acid</i>	44
Gambar 4.13	Ilustrasi terbentuknya lapisan pelindung pada permukaan logam	44
Gambar 4.14	Grafik efisiensi inhibitor teh rosela di lingkungan NaCl 3,5%	45
Gambar 4.15	Grafik efisiensi inhibitor teh rosela di lingkungan HCL 1M.....	47
Gambar 4.16	Grafik polarisasi inhibitor teh rosela merah di lingkungan NaCl 3,5%.....	48



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Komposisi baja karbon rendah	26
Tabel 4.2	Sampel sebelum perendaman (tanpa inhibitor)	26
Tabel 4.3	Sampel setelah pengangkatan (tanpa inhibitor)	27
Tabel 4.4	Sampel setelah proses pickling (tanpa inhibitor)	27
Tabel 4.5	Sampel sebelum perendaman (dengan inhibitor).....	28
Tabel 4.6	Sampel setelah pengangkatan (dengan inhibitor)	28
Tabel 4.7	Sampel setelah proses pickling (dengan inhibitor)	29
Tabel 4.8	Data pH larutan rendam	29
Tabel 4.9	Data potensial sampel	30
Tabel 4.10	Data pengurangan berat sampel	31
Tabel 4.11	Data laju korosi sampel dan efisiensi inhibitor.....	32
Tabel 4.12	pH dan potensial akhir	39
Tabel 4.13	Tabel laju korosi dan efisiensi inhibitor	48

DAFTAR RUMUS

1. Persamaan 2.1

$$\text{Laju korosi} = \frac{K.W}{D.A.T}$$

Ket : K = konstanta
W = kehilangan berat (gram)
D = densitas (gram/cm³)
A = luas permukaan yang terendam (cm²)
T = waktu (jam)

2. Persamaan 2.2

$$\text{Efisiensi inhibitor} = \frac{X_A - X_B}{X_A} \times 100\%$$

Ket :
X_A = laju korosi tanpa penambahan inhibitor (mpy)
X_B = laju korosi dengan penambahan inhibitor (mpy)

3. Persamaan 4.1

$$\text{potensial (V) vs SHE} = \text{potensial (V) vs Ag/AgCl} + 0,222$$

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1	Foto Pengamatan Larutan Rendam Setelah Pengujian.....	54
LAMPIRAN 2	Hasil Pengujian <i>Spectroscopy</i> sampel	58



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Korosi atau yang biasa disebut karat merupakan suatu fenomena alam yang akan terus terjadi selama logam berinteraksi (berhubungan) dengan lingkungannya. Secara umum, korosi adalah suatu peristiwa kerusakan atau penurunan kualitas suatu bahan logam yang disebabkan oleh terjadinya reaksi dengan lingkungan¹¹. Lingkungan tersebut dapat berupa air, udara, larutan garam, dan larutan asam. Proses yang terjadi pada korosi adalah proses elektrokimia yang merupakan reaksi reduksi dan oksidasi yang terjadi secara spontan. Korosi tidak dapat dihindari dan bersifat sangat merugikan. Dalam kehidupan sehari-hari, korosi sering dijumpai pada bangunan atau peralatan yang menggunakan material dasar logam seperti baja karbon rendah. Dampak yang dapat ditimbulkan akibat kerusakan oleh korosi akan sangat besar pengaruhnya terhadap kehidupan manusia, antara lain dari segi ekonomi dan lingkungan. Dari segi ekonomi misalnya tingginya biaya perawatan dan energi akibat kebocoran fluida, kerugian produksi pada suatu industri akibat adanya pekerjaan yang terhenti pada waktu perbaikan bahan yang terserang korosi, dan dari segi lingkungan misalnya adanya proses pengkaratan besi yang berasal dari berbagai konstruksi yang dapat mencemari lingkungan²¹.

Dalam perkembangan industri sekarang ini, baja karbon, seperti baja karbon rendah telah menjadi salah satu logam industri yang luas penggunaannya. Baja karbon rendah merupakan baja yang memiliki kadar karbon kurang dari 0,3%. Baja karbon rendah banyak digunakan karena sifat yang dimiliki, seperti keuletan tinggi dan mudah di-machining. Tetapi kelemahan dari baja karbon rendah ini adalah kekerasannya rendah, tidak tahan aus dan ketahanan terhadap korosi rendah. Penggunaan baja dalam industri biasanya memungkinkan baja untuk berinteraksi dengan berbagai lingkungan korosif, sehingga akan menimbulkan korosi. Proses pencegahan korosi yang dapat dilakukan, yaitu: pelapisan pada permukaan logam (*coating*), perlindungan katoda, dan penambahan inhibitor

korosi. Penggunaan inhibitor korosi merupakan salah satu metode yang efektif untuk mencegah korosi.

Inhibitor korosi dapat didefinisikan sebagai suatu zat yang apabila ditambahkan dalam jumlah sedikit ke dalam lingkungan akan menurunkan laju korosi logam³¹. Inhibitor korosi berasal dari senyawa organik dan anorganik. Senyawa-senyawa anorganik yang digunakan seperti nitrit, kromat, fosfat, urea, dan senyawa-senyawa amina. Senyawa tersebut merupakan bahan kimia yang berbahaya, mahal, dan tidak ramah lingkungan. Sedangkan senyawa organik yang digunakan adalah senyawa-senyawa yang mengandung atom N, O, P, S dan atom-atom lain yang memiliki pasangan elektron bebas sehingga mampu membentuk senyawa kompleks dengan logam. Pemilihan inhibitor secara umum harus berdasarkan pada beberapa faktor, yaitu: tidak beracun, murah, dan ramah lingkungan⁴¹. Oleh karena itu, dikembangkanlah inhibitor yang berasal dari senyawa organik (*green inhibitor*).

Green inhibitor yang digunakan berbentuk ekstrak yang terdapat pada bagian tanaman seperti bunga, biji, daun, dan batang. Beberapa penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa ekstrak bahan alam tersebut memperlihatkan efisiensi yang baik dalam proses penurunan laju korosi. Penelitian mengenai inhibitor korosi yang menggunakan bahan alam sudah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti yang berasal dari luar negeri maupun dalam negeri. Penelitian yang dilakukan oleh R. Saratha, dkk (2009) menggunakan ekstrak daun *Citrus aurantiifolia* yang terbukti efektif dalam menghambat laju korosi dengan efisiensi 97,51% pada lingkungan HCl 1M⁵¹. Beberapa penelitian yang berasal dari Indonesia, seperti pada penelitian yang dilakukan Soejono Tjitro, dkk. (2000) inhibitor yang digunakan adalah asam askorbat (vitamin c). Asam askorbat (vitamin c) terbukti berkemampuan memerankan fungsi sebagai inhibitor untuk tembaga dalam medium NaCl 0,3%⁶¹. Pada tahun 2007, Asdim menggunakan ekstrak kulit buah manggis sebagai inhibitor korosi pada baja dalam larutan asam sulfat yang menghasilkan efisiensi sebesar 48,72%²¹. Sedangkan Ilim dan Beni Hermawan (2008) melakukan penelitian dengan menggunakan ekstrak buah lada, buah pinang dan daun teh sebagai inhibitor korosi baja lunak dalam medium air laut yang jenuh gas CO₂. Hasil yang diperoleh, inhibitor dari ekstrak buah pinang

mempunyai kemampuan proteksi yang paling tinggi diantara inhibitor lainnya yaitu sebesar 85,28% dengan konsentrasi 100 ppm³¹.

Tanaman-tanaman yang digunakan sebagai *green inhibitor*, umumnya mengandung senyawa-senyawa antioksidan. Secara sederhana antioksidan dinyatakan sebagai senyawa yang mampu menghambat atau mencegah terjadinya oksidasi. Dalam pengertian kimia, antioksidan adalah senyawa pemberi elektron (*electron donor*). Keberadaan senyawa antioksidan dalam lingkungan yang korosif dapat menghambat laju korosi. Salah satu contoh tanaman yang memiliki kandungan antioksidan yang cukup tinggi adalah rosela merah (*Hibiscus sabdariffa*) yang banyak dimanfaatkan sebagai bahan untuk pembuatan minuman kesehatan.

1.2 Perumusan Masalah

Korosi adalah proses yang alamiah, tidak dapat dihilangkan, tapi dapat dicegah dan dikontrol sehingga tidak merugikan aset dan keselamatan. Korosi menjadi masalah ekonomi karena menyangkut umur, penyusutan dan efisiensi pemakaian suatu bahan maupun peralatan dalam kegiatan industri. Oleh karena itu, korosi dapat disimpulkan sebagai salah satu problem yang cukup sulit untuk sektor industri dan membutuhkan dana yang cukup besar untuk mengatasi masalah korosi. Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan korosi adalah dengan menambahkan suatu zat inhibitor dalam jumlah sedikit yang dapat menurunkan laju korosi logam.

Pengembangan zat inhibitor yang berasal dari bahan organik didasari pada istilah “kembali ke alam” atau ramah lingkungan yang telah digunakan oleh banyak kalangan agar memanfaatkan bahan-bahan yang berasal dari alam. Inhibitor organik memiliki sifat tidak beracun dan ramah lingkungan. Permasalahan yang akan dikemukakan pada penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh teh rosela merah (*Hibiscus sabdariffa*) dalam menghambat laju korosi baja karbon rendah. Selain itu, untuk mengetahui efisiensi dan waktu efektif dari teh rosela merah (*Hibiscus sabdariffa*) dalam menghambat laju korosi pada lingkungan NaCl 3,5%.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh teh rosela merah (*Hibiscus sabdariffa*) sebagai inhibitor organik pada lingkungan NaCl 3,5%.
2. Menentukan waktu efektif dari teh rosela merah (*Hibiscus sabdariffa*) dalam menghambat laju korosi.
3. Mengetahui laju korosi dengan dan tanpa penambahan inhibitor pada lingkungan NaCl 3,5%.
4. Mengetahui efisiensi teh rosela merah (*Hibiscus sabdariffa*) sebagai inhibitor organik

1.4 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah

1. Teh rosela merah (*Hibiscus sabdariffa*) digunakan sebagai inhibitor organik.
2. Sampel material yang digunakan adalah baja karbon rendah.
3. Variabel waktu perendaman yang digunakan yaitu selama 3, 6, 9, dan 12 hari dengan perbedaan kondisi lingkungan dengan dan tanpa penambahan inhibitor.
4. Lingkungan yang digunakan adalah NaCl 3,5%. Volume larutan rendam disesuaikan dengan batas minimum volume kontak larutan terhadap permukaan sampel yaitu sebesar 0.2-0.4 % dari luas permukaan sampel (sesuai standar ASTM G31-72).
5. Perhitungan laju korosi menggunakan metode kehilangan berat (*weight loss*) sesuai dengan standar ASTM G1-03

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 natrium klorida 3,5%, penjelasan tentang inhibitor korosi,

teh rosela merah sebagai inhibitor korosi, dan perhitungan laju korosi dan efisiensi inhibitor.

Bab 3 Metodologi

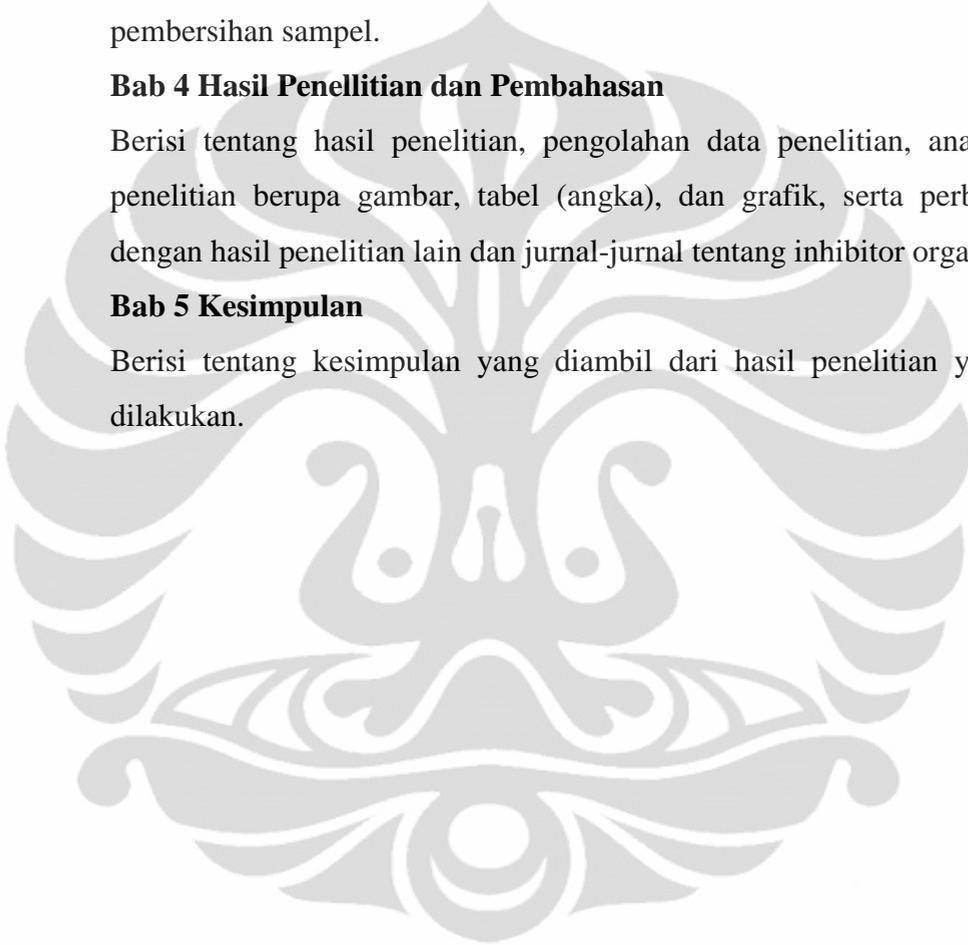
Berisi diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian, dan prosedur kerja yang menjelaskan preparasi sampel, pembuatan larutan rendam, pembuatan inhibitor organik, pengujian, dan pembersihan sampel.

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.

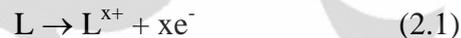


BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Prinsip Dasar Korosi

Korosi adalah kerusakan material sebagai hasil reaksi dengan lingkungannya. Korosi dapat juga didefinisikan sebagai suatu penurunan kualitas material yang disebabkan oleh terjadinya reaksi dengan lingkungannya¹⁾. Lingkungan tersebut dapat berupa: air (suling, garam, laut), udara, larutan asam, larutan basa, dan tanah⁷⁾. Korosi tidak dapat dihindari dan bersifat sangat merugikan. Beberapa contoh kerugian yang dapat ditimbulkan antara lain: kerugian produksi (finansial) selama pekerjaan terhenti akibat perbaikan, tingginya biaya perawatan, dan turunnya mutu produk akibat kontaminasi dari korosi.

Mekanisme korosi tidak terlepas dari reaksi elektrokimia. Reaksi elektrokimia melibatkan perpindahan elektron-elektron yang merupakan hasil reaksi reduksi pada katoda dan oksidasi pada anoda. Reaksi oksidasi (pada anoda) adalah reaksi pelepasan elektron sehingga terjadi peningkatan nilai valensi dan perubahan logam menjadi ionnya⁸⁾. Reaksi oksidasi pada logam L adalah¹⁾:

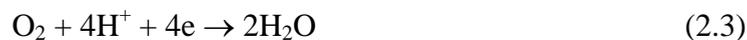


Sedangkan reaksi reduksi (pada katoda) adalah reaksi penangkapan elektron dan terjadi penurunan nilai valensi. Terdapat berbagai macam reaksi reduksi pada sel korosi tergantung dari lingkungannya dan jenis korosinya. Reaksi reduksi yang umum terjadi pada proses korosi logam yaitu^{1, 8)}:

1. Reaksi evolusi gas hidrogen:



2. Reaksi reduksi oksigen pada keadaan asam:



3. Reaksi reduksi oksigen pada keadaan basa:

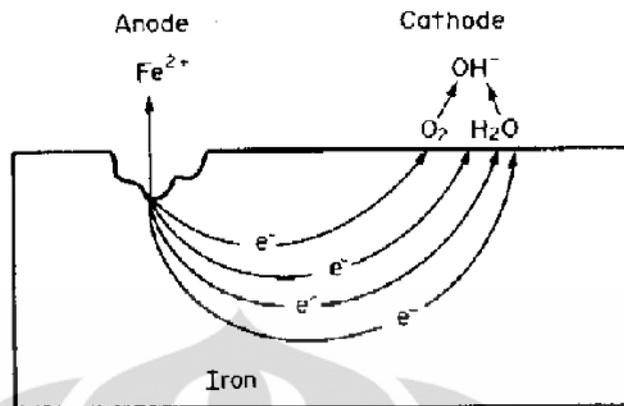


4. Reaksi reduksi ion logam:



5. Pengendapan logam:





Gambar 2.1 Skema proses korosi^{9]}

Terdapat 4 komponen penting yang berperan dalam terjadinya proses korosi, yaitu^{10]}:

1. Anoda adalah logam atau bagian dimana terjadi proses oksidasi atau proses karat.
2. Katoda adalah logam atau bagian dimana terjadi proses reduksi atau terbentuknya gas hasil elektrolisa.
3. Hubungan listrik antara anoda dan katoda harus terdapat kontak listrik agar arus listrik dalam sel korosi dapat mengalir.
4. Elektrolit merupakan media yang dapat menghantarkan arus listrik seperti air dan tanah.

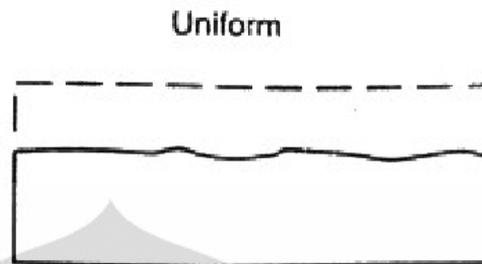
2.2 Jenis-Jenis Korosi

Dalam kehidupan sehari-hari, terdapat berbagai macam jenis korosi yang sering dijumpai pada peralatan yang menggunakan material dasar logam. Berbagai macam jenis korosi tersebut diklasifikasikan berdasarkan mekanisme terjadinya korosi, yaitu: korosi seragam (*Unifrom Corrosion*), korosi galvanik (*Galvanic Corrosion*), korosi celah (*Crevice Corrosion*), korosi sumuran (*Pitting Corrosion*), *stress corrosion cracking* (SCC), *hydrogen damage*, korosi intergranular (*Intergranular Corrosion*), korosi erosi (*Erosion Corrosion*)^{11]}.

1. Korosi Seragam (*Unifrom Corrosion*)

Korosi seragam adalah bentuk korosi yang paling umum ditemui. Korosi ini ditandai dengan proses korosi yang terjadi atau berlangsung di seluruh bagian logam atau luas permukaan logam^{12]}. Permukaan logam yang

mengalami korosi ini lama kelamaan akan terkikis dan logam menjadi tipis.



Gambar 2.2 Bentuk korosi seragam^{11]}

2. Korosi Galvanik (*Galvanic Corrosion*)

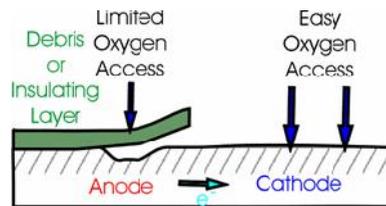
Korosi galvanik adalah korosi yang timbul apabila dua logam (atau lebih) yang memiliki potensial reduksi berbeda berada dalam suatu lingkungan dan saling berhubungan. Logam dengan potensial yang lebih tinggi akan bersifat katodik sedangkan yang potensialnya lebih rendah bersifat anodik. Beberapa faktor yang mempengaruhi kerusakan akibat korosi galvanis, yaitu: kondisi lingkungan, jarak, serta perbandingan luas permukaan katoda dan anoda^{12]}.



Gambar 2.3 Bentuk korosi galvanis^{13]}

3. Korosi Celah (*Crevice Corrosion*)

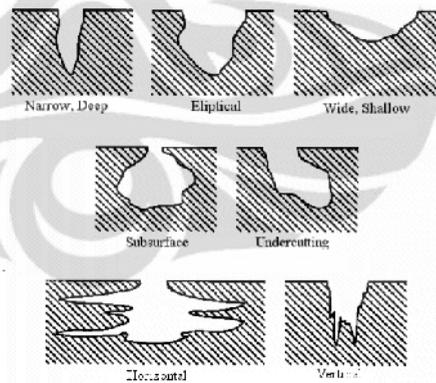
Korosi celah terjadi pada daerah celah atau daerah tersembunyi pada permukaan logam yang berada di lingkungan korosif. Korosi celah biasanya juga disebut sebagai sel terkonsentrasi, karena perbedaan lingkungan antara bagian dalam dan bagian luar celah. Bagian dalam celah, konsentrasi oksigennya rendah atau kurang sehingga bersifat anodik, sedangkan bagian luar celah, konsentrasi oksigennya lebih tinggi sehingga logam bersifat katodik^{10]}.



Gambar 2.4 Bentuk korosi celah^{14]}

4. Korosi Sumuran (*Pitting Corrosion*)

Korosi yang terjadi akibat rusaknya lapisan pasif di satu titik karena pengaruh dari lingkungan korosif^{11]}. Contoh lingkungan korosif tersebut seperti pada air laut. Air laut yang mengandung ion Cl^- akan menyerang lapisan pasif dari logam. Ketika terjadi permulaan pitting pada satu titik di permukaan lapisan pasif, maka ion Cl^- akan terkonsentrasi menyerang pada permukaan lapisan pasif yang terjadi pitting terlebih dahulu sehingga pitting akan menjadi dalam. Pecahnya lapisan pasif mengakibatkan gas hidrogen dan oksigen mudah masuk dan mengkorosikan material tersebut. Kerusakan logam karena korosi sumuran sangat berbahaya terhadap peralatan karena dapat menyebabkan kerusakan setempat yang menjalar dan fatal.



Gambar 2.5 Bentuk korosi sumuran^{11]}

5. *Stress Corrosion Cracking* (SCC)

Korosi terjadi karena adanya tegangan beban tarik pada suatu material di lingkungan korosif. Logam pertama-tama akan terkena korosi pada suatu titik, dan kemudian akan terbentuk retakan. Retakan ini akan menjalar dan

dapat menyebabkan kegagalan pada komponen tersebut. Sifat yang khas dari korosi ini adalah crack yang berbentuk akar serabut.



Gambar 2.6 *Stress corrosion cracking*^{13]}

6. *Hydrogen Damage*

Merupakan korosi yang terjadi akibat difusi atom hidrogen ke batas butir logam dan dapat mengakibatkan *hydrogen blistering*, *hydrogen induce cracking*, dan akan mengurangi keuletan jika ditinjau dari aspek metalurgi^{11]}.



Gambar 2.7 *Hydrogen damage*^{15]}

7. Korosi Intergranular (*Intergranular Corrosion*)

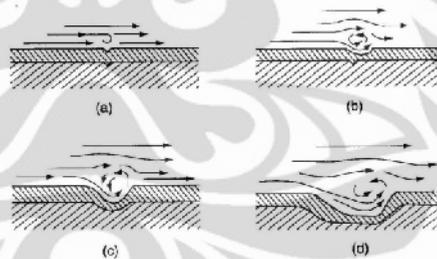
Korosi intergranular terjadi pada sekitar batas butir kemudian akan terjadi crack yang menjalar sepanjang batas butir. Korosi ini biasanya terjadi pada stainless steel. Korosi intergranular terjadi karena krom pada sekitar batas butir membentuk presipitat chromium karbida di batas butir^{11]}.



Gambar 2.8 Korosi intergranular^{13]}

8. Korosi Erosi (*Erosion Corrosion*)

Korosi yang terjadi karena adanya fluida korosif yang mengalir pada permukaan material. Fluida tersebut dapat berupa fluida liquid maupun gas dengan kecepatan tinggi^{11]}. Karena kecepatan tinggi dari fluida korosif yang mengalir, terjadi efek keausan mekanis atau abrasi. Lapisan pasif atau pun coating pada permukaan material akan terkikis, sehingga kemungkinan terjadinya korosi semakin besar.



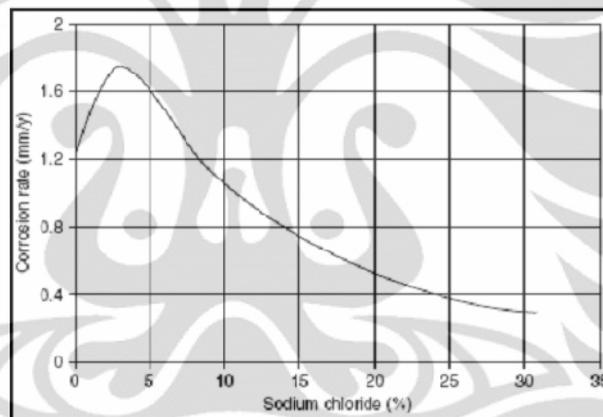
Gambar 2.9 Skema korosi erosi^{16]}

2.3 Korosi Baja Karbon pada Lingkungan Natrium Klorida 3,5%

Pada percobaan di laboratorium, biasanya digunakan air laut buatan yaitu larutan natrium klorida 3,5% untuk mensimulasikan air laut. Larutan natrium klorida 3,5% ini bersifat lebih agresif dibandingkan dengan air laut alami. Hal ini disebabkan pada air laut alami masih terdapat ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} . Ion-ion ini dapat memperkecil atau menghambat laju korosi karena kemampuannya untuk membentuk lapisan CaCO_3 dan $\text{Mg}(\text{OH})_2$ di permukaan sebagai hasil dari reaksi katodik oksigen di permukaan logam^{11]}. Pada air laut ada beberapa faktor yang

dapat mempengaruhi laju korosi diantaranya adalah kandungan oksigen terlarut, kecepatan aliran air, temperatur, dan kandungan ion terlarut.

Dalam larutan, garam akan terurai menjadi anion dan kation pembentuknya, sehingga dalam larutan tersebut akan terbentuk ion-ion yang kekurangan dan kelebihan elektron. Ion-ion tersebut yang menjadikan larutan menjadi mudah untuk menghantarkan arus listrik¹⁷⁾. Pada larutan NaCl 3,5%, terdapat ion klorida yang dapat mempengaruhi kandungan oksigen terlarut. Semakin tinggi konsentrasi ion klorida, maka akan semakin rendah kandungan oksigen terlarut dan akan mempengaruhi laju korosi fluida tersebut. Kelarutan optimum oksigen dalam larutan untuk terjadinya proses korosi berada pada konsentrasi ion Cl⁻ 3%¹¹⁾. Hal ini dapat ditunjukkan pada Gambar 2.10 bahwa laju korosi optimum baja karbon berada pada konsentrasi NaCl sebesar 3 – 3,5%.



Gambar 2.10 Pengaruh konsentrasi ion klorida terhadap laju korosi¹¹⁾

Korosi pada baja karbon dipengaruhi oleh konsentrasi ion agresif seperti ion klorida (Cl⁻). Konsentrasi ion klorida yang makin tinggi akan semakin meningkatkan kecenderungan terjadinya korosi¹⁸⁾. Ion klorida bertindak sebagai ion agresif karena kemampuannya menghancurkan lapisan pasif pada permukaan baja karbon dan mempercepat laju korosinya. Jenis korosi yang dapat terjadi akibat adanya ion klorida adalah korosi sumuran (*pitting corrosion*).

2.4 Inhibitor Korosi

Korosi atau yang biasa disebut karat merupakan suatu fenomena alam yang akan terus terjadi selama logam berinteraksi (berhubungan) dengan lingkungannya.

Korosi tidak dapat dihindari tetapi dapat dikendalikan atau dihambat laju korosinya. Proses pencegahan korosi yang dapat dilakukan, yaitu: perlindungan katoda (*cathodic protection*), pelapisan pada permukaan logam (*coating*), dan penambahan inhibitor korosi. Penggunaan inhibitor korosi merupakan cara yang paling efektif untuk mencegah korosi, karena dalam penggunaannya memerlukan biaya yang relatif murah dan prosesnya sederhana³¹.

Inhibitor korosi merupakan suatu zat yang ditambahkan dalam jumlah sedikit biasanya 10-80 ppm ke dalam lingkungan sehingga menurunkan laju korosi terhadap logam³¹. Mekanisme kerja inhibitor dapat dibedakan menjadi beberapa cara, yaitu¹⁹¹:

1. Inhibitor teradsorpsi pada permukaan logam dan membentuk lapisan pasif dengan ketebalan beberapa molekul saja. Lapisan ini tidak dapat terlihat oleh mata biasa, namun dapat menghambat penyerangan lingkungan terhadap logamnya.
2. Melalui pengaruh lingkungan, misalnya pH, menyebabkan inhibitor dapat mengendap dan selanjutnya teradsorpsi pada permukaan logam, serta melindunginya terhadap korosi. Endapan yang terjadi cukup banyak, sehingga lapisan yang terjadi dapat teramati oleh mata.
3. Inhibitor lebih dahulu mengkorosi logam dan menghasilkan suatu zat kimia yang kemudian melalui peristiwa adsorpsi dari produk korosi tersebut membentuk suatu lapisan pasif pada permukaan logam.
4. Inhibitor menghilangkan konstituen yang agresif dari lingkungannya.

Inhibitor dapat diklasifikasikan berdasarkan mekanisme dalam menghambat laju korosi, yaitu²⁰¹:

1. Inhibitor Anodik (*Passivating*)

Mekanisme dari inhibitor anodik adalah dengan cara menghambat reaksi anodik melalui pembentukan lapisan pasif pada permukaan logam. Hal yang perlu diperhatikan adalah apabila konsentrasi inhibitor anodik tidak mencukupi, maka dapat menyebabkan peningkatan kecepatan korosi logam. Lapisan pasif yang terbentuk tidak mampu menutupi atau melindungi

seluruh permukaan logam, maka bagian yang tidak tertutupi akan terkorosi dengan cepat. Korosi yang terjadi biasanya adalah korosi sumuran (*pitting corrosion*).

Terdapat 2 jenis inhibitor anodik, yaitu:

- i. *Oxidizing anions*, merupakan jenis inhibitor anodik dimana membutuhkan oksigen dalam pembentukan lapisan pasif. Contoh dari jenis ini adalah kromat, nitrit, dan nitrat.
- ii. *Non-oxidizing ions*, merupakan jenis inhibitor dimana tidak membutuhkan oksigen dalam pembentukan lapisan pasif. Contoh dari jenis ini adalah fosfat, tungstat, dan molybdat.

2. Inhibitor Katodik

Mekanisme dari inhibitor katodik adalah dengan cara menghambat reaksi katodik. Apabila reaksi katodik ini dihambat, maka reaksi anodik juga akan dihambat karena reaksi yang terjadi pada katoda dan anoda berjalan setimbang. Inhibitor katodik dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu:

- i. Racun Katoda bekerja dengan cara menghambat reaksi evolusi hidrogen (penggabungan atom-atom H menjadi molekul H_2) di permukaan logam. Inhibitor ini bersifat beracun bagi lingkungan. Contoh dari racun katoda ini seperti: As_2O_3 , Sb_2O_3 .
- ii. Presipitat Katoda bekerja dengan cara membentuk lapisan oksida yang melindungi logam. Contoh dari presipitat katoda ini seperti: kalsium, magnesium, dan seng.
- iii. *Oxygen Scavenger* bekerja dengan cara mengikat oksigen terlarut sehingga dapat mencegah reaksi reduksi oksigen pada katoda. Contohnya: *hydrazine*.

3. Inhibitor Organik

Pada inhibitor organik, terkadang efek anodik dan katodik dapat muncul. Mekanisme dari inhibitor organik adalah dengan cara membentuk lapisan tipis (*film-forming*) yang bersifat hidrofobik pada permukaan logam. Inhibitor organik ini membentuk lapisan protektif yang teradsorpsi di permukaan logam yang akan menciptakan penghalang antara logam dan elektrolit. Karena pembentukan lapisan merupakan proses adsorpsi,

temperatur dan tekanan mempengaruhi pembentukan lapisan tersebut. Contoh dari inhibitor organik adalah amino ($-NH_2$) dan karboksil ($-COOH$).

Efektivitas dari inhibitor organik dipengaruhi oleh komposisi kimia, struktur molekul, dan afinitas inhibitor terhadap permukaan logamnya. Selain itu, kekuatan ikatan adsorpsi merupakan faktor dominan untuk inhibitor organik dalam menghambat laju korosi. Penambahan konsentrasi inhibitor ke dalam suatu larutan sangat penting, karena penambahan konsentrasi inhibitor yang tepat dapat melindungi seluruh permukaan logam.

4. Inhibitor Presipitasi

Mekanisme inhibitor presipitasi adalah dengan cara membentuk presipitat di seluruh permukaan logam yang secara tidak langsung berperan sebagai lapisan pelindung untuk menghambat reaksi anodik dan katodik logam tersebut. Contoh dari inhibitor presipitat adalah silika dan fosfat. Dalam sistem aerasi air panas, natrium silikat dapat melindungi baja, tembaga, dan kuningan. Namun, proteksi ini kurang efektif, sangat tergantung pada pH dan indeks saturasi. Sedangkan fosfat membutuhkan oksigen dalam menghambat korosi dengan efektif.

5. *Volatile Corrosion Inhibitors*

Mekanisme *volatile corrosion inhibitor (VCI)* adalah dengan cara mengalirkan inhibitor dari tempat dimana inhibitor tersebut diuapkan menuju ke lingkungan yang korosif melalui lingkungan tertutup. Proses proteksi ini dimulai ketika uap berhubungan atau kontak dengan permukaan logam terkondensasi menjadi garamnya dan memberikan ion yang dapat melindungi logam dari korosi. Penggunaan VCI tergantung pada kemampuan menguapkan komposisi dari inhibitor tersebut. Untuk proses proteksi yang cepat diperlukan inhibitor yang kemampuan menguapnya tinggi. Contoh dari VCI adalah *morpholine* dan *hydrazine* yang digunakan pada boiler, *dicyclohexylamine*, *cyclohexylamine*, dan *hexamethylene-amine* digunakan pada *shipping containers*.

2.5 Teh Rosela Merah (*Hibiscus sabdariffa*)

Rosela yang mempunyai nama ilmiah *Hibiscus sabdariffa* Linn, merupakan anggota family Malvaceae. Rosela dapat tumbuh baik di daerah beriklim tropis dan subtropis²¹. Tanaman ini mempunyai habitat asli di daerah yang terbentang dari India hingga Malaysia. Namun, sekarang tanaman ini telah tersebar luas di daerah tropis dan subtropis di seluruh dunia. Karena itu, tanaman ini mempunyai nama umum yang berbeda-beda di berbagai Negara. Di Indonesia belum banyak masyarakat yang memanfaatkan tanaman rosela. Tanaman rosela tumbuh dari biji dengan ketinggian yang bisa mencapai 3 sampai 5 meter serta mengeluarkan bunga hampir sepanjang tahun. Bunga rosela berwarna cerah dengan kelopak bunga atau kalikisnya berwarna merah gelap, tebal dan mempunyai rasa yang masam. Kelopak bunga ini mengandung vitamin C, vitamin A, asam amino, protein dan kalsium dan dimanfaatkan sebagai minuman teh herbal, sirup herbal, bahan pewarna dan perasa dalam membuat puding dan es krim²².

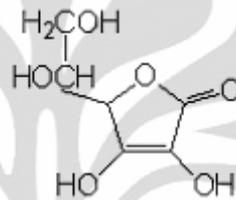


Gambar 2.11 Bunga rosela merah²³

Teh rosela merupakan salah satu jenis teh merah yang paling populer dan disukai konsumen. Teh rosela dikenal dengan nama beragam, seperti hibiscus tea, teh mekkah, teh yaman, *karkade* (Arab), dan *kezuru* (Jepang). Teh rosela dapat dibuat dari kelopak bunga dan daunnya, tetapi umumnya dibuat dari kelopak bunga untuk mendapatkan khasiatnya yang optimal. Teh dari kelopak bunga rosela lebih memberikan sensasi aroma dan warna merah yang lebih menarik dibandingkan teh yang terbuat dari daunnya²¹.

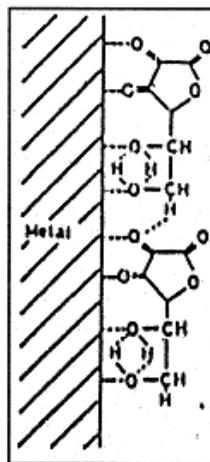
Teh rosela merah memiliki kandungan antioksidan yang tinggi. Antioksidan adalah senyawa yang mempunyai kemampuan untuk memperlambat atau

menghambat reaksi oksidasi. Kandungan dari rosela yang merupakan senyawa antioksidan adalah vitamin C (asam askorbat). Kandungan vitamin C pada kelopak bunga rosela lebih tinggi dari kandungan vitamin C pada jeruk, 3 kali lebih besar dari anggur hitam dan 9 kali lebih besar dari kandungan vitamin C pada jeruk citrus^{22]}. Hasil analisa terhadap kelopak bunga rosela kering per 100 gramnya mengandung 1.9 protein, 0.1 gram lemak, 12.3 gram karbohidrat, 2.3 gram serat, dan 14 miligram asam askorbat, 0.04 miligram vitamin B, serta komponen pewarna alami^{24]}.



Gambar 2.12 Struktur kimia Asam Askorbat^{25]}

Asam askorbat atau vitamin C merupakan antioksidan yang larut dalam air dan molekulnya memiliki karakteristik yang dibutuhkan sebagai inhibitor korosi^{25]}. Mekanisme asam askorbat dalam menghambat proses korosi yaitu teradsorpsi pada permukaan logam. Permukaan logam tersebut akan terlindungi oleh lapisan pelindung tipis. Asam askorbat ini bersifat sangat stabil di udara, tetapi di dalam larutan, asam askorbat akan cepat teroksidasi dan perlahan-lahan berdekomposisi menjadi *dehydro-ascorbic acid* (DAA). DAA merupakan senyawa yang teradsorpsi pada permukaan logam dan berfungsi untuk menghambat proses korosi^{25, 26]}.



Gambar 2.13 Ilustrasi terbentuknya lapisan pelindung^{26]}

DAA ini bersifat tidak stabil pada pH diatas 6 karena senyawanya akan berdekomposisi menjadi beberapa senyawa lain seperti asam tartarat dan oksalat^{27]}. DAA yang berdekomposisi ini menyebabkan pH larutan mengalami penurunan atau menjadi lebih asam dan membuat proses adsorpsi yang terjadi tidak maksimal.

2.6 Perhitungan Laju Korosi dan Efisiensi Inhibitor

2.6.1 Perhitungan Laju Korosi

Terdapat beberapa macam metode untuk menghitung laju korosi. Salah satunya adalah dengan menggunakan metode kehilangan berat (*weight loss*). Metode kehilangan berat adalah perhitungan laju korosi dengan mengukur pengurangan berat akibat korosi yang terjadi. Sampel yang telah ditimbang, direndam pada larutan selama beberapa waktu. Setelah perendaman, dilakukan pembersihan untuk membersihkan produk korosi pada sampel dilanjutkan dengan penimbangan sampel kembali. Sehingga didapatkan data berat sebelum dan sesudah perendaman. Pengurangan berat yang terjadi kemudian dikonversikan menjadi suatu laju korosi dengan memperhitungkan pengurangan berat, luas permukaan yang terendam, waktu perendaman dan massa jenis. Untuk mendapatkan laju korosi ditunjukkan oleh persamaan berikut:

$$\text{Laju korosi (MPY)} = \frac{K.W}{D.A.T} \quad (\text{Persamaan 2.1})$$

Dimana: K = konstanta (tabel 2.1)

W = pengurangan berat (gr)

D = massa jenis (gr/cm³)

A = luas permukaan yang direndam (cm²)

T = waktu (jam)

Nilai K pada perhitungan laju korosi disesuaikan dengan satuan-satuan yang digunakan. Hubungan satuan laju korosi dengan nilai K dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Satuan laju korosi dengan nilai K^{32]}

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 (um/y)	8.76×10^7
picometres per second (pm/s)	2.78×10^6
grams per square meter per hour (g/m ² ·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 (µg/m ² ·s)	$2.78 \times 10^6 \times D$

2.6.2 Efisiensi Inhibitor

Efisiensi inhibitor menunjukkan persentase penurunan laju korosi dengan adanya penambahan inhibitor dibandingkan dengan laju korosi tanpa adanya penambahan inhibitor. Semakin besar nilai efisiensi inhibitor maka kemampuan inhibitor dalam menghambat laju korosi semakin baik.

Perhitungan efisiensi inhibitor menggunakan persamaan berikut ini:

$$\text{efisiensi inhibitor} = \frac{X_a - X_b}{X_a} \times 100\% \quad (\text{Persamaan 2.2})$$

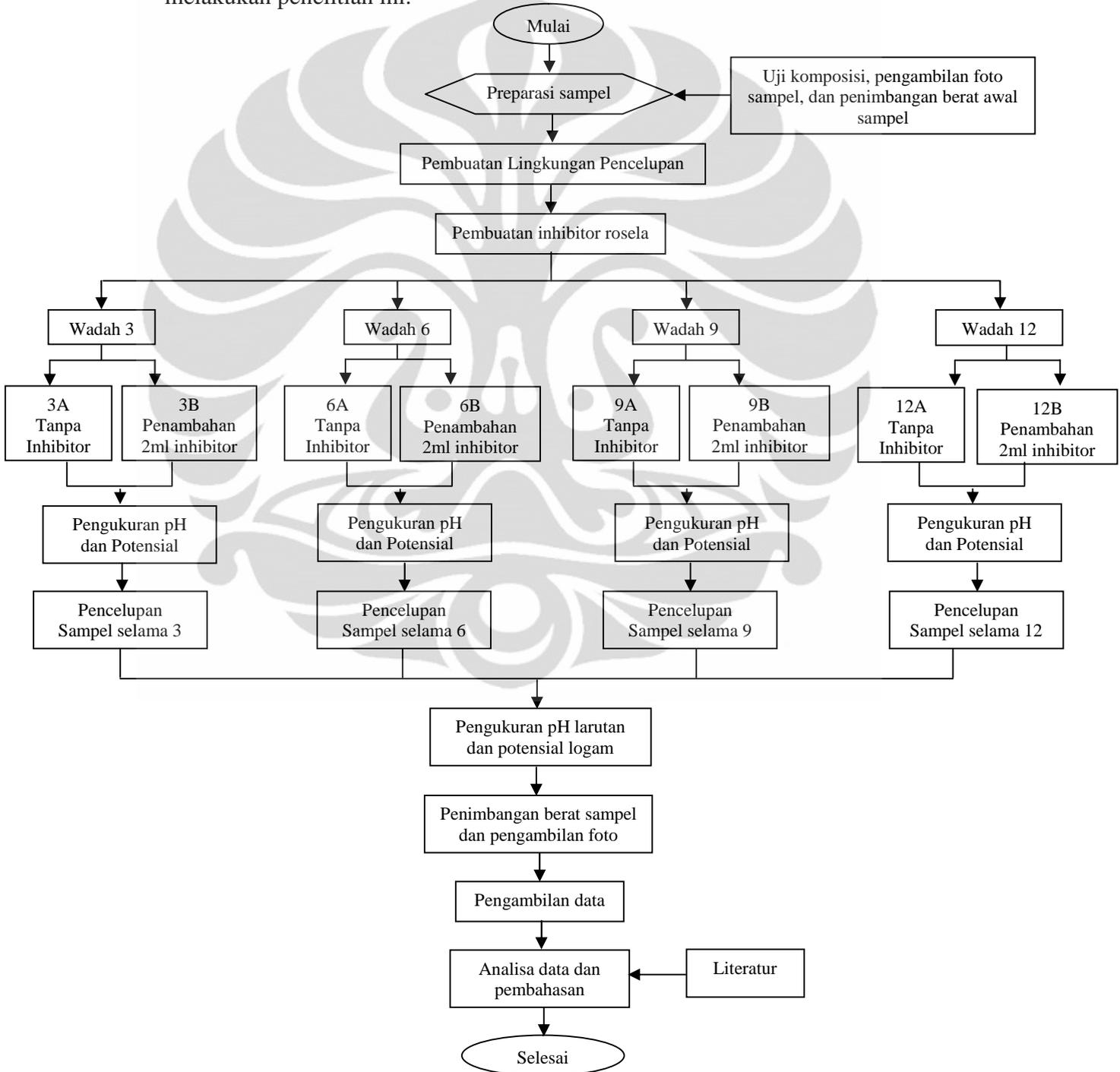
Dimana: X_a = laju korosi tanpa inhibitor

X_b = laju korosi dengan penambahan inhibitor

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.1 merupakan diagram alir penelitian. Diagram alir penelitian ini menjelaskan tentang alur atau tahapan kerja yang harus dilakukan untuk melakukan penelitian ini.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

1. Alat pemotong sampel
2. Mesin bor dan mata bor diameter 3 mm
3. Kertas amplas (grit 80,100,150, dan 240)
4. Timbangan digital
5. pH meter digital
6. Multimeter dan capit buaya
7. Elektroda standar Ag/AgCl
8. Benang
9. Wadah plastik
10. Kertas label
11. Gunting atau *cutter*
12. Penggaris dan pensil
13. Kamera digital
14. *Beaker glass* dan Labu *Erlenmayer* 500 ml
15. *Heater* atau *Magnetic steerer*
16. *Hair dryer*
17. *Ultrasonic agitator*

3.2.2 Bahan

1. Baja karbon rendah
2. Aquades
3. Garam teknis (NaCl)
4. Kelopak bunga rosela merah kering (*Hibiscus sabdariffa*) merek 'X'
5. HCl 32 %
6. Air sabun
7. Acetone
8. Inhibitor baracor
9. NaHCO₃

3.3 Prosedur Kerja

3.3.1 Preparasi Sampel

1. Pemotongan sampel

Memotong lembaran baja karbon rendah menjadi ukuran 25 mm x 20 mm x 1 mm sebanyak 24 buah (6 sampel untuk uji rendam selama 3 hari, 6 sampel untuk uji rendam selama 6 hari, dan 6 sampel untuk uji rendam selama 9 hari, 6 sampel untuk uji rendam selama 12 hari).

2. Pengeboran sampel

Sampel yang telah dipotong, kemudian dibor pada bagian atas sampel dengan mata bor berdiameter 3 mm untuk penggantungan sampel.

3. Pengamplasan sampel

Sampel diampelas untuk menghilangkan oksida yang ada dipermukaan sampel dengan menggunakan kertas amplas mulai dari grit 80 sampai 240.

4. Pengambilan Foto

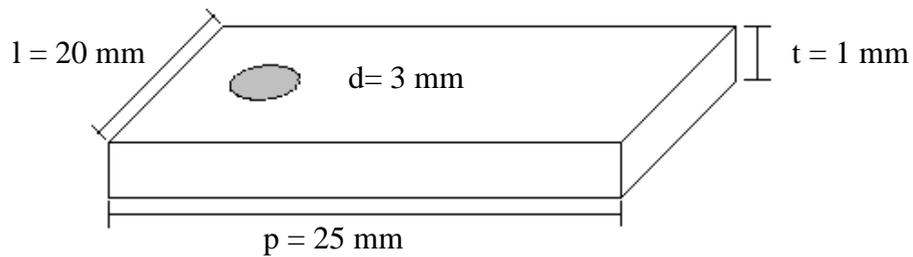
Setelah dilakukan pengeboran, sampel difoto terlebih dahulu untuk mendapatkan data kondisi visual sampel sebelum dilakukan pencelupan. Pengambilan foto ini dilakukan dengan menggunakan kamera digital.

5. Penimbangan berat awal sampel

Masing-masing sampel ditimbang berat awalnya menggunakan timbangan digital.

3.3.2 Pembuatan Larutan Rendam NaCl 3,5%

Larutan rendam yang digunakan adalah larutan NaCl dengan konsentrasi 3,5%. Cara membuat larutan rendam yaitu melarutkan 35 gram NaCl dalam 1 liter aquades.



Gambar 3.2 Sampel Pengujian

Berdasarkan ASTM G31-72, volume larutan rendam dapat dihitung dengan cara menggunakan rasio maksimal yaitu 0,4 dari luas permukaan sampel.

Luas permukaan sampel:

$$\begin{aligned}
 &= (2 \times p \times l) + (2 \times p \times t) + (2 \times l \times t) - ((2 \times r^2) + (t \times 2 \times r)) \\
 &= (2 \times 25 \times 20) + (2 \times 25 \times 1) + (2 \times 20 \times 1) - (2 \times 3,14 \times 1,5^2) + (1 \\
 &\times 2 \times 3,14 \times 1,5) = 1085,29 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Volume minimal} = 0,4 \times 1085,29 = 434,119 \text{ ml} \quad 450 \text{ ml}$$

Volume larutan minimal untuk satu kupon adalah 450 ml. Karena jumlah kupon untuk pengujian ada 24 kupon, maka volume larutan yang diperlukan adalah 10800 ml.

3.3.3 Pembuatan Inhibitor Organik

Konsentrasi inhibitor yang digunakan adalah 10 gpl. Cara pembuatannya yaitu masukkan 1 gram bunga rosela kering kedalam *beaker glass*, lalu tambahkan 100 ml aquades panaskan dan aduk dengan *magnetic stearer* untuk menyeduh bunga rosela kering sehingga mendapatkan rosela dengan konsentrasi 10 gpl. Saring ampas dari rosela, tunggu dingin lalu siap digunakan sebagai inhibitor.

3.3.4 Uji Rendam (*Immersion Test*)

Sampel yang telah dilakukan preparasi, digantung dengan benang dan kemudian dicelupkan kedalam wadah plastik yang telah berisi larutan garam (NaCl 3,5%) ± 450 ml pada temperatur ruang, dimana setiap satu

sampel direndam pada 1 wadah. Untuk memudahkan dalam melakukan penelitian dan pengamatan, maka setiap wadah diberi penomoran, dengan perlakuan yang berbeda pada setiap nomornya. Berikut penomoran dan perlakuan:

1. Wadah 3A (1, 2, 3) dan 3B (1, 2, 3) dengan perendaman sampel selama 3 hari.
 - a. 3A01, 3A02, 3A03; pada larutan yang tidak ditambahkan inhibitor
 - b. 3B01, 3B02, 3B03; pada larutan yang ditambahkan 2 ml inhibitor
2. Wadah 6A (1, 2, 3) dan 6B (1, 2, 3) dengan perendaman sampel selama 6 hari.
 - a. 6A01, 6A02, 6A03; pada larutan yang tidak ditambahkan inhibitor
 - b. 6B01, 6B02, 6B03; pada larutan yang ditambahkan 2 ml inhibitor
3. Wadah 9A (1, 2, 3) dan 9B (1, 2, 3) dengan perendaman sampel selama 9 hari.
 - a. 9A01, 9A02, 9A03; pada larutan yang tidak ditambahkan inhibitor
 - b. 9B01, 9B02, 9B03; pada larutan yang ditambahkan 2 ml inhibitor
4. Wadah 12A (1, 2, 3) dan 12B (1, 2, 3) dengan perendaman sampel selama 12 hari.
 - a. 12A01, 12A02, 12A03; pada larutan yang tidak ditambahkan inhibitor
 - b. 12B01, 12B02, 12B03; pada larutan yang ditambahkan 2 ml inhibitor

Sesaat setelah dilakukan pencelupan, setiap wadah diukur pH larutan dan potensial logam. Pengukuran pH dilakukan dengan mencelupkan pH meter digital ke dalam larutan. Pengukuran potensial logam dilakukan dengan menggunakan multimeter, dimana bagian positif dihubungkan

dengan sampel dan bagian negatif dengan elektroda standar Ag/AgCl. Pengukuran pH dan potensial akhir dari setiap wadah dilakukan juga sebelum pengangkatan sampel.

3.3.5 Pembersihan Sampel

1. Keluarkan sampel untuk difoto sebelum melakukan pembersihan
2. Celupkan sampel kedalam *air sabun* untuk menghilangkan lemak pada permukaan sampel. Cuci dengan air, lalu celupkan ke dalam *acetone* kemudian keringkan dengan *hair dryer*.
3. Masukkan *beaker glass* tersebut kedalam mesin *Ultrasonic Agitator*. Penggunaan mesin ini adalah untuk mempercepat proses pembersihan. Kemudian, masukkan sampel kedalam *beaker glass* yang sudah diisi dengan larutan HCl 32% 200 ml yang ditambahkan 2ml inhibitor *baracor* untuk *pickling* dan menghilangkan *scale* dan produk korosi. Proses ini dilakukan selama ± 10 menit.
4. Celupkan sampel kedalam larutan NaHCO_3 lewat jenuh selama 1 menit untuk menghilangkan suasana asam kemudian bilas dengan *aquades*.
5. Cuci sampel dengan *acetone* dan keringkan dengan *hair dryer*.
6. Foto sampel dan hitung berat akhir sampel sesudah melakukan pembersihan.

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia Sampel

Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah baja karbon rendah. Untuk mengetahui komposisinya, sampel diuji *spectroscopy* di *Center for Material Processing and Failure Analysis (CMPFA)* menggunakan mesin *Optical Emission Spectrometer*. Hasil pengujian menunjukkan komposisi dari baja karbon rendah tersebut adalah sebagai berikut:

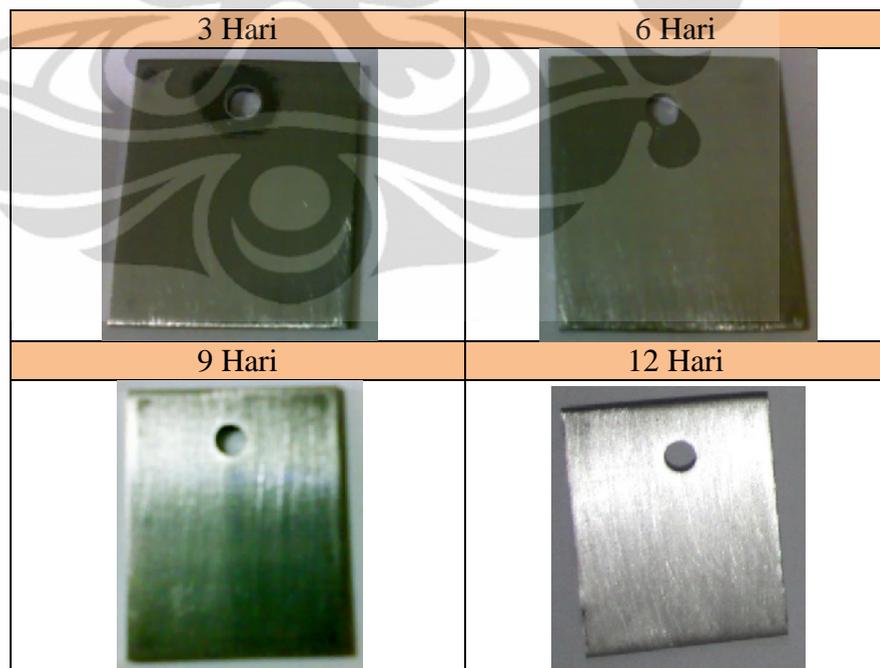
Tabel 4.1 Komposisi baja karbon rendah

C (%)	Si (%)	S (%)	P (%)	Mn (%)	Ni (%)	Cr (%)
0.057	0.007	0.003	0.007	0.160	0.031	0.023
Mo (%)	Ti (%)	Cu (%)	Nb (%)	V (%)	Pb (%)	Fe (%)
<0.005 ²	<0.002 ²	0.121	<0.002 ²	<0.002 ²	<0.025 ²	Bal.

4.1.2 Hasil Pengamatan Visual Sampel

1. Pengamatan Visual Sampel tanpa Inhibitor

Tabel 4.2 Sampel sebelum perendam



Tabel 4.3 Sampel setelah pengangkatan

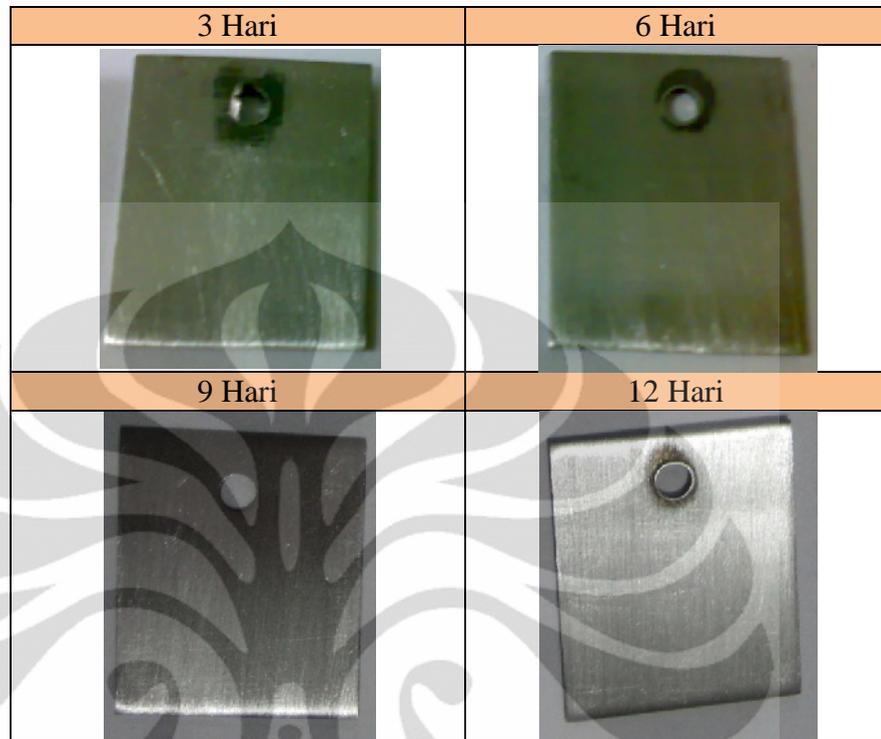
3 Hari	6 Hari
	
9 Hari	12 Hari
	

Tabel 4.4 Sampel setelah proses pickling

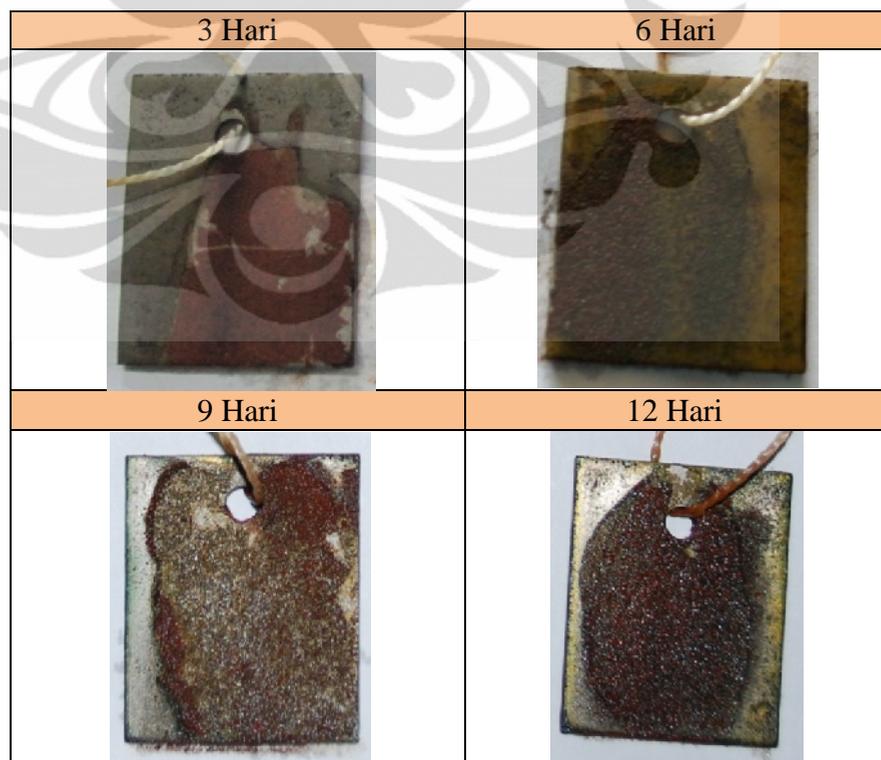
3 Hari	6 Hari
	
9 Hari	12 Hari
	

2. Pengamatan Visual Sampel dengan Inhibitor

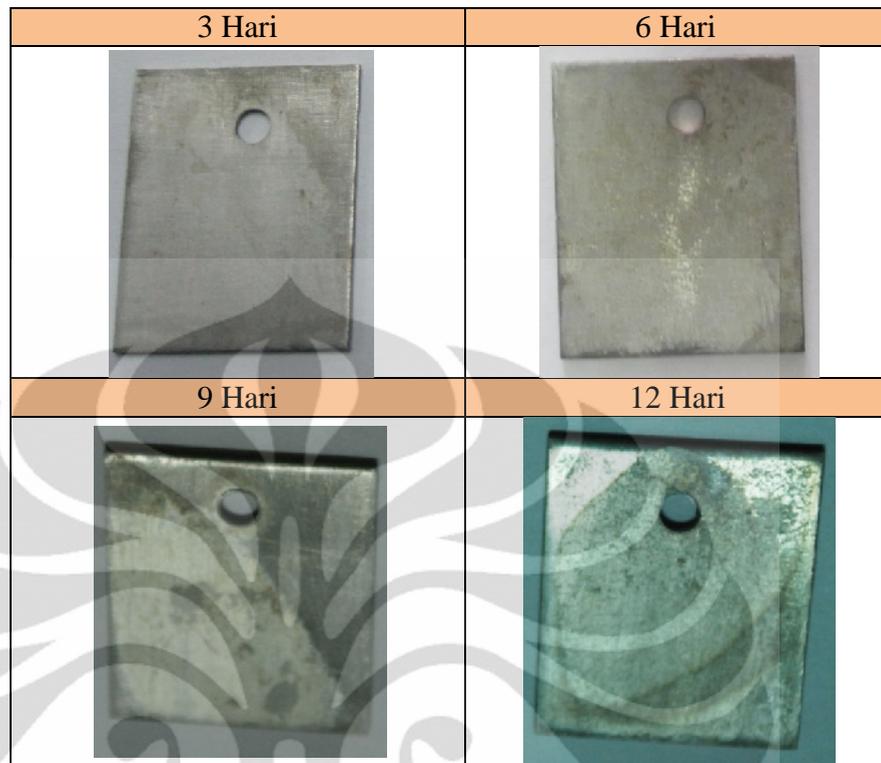
Tabel 4.5 Sampel sebelum perendam



Tabel 4.6 Sampel setelah pengangkatan



Tabel 4.7 Sampel setelah proses *pickling*



4.1.3 Hasil Pengujian pH Larutan Rendam

Tabel 4.8 Data pH larutan rendam

Kode Sampel*	pH Awal	Rata-rata pH Awal	pH Akhir	Rata-rata pH Akhir
03A01	6,9	7,0	7,8	8,0
03A02	7,1		8,0	
03A03	7,1		8,1	
03B01	6,0	6,1	7,0	6,8
03B02	6,1		6,9	
03B03	6,2		6,9	
06A01	7,0	7,0	8,0	8,1
06A02	7,0		8,2	
06A03	6,9		8,1	
06B01	6,2	6,1	7,1	6,9
06B02	6,2		7,0	
06B03	6,0		7,1	
09A01	7,1	7,0	7,9	7,9
09A02	7,0		7,9	
09A03	7,0		8,0	

09B01	5,9	6,0	6,6	6,7
09B02	6,0		6,8	
09B03	6,0		6,7	
12A01	6,9	6,9	8,0	8,0
12A02	6,9		8,0	
12A03	6,9		7,9	
12B01	6,2	6,0	6,8	6,9
12B02	5,8		6,9	
12B03	6,1		7,0	

*A menandakan larutan yang tidak ditambahkan inhibitor, B menandakan larutan yang ditambahkan inhibitor

4.1.4 Hasil Pengujian Potensial Sampel

Tabel 4.9 Data potensial sampel

Kode Sampel*	Potensial Awal (vs AgCl)	Rata-rata Potensial Awal (vs AgCl)	Rata-rata Potensial Awal (vs SHE)	Potensial Akhir (vs AgCl)	Rata-rata Potensial Akhir (vs AgCl)	Rata-rata Potensial Akhir (vs SHE)
03A01	-0,440	-0,429	-0,207	-0,629	-0,625	-0,403
03A02	-0,417			-0,626		
03A03	-0,432			-0,620		
03B01	-0,421	-0,419	-0,197	-0,571	-0,571	-0,349
03B02	-0,417			-0,569		
03B03	-0,420			-0,574		
06A01	-0,471	-0,464	-0,242	-0,643	-0,650	-0,428
06A02	-0,456			-0,658		
06A03	-0,466			-0,651		
06B01	-0,460	-0,458	-0,236	-0,626	-0,617	-0,395
06B02	-0,442			-0,610		
06B03	-0,472			-0,616		
09A01	-0,496	-0,48	-0,258	-0,644	-0,651	-0,429
09A02	-0,480			-0,662		
09A03	-0,466			-0,649		
09B01	-0,445	-0,470	-0,248	-0,620	-0,623	-0,401
09B02	-0,481			-0,634		
09B03	-0,486			-0,616		
12A01	-0,470	-0,477	-0,255	-0,662	-0,661	-0,439
12A02	-0,478			-0,654		
12A03	-0,483			-0,668		
12B01	-0,437	-0,442	-0,220	-0,658	-0,65	-0,432
12B02	-0,446			-0,658		

12B03	-0,445			-0,648	
-------	--------	--	--	--------	--

*A menandakan larutan yang tidak ditambahkan inhibitor, B menandakan larutan yang ditambahkan inhibitor

4.1.5 Hasil Pengujian *Weight Loss*, Perhitungan Laju Korosi dan Efisiensi Inhibitor

Tabel 4.10 Data pengurangan berat sampel

Kode Sampel*	Berat Sampel (gr)		Selisih Berat	Selisih Berat Rata-Rata
	Awal	Akhir		
03A01	3,1326	3,1217	0,0109	0,0109
03A02	3,0739	3,0629	0,011	
03A03	3,2971	3,2862	0,0109	
03B01	2,9865	2,9761	0,0104	0,0100
03B02	3,0772	3,0673	0,0099	
03B03	2,9224	2,9125	0,0099	
06A01	3,2317	3,2109	0,0208	0,0226
06A02	3,2279	3,2042	0,0237	
06A03	3,2156	3,1923	0,0233	
06B01	3,1305	3,1104	0,0201	0,0191
06B02	3,0711	3,053	0,0181	
06B03	3,0927	3,0734	0,0193	
09A01	3,01	2,9813	0,0287	0,0265
09A02	3,1685	3,1426	0,0259	
09A03	3,0872	3,0622	0,025	
09B01	3,1564	3,1313	0,0251	0,0222
09B02	3,1383	3,1186	0,0197	
09B03	3,0805	3,0585	0,022	
12A01	3,0747	3,0426	0,0321	0,0339
12A02	3,2933	3,2608	0,0325	
12A03	3,2027	3,1655	0,0372	
12B01	3,0378	3,0069	0,0309	0,0297
12B02	3,1317	3,1032	0,0285	
12B03	3,1113	3,0814	0,0299	

*A menandakan larutan yang tidak ditambahkan inhibitor, B menandakan larutan yang ditambahkan inhibitor

Tabel 4.11 Data laju korosi sampel dan efisiensi inhibitor

Kode Sampel	Berat Sampel (gr)		Selisih Berat	Corrosion Rate	Δ Corrosion Rate	efisiensi	
	Awal	Akhir					
03A01	3,1326	3,1217	0,0109	7,5983	7,6215	7,9268%	
03A02	3,0739	3,0629	0,011	7,6680			
03A03	3,2971	3,2862	0,0109	7,5983			
03B01	3	2,9761	0,0104	7,2497	7,0173		
03B02	3,0772	3,0673	0,0099	6,9012			
03B03	2,9224	2,9125	0,0099	6,9012			
06A01	3,2317	3,2109	0,0208	7,2497	7,8771		15,1917%
06A02	3,2279	3,2042	0,0237	8,2605			
06A03	3,2156	3,1923	0,0233	8,1211			
06B01	3,1305	3,1104	0,0201	7,0057	6,6804		
06B02	3,0711	3,053	0,0181	6,3086			
06B03	3,0927	3,0734	0,0193	6,7269			
09A01	3,01	2,9813	0,0287	6,6688	6,1653	16,0804%	
09A02	3,1685	3,1426	0,0259	6,0182			
09A03	3,0872	3,0622	0,025	5,8090			
09B01	3,1564	3,1313	0,0251	5,8323	5,1739		
09B02	3,1383	3,1186	0,0197	4,5775			
09B03	3,0805	3,0585	0,022	5,1120			
12A01	3,0747	3,0426	0,0321	5,5941	5,9136		12,2790%
12A02	3,2933	3,2608	0,0325	5,6638			
12A03	3,2027	3,1655	0,0372	6,4829			
12B01	3,0378	3,0069	0,0309	5,3850	5,1875		
12B02	3,1317	3,1032	0,0285	4,9667			
12B03	3,1113	3,0814	0,0299	5,2107			

*A menandakan larutan yang tidak ditambahkan inhibitor, B menandakan larutan yang ditambahkan inhibitor

4.2 Pembahasan

4.2.1 Analisis Pengujian Komposisi Kimia Sampel

Pada Tabel 4.1, hasil pengujian komposisi kimia, dapat dilihat bahwa unsur utama dalam sampel adalah Fe sebesar $\pm 99,5\%$ dan unsur-unsur penyusun lainnya seperti: C (0,057%), Si (0,007%), P (0,007%), Mn (0,160%), Ni (0,031%), Cr (0,023%), Mo (0,005%), Ti (0,002%), Cu (0,121%), Nb (0,002%), V (0,002%), dan Pb (0,025%). Sampel ini memiliki kadar karbon 0,057%, sehingga dapat disimpulkan bahwa sampel ini termasuk dalam golongan baja karbon rendah yang memiliki kadar karbon

kurang dari 2%^{28]}. Kandungan unsur-unsur paduan dalam baja karbon seperti krom (Cr), nikel (Ni), tembaga (Cu), silikon (Si), dan Molibden (Mo) dapat meningkatkan ketahanan korosi dari baja^{1,29]}. Namun, kandungan unsur-unsur paduan dalam sampel tidak terlalu besar. Sehingga secara umum, sampel ini akan rentan terhadap korosi.

4.2.2 Pengamatan Visual Tanpa dan Dengan Penambahan Teh Rosela Merah

Penelitian ini dilakukan dengan menambahkan inhibitor teh rosela merah. Pada Gambar 4.1 merupakan inhibitor teh rosela merah yang digunakan pada penelitian. Penambahan teh rosela sebanyak 2ml ke dalam larutan uji (NaCl 3,5%) tidak menyebabkan perubahan warna pada larutan. Warna larutan yang ditambahkan inhibitor sama dengan larutan yang tidak ditambahkan inhibitor yaitu bening. Setelah perendaman beberapa hari, warna pada larutan tersebut mulai berubah warna. Warna kedua larutan yang awalnya bening berubah menjadi kuning kecoklatan dan terdapat endapan. Namun, warna dari larutan yang tidak ditambahkan inhibitor terlihat lebih pekat dan endapan yang terbentuk lebih banyak daripada larutan yang ditambahkan inhibitor. Endapan yang terbentuk berwarna kecoklatan.



Gambar 4.1 Inhibitor teh rosela merah

Pada Tabel 4.2 dan 4.5 dapat dilihat kondisi awal sampel sebelum perendaman untuk larutan yang ditambahkan dan tidak ditambahkan inhibitor. Awalnya, pada permukaan sampel (baja karbon rendah) ini, terdapat lapisan berwarna abu-abu kehitaman yang menutupi seluruh

permukaan sampel. Oleh karena itu, untuk menghilangkan sampel tersebut, sebelum perendaman masing-masing sampel diampelas secara manual dengan menggunakan kertas ampelas dimulai dari grit 80, 100, 150, dan 240. Hal ini dilakukan untuk menghilangkan lapisan yang berwarna abu-abu kehitaman atau oksida yang ada dipermukaan sampel.

Setelah dilakukan perendaman 3, 6, 9, dan 12 hari, pada larutan yang tidak ditambahkan inhibitor, sampel diangkat dan dilakukan pengamatan visual yang dapat dilihat pada Tabel 4.3. Terlihat bahwa hampir seluruh permukaan sampel pada setiap waktu perendaman mengalami korosi seragam. Korosi seragam ini ditandai dengan adanya *scale* berwarna kuning kemerahan yang menutupi seluruh permukaan sampel. Semakin lama waktu pengujian, maka *scale* yang terbentuk akan semakin banyak. Saat dilakukan *pickling*, *scale* ini dapat dibersihkan dengan mudah tetapi akan menimbulkan bekas atau noda diseluruh permukaan logam yang tertutup *scale*. Hasil pengamatan visual sampel setelah dilakukan pembersihan atau *pickling* dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Sedangkan sampel pada larutan yang ditambahkan inhibitor, hasil pengamatan visual dapat dilihat pada Tabel 4.6. Pada sampel terlihat adanya *scale* dengan warna merah kehitaman. Namun, *scale* yang menutupi permukaan sampel pada larutan yang ditambahkan inhibitor jumlahnya tidak sebanyak dan setebal dibandingkan dengan sampel pada larutan yang tidak ditambahkan inhibitor. Saat dilakukan *pickling*, *scale* yang terbentuk agak sedikit sulit untuk dibersihkan. Hasil pengamatan visual sampel setelah dilakukan pembersihan atau *pickling* dapat dilihat pada Tabel 4.7.

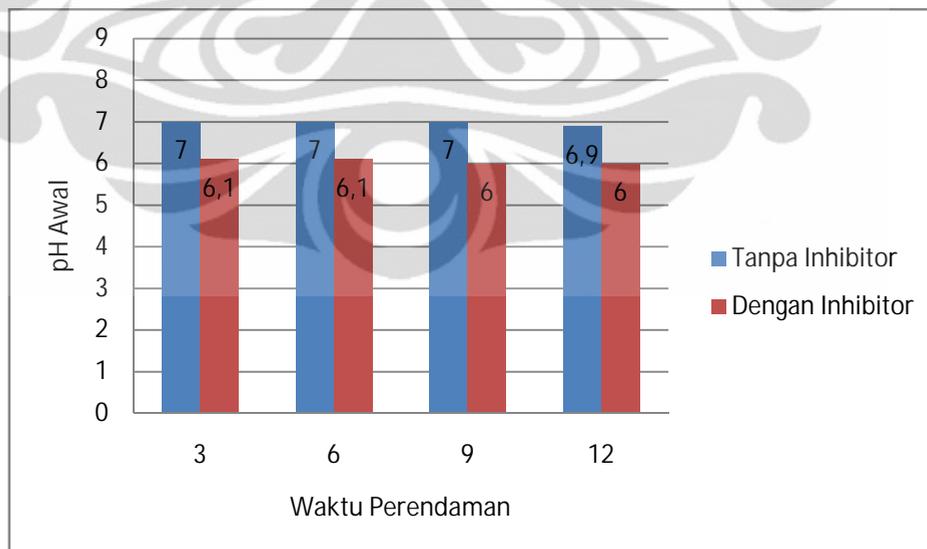
4.2.3 Pengaruh Waktu Uji Rendam terhadap pH Larutan Rendam

Pengukuran pH pada kedua larutan, larutan yang ditambahkan dan tidak ditambahkan, dilakukan pada hari pertama dan hari terakhir perendaman. Pengukuran pH dilakukan dengan menggunakan pH meter. Data hasil pengukuran pH dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Pada pengujian 3 hari rata-rata pH awal larutan yang tidak ditambahkan inhibitor adalah 7,0; dan rata-rata pH akhirnya adalah 8,0;

sedangkan rata-rata pH awal untuk larutan yang ditambahkan inhibitor adalah 6,1 dan rata-rata pH akhirnya adalah 6,8. Pada pengujian 6 hari rata-rata pH awal larutan yang tidak ditambahkan inhibitor dan ditambahkan inhibitor sama dengan rata-rata pH awal untuk kedua larutan pada pengujian 3 hari, yaitu 7,0 untuk larutan yang tidak ditambahkan inhibitor dan 6,1 untuk larutan yang ditambahkan inhibitor. Sedangkan untuk rata-rata pH akhir pada larutan yang tidak ditambahkan inhibitor adalah 8,1 dan larutan yang ditambahkan inhibitor adalah 6,9. Pada pengujian 9 hari rata-rata pH awal larutan yang tidak ditambahkan inhibitor adalah 7,0 dan rata-rata pH akhirnya adalah 7,9; sedangkan rata-rata pH awal larutan yang ditambahkan inhibitor adalah 6,0 dan rata-rata pH akhirnya 6,7. Pada pengujian 12 hari rata-rata pH awal dari larutan yang tidak ditambahkan inhibitor adalah 6,9 dan rata-rata pH akhirnya adalah 8,0; sedangkan rata-rata pH awal larutan yang ditambahkan inhibitor adalah 6,0 dan rata-rata pH akhirnya adalah 6,9.

Gambar 4.2 merupakan diagram yang menunjukkan perbedaan nilai pH awal dari kedua larutan. Nilai pH awal larutan yang tidak ditambahkan inhibitor berkisar antara 6,9 sampai 7, sedangkan nilai pH awal larutan yang ditambahkan inhibitor berkisar antara 6,0 sampai 6,1.

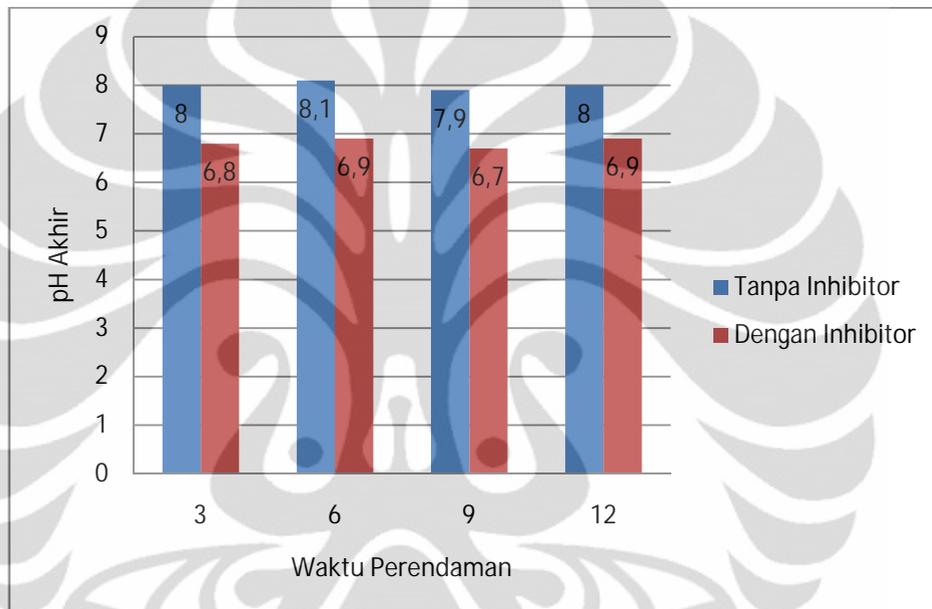


Gambar 4.2 Diagram pH awal terhadap waktu perendaman

Dari data tersebut dapat terlihat bahwa pH awal larutan yang ditambahkan inhibitor sedikit lebih asam dibandingkan dengan larutan yang

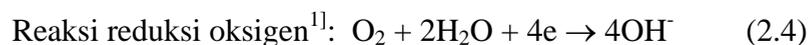
tidak ditambahkan inhibitor. Perbedaan nilai pH awal kedua larutan ini dipengaruhi oleh penambahan teh rosela. Teh rosela yang digunakan mempunyai pH yang cukup rendah atau asam, yaitu 4,3.

Gambar 4.3 merupakan diagram yang menunjukkan perbedaan nilai pH akhir dari kedua larutan. Nilai pH akhir larutan yang tidak ditambahkan inhibitor berkisar antara 7,9 sampai 8,1, sedangkan nilai pH akhir larutan yang ditambahkan inhibitor berkisar antara 6,7 sampai 6,9.



Gambar 4.3 Diagram pH akhir terhadap waktu perendaman

Dari kedua gambar tersebut, dapat terlihat adanya perubahan nilai pH. Perubahan pH pada kedua larutan terjadi karena reaksi reduksi oksigen yang terjadi pada katoda di lingkungan NaCl 3,5%. Reaksi tersebut sesuai dengan Persamaan reaksi 2.4. Reaksi yang terjadi adalah:



Hasil dari reaksi reduksi adalah terbentuknya ion OH^- yang akan menyebabkan lingkungan menjadi lebih basa. Namun, karena adanya mekanisme pengikatan oksigen (*oxygen scavenger*) oleh inhibitor organik, maka terjadi penurunan kadar oksigen yang diikuti dengan semakin kecil terbentuknya ion OH^- yang menyebabkan perubahan pH larutan yang ditambahkan inhibitor hanya mengalami sedikit peningkatan.

Reaksi reduksi dan oksida yang terjadi pada proses korosi adalah reaksi yang spontan dan setimbang. Apabila reaksi reduksi oksigen pada katoda terganggu atau mengalami penghambatan yang menyebabkan turunnya kadar oksigen, maka reaksi oksidasi pada anoda pun akan terganggu atau terhambat. Turunnya kadar oksigen ini akan menyebabkan laju korosi pada suatu logam menurun, karena keberadaan oksigen yang merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi terjadinya korosi.

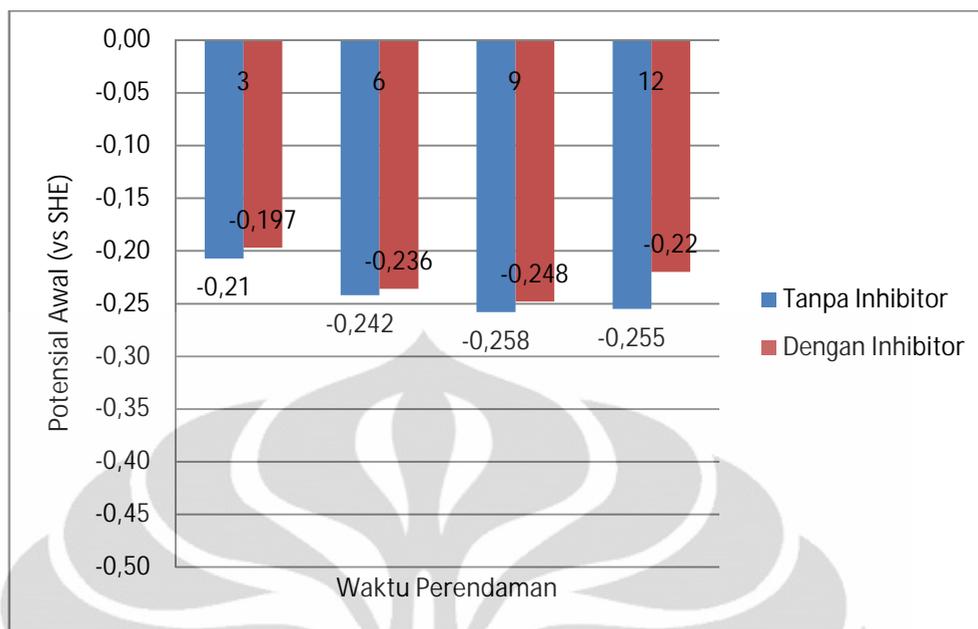
4.2.4 Pengaruh Waktu Uji Rendam terhadap Potensial Logam

Pengukuran potensial pada kedua larutan dilakukan dengan menggunakan elektroda standar Ag/AgCl. Nilai potensial yang didapat kemudian dirata-ratakan dan dikonversikan ke SHE dengan menggunakan persamaan⁵:

$$\text{potensial (V) vs SHE} = \text{potensial (V)} \frac{vsAg}{AgCl} + 0,222 \quad (\text{Persamaan 4.1})$$

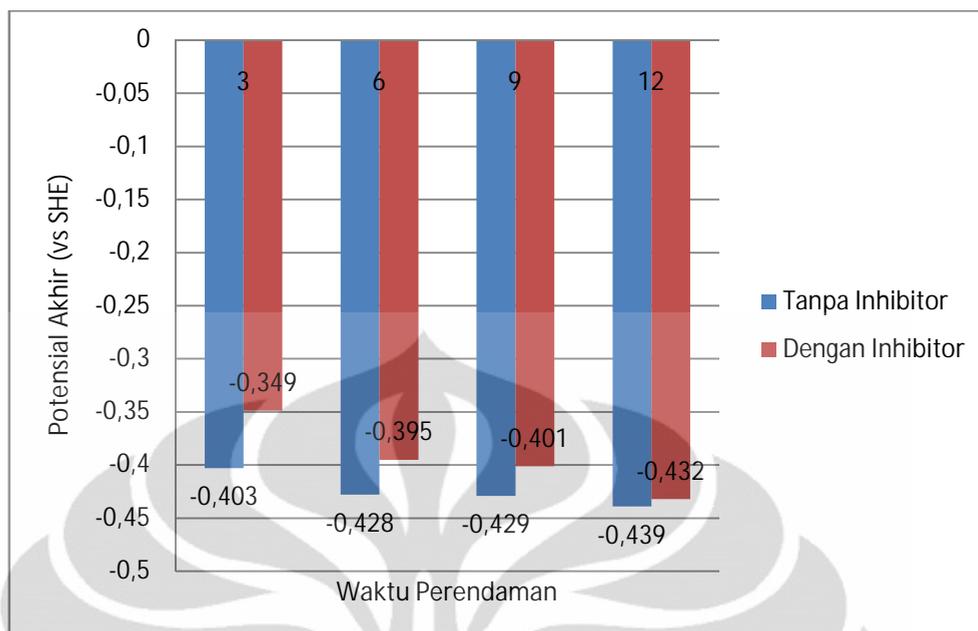
Pada tabel 4.9 dapat dilihat data potensial awal (vs AgCl), rata-rata potensial awal (vs AgCl), rata-rata potensial awal (vs SHE), potensial akhir (vs AgCl), rata-rata potensial akhir (vs AgCl), serta rata-rata potensial akhir (vs SHE).

Potensial awal sampel pada larutan yang tidak ditambahkan pada pengujian 3 hari adalah -0,207. Kemudian, potensial awal sampel naik atau bernilai lebih negatif pada pengujian 6 dan 9 hari, yaitu -0,242 dan -0,258. Tetapi potensial sampel akan turun atau bernilai lebih positif pada pengujian 12 hari, yaitu -0,255. Kecenderungan yang sama terjadi pada nilai potensial awal sampel pada larutan yang ditambahkan inhibitor. Pada pengujian 3 hari nilainya adalah -0,197. Pada pengujian 6 dan 9 hari, nilai potensialnya lebih besar atau bernilai lebih negatif, yaitu -0,236 dan -0,248 dan pada pengujian 12 hari nilai potensialnya turun atau bernilai lebih positif yaitu -0,220. Pada Gambar 4.4 dapat dilihat diagram potensial awal sampel terhadap waktu perendaman. Secara umum, dapat terlihat bahwa potensial awal sampel pada larutan yang ditambahkan inhibitor bernilai lebih positif dari larutan yang tidak ditambahkan inhibitor.



Gambar 4.4 Diagram potensial awal sampel terhadap waktu perendaman

Potensial akhir dari kedua larutan juga terdapat perbedaan yaitu potensial akhir larutan yang ditambahkan inhibitor lebih positif dari larutan yang tidak ditambahkan inhibitor. Data potensial akhir tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.5 yaitu diagram potensial akhir sampel terhadap waktu perendaman. Potensial akhir dari kedua larutan, larutan yang ditambahkan dan tidak ditambahkan inhibitor, semakin lama waktu pengujian, maka nilai potensialnya mengalami kenaikan atau bernilai lebih negatif. Potensial akhir larutan yang tidak ditambahkan inhibitor pada pengujian 3, 6, 9, 12 hari adalah -0,403, -0,428, -0,429, -0,439. Sedangkan potensial akhir larutan yang ditambahkan inhibitor pada pengujian 3, 6, 9, 12 hari adalah -0,349, -0,395, -0,401, -0,432.

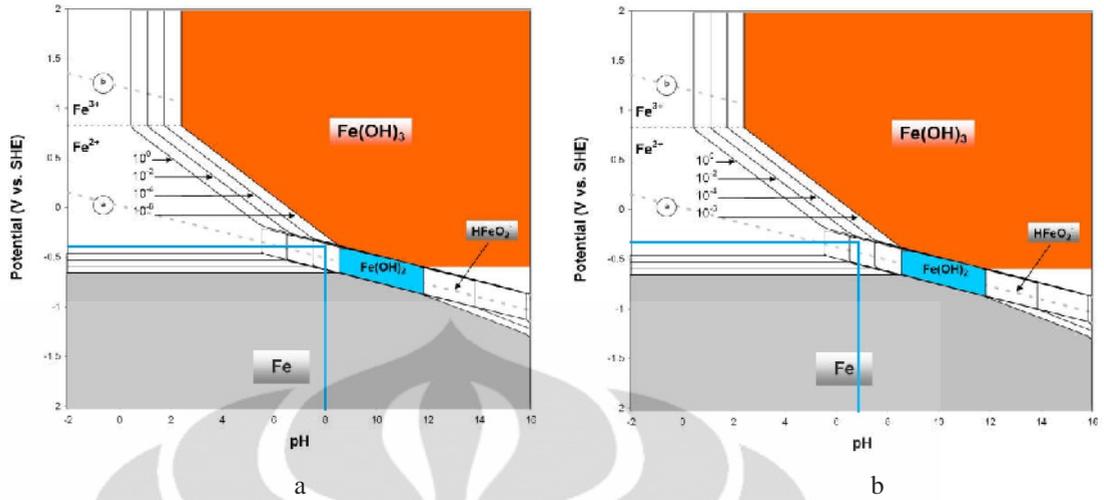


Gambar 4.5 Diagram potensial akhir sampel terhadap waktu perendaman

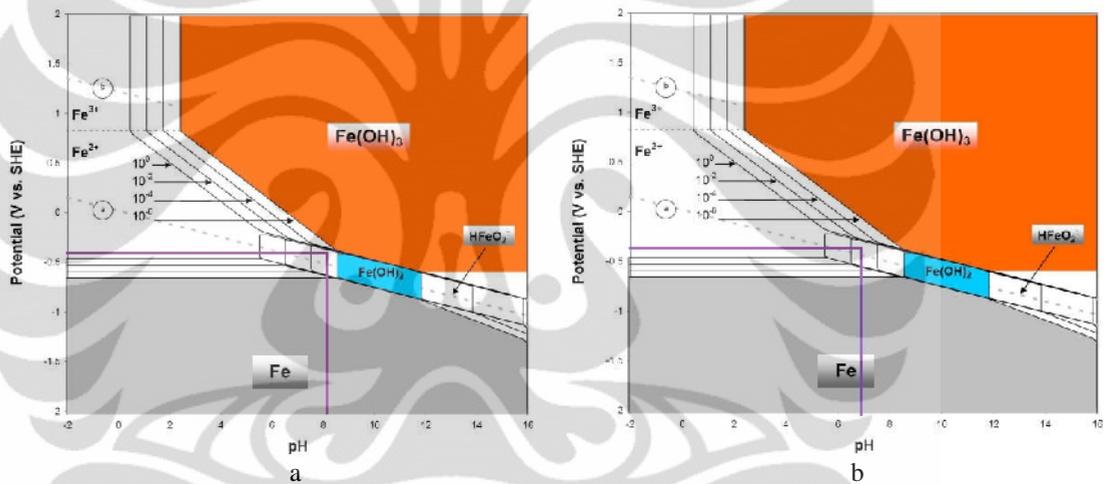
Data nilai potensial yang dikonversikan menjadi V vs SHE dapat dikombinasikan dengan data pH dan diplot pada diagram pourbaix. Hal ini dilakukan untuk memprediksi pengaruh perubahan potensial dan pH, apakah akan mendorong sampel ke daerah imun, pasif atau bahkan ke daerah terkorosi.

Tabel 4.12 pH dan potensial akhir

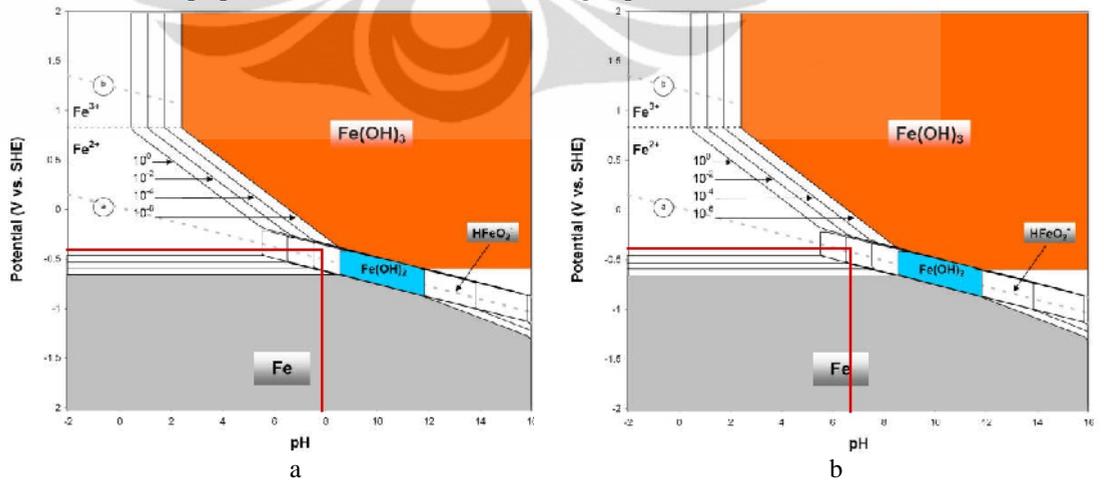
Hari Ke	Kondisi Sampel	Akhir	
		pH	potensial V vs SHE
3	tanpa inhibitor	8	-0,403
	dengan inhibitor	6,8	-0,349
6	tanpa inhibitor	8,1	-0,428
	dengan inhibitor	6,9	-0,395
9	tanpa inhibitor	7,9	-0,429
	dengan inhibitor	6,7	-0,401
12	tanpa inhibitor	8	-0,439
	dengan inhibitor	6,9	-0,432



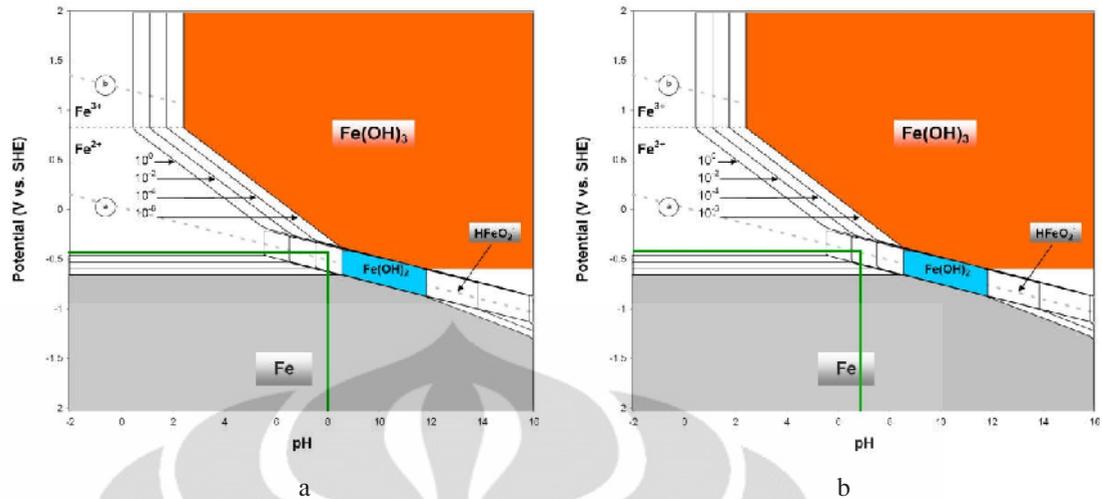
Gambar 4.6 Diagram pourbaix Fe hasil plot data pH dan potensial akhir pada pengujian 3 hari tanpa penambahan inhibitor (a) dan dengan penambahan inhibitor (b)



Gambar 4.7 Diagram pourbaix Fe hasil plot data pH dan potensial akhir pada pengujian 6 hari tanpa penambahan inhibitor (a) dan dengan penambahan inhibitor (b)



Gambar 4.8 Diagram pourbaix Fe hasil plot data pH dan potensial akhir pada pengujian 9 hari tanpa penambahan inhibitor (a) dan dengan penambahan inhibitor (b)

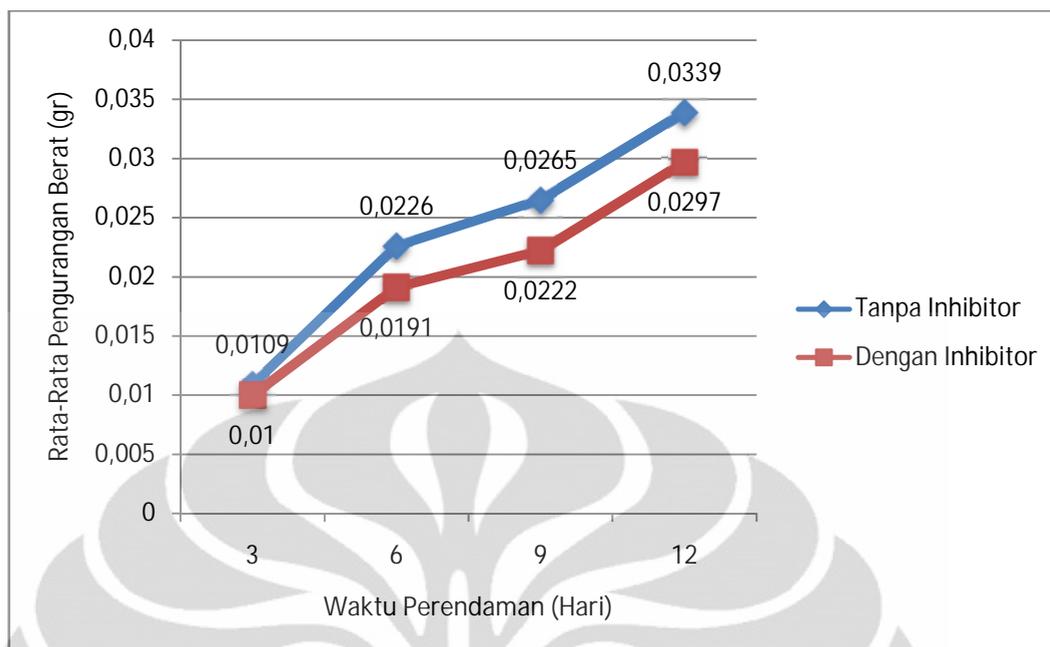


Gambar 4.9 Diagram pourbaix Fe hasil plot data pH dan potensial akhir pada pengujian 12 hari tanpa penambahan inhibitor (a) dan dengan penambahan inhibitor (b)

Hasil plot data pH dan potensial akhir pada diagram pourbaix, dapat terlihat bahwa nilai potensial larutan yang ditambahkan inhibitor lebih positif dari pada larutan yang tidak ditambahkan inhibitor. Namun, penambahan inhibitor tidak memberikan pengaruh yang signifikan pada lingkungan karena sampel pada larutan yang ditambahkan inhibitor tetap berada pada wilayah yang korosif.

4.2.5 Pengaruh Waktu Uji Rendam terhadap Pengurangan Berat Logam, Laju Korosi, dan Efisiensi Inhibitor

Pada Tabel 4.10 dapat dilihat data pengurangan berat sampel dan juga rata-rata dari pengurangan berat sampel. Pada pengujian 3 hari rata-rata berat yang hilang pada larutan yang tidak ditambahkan inhibitor adalah 0,0109 gram, sedangkan pada larutan yang ditambahkan inhibitor sebesar 0,0100 gram. Pada pengujian 6 hari rata-rata berat yang hilang pada larutan yang tidak ditambahkan inhibitor adalah 0,0226 gram, sedangkan pada larutan yang ditambahkan inhibitor sebesar 0,0191 gram. Pada pengujian 9 hari rata-rata berat yang hilang pada larutan yang tidak ditambahkan inhibitor adalah 0,0265 gram, sedangkan pada larutan yang ditambahkan inhibitor sebesar 0,0222 gram. Dan yang terakhir, pada pengujian 12 hari rata-rata berat yang hilang pada larutan yang tidak ditambahkan inhibitor adalah 0,0339 gram, sedangkan pada larutan yang ditambahkan inhibitor sebesar 0,0297 gram.



Gambar 4.10 Grafik pengurangan berat logam terhadap waktu perendaman

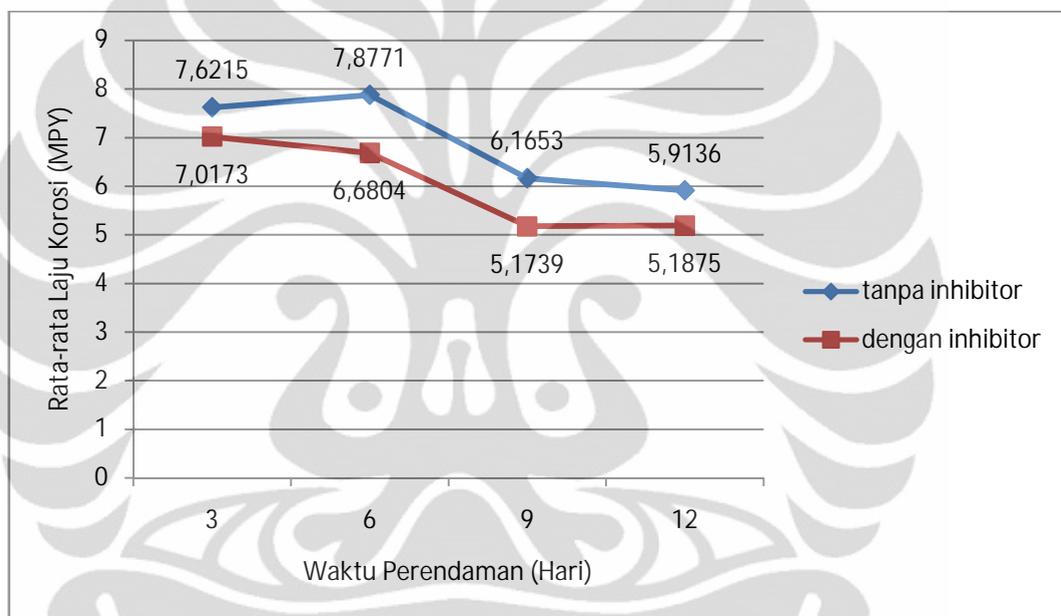
Pada kedua larutan, yang ditambahkan dan tidak ditambahkan inhibitor, dapat dilihat bahwa adanya hubungan semakin lama waktu perendaman akan menyebabkan semakin banyaknya berat yang hilang pada logam atau sampel. Pengurangan berat terkecil untuk kedua kondisi larutan terjadi pada waktu pengujian 3 hari dan pengurangan berat terbesar terjadi pada waktu pengujian 12 hari. Dari gambar 4.10 dapat terlihat bahwa pengurangan berat logam pada larutan yang ditambahkan inhibitor lebih kecil dari larutan yang tidak ditambahkan inhibitor.

Untuk memperoleh nilai laju korosi masing-masing sampel, maka data pengurangan berat dimasukkan ke dalam rumus *weight loss* sesuai dengan Persamaan 2.1.

$$\text{Laju korosi (MPY)} = \frac{K.W}{D.A.T} \quad (\text{Persamaan 2.1})$$

Pada tabel 4.11 dapat dilihat hasil perhitungan laju korosi dan rata-rata laju korosi. Pada pengujian 3 hari, laju korosi pada larutan yang tidak ditambahkan sebesar 7,6215 mpy, sedangkan larutan yang ditambahkan inhibitor merupakan laju korosi yang paling besar, yaitu sebesar 7,0173 mpy. Pengujian 6 hari, laju korosi pada larutan yang tidak ditambahkan inhibitor

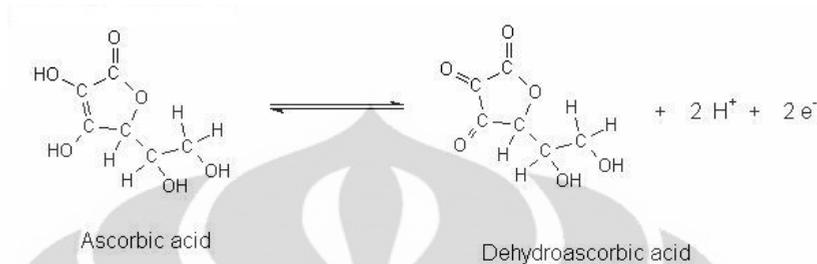
mengalami sedikit kenaikan menjadi 7,8771 mpy, sedangkan larutan yang ditambahkan inhibitor mengalami penurunan menjadi 6,6804 mpy. Pada pengujian 9 dan 12 hari, laju korosi dari kedua larutan mengalami penurunan. Pada pengujian 9 hari, pada larutan yang tidak ditambahkan inhibitor, laju korosinya sebesar 6,1653 mpy, sedangkan yang ditambahkan inhibitor sebesar 5,1739 mpy. Pada pengujian 12 hari, laju korosi pada larutan yang tidak ditambahkan inhibitor sebesar 5,9136 mpy, sedangkan larutan yang ditambahkan inhibitor mengalami sedikit kenaikan menjadi 5,1875 mpy.



Gambar 4.11 Grafik rata-rata laju korosi terhadap waktu perendaman

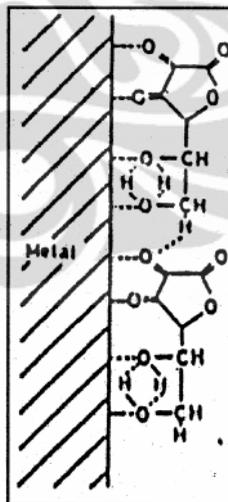
Dari Gambar 4.11 secara umum dapat terlihat bahwa semakin lama waktu perendaman, maka laju korosi logam akan semakin menurun. Dari grafik tersebut juga dapat terlihat bahwa laju korosi pada larutan yang ditambahkan inhibitor lebih kecil dari larutan yang tidak ditambahkan inhibitor. Hal ini disebabkan karena mekanisme penghambat korosi oleh senyawa yang terkandung pada teh rosela yang bersifat antioksidan, yaitu asam askorbat. Mekanisme penghambatan proses korosi oleh asam askorbat adalah dengan teradsorpsi pada permukaan logam membentuk suatu lapisan tipis yang melindungi permukaan logam tersebut. Asam askorbat bersifat sangat stabil diudara tetapi didalam larutan, asam askorbat akan cenderung

tidak stabil dan dengan perlahan-lahan akan berdekomposisi menjadi *dehydro-ascorbic acid* (DAA). Senyawa *dehydroascorbic acid* (DAA) inilah yang akan teradsorpsi pada permukaan logam membentuk suatu lapisan pelindung tipis^{25,26]}.



Gambar 4.12 Dekomposisi asam askorbat menjadi *dehydroascorbic acid*^{27]}

Penelitian tentang mekanisme asam askorbat sebelumnya pernah dilakukan dan hasil dari penelitian tersebut menyatakan bahwa asam askorbat memiliki mekanisme terbentuknya suatu lapisan pelindung tipis yang melekat pada permukaan logam sehingga tidak terjadi kontak langsung dengan lingkungan yang korosif^{26]}. Ilustrasi dari terbentuknya lapisan pelindung tipis pada permukaan logam dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Ilustrasi terbentuknya lapisan pelindung pada permukaan logam^{26]}

Laju korosi yang diperoleh melalui perhitungan dengan metode *weight loss*, dapat menentukan besarnya efisiensi dari inhibitor yang digunakan, serta

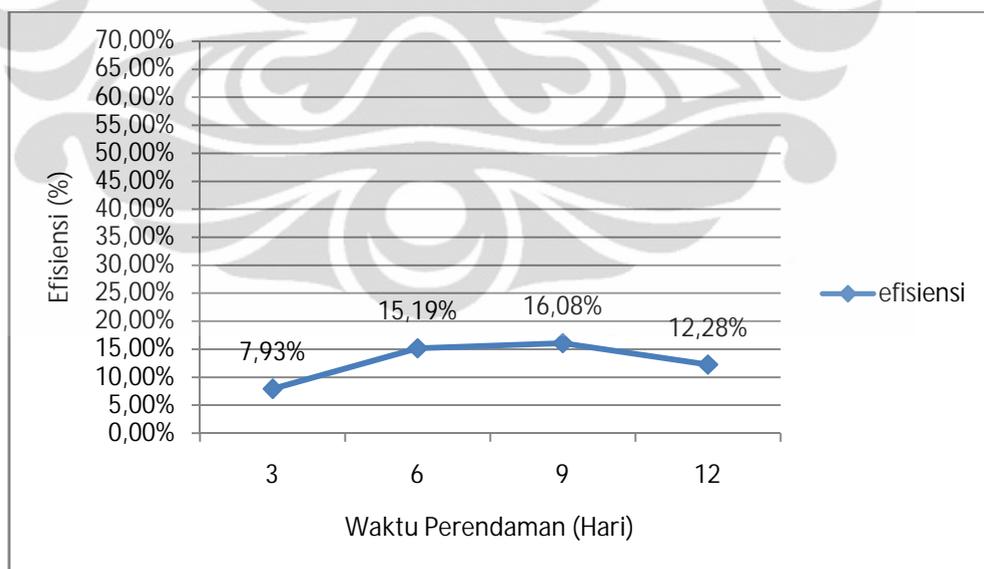
efisiensi yang paling baik dari waktu pengujian yang dilakukan. Efisiensi dapat diperoleh dengan menggunakan rumus pada Persamaan 2.2:

$$\text{efisiensi inhibitor} = \frac{X_a - X_b}{X_a} \times 100\% \quad (\text{Persamaan 2.2})$$

Dimana: X_a = laju korosi tanpa inhibitor

X_b = laju korosi dengan penambahan inhibitor

Pada Gambar 4.14 dapat terlihat bahwa efisiensi terkecil yang diperoleh adalah 7,93% pada waktu pengujian 3 hari. Karena proses dekomposisi AA menjadi DAA yang terjadi secara perlahan-lahan sehingga DAA yang terbentuk belum optimal. Kemudian efisiensi inhibitor meningkat pada waktu pengujian 6 dan 9 hari sebesar 15,19% dan 16,08%. Tetapi pada pengujian 12 hari efisiensinya turun menjadi 12,28%. Hal ini berarti bahwa efisiensi pada pengujian 9 hari merupakan efisiensi optimum dari inhibitor teh rosela. Turunnya efisiensi inhibitor pada pengujian 12 hari disebabkan karena semakin banyak DAA yang berdekomposisi sehingga proses adsorpsi yang terjadi tidak maksimal sehingga pengaruhnya dalam penghambatan proses korosi tidak signifikan.

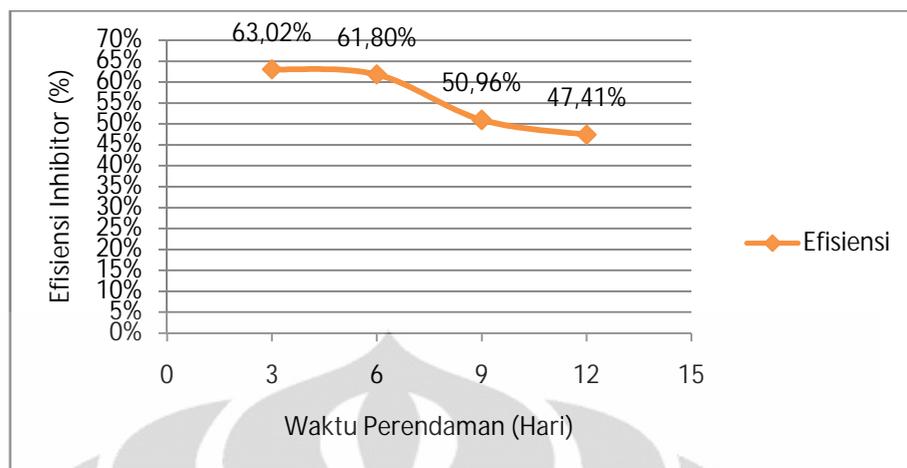


Gambar 4.14 Grafik efisiensi inhibitor teh rosela di lingkungan NaCl 3,5%

4.2.6 Perbandingan dengan Hasil Penelitian Lain

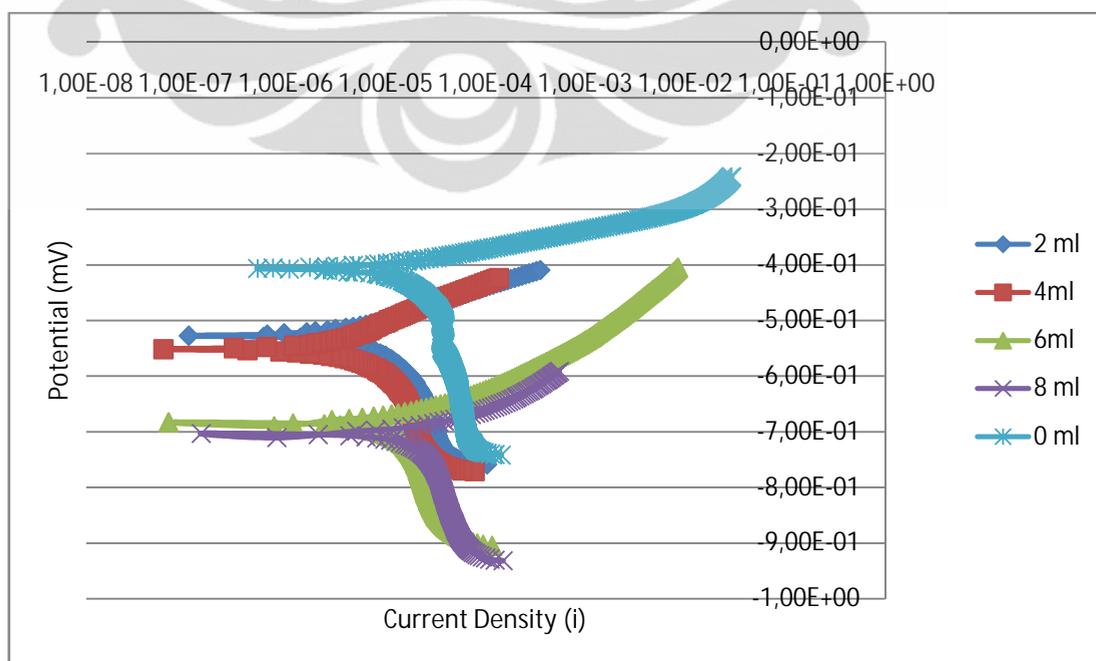
Perbandingan nilai efisiensi inhibitor dapat dilakukan dengan penelitian yang dilakukan oleh Muhamad Wildan Permana (2011)³⁰¹. Dengan inhibitor dan konsentrasi yang sama yaitu inhibitor teh rosela dengan penambahan sebanyak 2 ml tetapi di lingkungan yang berbeda. Lingkungan yang digunakan adalah larutan NaCl 3,5% dan HCL 1 M. Dapat dilihat efisiensi inhibitor teh rosela di lingkungan HCL 1M pada gambar 4.15. Efisiensi optimum yaitu pada pengujian 3 hari sebesar 63,02% yang terus menerus turun pada pengujian 6, 9, dan 12 hari yaitu sebesar 61,80%, 50,96%, 47,41%. Sedangkan efisiensi inhibitor teh rosela di lingkungan NaCl 3,5%, nilai efisiensinya lebih kecil yaitu 7,93% pada pengujian 3 hari, 15,19% pada pengujian 6 hari, 16,08% pada pengujian 9 hari, dan 12,28% pada pengujian 12 hari. Efisiensi optimum untuk inhibitor teh rosela di lingkungan NaCl 3,5% adalah pada pengujian 9 hari sebesar 16,08%.

Perbedaan nilai efisiensi yang cukup besar disebabkan karena perbedaan lingkungan pengujian dan sifat dari asam askorbat di kedua lingkungan. Asam askorbat bersifat tidak stabil di dalam larutan dan dengan perlahan-lahan akan berdekomposisi menjadi *dehydroascorbic acid* (DAA). Namun, DAA ini bersifat tidak stabil pada pH diatas 6 karena DAA akan berdekomposisi lebih lanjut menjadi asam tartrat dan oksalat²⁷¹. Hal inilah yang menyebabkan DAA yang teradsorpsi pada permukaan logam tidak maksimal pada lingkungan NaCl 3,5% dengan pH \pm 7. Sedangkan, lingkungan HCL 1M merupakan lingkungan asam yang bersifat lebih korosif dari NaCl 3,5%. pH dari HCL ini berkisar antara 1-2. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa asam askorbat cenderung bersifat lebih stabil pada pH kurang dari 4. Sehingga DAA yang berdekomposisi jumlahnya kecil atau sedikit membuat proses adsorpsi terjadi dengan maksimal.



Gambar 4.15 Grafik efisiensi inhibitor teh rosela di lingkungan HCL 1 M

Penelitian lain yang dilakukan oleh Arri Prasetyo (2011) dengan inhibitor dan lingkungan yang sama yaitu teh rosela merah dan NaCl 3,5%. Namun, metode yang digunakan berbeda yaitu metode polarisasi^{31]}. Hasil penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.16. Dari grafik polarisasi tersebut dapat disimpulkan bahwa teh rosela termasuk dalam inhibitor katodik. Hal ini dapat dilihat pada kurva katoda terlihat berbeda dengan kurva anodanya. Pada kurva katoda terlihat adanya kecuraman yang menunjukkan terjadinya penghambatan reaksi reduksi pada katoda.



Gambar 4.16 Grafik polarisasi inhibitor teh rosela di lingkungan NaCl 3,5%

Dalam penelitian ini dilakukan dengan variasi penambahan volume inhibitor sebanyak 0, 2, 4, 6, 8 ml. Laju korosi yang diperoleh pada penambahan 0 ml adalah 10,18 mpy, sedangkan laju korosi pada penambahan inhibitor sebanyak 2 ml terjadi penurunan menjadi 4,329 mpy, dan turun lagi pada penambahan 4 ml menjadi 4,142 mpy. Tetapi laju korosi naik lagi pada penambahan 6 ml dan 8 ml menjadi 4,344 mpy dan 4,292 mpy. Pada Tabel 4.13 terlihat nilai efisiensi dari setiap penambahan volume inhibitor. Efisiensi optimum yang diperoleh adalah pada penambahan inhibitor sebanyak 4 ml sebesar 59%. Hal ini dapat disimpulkan bahwa penambahan inhibitor yang efektif adalah penambahan sebanyak 4 ml.

Jika efisiensi hasil polarisasi ini dibandingkan dengan efisiensi hasil pengujian rendam di lingkungan dan inhibitor yang sama, maka dapat dilihat bahwa nilai efisiensi hasil polarisasi lebih besar. Perbedaan ini disebabkan karena waktu yang digunakan dalam pengujian polarisasi selama ± 15 menit sehingga asam askorbat yang terdapat pada inhibitor masih aktif untuk menghambat laju korosi.

Tabel 4.13 Tabel laju korosi dan efisiensi inhibitor^{31]}

Volume Inhibitor (ml)	Laju Korosi (mpy)	Efisiensi Inhibitor (%)
0	10,180	-
2	4,329	57,27
4	4,142	59,31
6	4,344	57,32
8	4,292	57,83

BAB 5

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan menggunakan metode *weight loss* pada baja karbon rendah dengan penambahan inhibitor teh rosela sebesar 2 ml dan waktu pengujian yang berbeda 3, 6, 9,12 hari di lingkungan NaCl 3,5%, maka dapat disimpulkan:

1. Inhibitor teh rosela merah dapat digunakan sebagai inhibitor organik tetapi tidak cukup efektif di lingkungan NaCl 3,5 %.
2. Penambahan inhibitor teh rosela pada larutan NaCl 3,5% menurunkan pH larutan. pH awal dan akhir pada larutan yang ditambahkan inhibitor lebih rendah (asam) dari larutan yang tidak ditambahkan inhibitor.
3. Potensial awal dan akhir sampel pada larutan yang ditambahkan inhibitor secara umum lebih positif dari larutan yang tidak ditambahkan inhibitor pada semua waktu pengujian (3, 6, 9, 12 hari).

3.1 Potensial Awal

- i. Potensial baja karbon rendah pada larutan yang tidak ditambahkan inhibitor adalah -0,207; -0,242; -0,258; -0,255.
- ii. Potensial baja karbon rendah pada larutan yang ditambahkan inhibitor adalah -0,197; -0,236; -0,248; -0,220.

3.2 Potensial Akhir

- i. Potensial baja karbon rendah pada larutan yang tidak ditambahkan inhibitor adalah -0,403; -0,428; -0,429; -0,439.
- ii. Potensial baja karbon rendah pada larutan yang ditambahkan inhibitor adalah -0,349; -0,395; -0,401; -0,432.

4. Pengurangan berat sampel pada larutan yang ditambahkan inhibitor lebih sedikit dibandingkan dengan pengurangan berat sampel pada larutan yang tidak ditambahkan inhibitor. Namun, secara keseluruhan semakin lama waktu perendaman maka menyebabkan semakin

banyaknya berat yang hilang pada sampel. Rata-rata pengurangan berat sampel yaitu:

4.1 Larutan yang tidak ditambahkan inhibitor

- i. Pengujian 3 hari: 0,0109 gram
- ii. Pengujian 6 hari: 0,0226 gram
- iii. Pengujian 9 hari: 0,0265 gram
- iv. Pengujian 12 hari: 0,0339 gram

4.2 Larutan yang ditambahkan inhibitor

- i. Pengujian 3 hari: 0,01 gram
- ii. Pengujian 6 hari: 0,0191 gram
- iii. Pengujian 9 hari: 0,0222 gram
- iv. Pengujian 12 hari: 0,0297 gram

5. Semakin lama waktu perendaman, laju korosi akan semakin menurun. Laju korosi pada larutan yang ditambahkan inhibitor lebih kecil dari larutan yang tidak ditambahkan inhibitor.

6. Efisiensi inhibitor paling optimum berada pada waktu pengujian 9 hari sebesar 16 %.

DAFTAR PUSTAKA

- 1] Fontana, G. 1986. *Corrossion Engineering*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- 2] Asdim. 2008. Penghambatan Reaksi Korosi Baja dengan Menggunakan Ekstrak Kulit Buah Manggis (*Garcinia Mangostana* L) sebagai Inhibitor dalam Larutan Garam. Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Bengkulu, Indonesia.
- 3] Ilim; Beni Hermawan. 2008. Studi Penggunaan Ekstrak Buah Lada (*Piper nigrum* Linn), Buah Pinang (*Areca cathecu* Linn), dan Daun Teh (*Cammellia sinensis* L. Kuntze) sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak Dalam Medium Air Laut Buatan yang Jenuh Gas CO₂. Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Lampung.
- 4] Hermawan, Beni. 22 April 2007. “Ekstrak Bahan Alam sebagai Alternatif Inhibitor Korosi”.
- 5] Saratha, R; S.V. Priya; P.Thilagavathy. 2009. Investigation of *Citrus aurantiifolia* Leaves Extract as Corrosion Inhibitor for Mild Steel in 1M HCL. Departement of Chemistry, Avinashilingam University of Women, Coimbatore, India.
- 6] Tjitro, Soejono. 2000. Studi Perilaku Tembaga dengan Variasi Konsentrasi Asam Askorbat (Vitamin C) dalam Lingkungan Air yang Mengandung Klorida dan Sulfat. Fakultas Teknik, Universitas Kristen Petra.
- 7] Ahmad, Zaki. 2006. Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control. Elsevier Science & Technology Books.
- 8] Kurniawan, Agus, dkk. 2005. Material Teknik (Korosi). Teknik Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung.
- 9] <http://electrochem.cwru.edu/encycl/art-c02-corrosion.htm> diakses pada Senin, 9 Mei 2011 jam 14:17
- 10] Buletin Putramataram CI-volume 3. Desember 2010.
- 11] Denny A. Jones. (1997). *Principles and Prevention of Corrosion*, 2nd Ed. Singapore: Prentice Hall International, Inc.

- 12] Alian, Helmy. 2004. Prinsip-prinsip Dasar Korosi dan Bentuk-bentuk Korosi. Lembaga Pendidikan “Bina Bhakti” Balai Latihan Kerja Industri Kenten. Palembang.
- 13] <http://metallurgy.eg.vg/2009/04/forms-of-corrosion-2/> diakses pada Senin, 9 Mei 2011 jam 15:14
- 14] <http://chem409.wikispaces.com/pitting+and+crevice+corrosion> diakses pada Senin, 9 Mei 2011 jam 15:18
- 15] <http://www.maverickinspection.com/Services/Default.aspx> diakses pada Selasa, 10 Mei 2011 jam 20:00
- 16] <http://www.corrosionlab.com/papers/erosion-corrosion/erosion-corrosion.htm> diakses pada Selasa, 10 Mei 2011 jam 21:00
- 17] Roberge, Pierre R. 2008. *Corrosion Engineering – Principles and Practice*. USA: The McGraw-Hill Companies Inc.
- 18] ASM Handbook Volume 13A. 2003. *Corrosion : Fundamentals, Testing, and Protection*. USA : ASM International.
- 19] Dalimunthe, Indra Surya. *Kimia dari Inhibitor Korosi*. Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
- 20] Roberge, Pierre R. 2000. *Handbook Of Corrosion Engineering*. New York: McGraw-Hill
- 21] Qi, Yadong, etc. Biological Characteristics, Nutritional, and Medicinal Value of Roselle, Hibiscus sabdariffa. Baton Rouge: Agricultural Research and Extension Center.
- 22] Ismail, Amin, etc. 2008. Roselle (hibiscus sabdariffa L.) Seeds-Nutritional Composition, Protein Quality, and Health Benefits. Universit Putra Malaysia, Selangor, Malaysia.
- 23] <http://krossx.wordpress.com/2010/03/20/si-cantik-rosella-beragam-manfaat/> diakses pada Rabu, 11 Mei 2011 jam 21:15
- 24] Agustini, [Sri](#). 2006. Penelitian Pengaruh Metode Pengeringan dan Ukuran Partikel terhadap Mutu Teh Rosela. *Dinamika Penelitian BIPA* vol.17 No. 29.

- 25] Ferreira, Edilson da Silva; Almir Spineli. 2002. Evaluation of the Inhibitor Effect of L-Ascorbic Acid on the corrosion of Mild Steel. COTEQ Conferencia sobre Tecnologia de Materias: Salvador.
- 26] Tjitro, Soejono; Juliana Anggono. 1999. Pengaruh Lingkungan Terhadap Efisiensi Inhibisi Asam Askorbat (Vitamin C) pada Laju Korosi Tembaga. Fakultas Teknik, Universitas Kristen Petra.
- 27] Winarsi, Hery. 2007. Antioksidan Alami dan Radikal Bebas. Penerbit Kanisius: Yogyakarta.
- 28] Suharno, Bambang. 2010. Diktat Kuliah Baja Paduan dan Paduan Super: "Introduction". Depok.
- 29] Trethewey, Kenneth. 1991. Korosi untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa. Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama: Jakarta.
- 30] Wildan, Muhamad. 2011. Pengaruh teh rosela merah sebagai inhibitor organik pada baja karbon rendah berdasarkan waktu perendaman di lingkungan HCL 1M. Fakultas Teknik Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia.
- 31] Prasetyo, Arri. 2011. Studi Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Organik Teh Rosella untuk Material Baja Karbon Rendah pada Lingkungan Air Laut Buatan NaCl 3,5 %. Fakultas Teknik Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia.
- 32] ASTM Internasional. (2004). ASTM G1-03 : Standard Practice for Preparing, Clvaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens. United State

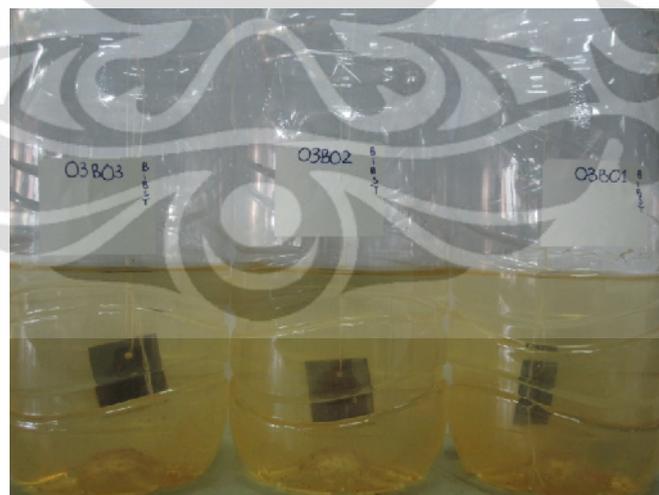
LAMPIRAN 1

Pengujian 3 Hari

Tanpa Inhibitor



Dengan Inhibitor



Pengujian 6 Hari

Tanpa Inhibitor



Dengan Inhibitor



Pengujian 9 Hari

Tanpa Inhibitor



Dengan Inhibitor



Pengujian 12 Hari

Tanpa Inhibitor



Dengan Inhibitor



LAMPIRAN 2

Hasil pengujian *spectroscopy*



FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL
KAMPUS BARU UI - DEPOK 16424 - INDONESIA
 Telp: 021 – 7863510, 78849045 Fax : 021 – 7872350 E-mail : lum@metal.ui.ac.id

LAPORAN PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA
COMPOSITION TEST REPORT
Page 1 of 1

No Laporan	125	Bahan	Steel
<i>Report Nr</i>		<i>Material</i>	
Pemakai Jasa	Dobiet	Identitas Bahan	Steel
<i>Customer</i>		<i>Material Identity</i>	
Alamat	Departemen Metalurgi dan	Tanggal Terima	25 Februari 2011
<i>Address</i>	Material	<i>Receiving Date</i>	
No Kontrak	0246/PT.02/FT04/P/2011	Standar	ASTM E415-08
<i>Contract Nr.</i>		<i>Standard</i>	ASTM A751
Tanggal Uji	28 Februari 2011	Mesin Uji	Optical Emission Spectrometer ¹
<i>Date of Test</i>		<i>Testing machine</i>	

Kode Sampel Sample Code	C (%)	Si (%)	S (%)	P (%)	Mn (%)	Ni (%)	Cr (%)
Steel	0.057	0.007	0.003	0.007	0.160	0.031	0.023
	Mo (%)	Ti (%)	Cu (%)	Nb (%)	V (%)	Pb (%)	Fe (%)
	<0.005 ²	<0.002 ²	0.121	<0.002 ²	<0.002 ²	<0.025 ²	bal.

catatan :
 1. ketidaktepatan bentangan dengan tingkat kepercayaan 95% dengan factor cakupan K=2
 2. (<) menunjukkan nilai berada di bawah *quantification limit* dari alat uji

Depok, 3 Maret 2011
 Manajer Teknis
 Laboratorium Uji
 Departemen Teknik Metalurgi Dan Material



(Ahmad Ivan Karayan, ST.,M.Eng)

FF-25/ LU-DTMM Rev 2

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di Laboratorium Uji-DTMM, publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari Laboratorium Uji-DTMM