



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI PENGARUH PENAMBAHAN KONSENTRASI SIRUP
UBI UNGU (*SOLANUM ANDIGENUM*) SEBAGAI *GREEN
CORROSION INHIBITOR* PADA MATERIAL BAJA KARBON
RENDAH DI LINGKUNGAN NaCl 3,5 % DENGAN METODE
*IMMERSION***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

LEON VALENTINO PANJAITAN

0606075012

FAKULTAS TEKNIK

DEPARTEMEN METALURGI DAN MATERIAL

DEPOK

JANUARI 2012

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Leon Valentino Panjaitan

NPM : 0606075012

Tanda Tangan : 

Tanggal : Januari 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Leon Valentino

NPM : 0606075012

Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material

Judul Skripsi : Studi Pengaruh Penambahan Konsentrasi Sirup Ubi Ungu (*Solanum Andigenum*) Sebagai *Green Corrosion Inhibitor* pada Material Baja Karbon Rendah di Lingkungan NaCl 3,5% Dengan Metode Pencelupan

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. Johny Wahyuadi, DEA.



Penguji 1 : Ir. Andi Rustandi, MT



Penguji 2 : Dr. Badrul Munir, ST, M.Eng.Sc.



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan pada Tuhan Yesus Kristus yang telah memberikan rahmat, berkat dan bimbingannya kepada saya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan sebaik mungkin. Penulisan skripsi ini dibuat dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Metalurgi dan Material pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Skripsi ini mengambil tema korosi dengan judul “**Studi Pengaruh Penambahan Konsentrasi Sirup Ubi Ungu (*Solanum Andigenum*) Sebagai Green Corrosion Inhibitor pada Material Baja Karbon Rendah di Lingkungan NaCl 3,5% Dengan Metode Immersion**”. Skripsi ini berisi penelitian tentang ekstrak ubi ungu yang merupakan bahan organik dan alami yang dapat dimanfaatkan sebagai inhibitor organik yang ramah lingkungan. Penulis berharap bahwa dengan skripsi ini dapat membantu pengembangan inhibitor-inhibitor alami organik lainnya yang ramah lingkungan.

Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu saya ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Johny Wahyuadi Soedarsono, DEA, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
2. Prof. Dr-Ing. Ir. Bambang Suharno, selaku Kepala Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI.
3. Prof. Dr. Ir. Bondan Tiara Sofyan MT, selaku Pembimbing Akademis yang memberikan semangat dan inspirasi bagi saya.
4. Dra. Sari Katili M.S., Ir. Rini Riastuti, M.Sc selaku dosen kimia dasar dan dosen korosi saya yang mengajarkan dasar-dasar kimia dan prinsip korosi yang diperlukan untuk memahami ilmu korosi.

5. Prof. Dr. Ir. Dewa Ngurah Suprpta, Msc, selaku penyedia ekstrak ubi ungu dalam bentuk minuman.
6. Ayah saya tercinta Robin Panjaitan dan ibu saya Tiara Siahhan serta kakak saya Ruthnova Mary Panjaitan dan Indira Martha Panjaitan yang memberikan doa, dukungan moril dan juga materi yang membantu saya dalam penulisan skripsi ini.
7. Dosen-dosen di DTMM yang telah mendidik dan mengajar saya selama kuliah di FTUI.
8. Rekan- rekan tugas akhir saya yang memulai penelitian bersama: Fadil, Fahmi, Candra 'Bipay' Listanto, dan Gracio 'Kuds' atas bantuan jurnal-jurnalnya.
9. Bang Riko Siahhan yang menjadi "mentor" saya dalam penelitian ini.
10. Rekan- rekan satu perjuangan di semester ganjil 2011-2012: Ipenk, Umar "Je T'aimme" Sidik, Arya Tegal dan Benny Dragon atas semangat moril, lawakan dan bantuan pinjaman lunaknya.
11. Bang Mamat atas bantuan sampel baja SPCC
12. Sahabat doa Jenny mt 06', Sandra FH 08', Vero Biop 09', dan Jevon Tl 07' atas dukungan dalam bentuk selama penulisan skripsi ini
13. Mbak Nur dan mbak Tias yang membantu saya di perpustakaan DTMM
14. Keluarga besar "KAMIME" yang telah memberikan warna kehidupan selama saya menjalani kuliah di DTMM.
15. Randy metal 2010 yang telah membantu saya mendapatkan data penelitian yang hilang karena virus, Dito industri 2010 yang membantu saya dalam masalah hal teknis computer.
16. Seluruh teman-teman yang tidak bisa disebut namanya semuanya.

Akhir kata, saya hanya bisa mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu baik yang telah disebut maupun tidak. Saya berharap Tuhanlah yang membalas segala kebaikan dan bantuan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu metalurgi dan material ke depannya.

Depok, Januari 2012

Penulis

ABSTRAK

Nama : Leon Valentino
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Studi Pengaruh Penambahan Konsentrasi Sirup Ubi Ungu (*Solanum Andigenum*) Sebagai *Green Corrosion Inhibitor* pada Material Baja Karbon Rendah di Lingkungan NaCl 3,5% Dengan Metode Pencelupan

Ubi ungu adalah salah satu bahan organik yang tersedia di alam yang mempunyai fungsi sebagai anti oksidan. Fungsi dari anti oksidan yang terdapat dalam kandungan ubi ungu ternyata dapat dikembangkan menjadi inhibitor yang menghambat laju korosi baja karbon rendah pada lingkungan air laut. Inhibitor ubi ungu diharapkan dapat menggantikan inhibitor organik sintetis yang tidak ramah lingkungan. Pengembangan inhibitor ubi ungu diharapkan ke depan menjadi inhibitor yang ramah lingkungan, *biodegradable*, dan murah. Metode pengujian pencelupan atau *immersion* dilakukan dengan variasi penambahan konsentrasi 2 ml, 4 ml dan 6 ml dan waktu pencelupan selama 5 hari untuk mengetahui kadar optimal penambahan sirup ubi ungu. Hasil penelitian membuktikan bahwa inhibitor ubi ungu mampu menurunkan laju korosi hingga 49.49% dengan penambahan 6 ml.

Kata kunci :

Baja karbon rendah; Sirup ubi ungu; Metode pencelupan; Pengaruh konsentrasi; Lingkungan NaCl 3,5%

ABSTRACT

Name : Leon Valentino Panjaitan
Major : Metallurgy and Material Engineering
Title : Study of Effects of Purple Potato (*Solanum Andigenum*) Syrup as Green Corrosion Inhibitors for Low Carbon Steel in NaCl 3,5% Environment by Immersion Methode

Purple Potato (*Solanum Andigenum*) as one of organic materials that exist in nature have function as an antioxidant. The antioxidant function that exist in sweet potato can be developed as inhibitor to reduce corrosion rate of low carbon steel in NaCl 3,5 environment. Purple potato inhibitor is expected to replace the use of synthetic organic inhibitors which is not environmental friendly. The developing of purple potato inhibitor is expected to become inhibitor that environmental friendly, biodegradable and cheap. The immersion metode is used with the variation of concentration addition 2 ml, 4 ml and 6 ml and 5 days of immersion to determine the optimum concentration addition of purple potato. Result shows that purple potato inhibitor capable to reduce corrosion rate up to 49.49% with 6 ml additon.

Keyword :

Low carbon steel, purple potato syrup, immersion metode, concentration effect, NaCl 3,5% environment

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	4
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASITUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	6
ABSTRAK	7
ABSTRACT	8
DAFTAR ISI	9
DAFTAR GAMBAR	11
DAFTAR TABEL	12
DAFTAR RUMUS	13
DAFTAR NOTASI	14
DAFTAR LAMPIRAN	15
PENDAHULUAN	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
DASAR TEORI	7
2.1 Prinsip Dasar Korosi	7
2.2 Jenis-Jenis Korosi.....	8
2.3 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Korosi.....	12
2.4 Korosi Baja pada Lingkungan Air Laut	15
2.5 Perlindungan Korosi.....	16
2.5.1 Proteksi Katodik dan Anodik	16
2.5.2 Pelapisan (<i>Coating</i>).....	17
2.5.3 Inhibitor.....	18
2.6 Antosianin	20
2.7 Uji Kehilangan Berat (<i>Weight-loss Coupons</i>).....	20
METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	22
3.2 Alat dan Bahan	23
3.2.1 Alat.....	23
3.2.2 Bahan	23

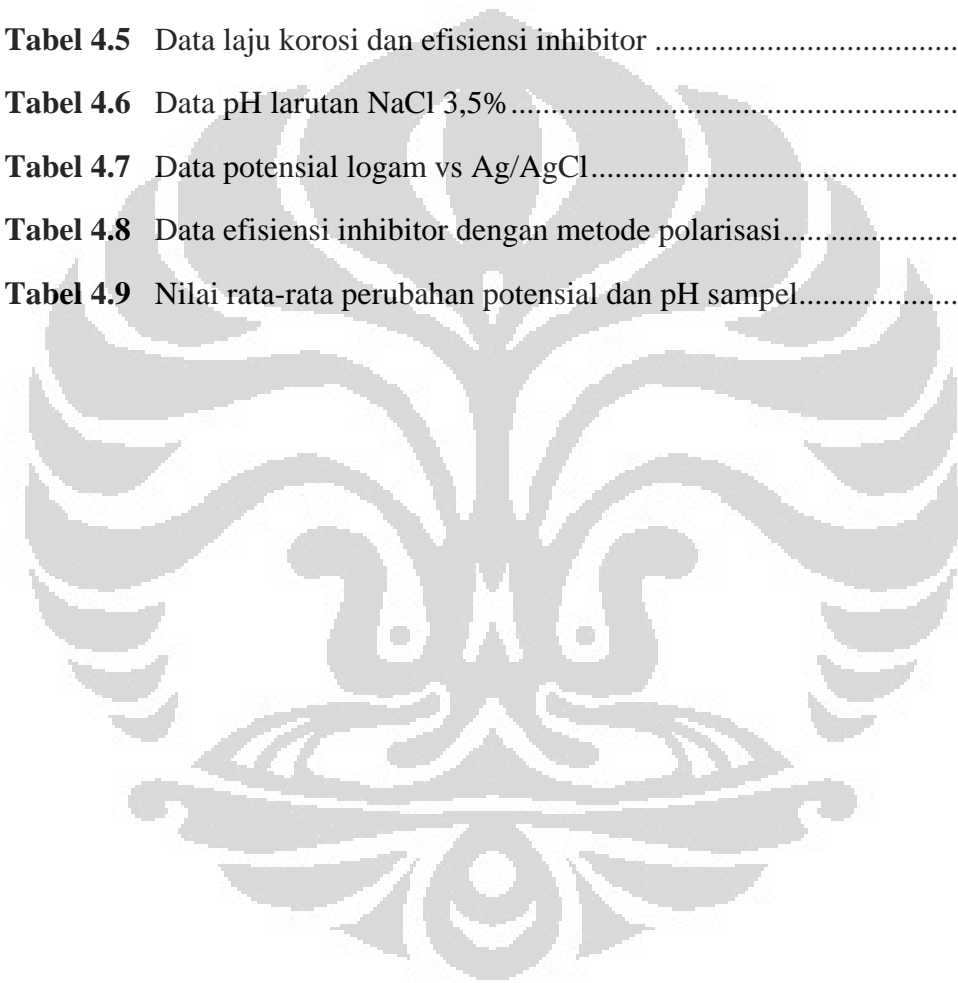
3.3	Prosedur Penelitian.....	25
3.3.1	Preparasi Sampel.....	25
3.3.2	Pembuatan Larutan Rendam NaCl 3,5%	25
3.3.3	Pembuatan Inhibitor Ekstrak Ubi Ungu.....	26
3.3.4	Langkah Kerja Uji Rendam	26
3.3.5	Pembersihan Sampel	27
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		28
4.1	Hasil Pengujian.....	28
4.1.1	Hasil Pengamatan Visual Baja SPCC (Baja Karbon Rendah)	28
4.1.2	Hasil Pengujian <i>Spectroscopy</i> Baja SPCC.....	28
4.1.3	Hasil Pengujian Berat.....	29
4.1.4	Hasil Penghitungan Laju Korosi dan Efisiensi Inhibitor	30
4.1.5	Hasil Pengukuran pH Larutan.....	30
4.1.6	Hasil Pengukuran Potensial Logam	31
4.2	Pembahasan	32
4.2.1	Pengamatan Visual.....	32
4.2.2	Analisa Pengujian <i>Spectroscopy</i> Baja SPCC	32
4.2.3	Pengaruh Konsentrasi Inhibitor terhadap Kehilangan Berat.....	33
4.2.4	Pengaruh Konsentrasi Inhibitor terhadap Laju Korosi.....	34
4.2.5	Pengaruh Konsentrasi Inhibitor terhadap Efisiensi Inhibitor.....	34
4.2.6	Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Terhadap Perubahan pH Lingkungan	37
4.2.7	Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Terhadap Perubahan Potensial	38
4.2.8	Hubungan Penambahan Inhibitor terhadap Kondisi Logam Berdasarkan Diagram Purbaix	39
4.2.9	Mekanisme Inhibitor Korosi	42
KESIMPULAN.....		44
DAFTAR PUSTAKA		45
LAMPIRAN.....		49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Contoh korosi seragam <i>Uniform Corrosion</i>	8
Gambar 2.2	Contoh korosi galvanik.....	9
Gambar 2.3	<i>Crevice corrosion</i>	10
Gambar 2.4	Korosi sumuran.....	10
Gambar 2.5	Grafik kadar NaCl terhadap laju korosi.....	16
Gambar 2.6	Antosianin.....	20
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	22
Gambar 3.2	Ukuran sampel pengujian	24
Gambar 4.1	Grafik pengaruh penambahan konsentrasi inhibitor terhadap pengurangan berat	33
Gambar 4.2	Grafik pengaruh penambahan volume inhibitor terhadap laju korosi	34
Gambar 4.3	Grafik pengaruh penambahan volume inhibitor terhadap efisiensi inhibitor	36
Gambar 4.4	Grafik pengaruh penambahan konsentrasi inhibitor terhadap pH larutan.....	37
Gambar 4.5	Grafik pengaruh penambahan inhibitor terhadap potensial logam	39
Gambar 4.6	Plot perubahan potensial dan pH sampel dengan tanpa penambahan inhibitor ubi ungu pada diagram Purbaix.....	40
Gambar 4.7	Plot perubahan potensial dan pH sampel dengan penambahan inhibitor ubi ungu 2 ml pada diagram Purbaix.....	40
Gambar 4.8	Plot perubahan potensial dan pH sampel dengan penambahan inhibitor ubi ungu 4 ml pada diagram Purbaix.....	41
Gambar 4.9	Plot perubahan potensial dan pH sampel dengan penambahan inhibitor ubi ungu 6 ml pada diagram Purbaix.....	41
Gambar 4.10	Kurva polarisasi penambahan 0 ml, 4 ml, 6 ml, dan 8 ml inhibitor	43

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Data berat dan densitas sampel	24
Tabel 4.1	Foto sampel sebelum dilakukan uji rendam	28
Tabel 4.2	Foto sampel setelah dilakukan uji rendam	28
Tabel 4.3	Komposisi baja SPCC	29
Tabel 4.4	Data kehilangan berat logam	29
Tabel 4.5	Data laju korosi dan efisiensi inhibitor	30
Tabel 4.6	Data pH larutan NaCl 3,5%	30
Tabel 4.7	Data potensial logam vs Ag/AgCl	31
Tabel 4.8	Data efisiensi inhibitor dengan metode polarisasi	36
Tabel 4.9	Nilai rata-rata perubahan potensial dan pH sampel	39



DAFTAR RUMUS

1. Persamaan 2.1

$$Efisiensi\ Inhibitor = \frac{Xa - Xb}{Xa} \times 100\%$$

Keterangan : Xa = Laju korosi tanpa penambahan inhibitor

Xb = Laju korosi dengan penambahan inhibitor

2. Persamaan 2.2

$$\text{Laju Korosi} = \frac{K \cdot W}{D \cdot A \cdot T}$$

Keterangan : K = konstanta (mpy = $34,45 \times 10^6$)

W = kehilangan berat (gr)

D = densitas (gr/cm³)

A = luas permukaan (cm²)

T = Waktu (jam)

3. Persamaan 3.1

$$\text{Volume larutan} = 0,4 \times \text{luas permukaan}$$

DAFTAR NOTASI

W_0	= Berat awal sampel baja karbon rendah	(gr)
W_1	= Berat akhir sampel baja karbon rendah	(gr)
ΔW	= Pengurangan berat sampel baja karbon rendah	(gr)
CR	= <i>Corrosion rate</i> / laju korosi	(mpy)



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Foto sampel sebelum pencelupan.....	50
Lampiran 2.	Foto sampel sebelum pencelupan.....	50
Lampiran 3.	Foto ekstrak ubi ungu dalam bentuk sirup	51
Lampiran 4.	Spesifikasi baja SPCC.....	51
Lampiran 5.	Tabel kehilangan berat sampel.....	52
Lampiran 6.	Tabel laju korosi dan efisiensi inhibitor.....	52
Lampiran 7.	Tabel data pH larutan NaCl 3,5%	53
Lampiran 8.	Tabel Data potensial logam vs Ag/AgCl	54
Lampiran 9.	Plot perubahan pH dan potensial pada diagram purbaix untuk sampel non-inhibisi	55
Lampiran 10.	Plot perubahan pH dan potensial pada diagram purbaix untuk sampel 2 ml inhibisi	55
Lampiran 11.	Plot perubahan pH dan potensial pada diagram purbaix untuk sampel 4 ml inhibisi	56
Lampiran 12.	Plot perubahan pH dan potensial pada diagram purbaix untuk sampel 6 ml inhibisi	56

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Korosi merupakan kerusakan dari reaksi kimia antara logam atau logam paduannya dengan lingkungannya^[1]. Lingkungan yang dimaksud adalah lingkungan dimana logam atau logam paduan tersebut diaplikasikan. Lingkungan yang dimaksud dapat berupa udara, air, tanah, larutan asam dan lain-lain.

Korosi merupakan suatu hasil kerusakan degradasi logam dari reaksi kimia atau elektrokimia yang terjadi secara spontan. Reaksi terjadi secara spontan berarti melepaskan energi. Hal ini sesuai dengan hukum termodinamika : *semua perubahan spontan terjadi disertai pelepasan energi bebas dari sistem ke lingkungan sekitar pada temperatur dan tekanan konstan*^[2]. Energi yang dilepas pada saat proses korosi sama dengan energi yang dibutuhkan untuk mengekstrak logam dari mineralnya. Proses korosi adalah mengembalikan logam ke bentuk senyawanya seperti ketika logam tersebut di alam atau bahkan identik dengan bentuk mineralnya, sehingga korosi merupakan kebalikan dari proses ekstraksi^[1].

Korosi merupakan suatu permasalahan penting yang harus dihadapi oleh berbagai macam sektor industri di Indonesia dan di dunia. Korosi sangat berpengaruh terhadap sumberdaya alam, perekonomian dan juga keselamatan manusia. Dari segi perekonomian, pada tahun 1980 di Amerika Serikat, Institut Battele menaksir kerugian akibat korosi setiap tahunnya mencapai 70 milyar dollar. Selain itu, banyak sekali contoh kasus kecelakaan kerja yang mengakibatkan proses kerja terhenti ataupun menyebabkan korban jiwa akibat kegagalan yang disebabkan oleh korosi. Oleh karena itu masalah korosi harus diperhatikan dengan seksama terutama di bidang industri. Dikarenakan proses korosi tidak dapat dihentikan, hanya dapat dikendalikan, diminimalisir kerusakannya dan dihambat perusakannya, perlindungan terhadap korosi harus diterapkan.

Salah satu metode proteksi korosi adalah dengan memberikan inhibitor. Inhibitor adalah suatu zat yang ditambahkan dalam jumlah relatif kecil ke dalam lingkungan yang korosif sehingga dapat menurunkan laju korosi pada konsentrasi tertentu tanpa merubah konsentrasi media korosif secara signifikan. Proses pemberian inhibitor disebut inhibisi.

Inhibitor terbagi atas dua jenis yaitu inhibitor organik dan anorganik. Beberapa senyawa anorganik seperti fosfat, kromat dan borat sering digunakan sebagai inhibitor korosi. Penggunaan kromat-fosfat misalnya, merupakan inhibitor anorganik yang efektif pada lingkungan air laut^[1].

Inhibitor organik juga diklasifikasikan menjadi inhibitor organik sintetis dan inhibitor organik alami. Inhibitor organik sintetis dibuat dari bahan *fossil fuel* sedangkan inhibitor organik alami terbuat dari ekstrak tumbuh-tumbuhan. Pada umumnya senyawa-senyawa organik yang digunakan sebagai inhibitor organik adalah senyawa-senyawa yang memiliki gugus fungsi yang mengandung atom-atom seperti nitrogen, oksigen, dan belerang yang mampu membentuk ikatan kovalen terkoordinasi pada suatu senyawa tertentu^[3].

Pada penelitian yang dilakukan oleh Stupnisek-Lisac pada tahun 2002, inhibitor korosi yang paling efektif adalah inhibitor organik^[30]. Namun, inhibitor organik sintetis selain mahal ternyata juga mempunyai sifat toksik yang berbahaya bagi kesehatan manusia dan juga tidak ramah lingkungan. Oleh karena itu, akhir-akhir ini sedang gencar untuk dikembangkan inhibitor yang ramah lingkungan yang disebut *green inhibitor*.

Green inhibitor merupakan inhibitor yang terbuat dari bahan-bahan alami sehingga ramah terhadap lingkungan. *Green inhibitor* mempunyai sifat non-toksik, *biodegradable*, sudah tersedia di alam dan tidak merusak lingkungan. *Green inhibitor* berasal dari ekstrak tumbuh-tumbuhan atau biji-bijian. Inhibitor ekstrak alam diperoleh dengan cara *pressing*, ekstraksi dan *leaching*^[4]. Inhibitor dalam bentuk ekstrak mempunyai banyak kelebihan, diantaranya adalah mudah didapatkan dari bagian-bagian tumbuhan dan didalamnya terdapat lebih dari satu jenis produk organik sehingga akan memperkuat inhibisi korosi logam^[30].

Pada senyawa-senyawa organik terdapat zat antioksidan. Zat antioksidan adalah zat yang mampu menunda, memperlambat, dan mencegah proses

oksidasi^[5]. Sehingga, dapat diasumsikan bahwa zat antioksidan dapat juga menghambat laju korosi dimana korosi dapat didefinisikan juga sebagai oksidasi logam. Salah satu zat antioksidan adalah antosianin yang terkandung dalam ubi ungu. Oleh karena itu ekstrak dari ubi ungu mempunyai potensi menjadi salah satu *green inhibitor*.

Untuk membuktikan ekstrak ubi ungu yang mengandung senyawa antioksidan mampu menghambat korosi, maka diadakan suatu pengujian pada skala laboratorium. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui efek penambahan inhibitor ubi ungu terhadap laju korosi dengan menggunakan material baja SPCC di dalam lingkungan NaCl 3,5%. Ekstrak ubi ungu yang digunakan adalah dalam bentuk sirup bermerk "X".

1.2 Perumusan Masalah

Korosi merupakan satu permasalahan penting yang harus dihadapi oleh berbagai macam sektor industri di Indonesia. Kerugian yang diakibatkan oleh korosi di Indonesia dapat mencapai 20 triliun rupiah setiap tahunnya pada sektor industri. Hal ini setara dengan 2-5 % produk domestik total kotor sektor industri. Kerugian diakibatkan korosi dapat berupa biaya pemeliharaan, penggantian material, jam kerja, keuntungan yang hilang akibat produksi yang terhenti, kekecewaan pelanggan, biaya administrasi, kerugian fisik dan pengobatan akibat kecelakaan kerja^[24].

Fenomena korosi pada logam tidak dapat dihentikan hanya dapat diperlambat lajunya. Hal ini dikarenakan logam yang diaplikasikan berada pada kondisi metastabil sehingga logam mempunyai kecenderungan untuk kembali ke keadaannya yang paling stabil yaitu ketika berada di alam dalam bentuk oksida atau bahkan mineralnya. Proses korosi terjadi ketika logam berinteraksi dengan lingkungannya. Lingkungan logam dapat berupa air, air laut, larutan asam, tanah dan lain-lain.

Lingkungan air laut merupakan salah satu lingkungan yang korosif. Pada lingkungan air laut terdapat kandungan klorida (Cl⁻) yang cukup tinggi. Klorida adalah salah satu unsur yang agresif dalam mengkorosi logam. Sistem atau konstruksi yang berada di lingkungan air laut mempunyai kemungkinan besar

untuk terkorosi dengan cepat. Oleh karena itu, diperlukan penambahan inhibitor secara berkala atau kontinu ke dalam sistem untuk menghambat laju korosi.

Inhibitor yang ditambahkan pada media air laut pada umumnya adalah inhibitor yang berbasis kromat dan nitrat. Inhibitor yang berbasis nitrat dan kromat terbukti efektif untuk baja pada lingkungan air laut^[1], tetapi mempunyai sifat toksik dan tidak ramah terhadap lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan inhibitor organik yang alami yang bersifat non toksik, ramah lingkungan, *biodegradable*, murah dan tersedia di alam.

Green inhibitor, inhibitor yang ramah lingkungan, pada umumnya adalah inhibitor organik yang alami. Dikarenakan merupakan zat yang tersedia di alam, inhibitor ini mempunyai sifat yang ramah lingkungan dan *biodegradable*. *Green inhibitor* pada umumnya terbuat dari ekstrak tumbuhan. Tumbuh-tumbuhan yang biasa digunakan sebagai *green inhibitor* biasanya yang mengandung zat antioksidan. Antioksidan sendiri mempunyai definisi sebagai zat atau senyawa yang mampu menghambat atau memperlambat terjadinya oksidasi. Salah satu senyawa antioksidan adalah antosianin yang terkandung didalam ekstrak ubi ungu. Oleh karena itu ekstrak ubi ungu memiliki potensi untuk menjadi produk inhibitor yang ramah lingkungan

Bila dilihat dari definisi inhibitor, zat kimia yang ditambahkan dalam jumlah relatif kecil ke dalam lingkungan yang korosif sehingga mengubah lingkungan dan menurunkan laju korosi, penambahan konsentrasi inhibitor yang tepat harus diperhatikan. Penambahan konsentrasi inhibitor yang tepat dilakukan agar inhibitor dapat bekerja dengan optimal. Penambahan konsentrasi inhibitor yang terlalu sedikit akan membuat inhibitor tidak dapat bekerja dengan maksimal. Sedangkan penambahan konsentrasi terlalu tinggi akan menyebabkan masalah seperti terjadinya emulsi dan pembuihan^[7].

Permasalahan yang akan dikemukakan pada penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh sirup ubi ungu, yang telah terbukti mengandung zat antioksidan, dalam menghambat laju korosi logam *low carbon steel* (SPCC) pada lingkungan NaCl 3,5%. Selain itu, untuk mengetahui efisiensi dan konsentrasi

paling efektif dari ekstrak ubi ungu dalam menghambat laju korosi pada lingkungan NaCl 3,5%.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh sirup ubi ungu sebagai *green inhibitor* pada baja karbon rendah di lingkungan NaCl 3,5%.
2. Menentukan nilai laju korosi material baja SPCC (baja karbon rendah) dengan penambahan sirup ubi ungu dengan variasi 2 ml, 4 ml dan 6 ml pada larutan NaCl 3,5%
3. Mengetahui efisiensi sirup ubi ungu sebagai *green inhibitor* pada lingkungan NaCl 3,5%.

1.4 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian

1. Material yang digunakan adalah baja SPCC yang merupakan *low carbon steel*, dengan kondisi yang dianggap sama untuk variabel uji yang berbeda.
2. Perhitungan laju korosi menggunakan metode kehilangan berat (weight loss) dengan metode perendaman atau *immersion* dilakukan sesuai dengan ASTM G31-72.
3. Inhibitor organik yang digunakan adalah ekstrak ubi ungu merek "X" dengan variabel yang berbeda-beda yaitu; 2 ml, 4 ml, 6 ml.
4. Lingkungan korosif yang digunakan adalah larutan NaCl 3,5%. Volume larutan disesuaikan dengan batas minimum volume kontak larutan terhadap permukaan sampel yaitu 0,2-0,4% dari luas permukaan sampel (sesuai standar ASTM G31-72).

1.5 Sistematika Penulisan

Untuk mendapatkan gambaran yang jelas mengenai pembahasan skripsi ini, secara garis besar dapat dijabarkan sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Menguraikan tentang latar belakang terpilihnya penelitian mengenai Studi Pengaruh Penambahan Konsentrasi Ekstrak Ubi Ungu sebagai *Green Corrosion Inhibitor* pada Material Baja SPCC di Lingkungan NaCl 3,5%. Berikutnya juga diuraikan mengenai perumusan masalah, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang literatur yang berkaitan dengan penelitian ini. Penulisan tinjauan pustaka meliputi: prinsip dasar korosi, jenis-jenis korosi, faktor -faktor yang mempengaruhi laju korosi, korosi baja pada air laut, perlindungan korosi, antosianin dan uji kehilangan berat.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Membahas mengenai diagram alir penelitian, alat dan bahan yang diperlukan untuk penelitian dan prosedur penelitian.

BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Membahas mengenai pengolahan data yang didapat dari hasil pengujian yang telah dilakukan, baik berupa angka, gambar, maupun grafik. Serta pembahasan mengenai analisa dari hasil pengujian dan membandingkannya dengan teori serta hasil penelitian sebelumnya.

BAB V. KESIMPULAN

Membahas mengenai kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Prinsip Dasar Korosi

Korosi adalah degradasi material (logam) akibat dari reaksi kimia atau elektrokimia material tersebut dengan lingkungannya^[1]. Suatu material yang terkorosi akan memiliki sifat dan kualitas lebih rendah dari material yang tidak mengalami korosi. Bila korosi terjadi terus menerus pada suatu material, maka material tersebut akan berubah seluruhnya menjadi produk korosi. Dari definisi korosi tersebut ada dua komponen utama dalam korosi yaitu material dan lingkungan. Material dapat berupa logam dan non logam sedangkan lingkungan dapat berupa air, tanah, air laut, larutan asam dan lain-lain.

Proses korosi pada logam tidak dapat dihindari karena logam-logam yang diaplikasikan pada umumnya berada pada kondisi metastabil. Oleh karena itu, logam cenderung mengalami korosi untuk kembali ke titik logam tersebut stabil atau keadaan energi yang paling rendah yaitu pada saat kondisi stabilnya di alam dalam bentuk oksida atau mineral. Proses pengembalian kondisi logam ke bentuk stabilnya, korosi, adalah reaksi yang spontan sehingga melepaskan energi^[2]. Energi yang dilepaskan ketika proses korosi sama dengan energi yang dibutuhkan untuk mengekstrak logam dari mineralnya. Oleh karena itu, proses korosi merupakan kebalikan dari proses ekstraksi^[1].

Pada korosi logam, reaksi yang paling banyak terjadi adalah reaksi elektrokimia dimana terdapat anoda, katoda dan elektrolit sebagai tiga komponen utama dalam reaksi elektrokimia. Antara anoda dan katoda kontak satu sama lain atau terhubung secara elektrokimia. Katoda mengalami reduksi dan anoda mengalami oksidasi. Reaksi reduksi katoda menangkap sejumlah elektron dan terjadi penurunan bilangan oksidasi. Logam yang mengalami oksidasi inilah yang akan terkorosi dan berubah menjadi senyawa lain dengan bilangan oksidasi yang lebih besar. Secara umum reaksi anodik dapat dituliskan menjadi:



Reaksi katodik yang mungkin terjadi selama proses korosi logam adalah:

- Pelepasan gas hidrogen : $2 \text{H}^+ + 2\text{e} \rightarrow \text{H}_2$
- Reduksi Oksigen (asam) : $\text{O}_2 + 4 \text{H}^+ + 4\text{e} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$
- Reduksi Oksigen (basa) : $\text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4\text{e} \rightarrow 4\text{OH}^-$
- Reduksi ion logam : $\text{M}^{3+} + \text{e} \rightarrow \text{M}^{2+}$
- Pengendapan logam : $\text{M}^+ + \text{e} \rightarrow \text{M}$

Salah satu prinsip dasar korosi yang paling penting adalah pada korosi logam, laju oksidasi sama dengan laju reduksi (dalam hal pelepasan dan penangkapan elektron).

2.2 Jenis-Jenis Korosi

Terdapat beberapa jenis korosi pada proses korosi berdasarkan mekanisme, bentuk dan penyebabnya. Menurut Denny A. Jones terdapat beberapa jenis korosi^[1]. Jenis-jenis tersebut antara lain:

1. Korosi Seragam (*Uniform Corrosion*)

Korosi seragam adalah korosi yang terjadi secara merata di seluruh permukaan logam. Untuk terbentuknya korosi seragam (*uniform corrosion*), lingkungan korosi harus mempunyai akses ke seluruh permukaan dari logam dan logam tersebut harus memiliki komposisi yang seragam. Bentuk korosi ini mudah diprediksi karena laju korosi disetiap permukaan logam adalah sama. Korosi atmosfer merupakan salah satu contoh dari korosi seragam.



Gambar 2.1. Contoh Korosi Seragam^[29]

2. Korosi Galvanik (*Galvanic Corrosion*)

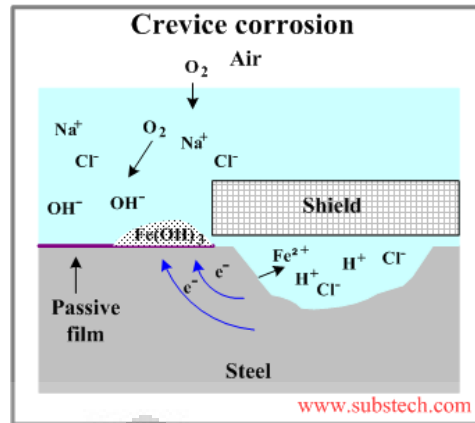
Korosi galvanik terjadi karena adanya perbedaan potensial antara dua jenis logam yang terhubung dalam lingkungan yang korosif. Logam yang memiliki potensial lebih rendah (deret galvanik) akan menjadi anoda dan terkorosi. Sedangkan logam yang lebih positif atau lebih mulia (pada deret galvanik) akan bertindak sebagai katoda dan terproteksi. Contoh korosi galvanik adalah bila logam Fe dan Zn saling berhubungan pada lingkungan yang korosif seperti air laut.



Gambar 2.2. Contoh korosi galvanik^[26]

3. Korosi Celah (*Crevice Corrosion*)

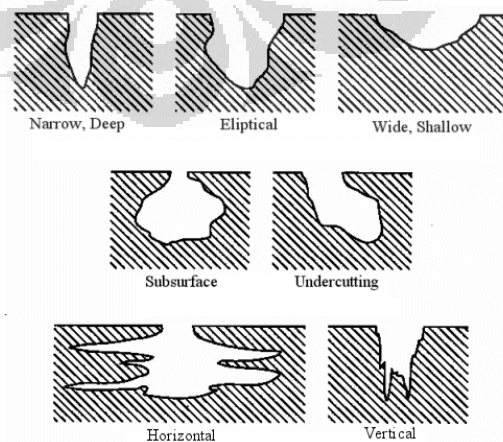
Korosi ini termasuk korosi terlokalisasi (*localized corrosion*) yang terjadi di celah-celah atau di daerah yang tersembunyi pada permukaan logam. Pada dasarnya korosi ini terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi antara daerah-daerah yang berbeda. Adanya kandungan oksigen akan memungkinkan reaksi katodik berupa oksidasi oksigen. Pada suatu celah, bagian yang berhubungan dengan udara akan mempunyai konsentrasi oksigen yang lebih tinggi dan bersifat katodik. Bagian yang di dalam celah dengan konsentrasi oksigen rendah bersifat lebih anodik dan akan terkorosi lebih cepat. Contoh korosi celah adalah korosi yang terjadi pada dua lapisan atau sambungan logam, pada lapisan cat yang retak, pada endapan pasir diatas permukaan logam, dan dibawah permukaan air.



Gambar 2.3. Crevice corrosion^[25]

4. Korosi Sumuran (*Pitting Corrosion*)

Korosi sumuran (*pitting corrosion*) termasuk dalam korosi yang terlokalisasi. Korosi sumuran sering terjadi karena suatu serangan intensif pada suatu tempat^[10]. Korosi ini terjadi akibat rusaknya lapisan pasif karena pengaruh dari lingkungan korosif. Korosi ini berbentuk lubang atau sumuran dari permukaan sampel sampai ke dalam permukaan logam. Korosi ini biasanya terjadi pada lingkungan tertentu, misalnya air yang mengandung klorida (Cl). Korosi ini paling mudah terjadi pada lingkungan air laut karena kandungan klorida yang tinggi. Ion Cl^- akan menyerang lapisan pasif dari logam. Ketika terjadi permulaan *pitting* pada suatu titik di permukaan pasif, maka ion Cl^- akan terkonsentrasi menyerang pada permukaan pasif yang terjadi *pitting* terlebih dahulu sehingga *pitting* atau sumuran akan menjadi lebih dalam.



Gambar 2.4. Korosi sumuran^[27]

5. Korosi Retak Tegang (Stress Corrosion Cracking)

Korosi retak tegang merupakan korosi retak yang diakibatkan karena adanya tegangan atau beban dan medium yang korosif tertentu secara simultan. Tegangan ini dapat berupa tegangan dalam, tegangan sisa (*residual stress*) atau beban dari luar. Awal retakan di permukaan dapat dimulai dari korosi lubang yang kemudian berkembang. Sifat yang khas dari korosi ini adalah korosi yang berbentuk akar serabut. Faktor-faktor yang berpengaruh pada korosi retak tegang adalah komposisi paduan, faktor metalurgi, tegangan dan lingkungan.

6. *Corrosion Fatigue Cracking* (CFC)

Korosi ini terjadi karena adanya tegangan beban fatik pada suatu material di lingkungan korosif. Hal ini sewaktu-waktu akan menyebabkan material tersebut akan terkena korosi pada suatu titik yang menyebabkan *crack* atau retak yang menjalar dan berbentuk tidak serabut.

7. *Hydrogen Induced Cracking* (HIC)

Korosi terjadi karena adanya tegangan internal pada suatu material karena adanya molekul-molekul gas hidrogen yang berdifusi ke dalam struktur atom logam. Hidrogen dapat terbentuk akibat reduksi H₂O atau pun dari asam. Penetrasi hidrogen ini akan menyebabkan korosi pada material.

8. Korosi Batas Butir (*Intergranular Corrosion*)

Korosi batas butir adalah korosi lokal pada daerah batas butir. Korosi ini terjadi di sepanjang batas butir pada logam atau paduannya. Korosi ini disebabkan oleh *impurities* (pengotor) pada batas butir, kelebihan atau kekurangan suatu elemen pada batas butir. Korosi batas butir (*intergranular corrosion*) biasanya terjadi pada austenitik *stainless steel* yang mengandung krom (Cr). Austenitik *stainless steel* yang mengalami pemanasan pada temperatur 425 – 850 °C akan mengalami sensitasi, yaitu terjadinya pengendapan krom karbida (Cr₂₃C₆) pada batas butir. Matriks di dekat batas butir akan kekurangan krom dan menjadi seperti baja karbon biasa yang memiliki ketahanan korosi yang rendah. Daerah

yang kekurangan krom akan bersifat lebih anodik dan akan terkorosi dengan mudah pada lingkungan korosif. Korosi ini dapat dihindari dengan mengurangi kadar karbon sampai ambang batas minimum yaitu 0.03% dan menambahkan unsur penstabil seperti Co, Ti, Ta yang akan mengikat karbon atau dengan memanaskan kembali hingga 1100 – 1150 °C sehingga karbida-karbida akan larut, kemudian didinginkan cepat sampai temperatur 425 °C untuk menghindari endapan krom karbida. Korosi ini biasanya terjadi akibat proses pengelasan (*welding*) dan jarang ditemukan pada lingkungan air laut kecuali logam telah mengalami sensitasi sebelum digunakan.

9. Korosi Erosi

Korosi erosi diakibatkan oleh percepatan atau peningkatan serangan pada logam karena adanya pergerakan fluida yang bersifat korosif dengan permukaan logam. Fluida dapat berbentuk likuid maupun gas. Bila pergerakan fluida cepat maka keausan mekanis atau abrasi yang terjadi meningkat. Logam terlepas dari permukaan sebagai ion terlarut atau membentuk padatan sebagai bentuk korosi yang secara mekanik terkikis dari permukaan logam oleh aliran fluida. Serangan akan semakin parah apabila fluida membawa partikel padatan.

2.3 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Korosi

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi suatu logam dapat terkorosi dan kecepatan korosi suatu logam. Dua logam yang sama belum tentu mengalami kasus korosi yang sama pula pada lingkungan yang berbeda. Begitu juga dua logam yang berbeda pada kondisi lingkungan yang sama belum tentu mengalami korosi yang sama. Dari hal tersebut, dapat dikatakan ada dua faktor yaitu faktor metalurgi dan faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi korosi suatu logam.

1. Faktor Metalurgi

Faktor metalurgi adalah pada material logam itu sendiri. Apakah suatu logam dapat tahan terhadap korosi, berapa kecepatan korosi yang dapat terjadi, jenis korosi apa yang paling mudah terjadi, dan

lingkungan apa yang dapat menyebabkan terkorosi, ditemukan dari faktor metalurgi tersebut.

Adapun yang termasuk dalam faktor metalurgi antara lain:

a) Jenis logam dan paduannya

Pada lingkungan tertentu, logam dapat tahan terhadap korosi. Sebagai contoh logam aluminium dapat membentuk lapisan pasif (Al_2O_3) pada permukaannya pada lingkungan air tanah dan air biasa sedangkan Fe, Zn dan beberapa logam lainnya dapat terkorosi dengan mudah.

b) Morfologi dan homogenitas

Bila suatu paduan memiliki elemen paduan yang tidak homogen, maka paduan tersebut akan memiliki ketahanan korosi yang berbeda-beda pada setiap bagian.

c) Perlakuan panas

Logam yang diberi perlakuan panas atau *heat treatment* akan mengalami perubahan struktur kristal atau perubahan fasa. Sebagai contoh perlakuan panas pada temperatur 425 – 850 °C terhadap baja nir karat (*stainless steel*) akan menyebabkan terbentuknya endapan krom karbida (Cr_{23}C_6) pada batas butir. Hal ini dapat membuat matriks disekitar batas butir kekurangan krom (Cr) dan menjadi baja karbon biasa sehingga rentan terjadi korosi batas butir. Selain itu beberapa perlakuan panas dapat menghasilkan tegangan sisa. Sehingga, bila tegangan sisa tersebut tidak dihilangkan dan berada pada lingkungan korosif dapat menyebabkan terjadinya korosi retak tegang (*stress corrosion cracking*)

d) Sifat mampu fabrikasi dan permesinan

Merupakan kemampuan material untuk menghasilkan sifat yang baik setelah proses fabrikasi dan permesinan. Bila suatu logam setelah fabrikasi memiliki tegangan sisa atau endapan inklusi maka memudahkan terjadinya korosi retak tegang (*stress corrosion cracking*).

2. Faktor Lingkungan

Faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi korosi antara lain:

a) Komposisi kimia

Ion-ion tertentu yang terlarut dalam lingkungan dapat mengakibatkan jenis korosi yang berbeda-beda. Misalkan antara air laut dan air tanah memiliki sifat korosif yang berbeda dimana air laut mengandung ion klor (Cl) yang sangat reaktif mengakibatkan korosi.

b) Konsentrasi

Konsentrasi dari elektrolit atau kandungan oksigen akan mempengaruhi kecepatan korosi yang terjadi. Pengaruh konsentrasi elektrolit terlihat pada laju korosi yang berbeda-beda dari besi yang tercelup dalam H_2SO_4 encer atau pekat, dimana pada larutan encer, Fe akan mudah melarut dibandingkan dalam H_2SO_4 pekat. Suatu logam yang berada pada lingkungan dengan kandungan O_2 yang berbeda akan terbagi menjadi dua bagian yaitu katodik dan anodik. Daerah anodik terbentuk pada media dengan konsentrasi O_2 yang lebih rendah dan katodik terbentuk pada media dengan konsentrasi O_2 tinggi.

c) Temperatur

Pada lingkungan dengan temperatur tinggi, laju korosi akan terjadi lebih tinggi dibandingkan pada temperatur rendah karena pada temperatur tinggi kinetika reaksi kimia akan meningkat.

d) Gas, cair, atau padat

Kandungan kimia di medium cair, gas atau padat berbeda-beda. Misalkan pada gas, bila lingkungan mengandung gas asam, maka korosi akan mudah terjadi (contohnya pada pabrik pupuk). Kecepatan dan penanganan korosi ketiga medium tersebut juga dapat berbeda-beda. Untuk korosi di udara, proteksi katodik tidak dapat dilakukan, sedangkan pada medium cair dan padat memungkinkan dilakukan proteksi katodik.

e) Kondisi biologis

Mikroorganisme seperti bakteri dan jamur dapat menyebabkan terjadinya korosi microbial. Bakteri seperti SRB di lingkungan laut, dapat mereduksi ion sulfat menjadi gas H₂S dan akan mengubah suasana lingkungan menjadi lebih asam.

Faktor-faktor metalurgi dan lingkungan harus dievaluasi secara integral. Dalam suatu industri sering diterapkan beberapa jenis logam dalam suatu kondisi lingkungan. Kondisi yang paling rumit adalah beberapa jenis logam berada pada beberapa jenis lingkungan yang berbeda.

2.4 Korosi Baja pada Lingkungan Air Laut

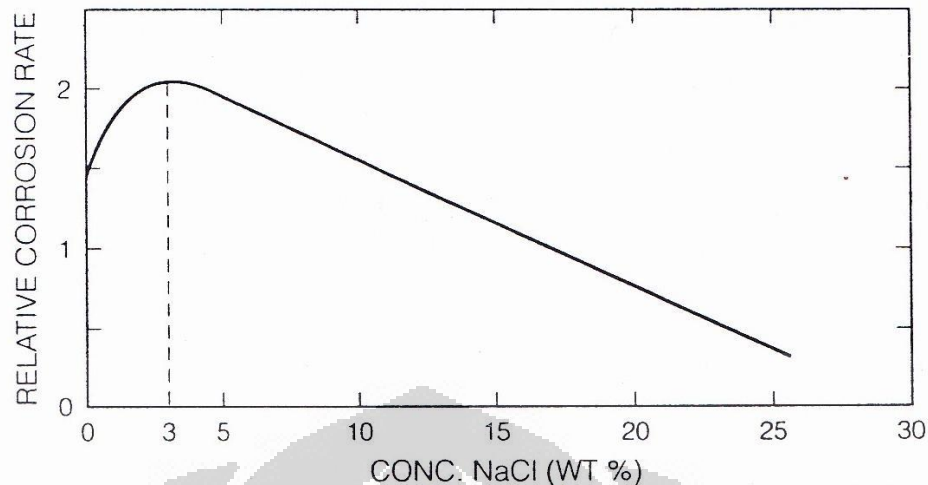
Salah satu media korosif adalah air laut. Hal ini dikarenakan air laut mengandung banyak NaCl dengan pH netral. Korosi pada air laut juga dapat disebabkan oleh kandungan oksigen, kecepatan alir, dan juga organisme laut.

Larutan NaCl 3,5% sering digunakan sebagai media simulasi air laut dalam skala laboratorium. Namun, larutan ini sering sekali cenderung lebih agresif dibandingkan dengan air laut yang sebenarnya^[1]. Hal ini disebabkan karena tidak ada konsentrasi Ca²⁺ dan Mg²⁺ yang terkandung. Reduksi katodik dari oksigen terlarut akan mengendapkan CaCO₃ dan Mg(OH)₂^[1].



Endapan yang terbentuk ini akan menghambat reduksi katodik sehingga korosi terhambat.

Unsur penting yang mempengaruhi korosi pada media air laut adalah ion klorida (Cl). Klorida menghambat terbentuknya lapisan film oksida. Bila lapisan film oksida sudah terbentuk maka klorida akan terkonsentrasi menyerang dan merusaknya sehingga terjadi korosi sumuran (*pitting corrosion*). Namun, pada konsentrasi NaCl lebih dari 3%, dapat dilihat pada Gambar 2.5, maka akan terjadi penurunan laju korosi. Menurunnya laju korosi ini disebabkan karena banyaknya garam yang terlarut sehingga menurunkan jumlah oksigen yang terlarut.



Gambar 2.5 Grafik kadar NaCl terhadap laju korosi^[1]

2.5 Perlindungan Korosi

Proses korosi pada logam tidak dapat dihentikan dan merupakan suatu proses yang alami dimana logam ingin kembali ke keadaannya yang paling stabil yaitu dalam bentuk oksida. Namun proses korosi dapat diperlambat laju dan diminimalisir dengan memperlambat perusakannya dan melindungi logamnya.

Perlindungan korosi terhadap logam dilakukan dengan berbagai pendekatan. Pendekatan secara termodinamik melalui diagram purbaix, pendekatan lapisan pelindung dengan metode proteksi anodik, *coating*, pendekatan kinetik dengan metode proteksi katodik dan pendekatan struktur dengan struktur desain, dan kontrol lingkungan^[15].

2.5.1 Proteksi Katodik dan Anodik

Metode perlindungan katodik adalah salah satu metode yang paling banyak digunakan. Metode ini tidak dapat digunakan pada media korosif yang berbentuk gas sehingga perlindungan ini hanya bisa diterapkan pada media yang berbentuk padatan dan cair. Prinsip dari perlindungan katodik adalah dengan memperlakukan logam yang dilindungi sebagai katoda.

Pada metode perlindungan katodik terdapat dua cara pemberian arus searah yaitu dengan menerapkan anoda korban (*sacrificial anode*) dan dengan

pemberian arus tanding (*impressed current*). Berikut ini adalah penjelasan metode perlindungan katodik:

1. Anoda korban (*sacrificial anode*)

Pada sistem proteksi katodik dengan anoda korban, tidak diperlukan daya. Perlindungan dengan menggunakan metode anoda korban menggunakan prinsip korosi galvanik dimana ada dua logam yang berbeda terhubung dalam lingkungan yang korosif dan logam yang lebih mulia (secara deret galvanik) akan bertindak sebagai katoda dan akan terlindungi sedangkan logam yang lebih reaktif (secara deret galvanic) akan bertindak sebagai anoda sehingga dan terkorosi. Pada metode ini, logam yang akan dilindungi akan dipasangkan atau dihubungkan dengan logam yang lebih reaktif sehingga logam yang lebih reaktif tersebut akan bertindak sebagai anoda dan terkorosi dan logam yang dilindungi akan menjadi katoda dan terlindungi.

2. Arus Tanding (*impressed current*)

Sistem proteksi arus tanding memanfaatkan arus searah yang berasal dari suatu sumber daya, dimana kutub positif dari sumber daya dihubungkan dengan anoda sedangkan kutub negatifnya dihubungkan dengan sistem yang akan diproteksi.

Pada perlindungan secara anodik (proteksi anodik), tegangan sistem yang dilindungi dinaikkan sehingga memasuki daerah anodiknya. Logam terlindungi karena terbentuknya lapisan pasif. Namun, penggunaan proteksi anodik haruslah mempunyai karakteristik lingkungan yang stabil sehingga metode ini tidak dapat digunakan pada sistem yang berfluktuasi.

2.5.2 Pelapisan (*Coating*)

Terjadinya korosi disebabkan adanya interaksi logam dengan lingkungannya. Metode pelapisan (*coating*) adalah salah satu metode perlindungan korosi dengan memberikan lapisan pelindung dengan tujuan untuk mengisolasi logam berinteraksi dengan lingkungannya yang korosif.

2.5.3 Inhibitor

Inhibitor adalah suatu zat yang ditambahkan dalam jumlah relatif kecil ke dalam lingkungan yang korosif yang dapat menurunkan laju korosi. Inhibitor harus ditambahkan pada kadar yang tepat. Pada penambahan kadar yang terlalu kecil akan menyebabkan inhibitor tidak dapat bekerja secara maksimal. Sedangkan pada penambahan yang berlebihan akan menyebabkan terjadinya masalah seperti terjadinya emulsi dan pembuihan akibat sifat inhibitor sebagai surfaktan^[7]. Pemberian inhibitor dalam jumlah terlalu banyak juga dapat menjadi pemborosan biaya dan dapat menurunkan efisiensi inhibitor. Efisiensi inhibitor dapat dihitung dengan cara:

$$\text{Efisiensi Inhibitor} = \frac{X_a - X_b}{X_a} \times 100\% \quad (2.1)$$

Keterangan : X_a = Laju korosi tanpa penambahan inhibitor

X_b = Laju korosi dengan penambahan inhibitor

Inhibitor melindungi logam atau material dengan beberapa mekanisme. Terdapat 4 mekanisme perlindungan korosi yang dilakukan oleh inhibitor^[3]:

- a) Inhibitor teradsorpsi pada permukaan logam dan membentuk suatu lapisan tipis dengan ketebalan beberapa molekul inhibitor. Lapisan tipis ini tidak dapat dilihat dengan mata telanjang tetapi dapat menghambat dan menurunkan laju korosi.
- b) Inhibitor mempengaruhi lingkungan sehingga inhibitor dapat mengendap dan selanjutnya teradsorpsi pada permukaan logam serta melindunginya terhadap korosi. Endapan yang terjadi cukup banyak dan lapisan dapat diamati dengan mata telanjang.
- c) Inhibitor terlebih dahulu mengkorosi logam dan menghasilkan suatu zat kimia dan mengalami adsorpsi dari produksi korosi untuk membentuk lapisan pasif.
- d) Inhibitor mengurangi atau menghilangkan elemen penyebab korosi pada lingkungan di sekitar logam yang akan dilindungi.

Berdasarkan fungsinya inhibitor digolongkan menjadi^[32]:

- a) Inhibitor Katodik

Inhibitor katodik mengontrol korosi dengan cara menghambat reaksi katodik dan membentuk presipitat pada daerah katodik yang kemudian menaikkan impedansi permukaan dan membatasi difusi^[17].

Terdapat tiga jenis inhibisi pada inhibitor katodik yaitu:

- Presipitasi katodik, ion-ion kalsium (Ca), magnesium (mg) dan seng (Zn) mengendap dan membentuk oksida yang merupakan lapisan pelindung pada logam. Kalsium karbonat (CaCO_3) sering digunakan sebagai presipitator katodik
- Racun katodik, inhibisi dengan menghambat reaksi evolusi hidrogen
- *Oxygen scavengers*, menghambat korosi dengan cara mencegah reaksi reduksi oksigen.

b) Inhibitor anodik

Inhibitor ini menghambat laju korosi dengan cara memperlambat reaksi elektrokimia yang terjadi pada sel anodik. Pada inhibitor anodik, mekanisme yang sering terjadi adalah pasivasi. Berubahnya nilai potensial dari logam yang terkorosi menjadi nilai potensial yang lebih mulia adalah efek dari pasivasi inhibitor anodik. Inhibitor ini efektif dan banyak digunakan namun dapat menyebabkan korosi sumuran (*pitting corrosion*) dan menaikkan laju korosi bila penambahan konsentrasinya tidak sesuai. Oleh karena itu, konsentrasinya perlu diawasi secara kontinu.

c) Inhibitor presipitasi

Inhibitor ini membentuk presipitat pada permukaan logam menjadi lapisan film yang protektif yang menghalangi reaksi anodik dan katodik.

d) *Volatile corrosion inhibitors*

Inhibitor jenis ini merupakan campuran yang dimasukkan ke dalam lingkungan korosif yang tertutup dengan cara ditiup dari sumber inhibitor ini diuapkan. Inhibitor ini pada saat menyentuh permukaan logam akan terkondensasi menjadi garamnya dan memberikan ion yang dapat melindungi logam dari korosi. Inhibitor jenis ini banyak

digunakan pada aplikasi *condenser tubes*, boiler, *shipping container* dll. Kemampuan inhibitor untuk menguap (volatile) menentukan kualitas inhibitor jenis ini.

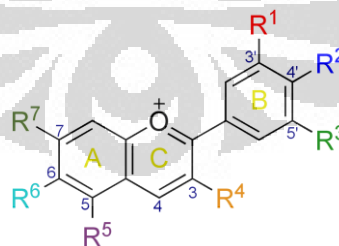
e) Inhibitor organik

Inhibitor jenis ini melindungi seluruh permukaan logam dan bertindak sebagai pembentuk lapisan film yang memproteksi logam dengan membentuk lapisan hidrofobik pada permukaan logam. Efektifitas inhibitor ini tergantung pada komposisi kimianya, struktur molekul, dan afinitasnya terhadap permukaan.

2.6 Antosianin

Antosianin merupakan senyawa flavonoid dan merupakan glikosida dari antosianidin yang terdiri dari 2-phenyl benzopylium (flavium) tersubstitusi, memiliki sejumlah gugus hidroksil bebas dan gugus hidroksil termetilasi yang pada posisi atom karbon yang berbeda ^[19]. Dari Gambar 2.6, pada umumnya seluruh antosianin memiliki struktur flavium (AH⁺) ^[18].

Antosianin merupakan turunan struktur aromatik tunggal, yaitu sianidin dan semuanya terbentuk dari pigmen sianidin ini dengan penambahan atau pengurangan gugus hidroksil, glikolasi dan metilasi ^[19]. Antosianin stabil pada pH 3,5 dan suhu 50°C dan memiliki rumus molekul yaitu C₁₅H₁₁O ^[18].



Gambar 2.6 Antosianin^[28]

2.7 Uji Kehilangan Berat (Weight-loss Coupons)

Metode monitoring korosi yang paling banyak digunakan dengan uji kehilangan berat (*weight-loss coupons*). Pengujian ini menggunakan lempengan logam atau kupon yang ditempatkan di dalam sistem dan dibiarkan mengalami

korosi. Laju korosi dapat diketahui dengan mengukur perubahan berat yang terjadi pada lempengan logam atau kupon yang mengalami korosi tersebut.

Corrosion coupon paling banyak digunakan untuk material konstruksi untuk mendeteksi serangan permanen dari perubahan korosifitas. Dari kupon tersebut dapat menggambarkan kerusakan akibat korosi selama periode waktu tertentu, maka produk korosi yang terbentuk sebelumnya harus dihilangkan.

Dengan menggunakan rumus di bawah ini, maka akan diketahui laju korosi pada lingkungan tersebut:

$$\text{Laju Korosi} = \frac{K.W}{D.A.T} \quad (2.2)$$

Keterangan : K = konstanta (mpy = 34.45×10^6)

W = kehilangan berat (gram)

D = densitas (gram/cm³)

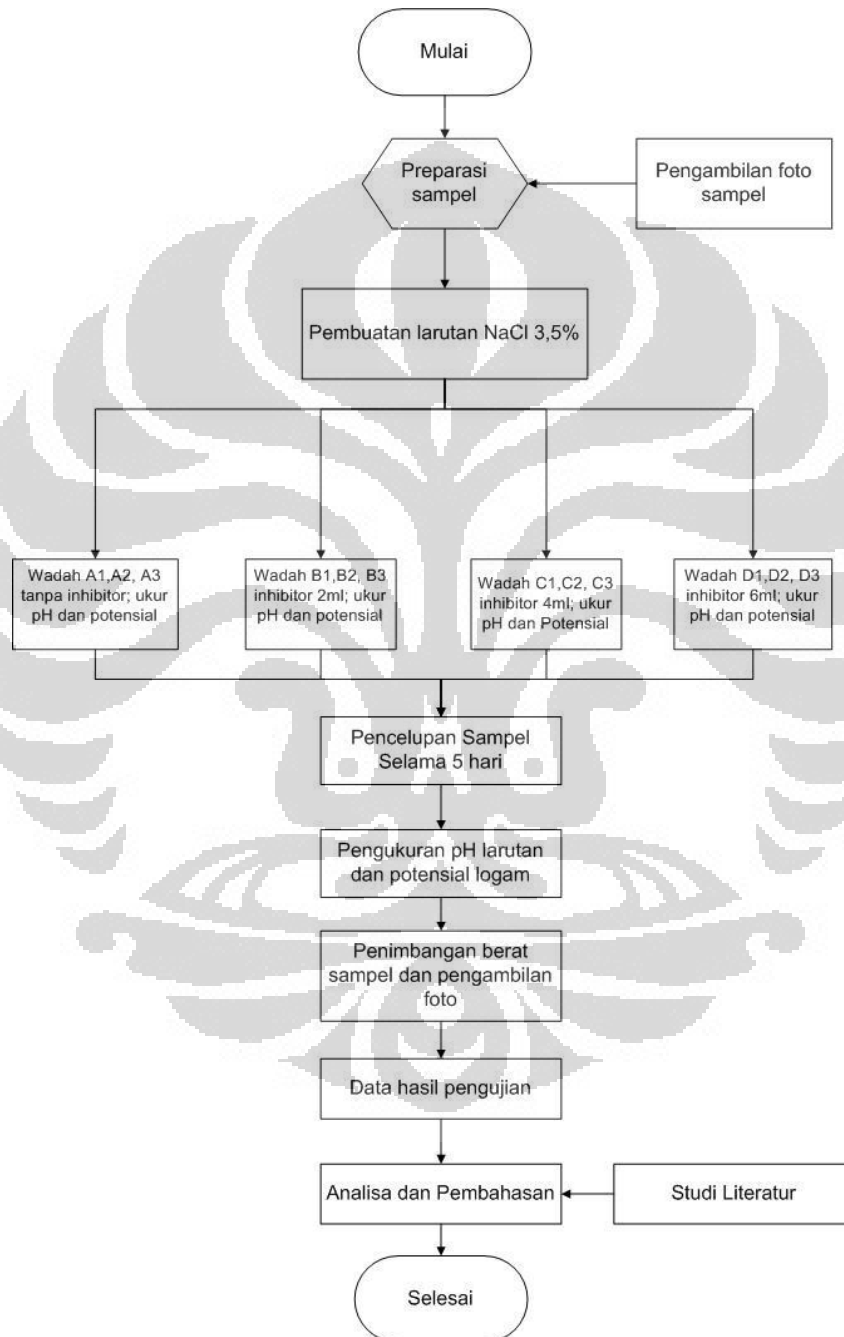
A = luas permukaan yang terendam (cm²)

T = waktu (jam)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penellitian

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

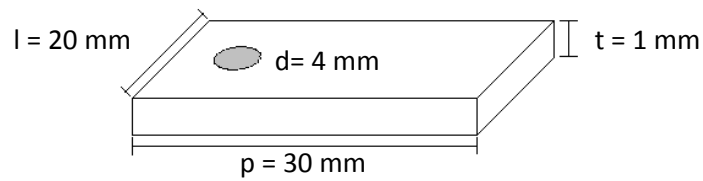
Alat yang digunakan untuk penelitian, antara lain:

- Alat pemotong sampel
- Mesin bor dan mata bor berdiameter 4 mm
- Kertas amplas
- Timbangan digital
- pH meter digital
- *Magnetic steerer*
- Multimeter
- Elektroda standar Ag/AgCl
- Gunting dan *cutter*
- Jarum Suntik
- Kamera Digital
- Beaker Glass
- Wadah plastik (air mineral kemasan 1,5L) dan kertas label
- Benang
- *Hair dryer*
- *Ultrasonic agitator*
- Pinset

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini antara lain:

1. *Low Carbon Steel* (Baja SPCC)
 - a) Dimensi : 30 mm x 20 mm x 1 mm
 - b) Densitas : Dimensi logam diasumsikan sama, dan dihitung berat rata-ratanya. Sehingga didapatkan densitasnya :



Gambar 3.2 Ukuran sampel pengujian

Tabel 3.1 Data berat dan densitas sampel

Sampel	massa (gr)	densitas (gr/cm ³)
A1	4,7713	7,952166667
A2	4,7071	7,845166667
A3	4,774	7,956666667
B1	4,7118	7,853
B2	4,6899	7,8165
B3	4,7687	7,947833333
C1	4,7955	7,9925
C2	4,6053	7,6755
C3	4,6648	7,774666667
D1	4,7584	7,930666667
D2	4,6581	7,7635
D3	4,74	7,9
Rata-rata	56,6449	7,867347222

Sehingga didapatkan densitas rata-rata sebesar 7,867347222 gr/cm³

2. Aquadesh
3. Garam teknis/NaCl
4. HCL 37% Merck
5. Ekstrak ubi ungu (dengan merek X)
6. Sabun
7. *Acetone*
8. NaHCO₃
9. *Baracor*

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Preparasi Sampel

1. Pemotongan sampel

Pada penelitian ini, material baja SPCC yang didapat berupa lembaran dengan ukuran 200 mm x 200 mm x 1mm. Material baja SPCC ini kemudian dipotong menjadi sampel berukuran 30 mm x 20 mm x 1 mm sebanyak 12 buah (3 sampel non-inhibisi, 3 sampel untuk inhibisi 2 ml, 3 sampel untuk inhibisi 4 ml, dan 3 sampel untuk inhibisi 6 ml).

2. Pengeboran sampel

Sampel yang telah dipotong kemudian diberikan lubang dengan dibor dengan mata bor berdiameter 4 mm pada bagian atas tengah untuk menggantung sampel dengan benang.

3. Pengamplasan sampel

Sampel diampelas untuk menghilangkan oksida yang ada di permukaan sampel.

4. Pengambilan foto

Pengambilan foto untuk mendapatkan data visual sebelum dilakukan pencelupan.

5. Penimbangan berat awal sampel

Masing-masing sampel ditimbang berat awalnya dengan menggunakan timbangan digital.

3.3.2 Pembuatan Larutan Rendam NaCl 3,5%

Larutan yang digunakan pada penelitian ini adalah NaCl 3,5%. Untuk membuat larutan NaCl 3,5%, dibutuhkan kristal garam NaCl dilarutkan ke dalam *aquadesh*. Untuk mendapatkan larutan NaCl 3,5% sebanyak 1000 gram, maka dibutuhkan 35 gr garam ($1000 \times 3.5\%$) dan 965 ml *aquadesh* ($1000\text{gr} - 35\text{gr}$).

Berdasarkan ASTM G31-72, untuk pengujian rendam (*immersion test*) skala laboratorium, volume larutan minimal untuk pengujian adalah:

$$\text{Volume larutan} = 0.4 \times \text{luas permukaan sampel} \quad (3.1)$$

Luas permukaan sampel (dengan ukuran sampel 30 mm x 20 mm x 1 mm):

Volume larutan minimal dengan sampel pengujian dengan luas permukaan 12877.44 mm² adalah 515 ml. Pada pengujian ini digunakan larutan rendam sebanyak 520 ml. Karena dibutuhkan 12 wadah untuk pencelupan, maka dibutuhkan 6240 ml larutan NaCl 3,5%.

3.3.3 Pembuatan Inhibitor Ekstrak Ubi Ungu

Peneliti tidak melakukan proses ekstraksi ubi ungu karena memperoleh inhibitor ubi ungu dalam bentuk ekstrak yang dapat digunakan secara langsung. Pada penelitian ini digunakan ekstrak ubi ungu bermerek X dengan komposisi antosianin 0,6 gr/ml dan alkohol 5%.

3.3.4 Langkah Kerja Uji Rendam

Pengujian dilakukan dengan standar ASTM G31-72. Sampel berbentuk kupon yang telah dipreparasi, digantung, dengan menggunakan benang lalu dicelupkan ke dalam wadah plastik yang telah berisi larutan NaCl 3,5% ± 520 ml pada temperature ruang dan setiap satu sampel direndam pada satu wadah. Sebelum dilakukan pencelupan, pengukuran kadar pH pada tiap wadah dilakukan. Setiap wadah diberi label dan penomoran yang sesuai dengan perlakuan yang diberikan. Berikut perlakuan dan penomoran wadah :

1. Wadah A1, A2, A3; sampel tanpa diberi inhibitor. Diukur pH dan potensial logam awalnya. Kemudian dilakukan perendaman selama 5 hari.
2. Wadah B1, B2, B3; sampel dengan penambahan inhibitor sebanyak 2 ml. Diukur pH dan potensial logam awalnya. Kemudian dilakukan perendaman selama 5 hari.
3. Wadah C1, C2, C3; sampel dengan penambahan inhibitor sebanyak 4 ml. Diukur pH dan potensial logam awalnya. Kemudian dilakukan perendaman selama 5 hari.
4. Wadah D1, D2, D3; sampel dengan penambahan inhibitor sebanyak 6 ml. Diukur pH dan potensial logam awalnya. Kemudian dilakukan perendaman selama 5 hari.

3.3.5 Pembersihan Sampel

Pembersihan sampel dilakukan dengan mengacu pada NACE Standard RP0775-2005. Pembersihan sampel dilakukan untuk menghilangkan minyak, *scale* dan produk korosi. Berikut adalah tahapan pembersihan sampel:

1. Keluarkan sampel untuk difoto sebelum dilakukan pembersihan.
2. Sampel dicelup ke dalam *toluene* untuk menghilangkan minyak atau *paraffin* pada permukaan sampel. Cuci dengan *acetone* dan dikeringkan dengan *hair dryer*.
3. Masukkan sampel ke dalam *beaker glass* berisi larutan HCl 2 M yang sudah ditambahkan 10 tetes inhibitor *baracor* untuk *pickling* dan menghilangkan *scale* dan produk korosi. Masukkan *beaker glass* tersebut ke dalam mesin *ultrasonic agitator* untuk mempercepat proses.
4. Sampel kemudian dicelupkan ke dalam larutan NaHCO₃ lewat jenuh selama 1 menit untuk menghilangkan suasana asam kemudian dibilas dengan *aquadesh*.
5. Sampel kemudian dicuci dengan *acetone* dan dikeringkan dengan *hair dryer*.
6. Foto sampel dan hitung beratnya sesudah melakukan pembersihan.

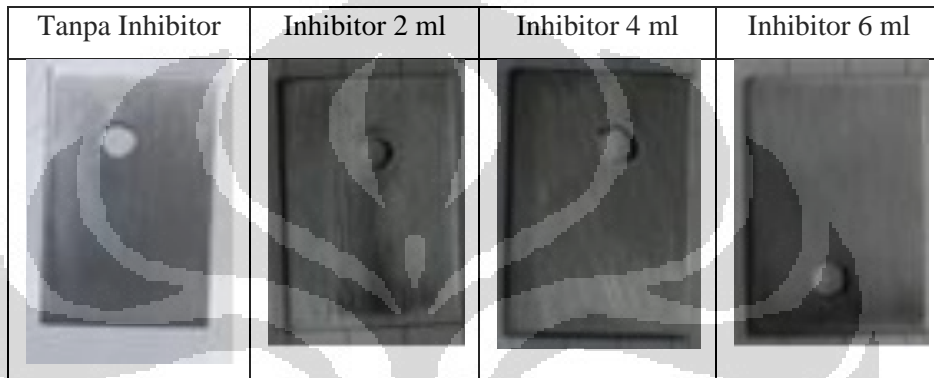
BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

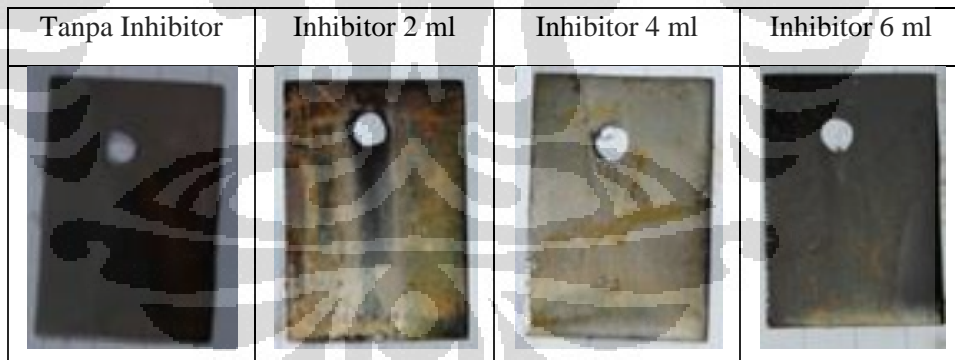
4.1 Hasil Pengujian

4.1.1 Hasil Pengamatan Visual Baja SPCC (Baja Karbon Rendah)

Tabel 4.1 Foto sampel sebelum dilakukan uji rendam



Tabel 4.2 Foto sampel setelah dilakukan uji rendam



4.1.2 Hasil Pengujian *Spectroscopy* Baja SPCC

Pada penelitian ini dilakukan pengujian komposisi kimia baja SPCC yang dilakukan di laboratorium CMPFA (*Center for Material Processing and Failure Analysis*) dengan menggunakan alat *optical emission spectrometer*.

Tabel 4.3 Komposisi baja SPCC

Fe(%)	C(%)	Si(%)	Mn(%)	Cr(%)	Al(%)
99,7	0,054	<0,005	0,064	0,016	0,05
Ni(%)	Mo(%)	Ti(%)	Cu(%)	Nb(%)	V(%)
<0,005	<0,003	0,055	0,011	<0,003	<0,002

4.1.3 Hasil Pengujian Berat

Tabel 4.4 Data kehilangan berat logam

Kupon		Status Inhibitor	W0 (gr)	W1 (gr)	ΔW (gr)	Rata - rata ΔW (gr)
A	1	Tanpa Inhibitor	4,7713	4,749	0,0223	0,0264
	2		4,7071	4,6804	0,0267	
	3		4,774	4,7438	0,0302	
B	1	Penambahan 2ml	4,7118	4,674	0,0378	0,0243
	2		4,6899	4,6693	0,0206	
	3		4,7687	4,7542	0,0145	
C	1	Penambahan 4ml	4,7955	4,7814	0,0141	0,0136333
	2		4,6053	4,5939	0,0114	
	3		4,6648	4,6494	0,0154	
D	1	Penambahan 6ml	4,7584	4,7453	0,0131	0,0133333
	2		4,6581	4,6441	0,014	
	3		4,74	4,7271	0,0129	

4.1.4 Hasil Penghitungan Laju Korosi dan Efisiensi Inhibitor

Tabel 4.5 Data laju korosi dan efisiensi inhibitor

Kupon	Status Inhibitor	ΔW (gr)	Corrosion Rate (MPY)	Rata - Rata CR (MPY)	Efisiensi Inhibitor
A	Tanpa Inhibitor	0,0223	6,328267941	7,49176115	0
		0,0267	7,576894799		
		0,0302	8,570120709		
B	Penambahan 2ml	0,0378	10,72683983	6,895825604	7,95454545
		0,0206	5,845843927		
		0,0145	4,114793056		
C	Penambahan 4ml	0,0141	4,001281523	3,868851402	48,3585859
		0,0114	3,235078678		
		0,0154	4,370194004		
D	Penambahan 6ml	0,0131	3,717502692	3,783717752	49,4949495
		0,014	3,97290364		
		0,0129	3,660746925		

4.1.5 Hasil Pengukuran pH Larutan

Tabel 4.6 Data pH Larutan NaCl 3,5%

Kupon	Keadaan Inhibitor	pH				Selisih Perubahan pH
		pH Awal	Rata -rata pH Awal	pH Akhir	Rata-rata pH Akhir	
A	Tanpa Penambahan Inhibitor	6,2	6,2	7,3	7,3666667	1,1666667
		6,2		7,3		
		6,2		7,5		
B	Penambahan Inhibitor 2ml	6,1	6,1666667	6,9	6,9	0,7333333
		6,2		6,9		
		6,2		6,9		
C	Penambahan Inhibitor 4ml	6,2	6,2333333	6,6	6,6	0,3666667
		6,2		6,6		
		6,3		6,6		
D	Penambahan Inhibitor 6ml	6,2	6,2333333	6,1	6,1	-0,133333
		6,3		5,9		
		6,2		6,3		

4.1.6 Hasil Pengukuran Potensial Logam

Tabel 4.7 Data potensial logam vs Ag/AgCl

Kupon	Status Inhibitor	Potensial					
		Potensial awal(vs Ag/AgCl) (V)	Rata rata potensial awal(vs Ag/AgCl) (V)	Potensial akhir(vs Ag/AgCl) (V)	Rata rata potensial akhir(vs Ag/AgCl) (V)	Perubahan potensial (V)	Perubahan rata - rata
A	1	-0,595		-0,636		0,041	0,057
	2	-0,584	-0,5927	-0,661	-0,65	0,077	
	3	-0,599		-0,652		0,053	
B	1	-0,576		-0,53		-0,046	0,050333
	2	-0,583	-0,5787	-0,681	-0,629	0,098	
	3	-0,577		-0,676		0,099	
C	1	-0,576		-0,664		0,088	0,075333
	2	-0,578	-0,5813	-0,663	-0,657	0,085	
	3	-0,59		-0,643		0,053	
D	1	-0,58		-0,662		0,082	0,084667
	2	-0,58	-0,5803	-0,669	-0,665	0,089	
	3	-0,581		-0,664		0,083	

4.2 Pembahasan

4.2.1 Pengamatan Visual

Pengamatan visual dilakukan untuk mengamati secara visual (makro) keadaan sampel baja SPCC sebelum dilakukan perendaman dan setelah dilakukan perendaman. Pengamatan visual dilakukan dengan menggunakan kamera digital.

Pada masa setelah dilakukan perendaman, dilakukan pengamatan visual pada kondisi sampel dengan tanpa penambahan inhibitor. Pada sampel non-inhibisi didapatkan larutan (media NaCl 3,5%) sedikit lebih jernih, tetapi terdapat endapan berwarna coklat pada bagian bawah botol yang merupakan produk korosi. Pada saat sampel diangkat dari larutan didapatkan juga karat yang terbentuk pada permukaan sampel baja SPCC.

Menurut H. Moller dkk (2006), produk korosi yang terbentuk pada pencelupan *low carbon steel* pada larutan NaCl 3,5% adalah terbentuknya deposit oksidasi-hidroksida yang meliputi *magnetite* (Fe_3O_4) *lepidocrocite* ($\gamma\text{-FeOOH}$)^[19]. Oleh karena itu hal dapat disimpulkan bahwa hal yang sama terjadi pada pengujian ini.

Pada pengamatan visual pada sampel terdapat karat baik pada sampel tanpa penambahan inhibitor maupun pada sampel dengan penambahan inhibitor. Dilihat dari bentuk karat yang terbentuk di permukaan sampel, korosi yang terjadi adalah korosi yang seragam. Pada lingkungan NaCl 3,5% dengan kandungan klor (Cl) yang tinggi pada baja karbon rendah tidak terjadi *pitting corrosion* (korosi sumuran) karena pada baja karbon tidak terdapat lapisan pasif sehingga serangan korosi tidak terkonsentrasi dan tidak membentuk korosi sumuran.

4.2.2 Analisa Pengujian *Spectroscopy* Baja SPCC

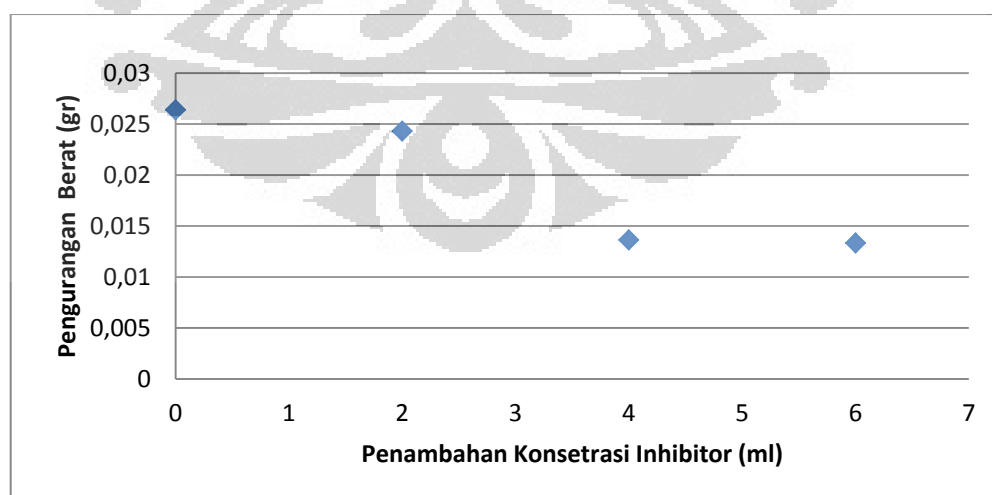
Dapat dilihat pada Tabel 4.3 hasil dari pengujian *spectroscopy* pada baja SPCC. Pengujian dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia dari sampel. Dari komposisi kimia sampel dapat diketahui sifat-sifat umum sampel dan juga ketahanan korosinya.

Hasil pengujian *spectroscopy* baja SPCC yang tertera pada Tabel 4.3 menunjukkan bahwa sampel baja SPCC memiliki kandungan Fe sebanyak 99,7 % dan kandungan karbon sebanyak 0,054%. Dari hasil pengujian ini, disimpulkan bahwa baja SPCC termasuk dalam baja karbon rendah dimana baja karbon rendah memiliki kandungan karbon tidak lebih dari 3%^[20]. Terdapat kandungan seperti Cr, Ni, dan Cu pada baja SPCC yang dapat meningkatkan ketahanan korosi tetapi karena jumlah kandungannya yang terlalu sedikit, sehingga tidak dapat meningkatkan ketahanan korosi. Untuk membuat lapisan pasif dibutuhkan baja dengan kandungan krom (Cr) tidak kurang dari 11%.

4.2.3 Pengaruh Konsentrasi Inhibitor terhadap Kehilangan Berat

Tabel 4.4 menunjukkan data kehilangan berat sampel baja SPCC setelah mengalami pencelupan selama 5 hari. Didapatkan kehilangan berat sebesar 0,0264 gr, 0,0243 gr, 0,013633 gr dan 0,0133 gr untuk variasi penambahan sirup ubi ungu secara berurutan 0 ml, 2 ml, 4 ml, dan 6 ml larutan NaCl 3,5%.

Dari Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa jumlah kehilangan berat sampel semakin menurun seiring dengan penambahan konsentrasi ekstrak ubi ungu dalam. Dari grafik ini, sampel tanpa diberikan inhibitor memiliki nilai kehilangan berat tertinggi dan semakin menurun dengan semakin bertambahnya konsentrasi ekstrak ubi ungu.

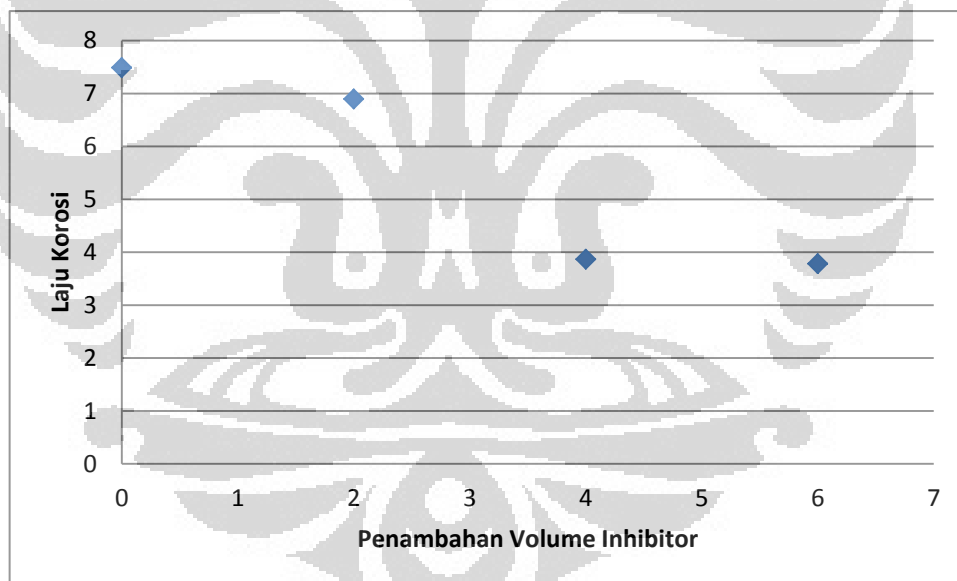


Gambar 4.1 Grafik pengaruh penambahan konsentrasi inhibitor terhadap pengurangan berat

4.2.4 Pengaruh Konsentrasi Inhibitor terhadap Laju Korosi

Tabel 4.5 menunjukkan pengaruh dari penambahan konsentrasi inhibitor ubi ungu terhadap laju korosi. Dari tabel tersebut didapatkan laju korosi sebesar 7,491 mpy pada sampel tanpa penambahan ekstrak ubi ungu, 6,895 mpy pada sampel dengan penambahan 2 ml ekstrak ubi ungu. Pada sampel dengan penambahan ubi ungu sebanyak 4 ml dan 6 ml didapatkan laju korosi sebesar 3,869 mpy dan 3,784 mpy. Laju korosi paling lambat terjadi pada penambahan 6 ml sirup ubi ungu.

Dari data yang terdapat pada Tabel 4.5, terbukti bahwa sirup ubi ungu dapat menghambat laju korosi pada logam baja karbon rendah di lingkungan NaCl 3,5%. Dari Gambar 4.2, grafik pengaruh penambahan volume inhibitor terhadap laju korosi, dapat dilihat bahwa laju korosi semakin terhambat seiring dengan penambahan volume inhibitor ubi ungu.



Gambar 4.2 Pengaruh penambahan volume inhibitor terhadap laju korosi

4.2.5 Pengaruh Konsentrasi Inhibitor terhadap Efisiensi Inhibitor

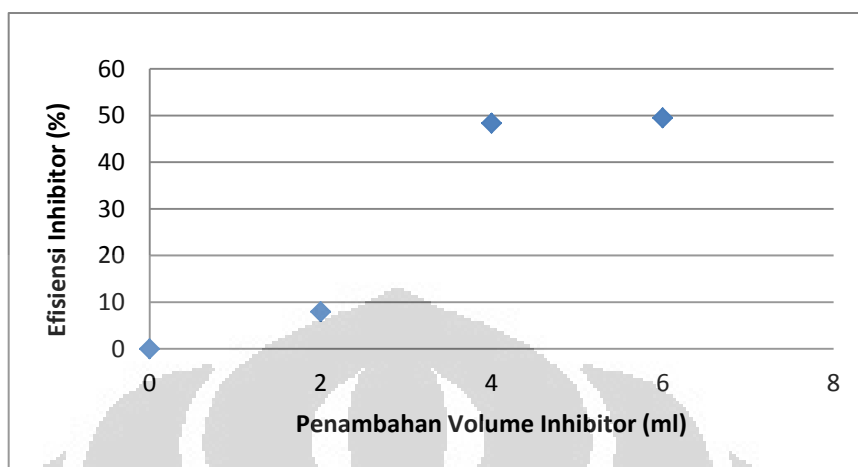
Tabel 4.5 menunjukkan nilai efisiensi inhibitor dengan variasi penambahan sirup ubi ungu 2 ml, 4 ml, dan 6 ml. dari tabel tersebut didapatkan nilai efisiensi inhibitor dengan variasi penambahan 2 ml, 4 ml, dan 6 ml secara berurutan sebesar 7,95%, 48,35% dan 49,49%. Dari Gambar 4.3, Grafik pengaruh

penambahan volume inhibitor terhadap efisiensi inhibitor, didapatkan bahwa efisiensi inhibitor semakin bertambah seiring dengan bertambahnya konsentrasi inhibitor ubi ungu dan mencapai titik konsentrasi tertinggi pada penambahan 6 ml.

Inhibitor dapat bekerja dengan optimal dalam menghambat laju korosi bila ditambahkan ke dalam sistem dalam kadar yang optimal juga. Pada penelitian ini didapatkan efisiensi inhibitor meningkat terus hingga penambahan 6 ml sirup ubi ungu sehingga tidak diketahui titik dimana penambahan sirup ubi ungu tidak lagi optimal (dimana ada tanda penurunan nilai efisiensi inhibitor). Pada penelitian yang dilakukan oleh Adhi Nugroho (2011) dengan menggunakan inhibitor, material dan lingkungan yang sama namun berbeda metode, didapatkan nilai efisiensi inhibitor yang dapat dilihat pada Tabel 4.8^[22]. Tabel tersebut menunjukkan terjadi penurunan nilai efisiensi inhibitor dari penambahan 6 ml sirup ubi ungu sebesar 79,4% menjadi 76,2 % pada penambahan 8 ml. Dari penelitian ini ditunjukkan adanya titik optimum efisiensi inhibitor pada penambahan ekstrak ubi ungu yaitu sebesar 6 ml. Namun, pada penelitian yang dilakukan Adhi Nugroho (2011) digunakan larutan atau media korosif NaCl 3,5% dalam jumlah yang lebih sedikit (300 ml) dibandingkan pada penelitian ini (520 ml) sehingga tidak dapat disimpulkan pada penelitian ini pola yang sama akan terjadi, yaitu penambahan 8 ml sirup ubi ungu akan terjadi penurunan efisiensi inhibitor.

Pada penelitian ini variasi penambahan hanya sampai 6 ml penambahan sirup ubi ungu. Pada penambahan ini belum didapatkan pola penurunan efisiensi dengan penambahan konsentrasi inhibitor pada titik tertentu dan tidak dapat disamakan dengan penelitian yang dilakukan oleh Adhi Nugroho (2011). Namun bila dilihat dari grafik pengaruh penambahan inhibitor terhadap efisiensi yang ditunjukkan pada Gambar 4.8, dapat dianalisa bahwa penambahan inhibitor dari 4 ml ke 6 ml hanya menunjukkan kenaikan yang tidak lagi signifikan seperti yang ditunjukkan pada nilai efisiensi inhibitor pada penambahan inhibitor 2 ml ke 4 ml. Dari gradien garis yang ditunjukkan pada Gambar 4.8 dapat dianalisa bahwa pola yang mungkin terjadi adalah peningkatan yang sangat kecil lalu menurun atau bahkan menurun bila ditambahkan volume inhibitor lebih dari 6 ml. oleh karena

itu dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan 6 ml pada penelitian ini mendekati volume penambahan sirup ubi ungu yang optimal.



Gambar 4.3 Grafik pengaruh penambahan volume inhibitor terhadap efisiensi inhibitor

Tabel 4.8 Efisiensi inhibitor dengan metode polarisasi^[22]

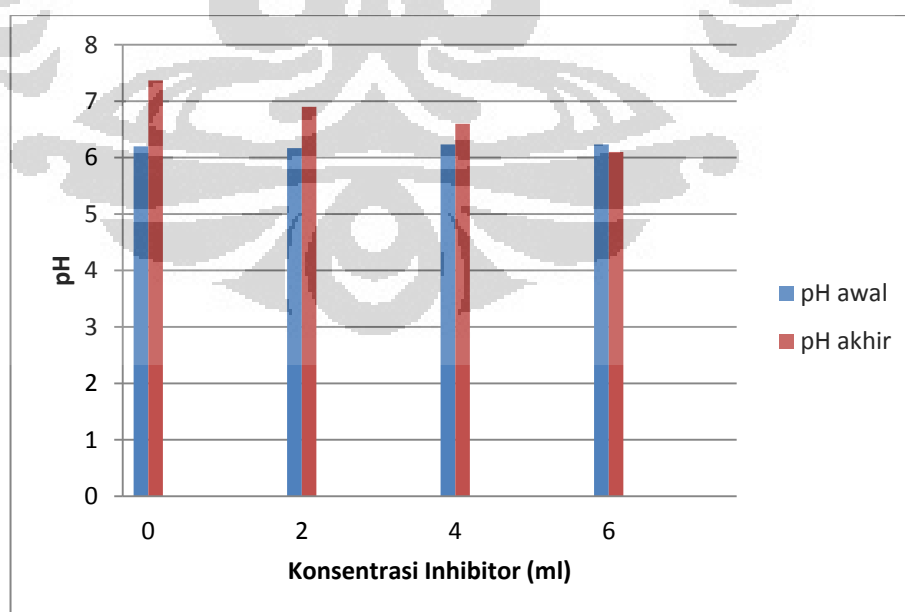
Volume Inhibitor	Laju Korosi (mpy)	Efisiensi Inhibitor (%)
0	10,2	-
2	4,7	53,9
4	3,5	65,9
6	2,1	79,4
8	2,4	76,2

Pada penelitian yang dilakukan Fadila Iman Fardianto (2010) dengan menggunakan inhibitor dan material yang sama namun berbeda lingkungan (HCl 1 M), didapatkan nilai efisiensi inhibitor yang tinggi. Pada penelitian tersebut didapatkan nilai efisiensi hingga 92,6% pada penambahan 6 ml sirup ubi ungu. Bila dibandingkan pada penelitian ini dengan lingkungan NaCl 3,5%, dapat disimpulkan bahwa inhibitor ekstrak ubi ungu bekerja lebih baik pada lingkungan asam. Hal ini disebabkan antosianin, senyawa antioksidan yang terkandung dalam ekstrak ubi ungu, stabil pada pH rendah (asam) yaitu pH 3,5^[18]. Faktor derajat keasaman atau pH inilah yang mungkin mempengaruhi efisiensi inhibitor dari sirup ubi ungu.

4.2.6 Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Terhadap Perubahan pH Lingkungan

Tabel 4.6 menunjukkan data-data hasil pengukuran pH larutan. Dari hasil pengukuran didapatkan perubahan pH pada penambahan inhibitor ubi ungu 2 ml, 4 ml dan 6 ml secara berturut –turut adalah 0,7333, 0,3667 dan -0,1333. Pada sampel non-inhibisi didapatkan peningkatan pH sebesar 1,1667 dari 6,2 (pH awal) menjadi 7,3667 pada akhir masa pencelupan. Pada penambahan volume inhibitor 2 ml dan 4 ml didapatkan peningkatan nilai pH menjadi lebih basa bila dibandingkan dengan pH pada saat awal pencelupan. Sedangkan pada penambahan 6 ml, didapatkan nilai pH akhir pencelupan lebih rendah dibandingkan dengan pH di awal. Dan bila dilihat dari pH akhir pada penambahan sirup ubi ungu 2 ml, 4 ml dan 6 ml didapatkan pola nilai pH yang semakin menurun atau semakin asam.

Pada Gambar 4.4, Grafik pengaruh penambahan konsentrasi inhibitor terhadap pH larutan, didapatkan pola nilai pH yang menurun pada nilai pH akhir seiring dengan penambahan inhibitor. Hal ini disebabkan oleh sirup ubi ungu yang memiliki pH yang lebih rendah (pH ubi ungu =1,6), sehingga terjadi penurunan nilai pH seiring dengan meningkatnya penambahan inhibitor ubi ungu.

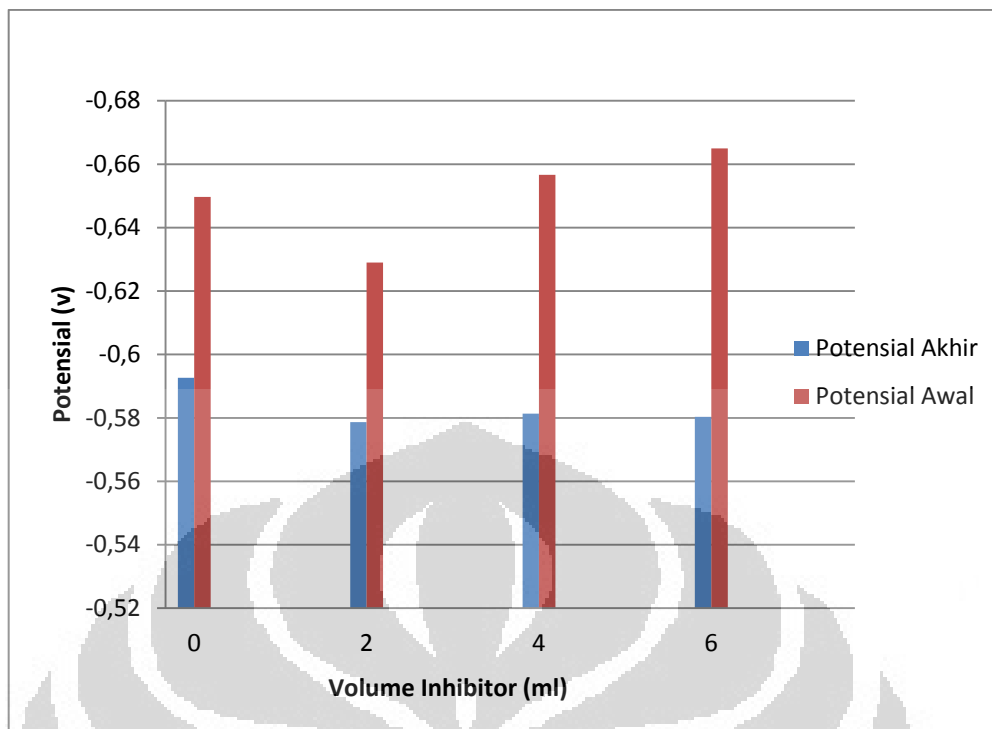


Gambar 4.4 Grafik pengaruh penambahan konsentrasi inhibitor terhadap pH larutan

4.2.7 Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Terhadap Perubahan Potensial

Pada Tabel 4.7 tertera data-data hasil pengukuran potensial awal, potensial akhir serta perubahan potensial yang terjadi. Pada sampel non-inhibisi dan juga sampel yang terinhibisi didapatkan penurunan nilai potensial logam (semakin negatif). Pada sampel non-inhibisi didapatkan perubahan potensial 0,057 v menjadi lebih negatif dari potensial awal -0,5927 v menjadi -0,65 v. Pada penambahan inhibitor 2 ml didapatkan perubahan sebesar 0,05 v dari -0,5787 v pada potensial awal menjadi -0,629 v pada potensial akhir. Pada penambahan inhibitor 4 ml didapatkan perubahan sebesar 0,075 v dari -0,5813 v pada potensial awal menjadi -0,657 v pada potensial akhir. Sedangkan pada penambahan inhibitor 6 ml didapatkan perubahan sebesar 0,085 v dari -0,5803 v pada potensial awal menjadi -0,665 v pada potensial akhir.

Dari data-data perubahan potensial tersebut menunjukkan potensial logam menjadi lebih negatif baik pada sampel non-inhibisi maupun pada sampel yang terinhibisi. Pada proses oksidasi baja karbon, terjadi pelepasan elektron sehingga seharusnya logam sampel menjadi lebih positif. Bila mekanisme perlindungan korosi inhibitor adalah sebagai donor elektron, maka potensial akhir logam juga seharusnya menjadi lebih positif. Sehingga dapat disimpulkan kemungkinan mekanisme inhibitor sebagai donor elektron tidak terjadi. Kemungkinan yang terjadi adalah inhibitor membentuk lapisan antarmuka antara logam dengan larutan NaCl 3,5% sehingga menghambat laju korosi (sehingga potensial akhir tidak naik).



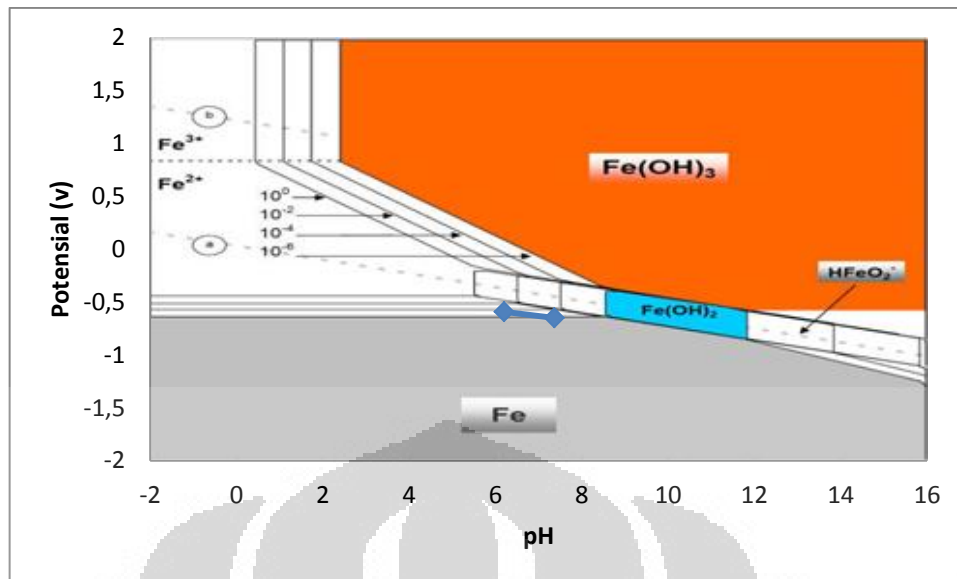
Gambar 4.5 Grafik pengaruh penambahan inhibitor terhadap potensial logam

4.2.8 Hubungan Penambahan Inhibitor terhadap Kondisi Logam Berdasarkan Diagram Pourbaix

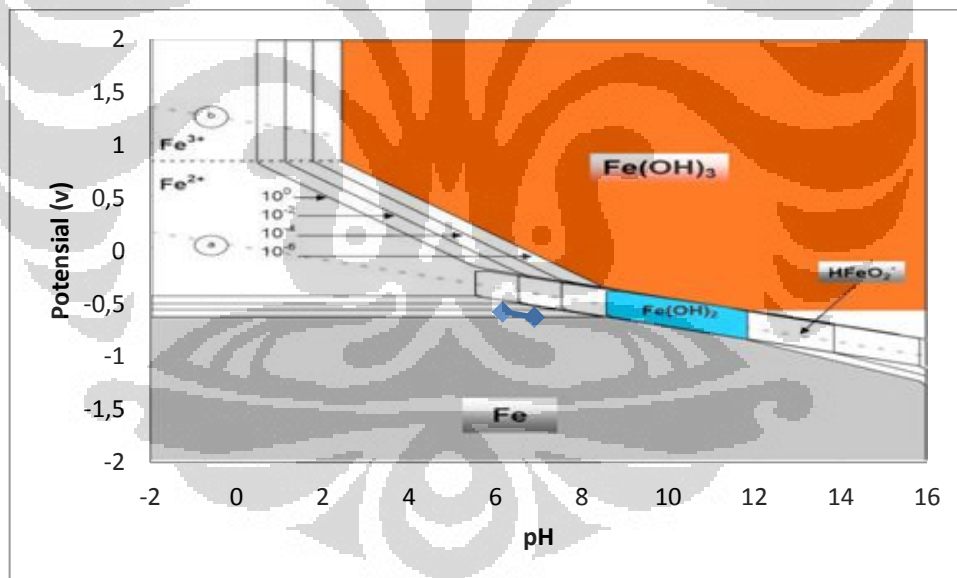
Untuk mengetahui pengaruh penambahan inhibitor terhadap kondisi lingkungan dan potensial logam, maka data pada Tabel 4.8 akan diplot ke dalam diagram Pourbaix.

Tabel 4.9 Nilai rata-rata perubahan potensial dan pH sampel

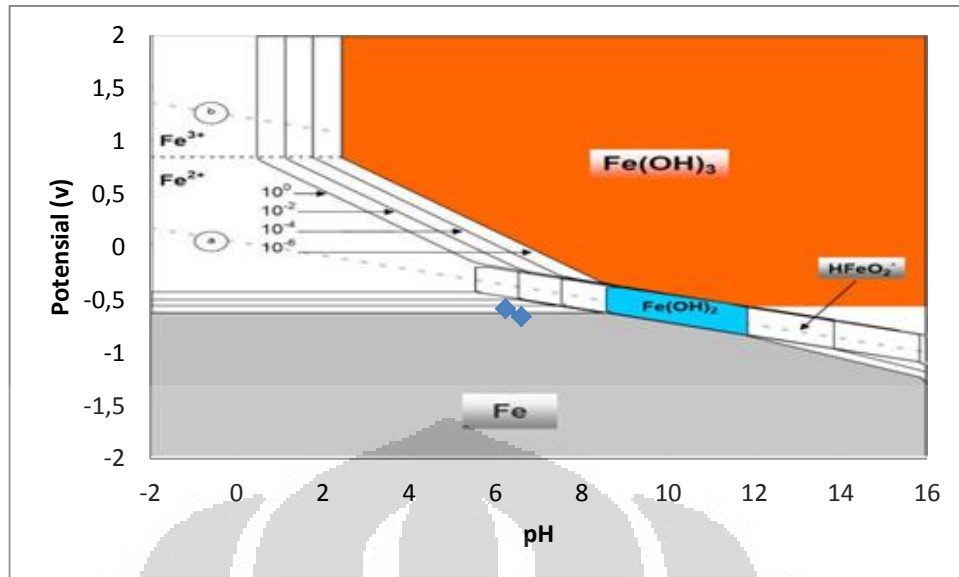
Penambahan inhibitor (ml)	pH awal	pH akhir	Potensial awal	Potensial akhir
0	6,2	7,3667	-0,5927	-0,65
2	6,1667	6,9	-0,5787	-0,629
4	6,2333	6,6	-0,5813	-0,657
6	6,2333	6,1	-0,5803	-0,665



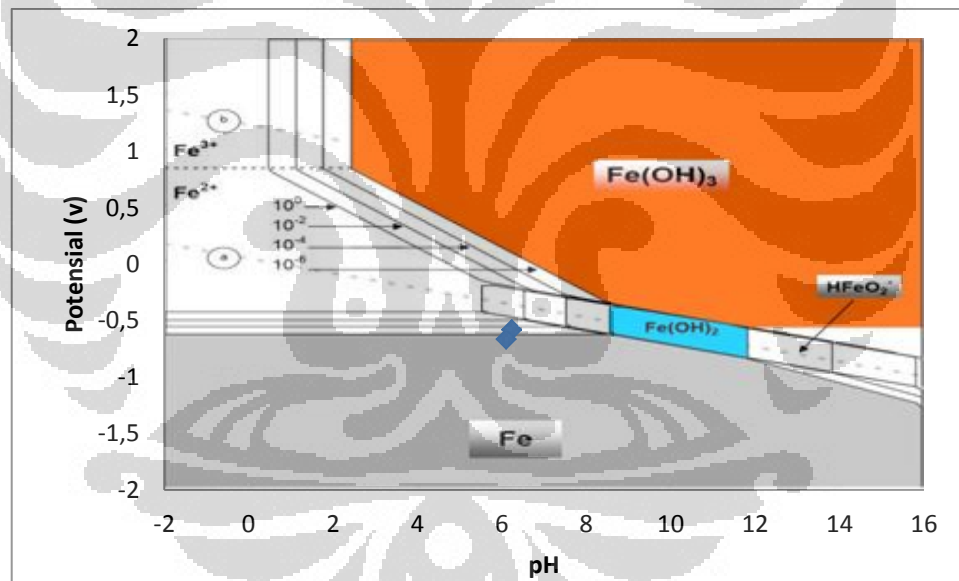
Gambar 4.6 Plot perubahan potensial dan pH sampel dengan tanpa penambahan inhibitor ubi ungu pada diagram Pourbaix



Gambar 4.7 Plot perubahan potensial dan pH sampel dengan penambahan inhibitor ubi ungu 2 ml pada diagram Pourbaix



Gambar 4.8 Plot perubahan potensial dan pH sampel dengan penambahan inhibitor ubi ungu 4 ml pada diagram Pourbaix



Gambar 4.9 Plot perubahan potensial dan pH sampel dengan penambahan inhibitor ubi ungu 6 ml pada diagram Pourbaix

Dari gambar hasil plot ke dalam diagram Pourbaix terlihat bahwa sampel tanpa penambahan inhibitor berada pada daerah yang terkorosi. Pada sampel-sampel yang diberikan penambahan inhibitor juga berada pada daerah yang sama. Dari perbandingan ini, didapatkan bahwa penambahan inhibitor tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap lingkungan. Hal ini membuktikan bahwa

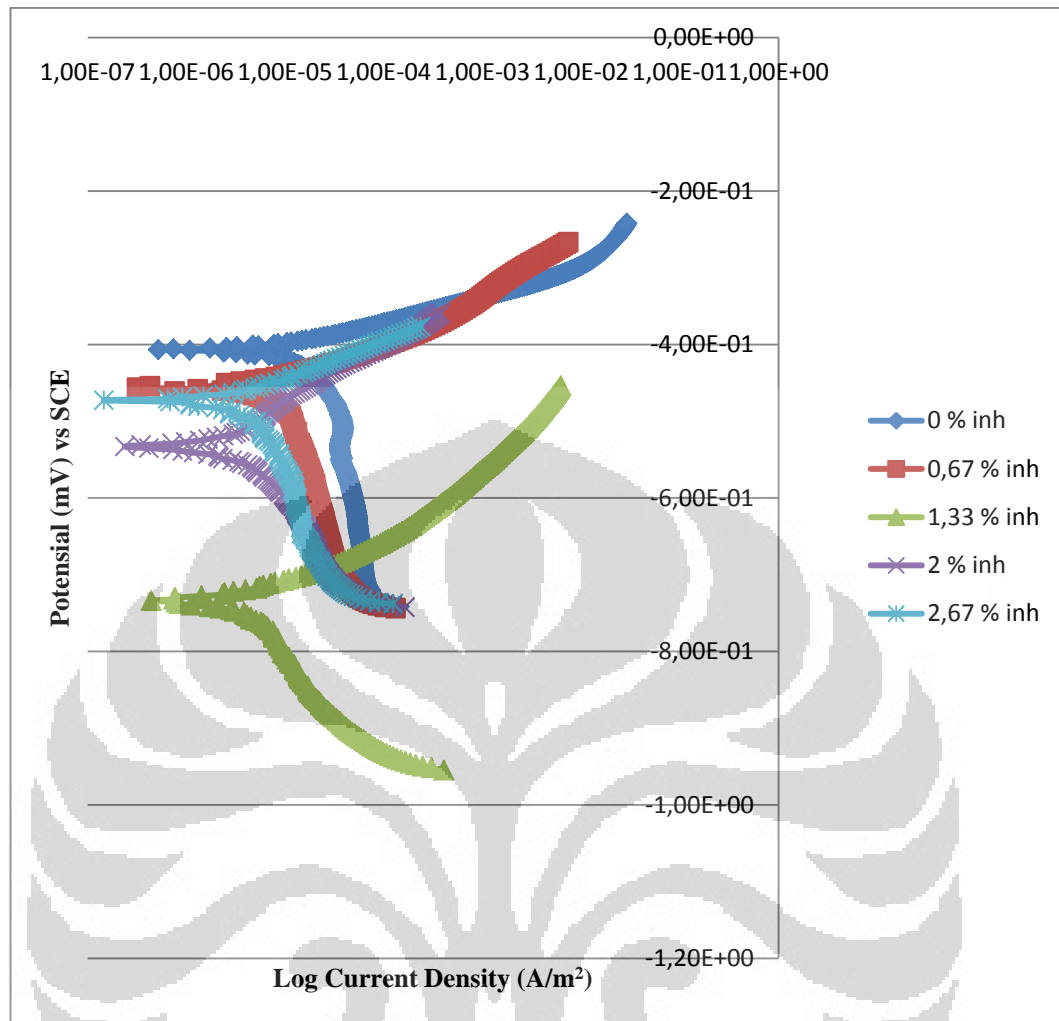
penambahan inhibitor tidak mampu mendorong potensial logam dan pH menuju daerah pasif (Fe_2O_3 dan Fe_3O_4).

4.2.9 Mekanisme Inhibitor Korosi

Pada pengujian inhibitor organik alami atau *green inhibitor* yang biasa menggunakan ekstrak tumbuh-tumbuhan atau biji-bijian, terdapat banyak senyawa-senyawa organik yang terkandung. Oleh karena itu sangat sulit untuk menentukan mekanisme perlindungan korosi yang pasti. Banyaknya senyawa-senyawa organik yang terkandung dapat memberikan perilaku dan efek yang berbeda-beda terhadap perlindungan korosi yang terjadi. Namun dikarenakan kandungan antosianin yang tinggi pada ekstrak ubi ungu, senyawa antosianin inilah yang menjadi sorotan utama.

Dari penelitian yang dilakukan Adhi Nugroho (2011), dengan metode polarisasi dan inhibitor yang sama didapatkan kurva polarisasi yang ditunjukkan pada Gambar 4.10^[22]. Kurva polarisasi yang ditunjukkan pada Gambar 4.10, terjadi perlambatan reaksi katodik yang terlihat dari nilai E_{corr} dan I_{corr} pada daerah polarisasi katodik. Hal ini menunjukkan adanya penghambatan dari reaksi di katoda pada polarisasi.

Sehingga dapat disimpulkan mekanisme yang terjadi adalah mekanisme pembentukan film atau katodik inhibitor. Lapisan film terbentuk sebagai akibat dari molekul-molekul inhibitor yang teradsorpsi ke permukaan logam, dengan ketebalan beberapa molekul. Mekanisme ini memperlambat reaksi katodik dengan mengubah potensial ke arah negatif. Hal inilah kemungkinan yang menyebabkan potensial akhir logam yang terjadi menjadi lebih negatif.



Gambar 4.10 Kurva polarisasi penambahan 0 ml, 4 ml, 6 ml, dan 8 ml inhibitor^[22]

BAB V

KESIMPULAN

1. Inhibitor sirup ubi ungu dapat menurunkan laju korosi baja karbon rendah pada lingkungan NaCl 3,5%.
2. Laju korosi semakin menurun seiring dengan penambahan konsentrasi sirup ubi ungu. Laju korosi terkecil terjadi pada penambahan 6 ml ekstrak ubi ungu dengan laju korosi sebesar 3,783 mpy.
3. Efisiensi inhibitor meningkat seiring dengan penambahan konsentrasi inhibitor. Efisiensi inhibitor paling kecil terjadi pada penambahan 2 ml sebesar 7,95% dan terbesar pada penambahan 6 ml sebesar 49,49%. Efisiensi paling optimal terdapat pada penambahan 6 ml inhibitor.
4. Inhibitor sirup ubi ungu tidak mampu mendorong potensial logam dan pH ke arah pasif pada diagram Pourbaix.
5. Inhibitor sirup ubi ungu tergolong dalam *interface inhibitor* katodik. Mekanisme perlindungan yang terjadi adalah pembentukan lapisan antarmuka logam dengan larutan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Jones, Denny A. (1992). *Principle and Prevention of Corrosion*. Macmillan Publishing Company, New York.
2. Tretheway, K.R. dan J. Chamberlain. (1991). *Korosi untuk Mahasiswa dan Rekasayawan*. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama.
3. Dalimunthe, Indra Surya. *Kimia dari Inhibitor Korosi*. Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
4. <http://digilib.its.ac.id/public/ITS-Undergraduate-10934-Chapter1.pdf>. Diakses 5 Juni 2011.
5. <http://www.kamusilmiah.com/pangan/antioksidan-dan-peranannya-bagi-kesehatan/>. Diakses 5 Juni 2011.
6. <http://ptp2007.wordpress.com/2008/07/08/ekstraksi-antosianin-dari-ubi-jalar/>. Diakses 2 Juni 2011.
7. Abdul Kahar, dkk ”Penentuan Konsentrasi Optimal Inhibitor Korosi pada Baja Karbon API 5L Grade B”
8. <http://www.reindo.co.id/reinfokus/edisi24/korosi.htm>. Diakses 3 Juni 2011.
9. Manganon, Pat L. (1999). *The Principles of Material Selection for Engineering Design*. Florida: Prentice Hall
10. Panjaitan, Leon Valentino P.S. (2009). *Laporan Kerja Praktek Korosi Pin dan Box pada Drill Pipe PT. Indrillco Bakti*. Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

11. Halimatuddahlia. *Pencegahan Korosi dan Scale pada Proses Produksi Minyak Bumi*. Progam Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
12. ASM International. (1992). *Metals Handbook Volume 13: Corrosion (4th ed)*. Philadelphia: Korb, Lawrence J., & David L. Olson.
13. Elsevier Science & Technology Books, *Principle of Corrosion Engineering and Corrosion Control* (IChem Publisher, September 2006)
14. http://www.unene.ca/un1001/UN1001_GENERAL%CORROSION.ppt. Diakses 4 Juni 2011.
15. Roberge, Pierre R. (2000). *Handbook of Corrosion Engineering*. New York: McGraw-Hill.
16. Sastri, V.S Ghali, Edward & Elboudjaini, Mimoun. (2007). *Corrosion Preventive and Protection Practical Solution*. John Wiley & Sons, Inc.
17. Papaviansam, S. *Corrosion Inhibitors*, Canmet Materials Technology Laboratory.
18. <http://lib.uin-malang.ac.id/files/thesis/fullchapter/04530008.ps>. Diakses 5 Juni 2011.
19. Plorentino, Gracio. (2011). “Studi Penambahan Inhibitor X Hasil Ekstraksi Ubi Ungu Sebagai Inhibitor Organik Dalam Lingkungan NaCl 3.5% Pada Lembaran Baja Karbon Rendah” Skripsi, Universitas Indonesia,
20. Callister, William D. (2003). *Materials Science and Engineering, An Introduction*. 6th ed., John Wiley & Sons, Inc.
21. Listanto, Candra. (2011). *Studi Pengaruh Konsentrasi Penambahan Sirup Ubi Ungu Sebagai Inhibitor Organik untuk Material Baja SPCC pada Air*

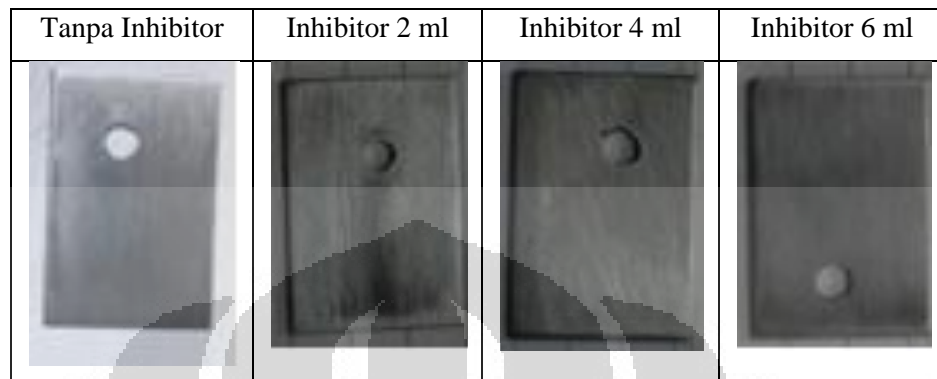
- Demineralisasi Dengan Penambahan CO₂*. Skripsi, Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
22. Nugroho, Adhi. (2011). *Pengaruh Penambahan Inhibitor Organik Ekstrak Ubi Ungu Terhadap Laju Korosi Pada Material Baja Low Carbon Di Lingkungan NaCl 3,5%*. Skripsi, Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
23. Kim, Youngmok and Goodner, Kevin. (2009). Factors Influencing Quick Oxidation of Purple Potatoes.
24. <http://www.ui.ac.id/id/news/archive/5517>. Diakses pada 17 Januari 2012
25. http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=crevice_corrosion. Diakses 17 Januari 2012
26. <http://events.nace.org/library/corrosion/aircraft/galv-exam1.asp>. Diakses 17 Januari 2012
27. http://www.corrosionclinic.com/types_of_corrosion/pitting_corrosion.htm. Diakses 17 Januari 2012.
28. <http://meccajameela.blogspot.com/2010/10/anthocyanin-and-anthocyanidin.html>. Diakses 17 Januari 2012.
29. <http://ibnusulamin.blogspot.com/2011/04/uniform-corrosion.html>. Diakses 17 Januari 2012.
30. Dwi, Rosita, Harmami. (2009). *Studi Inhibisi Korosi Baja Austenitik 304 Dalam Media NaCl 3% Dengan Menggunakan Inhibitor Asam-Asam Lemak Hasil Hidrolisis Minyak Biji Kapuk*. Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Sepuluh Nopember Surabaya.

31. Ardianto, Fadila Iman. (2010). *Studi Pengaruh Konsentrasi Ekstrak Ubi Ungu Sebagai Green Inhibitor Untuk Material Baja Karbon Rendah Pada Lingkungan HCl 1M*. Skripsi, Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
32. Maulana, Toffan. (2007). *Pengaruh Penambahan Inhibitor Sodium Nitrit dan Sodium Polyphosphate Pada Lingkungan NaCl Terhadap Laju Korosi Material Baja Karbon Rendah Dengan Metode Kehilangan Berat*. Skripsi, Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

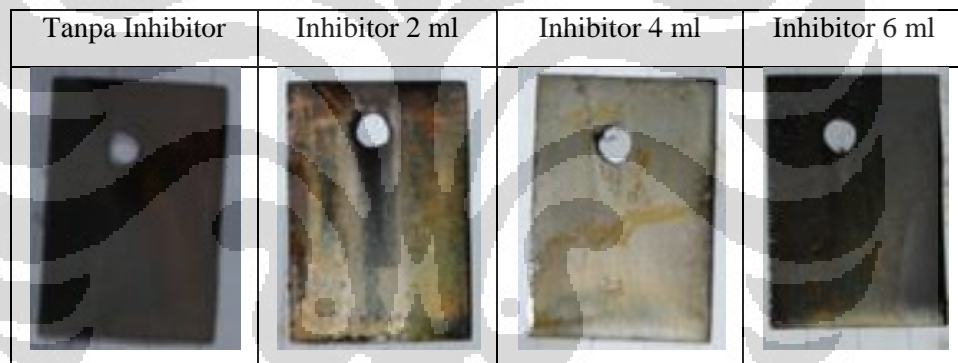


LAMPIRAN

Lampiran 1. Foto sampel sebelum pencelupan



Lampiran 2. Foto sampel setelah dilakukan pengujian



Lampiran 3. Foto ekstrak ubi ungu dalam bentuk sirup



Lampiran 4. Spesifikasi baja SPCC

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

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. ketidakpastian 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

Lampiran 5. Tabel kehilangan berat sampel

Kupon		Status Inhibitor	W0 (gr)	W1 (gr)	ΔW (gr)	Rata - rata ΔW (gr)
A	1	Tanpa Inhibitor	4.7713	4.749	0.0223	0.0264
	2		4.7071	4.6804	0.0267	
	3		4.774	4.7438	0.0302	
B	1	Penambahan 2ml	4.7118	4.674	0.0378	0.0243
	2		4.6899	4.6693	0.0206	
	3		4.7687	4.7542	0.0145	
C	1	Penambahan 4ml	4.7955	4.7814	0.0141	0.01363333
	2		4.6053	4.5939	0.0114	
	3		4.6648	4.6494	0.0154	
D	1	Penambahan 6ml	4.7584	4.7453	0.0131	0.01333333
	2		4.6581	4.6441	0.014	
	3		4.74	4.7271	0.0129	

Lampiran 6. Tabel laju korosi dan efisiensi inhibitor

Kupon		Status Inhibitor	ΔW (gr)	Corrosion Rate (MPY)	Rata - Rata CR (MPY)	Efisiensi Inhibitor
A	1	Tanpa Inhibitor	0.0223	6.328267941	7.49176115	0
	2		0.0267	7.576894799		
	3		0.0302	8.570120709		
B	1	Penambahan 2ml	0.0378	10.72683983	6.895825604	7.95454545
	2		0.0206	5.845843927		
	3		0.0145	4.114793056		
C	1	Penambahan 4ml	0.0141	4.001281523	3.868851402	48.3585859
	2		0.0114	3.235078678		
	3		0.0154	4.370194004		
D	1	Penambahan 6ml	0.0131	3.717502692	3.783717752	49.4949495
	2		0.014	3.97290364		
	3		0.0129	3.660746925		

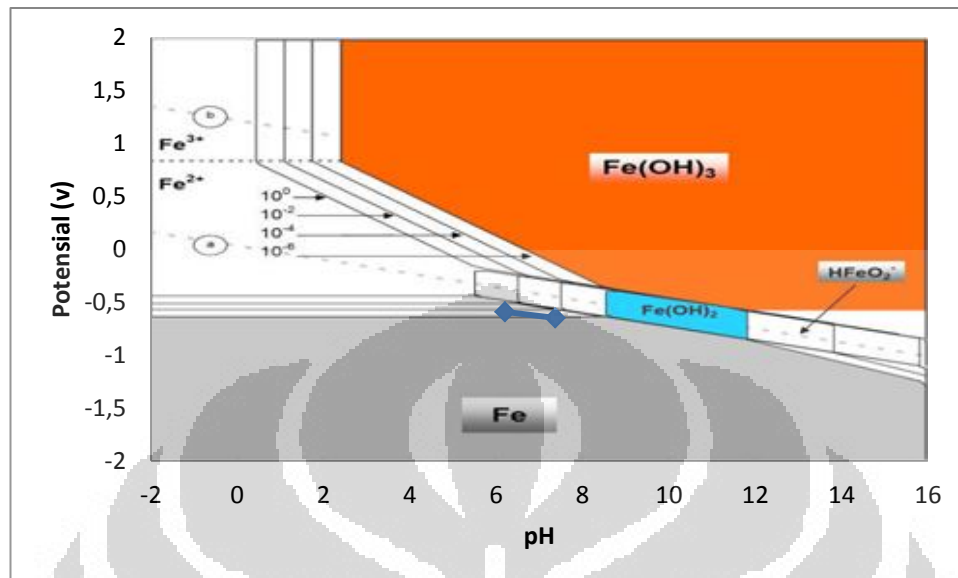
Lampiran 7. Tabel data pH larutan NaCl 3,5%

Kupon	Keadaan Inhibitor	pH				Selisih Perubahan pH
		pH Awal	Rata-rata pH Awal	pH Akhir	Rata-rata pH Akhir	
A	1	6,2	6,2	7,3	7,3666667	1,1666667
	2	6,2		7,3		
	3	6,2		7,5		
B	1	6,1	6,1666667	6,9	6,9	0,7333333
	2	6,2		6,9		
	3	6,2		6,9		
C	1	6,2	6,2333333	6,6	6,6	0,3666667
	2	6,2		6,6		
	3	6,3		6,6		
D	1	6,2	6,2333333	6,1	6,1	-0,1333333
	2	6,3		5,9		
	3	6,2		6,3		

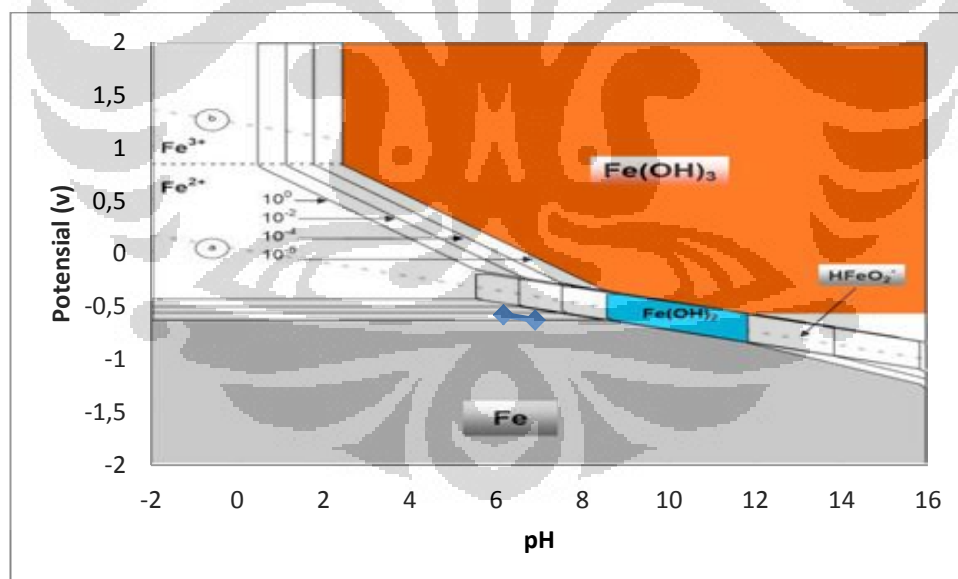
Lampiran 8. Tabel Data potensial logam vs Ag/AgCl

Kupon	Status Inhibitor	Potensial					
		Potensial awal(vs Ag/AgCl) (V)	Rata - rata potensial awal(vs Ag/AgCl) (V)	Potensial akhir(vs Ag/AgCl) (V)	Rata - rata potensial akhir(vs Ag/AgCl) (V)	Perubahan potensial (V)	Perubahan rata - rata
A	1	-0,595		-0,636		0,041	0,057
	2	-0,584	-0,5927	-0,661	-0,65	0,077	
	3	-0,599		-0,652		0,053	
B	1	-0,576		-0,53		-0,046	0,050333
	2	-0,583	-0,5787	-0,681	-0,629	0,098	
	3	-0,577		-0,676		0,099	
C	1	-0,576		-0,664		0,088	0,075333
	2	-0,578	-0,5813	-0,663	-0,657	0,085	
	3	-0,59		-0,643		0,053	
D	1	-0,58		-0,662		0,082	0,084667
	2	-0,58	-0,5803	-0,669	-0,665	0,089	
	3	-0,581		-0,664		0,083	

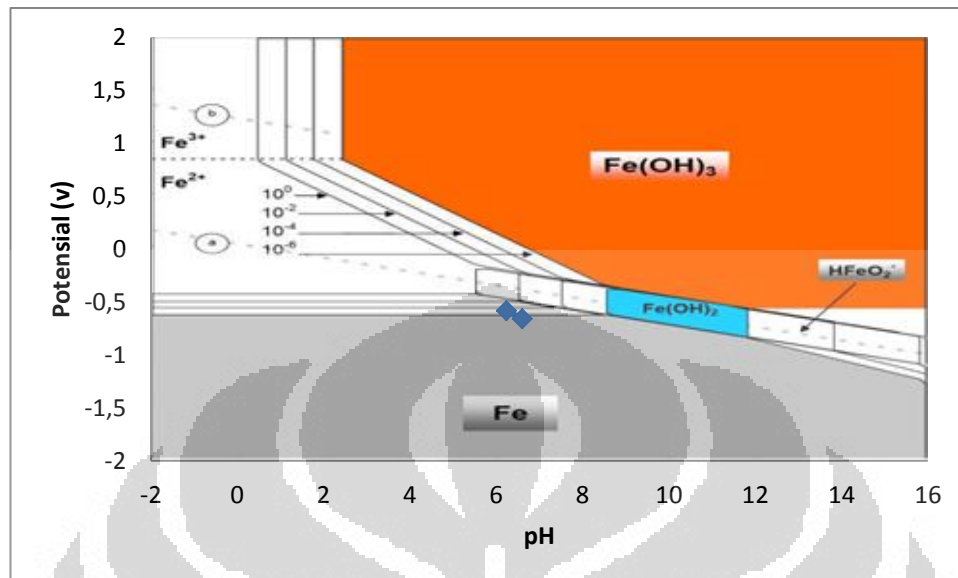
Lampiran 9. Plot perubahan pH dan potensial pada diagram purbaix untuk sampel non-inhibisi



Lampiran 10. Plot perubahan pH dan potensial pada diagram purbaix untuk sampel 2 ml inhibisi



Lampiran 11. Plot perubahan pH dan potensial pada diagram purbaix untuk sampel 4 ml inhibisi



Lampiran 10. Plot perubahan pH dan potensial pada diagram purbaix untuk sampel 6 ml inhibisi

