

**EFEKTIVITAS EKSTRAK DAUN SIRSAK SEBAGAI INHIBITOR PADA
BAJA KARBON API 5L DALAM LARUTAN NaCl 3%**

(Skripsi)

Oleh

APRIYANTO SUPRIYO GIRI



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2016**

ABSTRAK

EFEKTIVITAS EKSTRAK DAUN SIRSAK SEBAGAI INHIBITOR PADA BAJA KARBON API 5L DALAM LARUTAN NaCl 3%

Oleh

APRIYANTO SUPRIYO GIRI

Telah dilakukan penelitian mengenai efektivitas ekstrak daun sirsak sebagai inhibitor pada baja karbon API 5L dalam larutan NaCl 3%. Perendaman baja karbon API 5L dalam larutan NaCl 3% dilakukan selama 144 jam dengan variasi konsentrasi penambahan inhibitor ekstrak daun sirsak 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, dan 35%. Pengujian laju korosi dilakukan dengan metode kehilangan berat dan metode elektrokimia. Hasil penelitian menunjukkan semakin besar konsentrasi inhibitor ekstrak daun sirsak yang digunakan maka laju korosi akan semakin berkurang dan kemampuan menginhibisi korosi akan meningkat. Efektivitas korosi yang paling besar terjadi pada konsentrasi 35% pada lingkungan NaCl 3% dengan efektivitas adalah 86,16%. Hasil karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) memperlihatkan bahwa fasa yang terbentuk adalah Fe murni. Karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) memperlihatkan *cluster* (gumpulan) tidak merata dan ukuran lebih kecil, lubang (*hole*) dan retakan (*crack*) juga lebih sedikit dengan inhibitor 35% dibandingkan dengan inhibitor 0% ekstrak daun sirsak. Karakterisasi *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) pada sampel dengan inhibitor 0% didapatkan unsur Cl.

Kata kunci: Baja karbon API 5L, ekstrak daun sirsak, inhibitor korosi, dan NaCl.

ABSTRACT

THE EFFECTIVENESS OF SOURSOP LEAVES EXTRACT AS INHIBITORS ON CARBON STEEL API 5L IN NaCl 3%

By

APRIYANTO SUPRIYO GIRI

The effectiveness of soursop leaves extract as inhibitor on carbon steel API 5L in NaCl 3% had been researched. Carbon steel API 5L submersion used NaCl 3% had been done for 144 hours with various concentrations of soursop leaves extract inhibitor adding 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, and 35%. The research of corrosion rate was done by weight loss and electrochemistry methods. The result showed that the higher percentage of soursop leaves extract inhibitor used, the corrosion rate will decrease and capability of inhibit corrosion will increase. The greatest effectiveness of corrosion occurred at concentration of 35% in NaCl 3% and the effectiveness is 86,16%. The X-Ray Diffraction (XRD) characterization result showed that the phase formed is pure Fe. Scanning Electron Microscopy (SEM) characterization showed uneven clusters and smaller size, fewer holes and cracks too with soursop leaves extract inhibitor 35% than soursop leaves extract inhibitor 0%. Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) characterization on sample with inhibitor 0% obtained Cl element.

Key words: Carbon steel API 5L, corrosion inhibitor, NaCl and soursop leaves.

**EFEKTIVITAS EKSTRAK DAUN SIRSAK SEBAGAI INHIBITOR PADA
BAJA KARBON API 5L DALAM LARUTAN NaCl 3%**

Oleh

APRIYANTO SUPRIYO GIRI

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016**

Judul Skripsi

**: EFEKTIVITAS EKSTRAK DAUN SIRSAK
SEBAGAI INHIBITOR PADA BAJA
KARBON API 5L DALAM LARUTAN
NaCl 3%**

Nama Mahasiswa

: Apriyanto Supriyo Giri

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1217041008

Jurusan

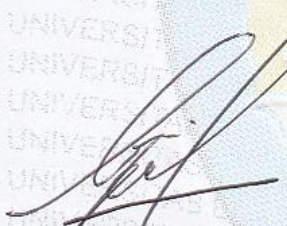
: Fisika

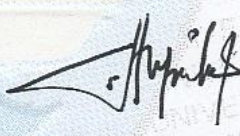
Fakultas

: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Drs. Ediman Ginting Suka, M.Si.
NIP 19570825 198603 1 002


Suprihatin, S.Si., M.Si.
NIP 19730414 199702 2 001

2. Ketua Jurusan Fisika


Arif Surtono, M.Si., M.Eng.
NIP 19710909 200012 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Drs. Ediman Ginting Suka, M.Si.**

Sekretaris : **Suprihatin, M.Si.**

Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Yanti Yulianti, M.Si.**

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Prof. Dr. Warsito, S.Si., D.E.A.
NIP 19710212 199512 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 10 Oktober 2016

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain. Sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebut dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 07 Oktober 2016



Apriyanto Supriyo Giri
NPM. 1217041008



RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, Kelurahan Kelapa Tiga Kecamatan Tanjung Karang Pusat Bandar Lampung pada tanggal 12 April 1994. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Bapak Teguh dan Ibu Yatinem. Penulis menyelesaikan pendidikan di SDN 1 Kaliawi tahun 2006, SMPN 25 Bandar Lampung pada tahun 2009, dan SMAN 16 Bandar Lampung pada tahun 2012.

Selanjutnya pada tahun 2012 penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam melalui jalur Penerimaan Mahasiswa Perluasan Akses Pendidikan (PMPAP). Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di kegiatan kampus yaitu Badan Eksekutif Mahasiswa sebagai Anggota Pemberdayaan Pengembangan Sumber Daya Manusia (PPSDM) pada tahun 2013-2014, Lembaga Pers NATURAL FMIPA sebagai Anggota Kaderisasi pada tahun 2013-2014, dan Himpunan Mahasiswa Fisika sebagai Kepala Bidang Sosial Masyarakat (SOSMAS) dari tahun 2014-2015. Penulis melakukan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Balai Besar Kulit, Karet, dan Plastik (BBKLP) Yogyakarta dengan judul “Uji Ketahanan Gosok Warna Tutup, *Glace Story* Baik Keadaan Basah maupun Kering pada Proses Penyamakan Kulit Kambing. Penulis juga pernah menjadi asisten praktikum Fisika Dasar, Sol Gel, Sains Dasar Fisika, Elektronika Dasar I, Fisika Komputasi, Fisika Medik dan Fisika Eksperimen. Kemudian penulis melakukan penelitian “Efektivitas Ekstrak Daun Sirsak sebagai Inhibitor pada Baja Karbon API 5L dalam Larutan NaCl 3%” sebagai tugas akhir di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNILA.

MOTTO

“Live with passion today and every day”

“Jadilah yang terbaik diantara yang terbaik”

“Do the best, be good, then you will be the best”

“Hadapilah semua masalah dengan senyuman”

Aku persembahkan karya kecilku ini kepada

ALLAH SWT

KEDUA ORANG TUA KU, YANG SELALU
MENDO'AKANKU, MENGASIHIKU, Mendukungku,
MENYEMANGATIKU, DAN SEBAGAI MOTIVATOR
TERBESAR DALAM HIDUPKU

ADIK-ADIKKU SERTA KELUARGA BESAR YANG
MENJADI PENYEMANGATKU

TEMAN SEPERJUANGANKU DAN ANGKATAN '12

ALMAMATER TERCINTA.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan kesehatan dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“EFEKTIVITAS EKSTRAK DAUN SIRSAK SEBAGAI INHIBITOR PADA BAJA KARBON API 5L DALAM LARUTAN NaCl 3%”**. Tujuan penulisan skripsi ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar S1 dan melatih mahasiswa untuk berpikir cerdas dan kreatif dalam menulis karya ilmiah. Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam skripsi ini.

Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua. Amin.

Bandar Lampung, September 2016
Penulis,

Apriyanto Supriyo Giri

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena atas kuasa-Nya penulis masih diberikan kesempatan untuk mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah banyak membantu dalam penyelesaian penelitian dan skripsi ini, terutama kepada:

1. Bapak Drs. Ediman Ginting Suka, M.Si, sebagai Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan arahan yang mendukung dari awal sampai akhir penulisan.
2. Ibu Suprihatin, M.Si sebagai Pembimbing II yang senantiasa sabar dalam mengoreksi skripsi dan memberikan masukan-masukan serta nasehat untuk menyelesaikan skripsi ini dari awal sampai akhir penulisan.
3. Ibu Dr. Yanti Yulianti, M.Si., sebagai Penguji yang telah mengoreksi kekurangan, memberi kritik dan saran selama penulisan skripsi.
4. Kedua orangtuaku bapak Teguh dan ibu Yatinem, Budeku Karmini yang luar biasa selalu menyemangatiku serta adik-adikku Anggito Fajar Priansyah, Fitri Lintang Cahyani, Fresca Alya Ningtyas. Terimakasih untuk kehadirannya dalam hidupku yang senantiasa memberikan dukungan, do'a dan semangat yang luar biasa, serta kebersamaan sampai penulis menyelesaikan skripsi.

5. Bapak Prof. Posman Manurung, Ph.D., sebagai Pembimbing Akademik, yang telah memberikan bimbingan serta nasehat dari awal perkuliahan sampai menyelesaikan tugas akhir.
6. Ibu Dr. Yanti Yulianti, M.Si., selaku Ketua Jurusan dan para dosen serta karyawan di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
7. Seseorang yang mengasihi dan yang 'ku kasihi, terimakasih atas dukungan, doa, serta semangatnya.
8. Teman KK: Riandini Pratiwi, Giri Amirul Mukminin, Jayanti Pusvitasari, Abdullah Haris Tadulako, Diah Puspitasari, teman Fisika seperjuangan dan adik tingkat fisika: Renita Maharani, Juniati Br. Simbolon, Ahmad Badrus Shaleh, Yusuf Aditya Rendra, Komala Dewi, Tomi Mandala Putra, Muhammad Rasyid Sidik, Muhammad Heksar Jadid Adid, An'nisa Irnanda Abidin, dan lain-lain yang tidak bisa disebutkan satu per satu, dan HIMAFI FMIPA UNILA. Terima kasih untuk semangat, bantuan dan Do'anya.
9. Teman-teman fisika angkatan 2012 yang selama ini memberikan semangat.
10. Kakak-kakak tingkat serta adik-adik tingkat dan semua teman-teman.

Semoga Allah SWT memberikan nikmat sehat kepada kita semua. Amin.

Bandar Lampung, September 2016

Penulis

Apriyanto Supriyo Giri

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
HALAMAN PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
HALAMAN PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Batasan Masalah	5
D. Tujuan Penelitian	5
E. Manfaat Penelitian	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Korosi	7
B. Mekanisme Terbentuknya Sel Korosi	13
1. Laju Korosi	14
2. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi	15
C. Pengaruh Konsentrasi NaCl terhadap Laju Korosi	16

D. Inhibitor Korosi	18
E. Baja	19
1. Baja Karbon	19
2. Baja Paduan	21
F. Tanin	22
G. Ekstrak Daun Sirsak sebagai Inhibitor Korosi	23
1. Gambaran Umum Tumbuhan Sirsak	23
2. Kandungan Senyawa Aktif pada Daun Sirsak	24
3. Ekstraksi	24
H. XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	25
I. SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>) yang dilengkapi dengan <i>Energy Dispersive Spectroscopy</i> (EDS)	29
J. Metode Kehilangan Berat	32
K. Metode Elektrokimia	33
III. METODOLOGI PENELITIAN	
A. Waktu dan Tempat penelitian	34
B. Alat dan Bahan	34
C. Preparasi Bahan	35
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Perhitungan Laju Korosi	40
B. Metode Elektrokimia	45
C. Analisis XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	45
D. Analisis SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>) dan EDS (<i>Energy Dispersive X-Ray</i>)	50
V. KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan	58
B. Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Syarat terjadinya korosi	9
Gambar 2.2. Korosi merata (<i>uniform corrosion</i>)	10
Gambar 2.3. Korosi celah (<i>crevice corrosion</i>)	11
Gambar 2.4. Korosi sumuran (<i>pitting corrosion</i>).....	11
Gambar 2.5. Korosi retak-tegangan (<i>stress corrosion cracking</i>).....	12
Gambar 2.6. Korosi selektif (<i>selective corrosion</i>)	12
Gambar 2.7. Korosi erosi (<i>erosion corrosion</i>)	12
Gambar 2.8. Korosi mikroba (<i>microbiological corrosion</i>)	13
Gambar 2.9. Penggetasan hidrogen (<i>hydrogen embrittlement</i>)	13
Gambar 2.10. Mekanisme korosi	14
Gambar 2.11. Pengaruh konsentrasi NaCl terhadap laju korosi	17
Gambar 2.12. Tanaman sirsak	24
Gambar 2.13. Diagram sinar-X	26
Gambar 2.14. Difraksi sinar-X oleh bidang atom	27
Gambar 2.15. Sinar-X yang dihamburkan oleh atom-atom Kristal yang berjarak d	27
Gambar 2.16. Diagram SEM	30
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian	35

Gambar 4.1. Hubungan konsentrasi inhibitor dengan laju korosi ekstrak daun sirsak (<i>Annona muricata</i>)	42
Gambar 4.2. Hubungan konsentrasi inhibitor dengan efisiensi inhibitor ekstrak daun sirsak (<i>Annona muricata</i>)	43
Gambar 4.3. Difragtogram sampel 0% dan 35%	46
Gambar 4.4. Hasil SEM baja karbon API 5L dengan inhibitor 0% (a) perbesaran 500x (b) perbesaran 1000x (c) perbesaran 1.500x dan dengan inhibitor 35% (d) perbesaran 500x (e) perbesaran 1000x (f) perbesaran 1.500x.	50
Gambar 4.5. EDS sampel dengan inhibitor 0% dengan perbesaran 500x .	53
Gambar 4.6. EDS sampel dengan inhibitor 35% dengan perbesaran 500x	54

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Komposisi kimia baja API 5L	22
Tabel 3.1. Konstanta laju korosi	39
Tabel 4.1. Data penelitian baja karbon API 5L dalam larutan NaCl 3% ...	40
Tabel 4.2. Hasil perhitungan laju korosi baja karbon API 5L	41
Tabel 4.3. Perhitungan efektivitas inhibitor ekstrak daun sirsak (<i>Annona muricata</i>)	43
Tabel 4.4. Hasil uji laju korosi menggunakan metode elektrokimia	45
Tabel 4.5. Perbandingan hasil penelitian inhibitor 0% dengan data PCPDFWIN	47
Tabel 4.6. Perbandingan hasil penelitian inhibitor 35% dengan data PCPDFWIN	48
Tabel 4.7. Perbandingan unsur dan senyawa pada baja karbon API 5L dengan inhibitor 0% dan 35%	55

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Baja karbon banyak digunakan dalam beragam aplikasi di dunia industri dikarenakan mudah didapatkan dan difabrikasi. Hal tersebut disebabkan karena baja karbon memiliki kekuatan dan keuletan yang baik serta harganya yang relatif murah. Namun penggunaan baja karbon sebagai material baja berbentuk pipa ataupun baja berbentuk lempengan memiliki kelemahan yaitu baja karbon tidak tahan terhadap korosi CO₂.

Kata korosi berasal dari bahasa latin yaitu *corrodere* yang artinya perusakan logam atau berkarat (Supardi, 1997). Korosi adalah suatu proses degradasi material atau hilangnya suatu material baik secara kualitas maupun kuantitas akibat adanya proses reaksi kimia dengan lingkungannya. Lingkungannya dapat berupa air, udara, larutan, tanah, dan biologikal yang sering disebut sebagai media korosif. Secara termodinamika peristiwa korosi terjadi ketika lingkungannya memiliki potensial elektroda standar lebih positif dari suatu logam (Trethewey and Chamberlain, 1991).

Korosi merupakan masalah besar bagi bangunan dan peralatan yang menggunakan material dasar logam seperti gedung, jembatan, mesin, pipa, mobil, kapal, dan lain sebagainya (Rieger, 1992). Kerusakan yang ditimbulkan akibat

korosi akan sangat besar pengaruhnya terhadap kehidupan manusia. Dari segi ekonomi akan mengakibatkan tingginya biaya perawatan, dari segi keamanan akan menyebabkan robohnya bangunan atau jembatan, dan dari segi lingkungan akan menimbulkan adanya proses pengkaratan besi yang berasal dari berbagai konstruksi sehingga dapat mencemarkan lingkungan (Trethewey and Chamberlain, 1991).

Ada beberapa teknik untuk pengendalian korosi. Pelapisan permukaan dengan suatu lapisan tak tembus, seperti cat, dapat mencegah masuknya udara lembab. Sayangnya, pelapisan ini akan gagal dan menimbulkan kerugian jika cat menjadi berpori. Jika demikian, maka oksigen dapat masuk ke dalam logam yang tersingkap dan korosi terus berlanjut di bawah cat. Zat inhibitor adalah suatu senyawa kimia yang secara sengaja ditambahkan dengan jumlah kecil ke dalam media, yang berguna untuk memperlambat terjadinya korosi (Adriana, 2010).

Umumnya inhibitor korosi berasal dari bahan kimia sintesis yang merupakan bahan kimia yang berbahaya, harganya relatif mahal dan tidak ramah lingkungan. Salah satu alternatifnya yaitu menggunakan inhibitor yang berasal dari ekstrak bahan alam, khususnya senyawa yang mengandung atom N, O, P, S, dan atom-atom yang memiliki pasangan elektron bebas. Senyawa-senyawa yang terdapat secara alami sebagai inhibitor, terus menerus mendapat perhatian sebagai pengganti dari inhibitor organik sintesis. Oleh karena itulah, sejumlah peneliti mencoba untuk meneliti inhibitor organik alami. Inhibitor organik alami bersifat lebih *bio-degradable* dan lebih mudah didapatkan dibandingkan dengan inhibitor organik sintesis. Penggunaan produk tumbuhan sebagai inhibitor korosi dibuktikan dengan senyawa fitokimia yang terkandung didalamnya dimana secara

struktur elektrokimia dan molekuler mendekati sama dengan molekul inhibitor organik konvensional (Umoren *et al.*, 2011).

Sirsak sudah lama dikenal masyarakat Indonesia. Tanaman sirsak merupakan salah satu jenis tanaman buah yang banyak tumbuh di pekarangan rumah dan di ladang-ladang sampai ketinggian tempat kira-kira 1000 m dari permukaan laut. Buah sirsak maupun daunnya saat ini sedang menjadi primadona baru sebagai obat herbal yang mengandung antioksidan dan obat kanker (Amin dkk, 2009).

Literatur ilmiah mengenai korosi telah mencatat sejumlah penelitian tentang ekstrak tumbuhan yang memiliki sifat inhibisi korosi baja karbon (*mild steel*) dalam larutan asam. Ekstrak tumbuhan yang dimaksud adalah dari bagian daun, batang, buah, ataupun akar tumbuhan. Telah dilaporkan bahwa ekstrak daun *Azadirachta indica* atau daun mimba (Okafor *et al.*, 2010), daun dan biji *Annona squamosa* atau srikaya (Lebrini *et al.*, 2010), daun *Murayya koenigii* atau salam koja (Quraishi *et al.*, 2010), daun *Spondias mombin* atau kedondong (Obi *et al.*, 2010), daun *Emblica officinalis* atau kemloko (Saratha *et al.*, 2010), *Citrus aurantifolia* atau jeruk nipis (Saratha *et al.*, 2009) merupakan diantara inhibitor korosi bahan alam yang efektif pada korosi baja karbon dalam larutan asam.

Penelitian fitokimia ekstrak daun sirsak menunjukkan bahwa sirsak mengandung senyawa fenolik seperti flavanoid dan alkaloid (Ideasanti dkk, 1995). Senyawa ini adalah senyawa yang dapat berfungsi sebagai inhibitor korosi karena memiliki gugus fungsi yang dapat berikatan dengan logam. Terlebih diketahui bahwa srikaya (*Annona squamosa*) yang masih satu rumpun dengan sirsak (*Annona*

muricata) memiliki sifat sebagai inhibitor korosi oleh (Lebrini *et al*, 2010) dengan efisiensi inhibisi mencapai 92%.

Pada penelitian kali ini, baja yang digunakan adalah baja karbon rendah yang dipakai pada industri penghasil minyak bumi dan gas yaitu baja karbon API 5L. Baja karbon API 5L direndam dalam medium korosi NaCl 3% dengan penambahan inhibitor 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, dan 35% dengan lama perendaman selama 144 jam. Sampel baja hasil korosi akan dikarakterisasi dengan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) untuk melihat struktur mikro, XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk melihat fasa pada baja, dan EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) untuk melihat produk-produk korosi yang terjadi dan menentukan laju korosi menggunakan metode kehilangan berat dan metode elektrokimia.

B. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh penambahan konsentrasi inhibitor ekstrak daun sirsak (*Annona muricata*) dalam medium korosif NaCl 3% terhadap laju korosi pada baja karbon API 5L?
2. Apakah ekstrak daun sirsak (*Annona muricata*) efisien dalam menghambat korosi pada baja karbon API 5L?
3. Bagaimana struktur mikro, fasa, dan produk-produk korosi yang dihasilkan pada baja karbon API 5L setelah direndam dalam larutan NaCl 3%?

C. Batasan Masalah

Pada penelitian ini, batasan masalah yang digunakan adalah:

1. Sampel yang digunakan adalah baja karbon API 5L.
2. Medium korosif yang digunakan adalah NaCl dengan konsentrasi 3%.
3. Perendaman baja pada medium korosif menggunakan inhibitor ekstrak daun sirsak (*Annona muricata*) dengan konsentrasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, dan 35% selama 144 jam.
4. Laju korosi dihitung dengan metode kehilangan berat dan metode elektrokimia.
5. Karakterisasi yang dilakukan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*), XRD (*X-Ray Diffraction*), dan EDS (*Energi Dispersive Spectroscopy*).

D. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian yang akan dilaksanakan ini adalah:

1. Mengetahui laju korosi yang dihasilkan pada baja karbon API 5L dengan penambahan inhibitor ekstrak daun sirsak (*Annona muricata*) pada medium korosif NaCl 3%.
2. Mengetahui efisiensi dari ekstrak daun sirsak (*Annona muricata*) pada baja karbon API 5L dengan perlakuan yang diberikan.
3. Mengetahui struktur mikro, fasa, dan produk-produk korosi yang dihasilkan pada baja setelah direndam dalam medium korosif dengan penambahan inhibitor.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari hasil penelitian ini yaitu:

1. Untuk memberikan informasi mengenai pengaruh konsentrasi larutan inhibitor ekstrak daun sirsak (*Annona muricata*) pada baja karbon API 5L pada medium korosif.
2. Dapat menjadi tambahan referensi di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, terutama di Jurusan Fisika.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Korosi

Korosi merupakan suatu kerusakan yang dihasilkan dari reaksi kimia antara sebuah logam paduan dalam suatu lingkungan (Jones, 1992). Hasil dari reaksi korosi ini, suatu material atau logam akan mengalami perubahan (baik berupa fisik maupun kimia) sifatnya ke arah yang lebih rendah atau bisa dikatakan kemampuan dari material tersebut akan berkurang. Proses korosi ini merupakan suatu fenomena yang alami. Jika dipandang dari sudut metalurgi, fenomena korosi merupakan peristiwa dimana suatu material akan kembali dalam bentuk asalnya karena pada bentuk asalnya logam memiliki energi yang rendah, atau bisa disebut juga kebalikan dari proses metalurgi ekstraksi karena pada metalurgi ekstraksi membutuhkan energi yang besar untuk mendapatkan logam yang lebih murni.

Fenomena korosi merupakan reaksi kimia yang dihasilkan dari dua reaksi setengah sel yang melibatkan elektron sehingga menghasilkan suatu reaksi elektrokimia (Jones, 1992). Dari dua reaksi setengah sel ini terdapat reaksi oksidasi pada anoda dan reaksi reduksi pada katoda. Proses korosi hanya akan terjadi jika ada tiga komponen utama dalam sel korosi, yaitu:

1. Logam

Di dalam logam atau bahan itu sendiri terdapat dua komponen penting dalam penentuan terjadinya reaksi korosi, yaitu:

a. Anoda

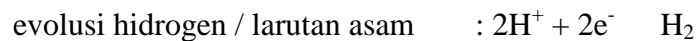
Anoda adalah bagian permukaan yang mengalami reaksi oksidasi atau terkorosi. Pada anoda ini logam terlarut dalam larutan dan melepaskan elektron untuk membentuk ion logam yang bermuatan positif. Reaksi korosi suatu logam M dinyatakan dalam persamaan berikut:



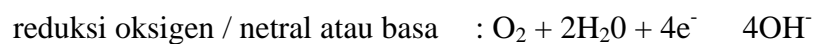
b. Katoda

Katoda adalah elektroda yang mengalami reaksi reduksi menggunakan elektron yang dilepaskan oleh anoda. Pada lingkungan air alam, proses yang sering terjadi adalah pelepasan H_2 dan reduksi O_2 .

- Pelepasan H_2 dalam larutan asam dan netral



- Reduksi oksigen terlarut dalam larutan asam dan netral



- Reduksi ion logam yang lebih elektronegatif

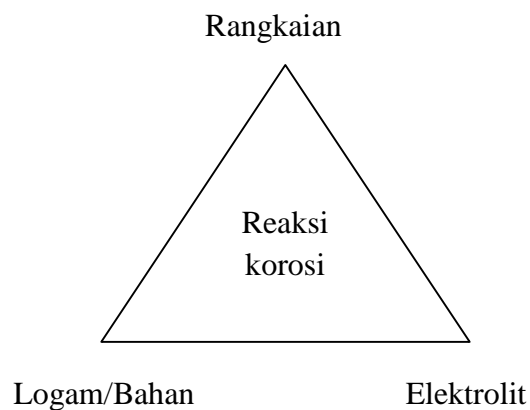


2. Elektrolit

Untuk mendukung suatu reaksi reduksi dan oksidasi, serta melengkapi rangkaian elektrik, antara anoda dan katoda harus dilengkapi dengan elektrolit. Elektrolit menghantarkan arus listrik karena mengandung ion-ion yang mampu menghantarkan *electroequivalen force* sehingga reaksi dapat berlangsung. Semakin banyak kandungan ion-ion dalam elektrolit maka semakin cepat elektrolit menghantarkan arus listrik. Elektrolit ini sendiri terdapat pada lingkungan dari suatu rangkaian elektrik. Beberapa lingkungan yang dapat bersifat katoda adalah lingkungan air, atmosfer, gas, mineral *acid*, tanah, dan minyak.

3. Rangkaian listrik

Antara anoda dan katoda haruslah terdapat suatu hubungan atau kontak agar elektron dapat mengalir dari anoda menuju katoda. Gambar 2.1 menunjukkan syarat terjadinya korosi.



Gambar 2.1. Syarat terjadinya korosi

Berdasarkan bentuk kerusakan yang dihasilkan, penyebab korosi, lingkungan tempat terjadinya korosi, maupun jenis material yang diserang, korosi terbagi menjadi beberapa macam (Jones, 1992), diantaranya adalah:

a. Korosi merata (*uniform corrosion*)

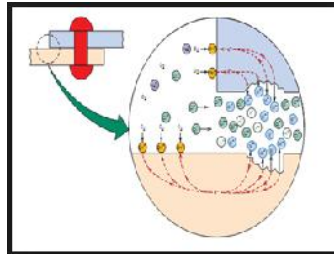
Korosi merata yaitu korosi yang terjadi pada permukaan logam akibat pengikisan permukaan logam secara merata sehingga ketebalan logam berkurang sebagai akibat permukaan terkonversi oleh produk karat yang biasanya terjadi pada peralatan-peralatan terbuka, misalnya permukaan pipa. Gambar 2.2 menunjukkan korosi merata.



Gambar 2.2. Korosi merata (sumber: Priyotomo, 2008).

b. Korosi celah (*crevice corrosion*)

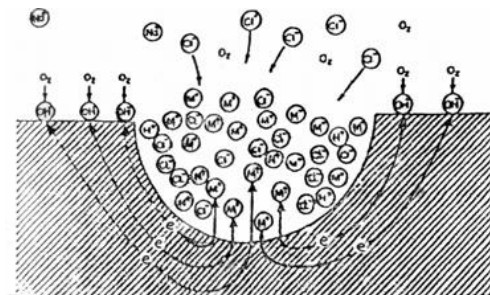
Korosi celah yaitu korosi yang terjadi pada permukaan logam secara local. Biasanya terjadi pada logam pasif akibat dari kerusakan lapisan oksida pelindung dari logam. Korosi terjadi akibat dari adanya konsentrasi senyawa korosif pada bagian permukaan logam. Untuk kasus ini, konsentrasi terjadi akibat dari adanya celah yang sangat kecil antara dua permukaan logam. Gambar 2.3 menunjukkan korosi celah.



Gambar 2.3. Korosi celah (sumber: Priyotomo, 2008).

c. Korosi sumuran (*pitting corrosion*)

Korosi sumuran yaitu korosi terbentuk lubang-lubang pada permukaan logam karena hancurnya film dari proteksi logam disebabkan oleh laju korosi yang berbeda antara satu tempat dengan tempat lainnya pada permukaan logam tersebut. Kerusakan dimulai akibat komposisi tidak homogen. Gambar 2.4 menunjukkan korosi sumuran.



Gambar 2.4. Korosi sumuran (sumber: Priyotomo, 2008)

d. Korosi retak-tegangan (*stress corrosion cracking*)

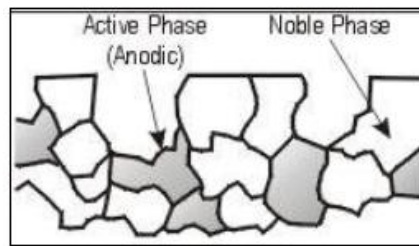
Korosi retak-tegangan yaitu korosi yang berbentuk retakan-retakan yang tidak mudah dilihat, terbentuk dipermukaan logam dan berusaha merembet ke dalam. Ini terjadi pada logam-logam yang banyak mendapatkan tekanan. Hal ini disebabkan kombinasi dari tegangan tarik dan lingkungan yang bersifat korosif sehingga struktur logam melemah. Gambar 2.5 menunjukkan korosi retak-tegangan.



Gambar 2.5. Korosi retak-tegang (sumber: Priyotomo, 2008).

e. Korosi selektif (*selective corrosion*)

Korosi selektif yaitu terjadi akibat terlarutnya suatu unsur yang bersifat lebih anodik dari suatu paduan, misalnya dezincification yang melepaskan Zn dari paduan tembaga. Gambar 2.6 menunjukkan korosi selektif.



Gambar 2.6. Korosi selektif (sumber: Priyotomo, 2008).

f. Korosi erosi (*erosion corrosion*)

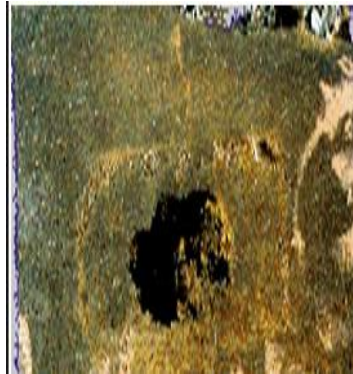
Korosi erosi yaitu terjadinya aliran fluida yang cepat dan bersifat korosif pada permukaan logam. Gambar 2.7 menunjukkan korosi erosi.



Gambar 2.7. Korosi erosi (sumber: Priyotomo, 2008).

g. Korosi mikroba (*microbiological corrosion*)

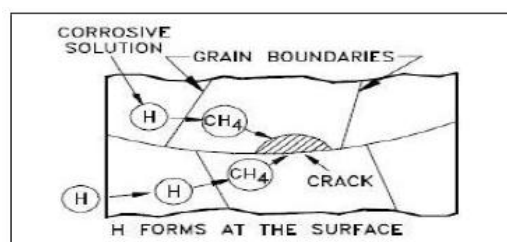
Korosi mikroba yaitu korosi yang terjadi diakibatkan oleh adanya mikroba atau bakteri (*microbially-induced corrosion/MIC*). Gambar 2.8 menunjukkan korosi mikroba.



Gambar 2.8. Korosi Mikroba (sumber: Priyotomo, 2008).

h. Penggetasan hidrogen (*hydrogen embrittlement*)

Penggetasan hidrogen yaitu terjadinya peristiwa dimana atom hidrogen memasuki suatu baja atau alloy tertentu. Gambar 2.9 menunjukkan penggetasan hidrogen.

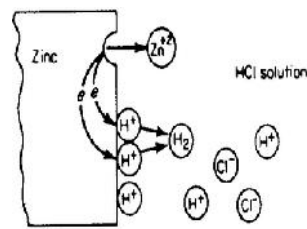


2.9. Penggetasan hidrogen (sumber: Priyotomo, 2008).

B. Mekanisme Terbentuknya Sel Korosi

Secara umum mekanisme korosi yang terjadi di dalam suatu larutan berawal dari logam yang teroksidasi dan melepaskan elektron untuk membentuk ion logam

yang bermuatan positif. Larutan akan bertindak sebagai katoda dengan reaksi yang umum terjadi adalah pelepasan H_2 dan reduksi O_2 , akibat ion H^+ dan H_2O yang tereduksi. Reaksi ini terjadi di permukaan logam yang akan menyebabkan pengelupasan akibat pelarutan logam ke dalam larutan secara berulang-ulang (Nurdin dkk, 1998). Gambar 2.10 menunjukkan mekanisme korosi.



Gambar 2.10. Mekanisme Korosi

1. Laju Korosi

Laju korosi didefinisikan sebagai banyaknya logam yang dilepas tiap satuan waktu pada permukaan tertentu. Laju korosi umumnya dinyatakan dengan satuan *mils per year* (mpy). Satu *mils* adalah setara dengan 0,001 inchi (Fontana *et al*, 1986). Laju korosi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$CR = KW/AT \quad (2.1)$$

dimana: CR : Laju Korosi (mm/tahun)

K : Konstanta Laju Korosi

W : Selisih Massa (gram)

T : Waktu Perendaman (jam)

A : Luas Permukaan (cm^2)

: Massa Jenis ($gram/cm^3$)

2. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi laju korosi yaitu:

a. Jenis logam dan struktur mikroskopis logam

1. Semakin inert suatu logam, maka semakin tahan logam tersebut terhadap korosi.
2. Tidak homogenya susunan dari logam, maka akan menimbulkan sel korosi pada logam itu sendiri.

b. Komposisi dan konsentrasi larutan elektrolit

Larutan elektrolit adalah air yang mengandung anion dan kation (Piere R, 2008). Beberapa faktor yang mempengaruhi korosifitas suatu larutan antara lain:

1. Konduktivitas

Naiknya konduktivitas suatu larutan, maka daya hantar listrik larutan tersebut akan semakin baik, akibatnya laju korosi lebih cepat terjadi. Adanya ion klorida (Cl^-) dalam elektrolit akan meningkatkan konduktivitas larutan tersebut, sehingga aliran arus korosi akan lebih meningkat.

2. pH

Kenaikan laju korosi pada logam besi terjadi pada pH di bawah 4 dan di atas 12. Hal ini disebabkan karena lapisan pelindung pada besi tidak terbentuk.

3. Gas terlarut

Oksigen terlarut akan meningkatkan reaksi katoda sehingga logam akan semakin teroksidasi (terkorosi). Laju korosi dipengaruhi oleh bermacam-macam kondisi fisik yang terdapat dalam suatu gas terlarut, seperti:

a. Temperatur

Temperatur yang tinggi akan mempengaruhi laju korosi. Pada sistem tertutup laju korosi akan terus bertambah, sedangkan pada sistem terbuka kenaikan temperatur akan mengakibatkan penurunan kelarutan gas O_2 , dan akan menurunkan laju korosi pada titik tertentu.

b. Tekanan

Kenaikan tekanan menyebabkan kenaikan gas terlarut, dengan konsekuensi akan menaikkan laju korosi pada sistem.

c. Kecepatan alir fluida

Adanya kecepatan alir fluida yang berbeda-beda akan menentukan jenis korosi yang dapat terjadi. Korosi yang sering ditimbulkan akibat faktor ini adalah korosi erosi.

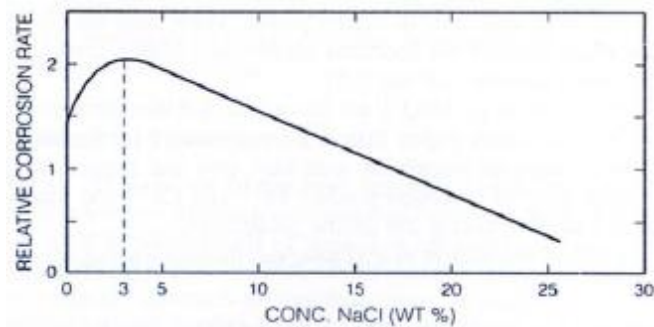
C. Pengaruh Konsentrasi NaCl terhadap Laju Korosi

Di dalam sebuah larutan, suatu garam akan terurai menjadi ion-ion (baik berupa kation maupun anion) pembentuknya. Ion-ion ini akan menjadikan larutan garam mampu menghantarkan muatan listrik yang terdistribusi di dalam larutan tersebut (Piere R, 2008). Sehingga di dalam larutan garam ini akan menghasilkan nilai konduktivitas, dimana nilai konduktivitas ini sebanding dengan konsentrasi dari garam yang terlarut didalam larutan.

Proses korosi merupakan suatu reaksi elektrokimia antara logam sebagai anoda dengan lingkungan yang bertindak sebagai katoda (Jones, 1992). Sehingga konduktivitas dari suatu larutan elektrolit yang menghubungkan antara anoda dan katoda ini akan menentukan kecepatan dari reaksi elektrokimia tersebut. Larutan

dengan konduktivitas yang baik akan mengakibatkan reaksi korosi berlangsung dengan cepat, sehingga akan meningkatkan laju korosi.

Dengan adanya ion-ion di dalam larutan garam akan bisa menurunkan agen pereduksi yang ada pada larutan (Rustandi, 2011). Semakin besar nilai konsentrasi NaCl di dalam larutan yang terlarut (teraerasi) maka akan menurunkan kelarutan oksigen dalam larutan. Ketika konsentrasi NaCl mencapai nilai 3 hingga 3,5%, maka kelarutan optimum oksigen di dalam larutan NaCl teraerasi (Jones, 1992). Gambar 2.11 menunjukkan pengaruh konsentrasi NaCl terhadap laju korosi.



Gambar 2.11. Pengaruh Konsentrasi NaCl Terhadap Laju Korosi

Pada penelitian sebelumnya, telah membuktikan bahwa laju korosi optimum baja karbon berada pada konsentrasi NaCl 3-3,5%. Semakin tinggi konsentrasi NaCl di dalam larutan, maka akan semakin besar konduktivitas larutan, sehingga meningkatkan laju korosi pada baja. Namun semakin pekat konsentrasi dari NaCl maka akan terjadi penurunan dari kelarutan agen pereduksi sehingga laju korosi akan berkurang. Hal ini disebabkan karena kejenuhan dari larutan NaCl, sehingga menimbulkan endapan yang tidak mampu bereaksi lagi yang menghasilkan pengurangan dari agen pereduksi di dalam larutan.

D. Inhibitor Korosi

Suatu inhibitor kimia adalah suatu zat kimia yang dapat menghambat atau memperlambat suatu reaksi kimia (Dalimuthe, 2004). Bekerja secara khusus, inhibitor korosi merupakan suatu zat kimia yang bila ditambahkan ke dalam suatu lingkungan tertentu akan dapat menurunkan laju korosi dari logam akibat lingkungan sekitar. Penambahan inhibitor dilakukan dengan jumlah yang sedikit, baik secara kontinu maupun periodik menurut suatu selang waktu tertentu dan laju korosi akan menurun secara drastis atau memberikan efek yang cepat dan baik.

Adapun mekanisme kerja inhibitor sebagai berikut (Dalimuthe, 2004):

- 1) Inhibitor teradsorpsi pada permukaan logam, dan membentuk suatu lapisan tipis dengan ketebalan beberapa molekul inhibitor. Lapisan ini tidak dapat dilihat oleh mata biasa, namun dapat menghambat penyerangan lingkungan terhadap logamnya.
- 2) Melalui pengaruh lingkungan (misal 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 dulu mengkorosi logamnya, dan menghasilkan suatu zat kimia yang kemudian melalui peristiwa adsorpsi dari produk korosi tersebut membentuk suatu lapisan pasif pada permukaan logam.
- 4) Inhibitor menghilangkan kontituen yang agresif dari lingkungannya.

E. Baja

Baja adalah paduan logam yang tersusun dari besi sebagai unsur utama dan karbon sebagai unsur penguat. Unsur karbon inilah yang banyak berperan dalam peningkatan performan. Perlakuan panas dapat mengubah sifat baja dari lunak seperti kawat menjadi keras seperti pisau (Purboto, 2009). Penyebabnya adalah perlakuan panas mengubah struktur mikro besi yang berubah-ubah dari susunan kristal berbentuk kubik berpusat ruang menjadi kubik berpusat sisi atau heksagonal. Dengan perubahan struktur kristal, besi adakalanya memiliki sifat magnetik dan adakalanya tidak. Besi memang bahan bersifat unik.

Menurut ASM handbook, baja dapat diklasifikasikan berdasarkan komposisi kimianya yaitu baja karbon dan baja paduan.

1. Baja Karbon

Baja karbon hanya terdiri dari besi dan karbon. Karbon merupakan unsur pengeras besi yang efektif dan murah. Oleh karena itu, pada umumnya sebagian besar baja hanya mengandung karbon dengan sedikit unsur paduan lainnya. Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi menjadi tiga macam yaitu:

1. Baja karbon rendah (*Low carbon steel*)

Baja karbon rendah adalah baja dengan kadar karbon sekitar 0,05% sampai 0,6%. Untuk meningkatkan sifat mekanisnya, baja karbon rendah dapat ditambahkan paduan lain. Baja karbon rendah sering digunakan karena harganya relatif murah, namun sifat mekanisnya dapat disesuaikan.

Penambahan elemen paduan pada baja karbon rendah seperti Cu, Ni, dan Cr dapat meningkatkan ketahanan baja karbon rendah terhadap korosi. Sedangkan penambahan unsur seperti Si, Ti, S, Se, C akan menurunkan ketahanan korosi (ASM Handbook, 2005).

2. Baja karbon menengah (*Medium carbon steel*)

Baja karbon menengah adalah baja yang mengandung karbon 0,6% sampai 1%. Baja ini memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan baja karbon rendah yaitu kekerasannya lebih tinggi, kekuatan tarik dan batas regang yang lebih tinggi, tidak mudah dibentuk oleh mesin, lebih sulit digunakan untuk pengelasan, dan dapat dikeraskan (*quenching*) dengan baik. Baja karbon menengah dapat digunakan untuk poros, rel kereta api, roda gigi, pegas, baut, komponen mesin yang membutuhkan kekuatan tinggi dan lain-lain.

3. Baja karbon tinggi (*High carbon steel*)

Baja karbon tinggi adalah baja yang mengandung kandungan karbon 1% sampai 1,7% dan memiliki ketahanan panas yang tinggi, namun keuletannya lebih rendah. Baja karbon tinggi mempunyai kuat tarik yang paling tinggi dan banyak digunakan untuk material *tools*. Salah satu aplikasi dari baja ini adalah dalam pembuatan kawat baja dan kabel baja. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung di dalam baja, maka baja karbon ini banyak digunakan dalam pembuatan pegas dan alat-alat perkakas seperti palu, gergaji dan lain-lain (ASM handbook, 1993).

2. Baja Paduan

Pada baja, selain unsur karbon biasanya ada pula unsur-unsur lainnya yang ikut dalam baja seperti ini umumnya disebut baja paduan. Baja paduan ini terdiri dari kromium, mangan, vanadium dan unsur-unsur lainnya. Baja paduan dapat dibagi menjadi tiga macam:

1. Baja paduan rendah (*Low alloy steel*)

Baja paduan rendah merupakan baja paduan yang elemen paduannya kurang dari 2,5% wt misalnya unsur Cr, Mn, S, Si, P dan lain-lain.

2. Baja paduan menengah (*Medium alloy steel*)

Baja paduan menengah merupakan baja paduan yang elemen paduannya 2,5%-10% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain.

3. Baja paduan tinggi (*High alloy steel*)

Baja paduan tinggi merupakan baja paduan yang elemen paduannya lebih dari 10% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain (Amanto dan Daryanto, 1999).

Baja API 5L adalah baja yang digunakan untuk perpipaan dan diproduksi berdasarkan standar API (*American Petroleum Institute*). Baja API 5L mempunyai kadar karbon sebesar 0,3% dan tergolong dalam baja karbon sedang. Komposisi kimia untuk baja API 5L dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Komposisi kimia baja API 5L

No	Unsur	Komposisi (%)
1	Karbon (C)	0,3
2	Mangan (Mn)	1,20
3	Silikon (Si)	0,40
4	Fosfor (P)	0,025
5	Sulfur (S)	0,015
6	<i>Cuprum</i> (Cu)	0,01
7	Nikel (Ni)	0,01
8	Molibden (Mo)	0,005
9	Krom (Cr)	0,02
10	Vanadium (V)	0,06
11	Titanium (Ti)	0,004
12	Niobium + Vanadium (Nb+V)	0,06

Sumber: SEAPI *Laboratory*, 2015.

F. Tanin

Tanin merupakan zat organik yang sangat kompleks dan terdiri dari senyawa fenolik. Tanin tergolong senyawa polifenol dengan karakteristiknya yang dapat membentuk senyawa kompleks dengan makromolekul lainnya. Pada tumbuh-tumbuhan, senyawa tanin terdapat pada kulit kayu, batang, daun, dan buah. Tanin dibagi menjadi dua kelompok yaitu tannin mudah terhidrolisis dan tanin terkondensasi. Tanin yang mudah terhidrolisis merupakan polimer gallic atau ellagic acid yang berikatan ester dengan sebuah molekul gula, sedangkan tanin terkondensasi merupakan polimer senyawa flavonoid dengan ikatan karbon-karbon (Harbone, 1984).

G. Ekstrak Daun Sirsak sebagai Inhibitor Korosi

1. Gambaran Umum Tumbuhan Sirsak

Sirsak atau durian Belanda (*Annona muricata*) adalah tumbuhan berasal dari Karibia, Amerika Tengah dan Amerika Selatan. Sirsak adalah salah satu jenis tumbuhan yang tergolong dalam famili *Annonaceae* yang telah lama dikenal orang sebagai tanaman obat-obatan. Nama sirsak itu sendiri berasal dari bahasa Belanda *Zuurzak*, kurang lebih berarti kantung yang asam. Daunnya berbentuk bulat telur agak tebal dan pada permukaan bagian atas halus berwarna hijau tua, sedangkan pada bagian bawah mempunyai warna yang lebih muda. Tumbuhan ini dapat tumbuh di sembarang tempat. Buah yang besar dan banyak dapat diperoleh dengan cara ditanam di daerah yang tanahnya cukup mengandung air. Sirsak di Indonesia tumbuh dengan baik pada daerah yang mempunyai ketinggian kurang dari lima meter di atas permukaan laut. Adapun taksonomi dari sirsak (*Annona muricata*) adalah:

Kingdom	: <i>Plantae</i>
Division	: <i>Spermatophyta</i>
Sub Divisio	: <i>Angiospermae</i>
Kelas	: <i>Dicotyledonae</i>
Ordo	: <i>Polycarpiceae</i>
Famili	: <i>Annonaceae</i>
Genus	: <i>Annona</i>
Spesies	: <i>Annona muricata</i> linn.

Gambar 2.12 menunjukkan tanaman sirsak.



Gambar 2.12. Tanaman Sirsak

2. Kandungan Senyawa Aktif pada Daun Sirsak

Pusat Penelitian Bahan Alam di Departemen Farmasi ITB pernah memeriksa kandungan senyawa fenolik dari daun sirsak (*Annona muricata*). Dari ekstrak etanol yang telah diekstraksi cair-cair dapat dipisahkan beberapa senyawa asam fenolat dan flavonoid, yang secara kromatografi kertas diidentifikasi sebagai asam fenolat yaitu asam kafeat, asam ferulat, asam p-kumarat, asam vanilat, dan asam p-hidroksibenzoat. Salah satu senyawa flavonoid diduga sebagai flavonol yang gugus hidroksi pada posisi 3 yang terikat sebagai glikosida dan gugus hidroksi pada posisi 4, 5, dan 7 bebas (Ideasanti, 1995).

3. Ekstraksi

Alur awal untuk mendapatkan senyawa aktif dari suatu tumbuhan adalah proses ekstraksi. Ekstraksi adalah proses pemisahan suatu zat berdasarkan perbedaan kelarutannya terhadap dua cairan tidak saling larut yang berbeda. Prinsip ekstraksi adalah melarutkan senyawa polar dalam pelarut polar dan senyawa non polar dalam senyawa non polar. Secara umum ekstraksi dilakukan secara berturut-turut mulai dengan pelarut non polar (n-heksan) lalu pelarut yang kepolarannya

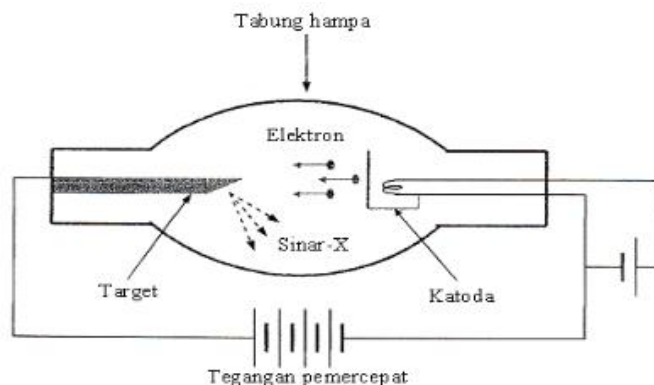
menengah (diklor metan atau etil asetat) kemudian pelarut yang bersifat polar (metanol atau etanol).

Ekstraksi digolongkan ke dalam dua bagian besar berdasarkan bentuk fasa yang diekstraksi yaitu ekstraksi cair-cair dan ekstraksi cair-padat. Untuk ekstraksi cair-cair dapat menggunakan corong pisah, sedangkan ekstraksi cair-padat terdiri dari beberapa cara yaitu maserasi, perkolasi dan sokletasi (Harborne, 1984).

Maserasi merupakan proses ekstraksi dengan cara perendaman menggunakan pelarut organik pada suhu ruang. Proses ini sangat menguntungkan dalam proses isolasi senyawa organik bahan alam karena dengan perendaman sampel akan terjadi pemecahan dinding dan membran sel akibat perbedaan tekanan di dalam dan di luar sel, sehingga metabolit sekunder yang ada dalam sitoplasma akan terlarut dalam pelarut organik serta struktur senyawa tidak akan mudah rusak (Harborne, 1984).

H. XRD (*X-Ray Diffraction*)

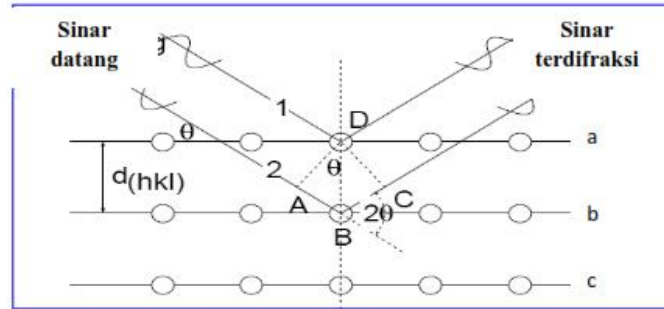
Sinar-X pertama kali ditemukan oleh Wilhelm Rontgen pada tahun 1895. Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang ($\approx 0,1 \text{ nm}$) yang lebih pendek dibanding gelombang cahaya ($= 400-800 \text{ nm}$) (Smallman, 2000). Panjang gelombang sinar-X ini merupakan dasar digunakannya teknik difraksi sinar-X (*X-Ray Diffraction*) untuk mengetahui struktur mikroskopis suatu bahan. Gambar 2.13 menunjukkan diagram sinar-X.



Gambar 2.13. Diagram sinar-X (Athur Beiser, 1992)

Sinar-X dihasilkan apabila elektron-elektron dengan laju tinggi menumbuk suatu bahan (Gambar 2.13). Peristiwa pembentukan sinar-X dapat dijelaskan secara makroskopik yaitu sebuah katoda yang dipanasi oleh filamen panas berdekatan yang dilalui arus listrik menyediakan elektron secara terus-menerus dengan emisi termionik. Beda potensial V yang tinggi diantara katoda dengan target logam mempercepat elektron ke arah target dan menghasilkan sinar-X.

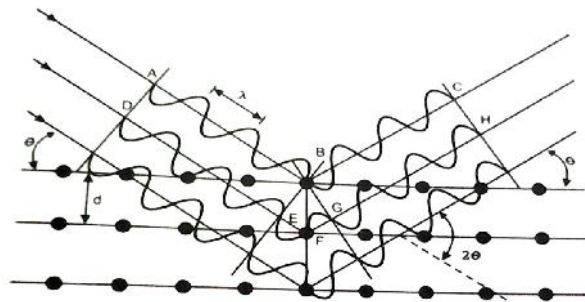
Metode difraksi sinar-X (*X-Ray Diffraction*, XRD) memegang peran yang sangat penting untuk analisis padat kristalin, yaitu untuk meneliti ciri utama struktur (parameter kisi dan tipe struktur), dan untuk mengetahui rincian lain misalnya susunan berbagai jenis atom dalam kristal, keberadaan cacat, ukuran butiran, orientasi, ukuran dan kerapatan presipitat. Oleh karena pola difraksi untuk tiap unsur pada Gambar 2.14 adalah spesifik, maka metode ini sangat akurat untuk menentukan komposisi unsur dan senyawa yang terkandung dalam suatu sampel, karena pola yang terbentuk seperti *fingerprint* dari suatu materi.



Gambar 2.14. Difraksi sinar-X oleh bidang atom

Bila seberkas sinar-X dengan panjang gelombang λ diarahkan pada permukaan kristal dengan sudut datang θ , maka sinar tersebut akan dihamburkan oleh bidang atom kristal dan menghasilkan puncak-puncak difraksi yang dapat diamati dengan peralatan difraksi sinar-X (Cullity, 1978).

Pola difraksi, intensitas dan sudut difraksi 2θ berbeda-beda untuk setiap bahan. Interferensi berupa puncak-puncak intensitas diperoleh sebagai hasil proses difraksi, dimana terjadi interaksi antara sinar-X dengan atom-atom pada bidang kristal (Vlack, 1994). Hamburan sinar-X oleh elektron-elektron di dalam atom suatu material dapat dilihat dalam Gambar 2.15.



Gambar 2.15. Sinar-X yang dihamburkan oleh atom-atom kristal yang berjarak d (Richman, 1967).

Dari Gambar 2.15 terlihat bahwa gelombang pertama memiliki panjang yang sama yaitu $AB+BC$, begitu pula dengan gelombang kedua $DF+FH$. Gelombang kedua berjalan lebih jauh dari gelombang pertama, dan selisihnya adalah:

$$= (DF + FH) - (AB + BC) \quad (2.4)$$

Jika dari titik B ditarik garis ke DF dan FH, diberi tanda E dan G, maka:

$$DE=AB, GH=BC \quad (2.5)$$

Perbedaan antara dua gelombang tersebut adalah:

$$= EF + FG \quad (2.6)$$

Diketahui bahwa $EF+FG$ merupakan (panjang gelombang) dan panjang EF sama dengan panjang FG yaitu sebesar $d \sin \theta$, sehingga:

$$= d \sin \theta + d \sin \theta \quad (2.7)$$

$$= 2 d \sin \theta \quad (2.8)$$

Sinar 1 dan 2 akan menjadi 1 fasa jika beda lintasan sama dengan jumlah n panjang gelombang sehingga:

$$n \lambda = 2 d \sin \theta \quad (2.9)$$

persamaan inilah yang kemudian dikenal sebagai hukum Bragg, yang pertama kali ditulis oleh W. L. Bragg. Persamaan di atas kemudian diturunkan menjadi

$$= 2 d \sin \theta / n \quad (2.7)$$

Jarak antar bidang adalah $1/n$ dari jarak sebelumnya, maka ditetapkan $d = \frac{d'}{n}$

dengan demikian persamaan Bragg dapat ditulis seperti:

$$= 2 d \sin \theta \quad (2.8)$$

Dengan λ = panjang gelombang (m), d = jarak kisi (m), dan θ =sudut difraksi (Richman, 1967). Karena nilai \sin maksimum adalah 1, maka persamaan menjadi:

$$\frac{n\lambda}{2d} = \sin \theta < 1 \quad (2.9)$$

Dari persamaan dapat dilihat untuk memenuhi nilai \sin maka nilai n harus < $2d$. Dengan demikian kondisi untuk difraksi pada sudut 2θ yang teramati adalah:

$$2\theta < 2d \quad (2.10)$$

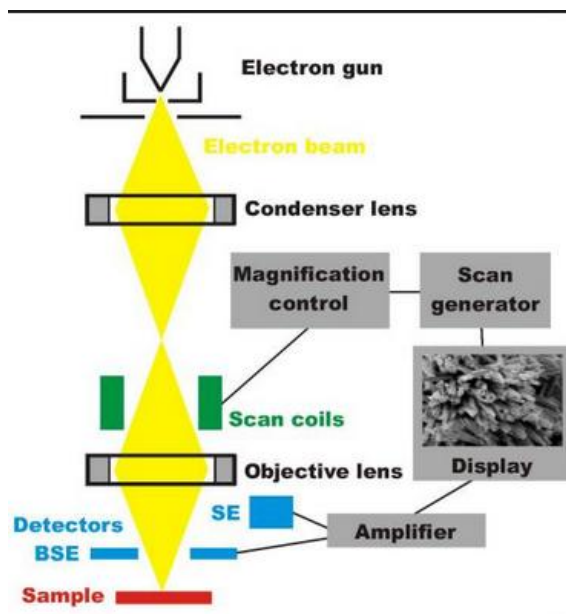
Pada kebanyakan kristal nilai d adalah dalam orde 3 \AA atau kurang, sehingga kristal tidak dapat mendifraksikan sinar ultraviolet dengan panjang gelombang kira-kira 500 \AA (Cullity, 1978).

I. SEM (*Scanning Electron Microscopy*) yang dilengkapi dengan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS)

Scanning Electron microscopy (SEM) merupakan mikroskop elektron yang banyak digunakan dalam ilmu pengetahuan material. SEM banyak digunakan karena memiliki kombinasi yang unik, mulai dari persiapan spesimen yang simpel dan mudah, kapabilitas tampilan yang bagus serta fleksibel.

SEM digunakan pada sampel yang tebal dan memungkinkan untuk analisis permukaan. Pancaran berkas yang jatuh pada sampel akan dipantulkan dan didifraksikan. Adanya elektron yang terdifraksi dapat diamati dalam bentuk pola-pola difraksi. Pola-pola difraksi yang tampak sangat bergantung pada bentuk dan ukuran sel satuan dari sampel. SEM juga dapat digunakan untuk menyimpulkan

data-data kristalografi, sehingga hal ini dapat dikembangkan untuk menentukan elemen atau senyawa.



Gambar 2.16. Diagram SEM (Reed, 1993)

Prinsip kerja SEM dapat dilihat pada Gambar 2.16. Dua sinar elektron digunakan secara simultan. Satu *strike specimen* digunakan untuk menguji dan strike yang lain adalah CRT (*Cathode Ray Tube*) memberi tampilan yang dapat dilihat oleh operator. Akibat tumbukan pada spesimen dihasilkan satu jenis elektron dan emisi foton. Sinyal yang terpilih dikoleksi, dideteksi dan dikuatkan untuk memodulasi tingkat keterangan dari sinar elektron yang kedua, maka sejumlah besar sinar akan menghasilkan bintik gelap. SEM menggunakan prinsip *scanning*, maksudnya berkas elektron diarahkan dari titik ke titik pada objek. Gerakan berkas elektron dari satu titik ke titik yang lain pada suatu daerah objek menyerupai gerakan membaca. Gerakan membaca ini disebut dengan *scanning*.

Komponen utama SEM terdiri dari dua unit, yaitu *electron column* dan *display consule*. *Electron column* merupakan model *electron beam scanning*, sedangkan *display consule* merupakan elektron sekunder yang di dalamnya terdapat CRT. Pancaran elektron energi tinggi dihasilkan oleh *electron gun* yang kedua tipenya berdasar pada pemanfaatan arus. Yang pertama pistol termionik dimana pancaran elektron tercapai dengan pemanasan tungsten atau filamen katoda pada suhu 1500 K sampai 3000 K. Katoda adalah kutub negatif yang dibutuhkan untuk mempercepat tegangan E_0 kali elektron volt (KeV). Pistol termionik sangat luas penggunaannya karena relatif aman untuk digunakan dalam tabung vakum 10^{-9} Torr, atau lebih kecil dari itu.

Sumber alternatif lain dari pistol *field emission* dimana ujung kawat wolfram yang tajam dihubungkan tertutup dengan anoda ekstraksi dan diterapkan potensial sampai beberapa ribu volt. Elektron yang keluar dari kawat wolfram tidak membutuhkan pemanasan yang dapat dilakukan pada suhu kamar, menuju tabung vakum yang dipercepat seperti pada pistol termionik ke arah anoda. Pistol *field emission* tergantung dari permukaan emitter yang secara otomatis bersih, sehingga harus bekerja pada operasi kevakuman yang ultra tinggi kira-kira 10^{-9} Torr, namun jika lebih besar maka akan lebih baik. Jarak panjang dari emitter *electron column*. Pemancaran elektron dari elektron column pada *chamber* harus dipompa cukup vakum menggunakan *oil-difussion*, *turbo molecular*, atau pompa ion (Chan, 1993).

SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dilengkapi dengan EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) yang dapat menentukan unsur dan analisis komposisi kimia. Bila suatu berkas elektron yang ditembakkan atau dikenai pada sampel

akan terjadi interaksi berupa elektron yang keluar dari atomnya, maka elektron tersebut mempunyai tingkat energi yang lebih rendah dari yang lain. Hal ini menyebabkan atom menjadi kurang stabil, sedangkan suatu atom mempunyai kecenderungan ingin menjadi stabil. Oleh karena itu, elektron yang mempunyai tingkat energi yang lebih tinggi akan turun (transisi) ke tingkat yang lebih rendah.

Kelebihan energi yang dilepas pada waktu transisi adalah dalam bentuk sinar-X. Karena beda tingkat energi untuk suatu atom tertentu, sehingga sinar-X yang dihasilkan oleh suatu atom tersebut juga mempunyai energi tertentu dan ini disebut sinar-X karakteristik. Energi pancaran elektron dalam bentuk sinar-X akan dideteksi dan dihitung oleh EDS dan akan dihasilkan keluaran berupa grafik puncak-puncak tertentu yang mewakili unsur yang terkandung. EDS juga memiliki kemampuan untuk melakukan elemental masing-masing elemen di permukaan bahan. EDS juga dapat digunakan untuk menganalisis secara kuantitas dari persentase masing-masing elemen (Qulub, 2011).

J. Metode Kehilangan Berat

Metode ini dilakukan dengan cara mencelupkan spesimen logam ke dalam media korosif. Pengujian korosi ini dilakukan untuk mengetahui laju korosi berdasarkan kehilangan berat material yang terkorosi dalam medium tertentu. Metode ini adalah mengukur kembali berat awal dari benda uji, kekurangan berat dari pada berat awal merupakan nilai kehilangan berat. Kekurangan berat dikembalikan ke dalam rumus untuk mendapatkan kehilangan berat (Supardi, 1997).

K. Metode Elektrokimia

Metode elektrokimia adalah metode yang digunakan untuk mengetahui laju korosi dengan mengukur beda potensial objek. Metode ini mengukur laju korosi pada saat diukur saja, dimana memperkirakan laju tersebut dengan waktu yang panjang (memperkirakan walaupun hasil yang terjadi antara satu waktu dengan waktu yang lainnya berbeda). Kelemahan metode ini adalah tidak dapat menggambarkan secara pasti laju korosi yang terjadi secara akurat karena hanya dapat mengukur laju korosi pada waktu tertentu saja, hingga secara umur pemakaian maupun kondisi untuk dapat ditreatmen tidak dapat diketahui. Kelebihan metode ini adalah kita langsung dapat mengetahui laju korosi pada saat diukur, hingga waktu pengukuran tidak memerlukan waktu yang lama (Sulaiman, 1978). Metode elektrokimia ini menggunakan rumus yang didasari oleh Hukum Faraday menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Laju korosi} = K \frac{I_{\text{corr}} E}{D} \quad (2.11)$$

Keterangan : K = konstanta (0.129 untuk satuan mpy)

$$I_{\text{corr}} = \text{rapat arus korosi (A/cm}^2\text{)}$$

$$E = \text{berat ekuivalen (gr/mol.eq)}$$

$$D = \text{densitas logam terkorosi (gr/cm}^2\text{)}$$

(ASTM G1- 90, 2002).

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April 2016 sampai Juni 2016 di Laboratorium Kimia Organik Universitas Lampung, Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Lampung, Laboratorium Terpadu UIN Syarif Hidayatullah Jakarta, Laboratorium Metalurgi PT *South East Asia Pipe Industries* (SEAPI) Bakauheni Lampung Selatan, Laboratorium Metalurgi dan Korosi LIPI Serpong Tangerang, serta Laboratorium Pusat Survei Geologi Kelautan (P3GL) Bandung.

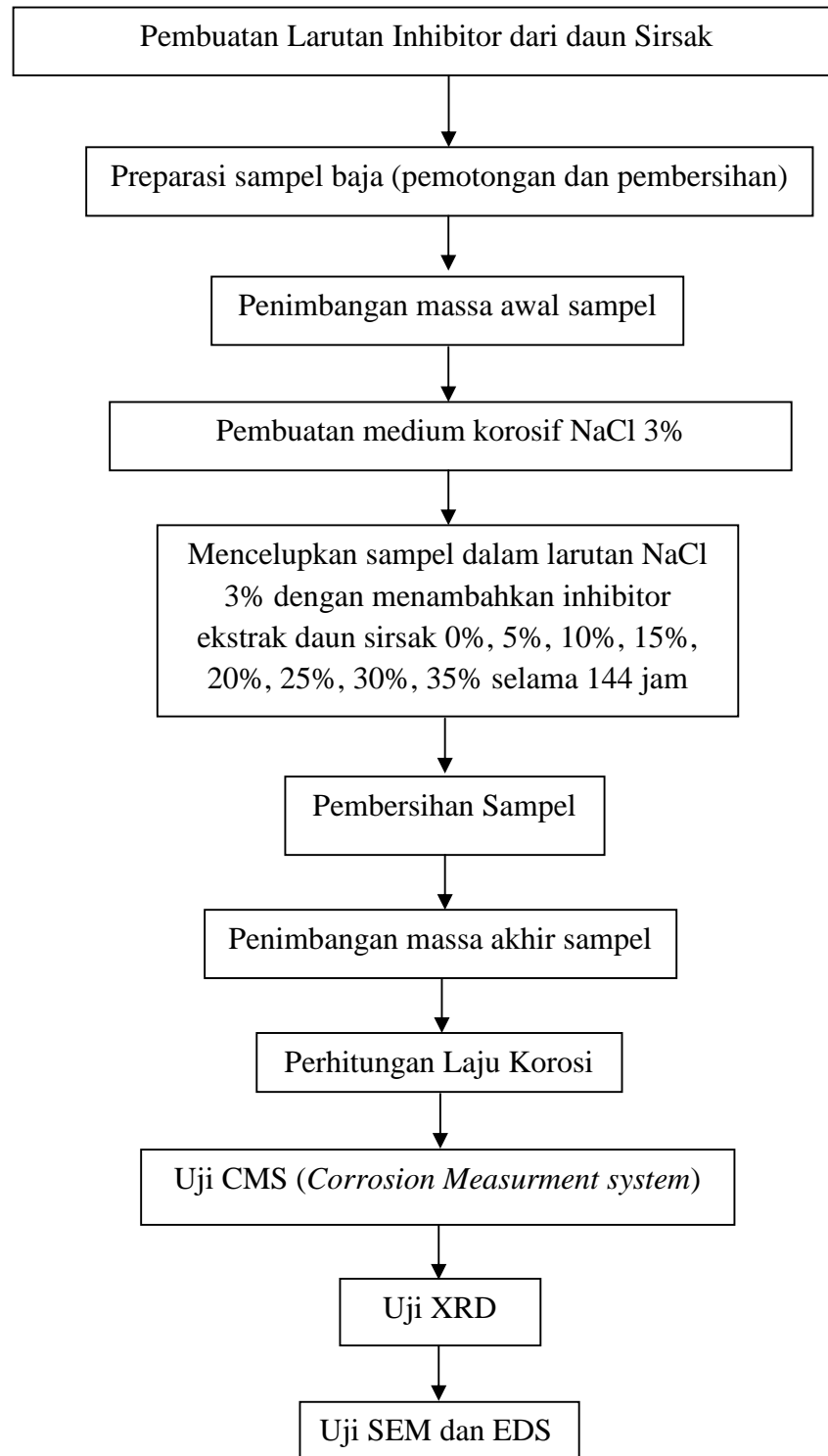
B. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari: penguap putar vakum (*rotary evaporator*), neraca digital, alat pemotong baja, gergaji mesin, jangka sorong digital, *polisher machine*, gelas ukur, *decicator*, plastik kecil, botol film, beaker glass, blender, spatula, pipet tetes, benang, kayu kecil, aluminium foil, kertas amplas, SEM (*Scanning Electron Microscopy*), XRD (*X-Ray Diffraction*), EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*).

Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: daun sirsak, baja karbon rendah (API 5L), natrium klorida (NaCl), etanol 70%, dan aquabides.

C. Preparasi Bahan

Prosedur kerja penelitian dapat dilihat pada diagram alir dalam Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

1. Pembuatan Larutan Inhibitor dari daun sirsak

Pembuatan larutan inhibitor dari daun sirsak yaitu:

1. Mengeringkan sampel daun sirsak segar sebanyak 3500 gram dalam suhu kamar selama 20 hari untuk menghilangkan kadar air.
2. Menghaluskan sampel yang telah kering dengan blender untuk mempermudah dan memaksimalkan proses ekstraksi.
3. Mengekstrak daun sirsak menggunakan metode maserasi.
4. Melakukan metode maserasi dengan memasukkan daun sirsak yang telah halus ke dalam wadah botol yang berisi etanol 70% selama 5 hari.
5. Menyaring hasil perendaman menggunakan kertas saring hingga memperoleh filtrat.
6. Kemudian menguapkan filtrat dari hasil proses tersebut menggunakan alat penguap putar vakum (*rotary evaporator*) dengan kecepatan 200 rpm dan suhu 50°C hingga menghasilkan ekstrak pekat.

2. Preparasi sampel baja (pemotongan dan pembersihan)

Untuk menyiapkan baja dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Memotong baja karbon API 5L dengan panjang 50 mm, lebar 15 mm, dan tinggi 8 mm.
2. Membersihkan baja dan memperhalus permukaannya menggunakan *polisher machine* untuk menghilangkan pengotor.
3. Mencelupkan baja ke dalam aseton untuk membersihkan pengotor yang menempel pada baja.

3. Penimbangan massa awal sampel

Baja yang akan digunakan ditimbang terlebih dahulu untuk mengetahui massa sebelum pengkorosian.

4. Pembuatan medium korosif

Medium korosif adalah larutan yang dapat mengakibatkan terjadinya korosi. Medium korosif pada penelitian ini adalah NaCl dengan konsentrasi 3%. Cara pembuatan larutan NaCl yaitu mengencerkan NaCl dengan aquabides. Untuk pengenceran larutan NaCl ditentukan secara matematis berdasarkan persamaan (3.1).

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2 \quad (3.1)$$

Dimana: V_1 = Volume mula-mula

M_1 = Konsentrasi mula-mula

V_2 = Volume setelah pengenceran

M_2 = Konsentrasi setelah pengenceran

Pembuatan larutan NaCl dengan konsentrasi 3% yaitu 30 gram NaCl ditambahkan dengan aquabides sampai volume 1000 ml.

5. Perendaman

Dalam tahap perendaman ini sampel yang digunakan ada 8 sampel direndam pada medium korosif NaCl dengan menambahkan inhibitor ekstrak daun sirsak (*Annona muricata*) selama 144 jam. Konsentrasi inhibitor yang digunakan sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, dan 35%.

6. Pembersihan dan Penimbangan Massa Akhir Sampel

Sampel yang telah direndam dalam medium korosif ditambah inhibitor dibiarkan hingga kering. Selanjutnya ditimbang untuk mengetahui massa akhir sampel.

7. Uji XRD (*X-Ray Diffraction*)

Sampel yang telah mengalami pengkorosian kemudian diuji menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) yang bertujuan untuk mengetahui fasa yang terbentuk pada sampel.

8. Uji SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dan EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*)

Sampel yang telah mengalami perlakuan diuji menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) yang dilengkapi dengan EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) untuk mengetahui struktur permukaan sampel dan melihat unsur-unsur kimia yang ada pada sampel.

9. Perhitungan Laju Korosi

Perhitungan laju korosi dilakukan menggunakan metode kehilangan berat sampel tiap satuan luas dan waktu menggunakan persamaan (3.2) dengan konstanta laju korosi yang dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Konstanta laju korosi pada baja karbon

No	Konstanta Laju Korosi	K
1	<i>Mils per year (mpy)</i>	$3,45 \times 10^6$
2	<i>Inches per year (inches/y)</i>	$3,45 \times 10^3$
3	<i>Millimeters per year (mm/y)</i>	$8,76 \times 10^4$
4	<i>Micrometers per year ($\mu\text{m/y}$)</i>	$8,76 \times 10^7$
5	<i>Milligrams per square decimeter per day (mmd)</i>	$2,40 \times 10^6 \times D$

$$CR = \frac{KW}{AT\rho} \quad (3.2)$$

Dimana: CR = Laju korosi (mm/y)
 K = Konstanta laju korosi
 W = Selisih massa (mg)
 T = Waktu perendaman (tahun)
 A = Luas permukaan (mm^2)
 ρ = Massa jenis (mg/mm^3)

Sedangkan untuk menghitung efisiensi penggunaan inhibitor dihitung menggunakan persamaan (3.3).

$$(\%) = \frac{(CR_{uninhibited} - CR_{inhibited})}{CR_{uninhibited}} \times 100\% \quad (3.3)$$

Dimana: = Efisiensi inhibitor (%)
 $CR_{uninhibited}$ = Laju korosi tanpa inhibitor (mm/y)
 $CR_{inhibited}$ = Laju korosi dengan inhibitor (mm/y)

(Fontana, 1986).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Semakin besar persentasi inhibitor ekstrak daun sirsak yang digunakan maka laju korosi akan semakin berkurang dan inhibisi akan semakin meningkat.
2. Efektivitas terbesar terdapat pada baja karbon API 5L dengan inhibitor 35% dengan efisiensi 86,16%.
3. Hasil karakterisasi XRD memperlihatkan bahwa fasa yang terbentuk adalah Fe murni dengan bidang 110, 200, dan 211 dengan struktur kristal BCC.
4. Hasil karakterisasi SEM memperlihatkan bahwa pada sampel dengan inhibitor 35% *cluster* (gumpulan) tidak merata dan ukuran lebih kecil, lubang (*hole*) dan retakan (*crack*) juga lebih sedikit dibandingkan dengan inhibitor 0% ekstrak daun sirsak.
5. Hasil karakterisasi EDS pada sampel inhibitor 0% didapatkan unsur Cl mengidentifikasi logam sudah terkontaminasi akibat interaksi antara NaCl dengan sampel, sehingga laju korosi lebih tinggi.
6. Dari ketiga hasil karakterisasi dan perhitungan laju korosi didapatkan bahwa inhibitor ekstrak daun sirsak (*Annona muricata*) efektif dalam menginhibisi laju korosi pada baja karbon API 5L.

B. SARAN

Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan perendaman dalam media korosif yang berbeda dengan konsentrasi yang lebih bervariasi dan logam yang berbeda untuk membandingkan laju korosi, produk korosi, dan jenis korosi yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adriana, 2010. *Ekstrak Bahan Alam sebagai Alternatif Inhibitor Korosi. (Skripsi)*. Universitas Sumatera Utara. Medan. P. 235-238
- Amanto, H. dan Daryanto. 1999. *Ilmu Bahan*. Bumi Aksara. Jakarta. P. 63-87.
- Ameer, M. A., Khamis, E., dan Al-Senani, G. 2000. Effect of Thiosemicarbozones on Corrosion of Steel of Phosphoric Acid Produced by Wet Process: *Adv. Science Technologies*. Vol. 2. P. 127-138.
- Amin, I., Norazaidah, Y., Emmy, H.K.I. 2009. *Antioxidant Activity and Phenolic Content of Raw and Blanched Annona Muricata species*. Universitas Putra Malaysia. Selangor. Malaysia.
- ASM handbook. 1993. Properties and Selection: Iron Steel and High Performance Alloys. *Tenth Edition*. Metals handbook. Vol. 6.
- ASTM (American Society for Testing and Material). 2002. *Standard Test Methods for Pitting and Crevice Corrosion Resistance of Stainless Steels and Related Alloys by Use Ferric Chloride Solution*. United State of America. G1- 90. Vol 3.2.
- Argawal, Y. K., Talati, J. D., Desai, M. N., dan Shah, N. K. 2004. Schiff Bases of Ethylenediamine as Corrosion Inhibitors of Zinc in Sulphuric Acid. *Corrosion Science*. Vol. 46. P. 633-651.
- Athur, Beiser. 1992. *Konsep Fisika Modern*. Jilid 3. Terjemahan The Houw Liong Ph.D. Erlangga. Jakarta.
- Brindley, G. W., and Brown, G. 1980. *Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-Ray Identification*. Mineralogical Society. London. P. 312-316, 378-380.
- Budianto, A., Purwantini, K., dan Sujitno, B. A. T. 2009. Pengamatan Struktur Mikro pada Korosi antar Butir dari Material Baja Tahan Karat Austenitik setelah Mengalami Proses Pemanasan. *JFN*. Vol. 3. P. 107-129.
- Bundjali, B., N. M. Surdia, Oei Ban Liang, dan Bambang, A. 2006. *Pelarutan Besi Selektif pada Korosi Baja Karbon dalam Larutan Buffer Asetat, Natrium Bikarbonat-CO₂ Jenuh*. ITB. Bandung. Vol. 38A. P. 149-161.

- Chan, S. G., Beck, T. R., 1993. *Electrochemical Technology Corp.* Seattle Washington. United State of America. P. 125-129.
- Cheng, S., Chen, S., Liu, T., dan Yin, Y. 2007. Carboxymethyl Chitosan as An Ecofriendly Inhibitor for Mild Steel in 1 M HCl. *Material Letter*. Vol. 61. P. 3276-3280.
- Cullity, B. D. 1978. *Elements of X-Rays Diffraction, Second Edition*. Adison-Wesley Publishing Company Inc. United State of America. P. 1, 87.
- Dalimunthe, I. S. 2004. *Kimia dari Inhibitor Korosi*. Universitas Sumatera Utara. Medan. P. 45-48.
- Firmansyah, D. 2011. Studi Inhibisi Korosi Baja Karbon dalam Larutan Asam 1M HCl oleh Ekstrak Daun Sirsak (*Annona muricata*). (Tesis). Universitas Indonesia. Depok. P. 30-32.
- Fontana, M. C., dan Greene, M. D. 1986. *Corrosion Engineering Hand Book*. Mc Graw Hill Book Company. New York. P. 144-147.
- Fouda, A. S., H. Tawfik and A. H. Badr. 2009. Corrosion inhibition of mild steel by *Camellia sinensis* extract as green inhibitor. *Advance in material and corrosion*. Vol. 1. P. 1-7.
- Griffin, H. dan Riessen, V. A. 1991. *Scanning Electron Microscopy Course Notes*. The University of Western Australia. Nedlands. P. 1-8.
- Harborne, J. B. 1984. *Metode Fotokimia*. ITB. Bandung. P. 151.
- Haryati. 2008. *Potensi dan Peluang Tanaman Obat*. Erlangga. Jakarta. P. 112.
- Haryono, G., dan Sugiarto, B. 2010. *Ekstrak Bahan Alam sebagai Inhibitor Korosi*. UPN Veteran. Yogyakarta. P. 125.
- Ideasanti., Soetarno, S., Kusmardiyanti, S. 1995. *Telaah Senyawa Fenolik Daun Sirsak, Annona muricata*. ITB. Bandung. P. 14-16.
- Ilim dan Hermawan, B. 2008. Study Penggunaan Ekstrak Buah Lada, Buah Pinang dan Daun Teh sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak dalam Air Laut Buatan yang Jenuh Gas CO₂. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi II*. Universitas Lampung. Bandar Lampung. P. 23.
- Jones, Denny A. 1992. *Principles and Prevention of Corrosion*. Maxwell Macmillan. Singapura. P. 12.
- Keller, J. F., Gettys, E. W., dan Skove, M. I. 1993. *Physics Classical and Modern, Second Edition*. McGraw-Hill Inc. United State America. P. 901.
- Khopar, S. M. 2002. *Konsep Dasar Kimia Analitik. Alih Bahasa A. Saptorahardjo*. Universitas Indonesia. Jakarta. P. 84-311.

- Kirk dan Othmer. 1965. *Encyclopedia of Chemical Technology, Second Edition*. Vol. 6. P. 320.
- Killeainda, E. S. 2014. Pengaruh Konsentrasi Larutan Asam Klorida tanpa dan dengan Inhibitor Kalium Kromat 0,2% terhadap Laju Korosi Baja API 5L Grade B PSLI. (*Skripsi*). Universitas Lampung. Bandar Lampung. P. 52.
- Lebrini, M., Robert, F., Roos, C. 2010. Inhibition Effect of Alkoloids Extract from *Annona Squamosa* Plant on The Corrosion of C38 Steel in Normal Hydrochloric Acid Medium. *Internasional Journal of Electrochemical Science*. Vol. 2. P. 2-4.
- Leicester, H. M. 1971. *The Historical Background Of Chemistry*. Dover Publications. New York. ISBN 0-486-61053-5.
- Lukman dan Triwikantoro. 2009. Pengaruh Unsur Korosif pada Air Hujan terhadap Perilaku Korosi Baja Karbon Rendah. *Seminar Nasional Pascasarjana*. ITS. Surabaya.
- Loto, C. A. 2011. Inhibition Effect of Tea (*Camellia sinensis*) Extract on the Corrosion of Mild Steel in Dilute Sulphuric Acid. *Journal Material and Environment Science*. Vol. 4. P. 335-344.
- McMullan, D. 1988. *Von Ardenne and The Scanning Electron Microscopy*. Proc Roy Micrisc. USA. Vol. 23. P. 283-288.
- Nurdin, Isdriyani dan Syahri, M. 1998. *Inhibisi Korosi Baja Karbon di dalam Larutan Karbonat Bikarbonat*. ITB. Bandung.
- Obi-Egbedi, N.O., Obot, I.B., Umoren, S.A. 2010. Spondias Mombin L. as a Green Corrosion Inhibitor for Aluminium in Sulphuric acid : Correlation between Inhibitive Effect and Electronic Properties of Extracts Major Constituents using Density Fuctional Theory. *Arabian Journal of Chemistry*.
- Oguzie, E. E. 2007. Corrosion Inhibition of Aluminium in Acidic and Alkaline Media by Sansevieria Trifas-Ciata Extract. *Corrosion Science*. Vol. 49. P. 402-417.
- Okafor, P.C., Ebenso, E.E., Ekbe, U.J. 2010. Azadirachta Indica Extract as Corrosion Inhibitor for Mild Steel in Acidic Medium. *International Journal of Electrochemical Science*. Vol. 2. P. 4-7.
- Pattireuw, K. J., Rauf, F. A., dan Lumintang, R. 2013. Analisis Laju Korosi pada Baja Karbon dengan Menggunakan Air Laut dan H_2SO_4 . *Jurnal Teknik USR*. Vol. 5. P. 1-10.
- Piere R, Roberge. 2008. *Corrosion Engineering-Principles and Practice*. TheMcGraw-Hill Companies Inc. United State of America. P. 23-28.

- Priyotomo, G. 2008. *Kamus Saku Korosi Material*. Metalurgi LIPI. Tangerang. P. 4-14.
- Qulub. 2011. *Scanning Electron Microscope dan Energi Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS)*. <http://www.Munawirul-q.blogspot.com/2011/031>. Diakses tanggal 23 Desember 2014, pukul 20.00 WIB.
- Quraishi, M.A., Singh, A., Singh, V.K., Yadav, D.K. 2010. Green Approach to corrosion Inhibition of Mild Steel in Hydrochloric Acid and Sulphuric Acid Solutions by The Extract of Murayya Koenigii Leaves. *E-Journal of Materials Chemistry and Physics*. Vol. 5. P. 3-7.
- Reed, S. J. B. 1993. *Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology*. Cambridge University Press, Florida. P. 23-24.
- Richman, M. H. 1967. *An Introduction to The Science of Metals*. Blaisdell Publishing Company, United State of America. P. 78-79.
- Rieger, H. P. 1992. *Electrochemistry, Second Edition*. Chapman and Hall Inc, New York. P. 412-421.
- Rustandi, Andi, Iandiono. Dito. 2011. Studi Laju Korosi Baja Karbon untuk Pipa Penyalur Proses Produksi Gas Alam yang Mengandung Gas CO₂ pada Lingkungan NaCl 0.5, 1.5, 2.5, dan 3.5%. (*Skripsi*). Universitas Indonesia. Depok. P. 44-46.
- Saratha, R., Priya, S.V., Thilagavathy, P. 2009. Investigation of Citrus Aurantifolia Leaves Extract as Corrosion Inhibitor for Mild Steel in 1 M HCl. *E-journal of Chemistry*. Vol. 3. P. 3-5.
- Saratha, R., Vasudha V.G. 2010. Emblica Officinalis (Indian Gooseberry) leaves Extract as Corrosion Inhibitor for Mild Steel in 1 N HCl Medium. *E-Journal of Chemistry*. Vol. 2. P. 1-4.
- Septianingsih, D. 2014. Pengaruh Variasi Konsentrasi Asam Klorida terhadap Laju Korosi Baja Karbon Rendah ASTM A 139 tanpa dan dengan Inhibitor Kalium Kromat 0,2%. (*Skripsi*). Universitas Lampung. Bandar Lampung. P. 35-37.
- Schmiege, S. 2012. *Scanning Electron Microscopy*. <http://sebastian-schmiege.blogspot.com/2012/07/scanning-electron-microscopy.html>. Diakses pada tanggal 15 Desember 2014 pukul 20.15 WIB.
- Smallman, R. E. and Bishop, R. J. 2000. *Modern Physical Metallurgy and Material Engineering*. Oxford. Butterworth-Heinemann. P. 34-35.
- Smith, F. W. 1990. *Principles of Material Science and Engineering, second edition*. McGraw-Hill, Inc. New York. P. 864.

- Stupnisek, L. E., Gazioda, A., dan Madzarac, M. 2002. Low Toxicity Copper Corrosion Inhibitor. *Corrosion Science*. Vol. 47. P. 4189.
- Sulaiman, A. 1978. Korosi Laut, Lingkungan dan Pengaruhnya terhadap Korosi. *Seminar Nasional Elektrokimia. Publitbang LIPI*. Serpong Tangerang. P. 34.
- Surdia, T. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. PT. Pradnya Paramita. Jakarta. P. 9-10.
- Supardi, R. 1997. *Korosi Edisi Pertama*. Tarsito. Bandung. P. 56-58.
- Tim Penelitian dan Pengembangan Industri, 2013. Kandungan Senyawa Kimia pada Daun Teh (*Camellia Sinensis*). *Warta Penelitian dan Pengembangan Industri*. Vol. 19. P. 12-16.
- Trethewey, K. R and Chamberlain, J. 1991. *Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasa*. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta. P. 27-28.
- Umoren, S.A., Obot, I.B., And Obi-Egbedi. 2011. *Corrosion Inhibition and Absorption Behaviour For Aluminium by Extract of Aningeria Robusta in HCL Solution: Synergistic Effect of Iodide Ions*. University of Uyo. Nigeria. P. 21-22.
- Van Dorst, W. C. A. 2004. *Technical Product Brochure Hydrochloricacid*. Akzo Nobel Base Chemicals. Amersfoort. P. 76-78.
- Vlack, Van L. H. 1994. *Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam), Edisi kelima*. Erlangga. Jakarta. P. 101-104.
- Wikipedia, 2014. *Wikipedia.org*. diakses pada tanggal 1 Desember, pukul 18.30 WIB.
- Wiston, R. 2000. *Uhlig's Corrosion Handbook, 2nd edition*. John Willey and Sons Inc. New York. P. 1091.