

**EFEKTIVITAS EKSTRAK DAUN BELIMBING WULUH
(*Averrhoa bilimbi L.*) SEBAGAI INHIBITOR PADA BAJA KARBON St37
DALAM MEDIUM KOROSIF NaCl 3%**

(Skripsi)

Oleh

NIA APRILLIANI



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2017**

ABSTRAK

EFEKTIVITAS EKSTRAK DAUN BELIMBING WULUH (*Averrhoa bilimbi L.*) SEBAGAI INHIBITOR PADA BAJA KARBON St37 DALAM MEDIUM KOROSIF NaCl 3%

Oleh

NIA APRILLIANI

Efektivitas ekstrak daun belimbing wuluh sebagai inhibitor pada baja karbon St37 dalam medium korosif NaCl 3% telah diteliti dalam konsentrasi inhibitor ekstrak daun belimbing wuluh yang digunakan sebesar 0%, 3%, 5% dan 7% dengan waktu perendaman 4 hari dan 8 hari. Pengujian laju korosi dilakukan dengan metode kehilangan berat. Hasil penelitian pada masing-masing waktu perendaman, menunjukkan bahwa konsentrasi optimum dari ekstrak daun belimbing wuluh untuk menghambat korosi yaitu sebesar 5% dan semakin lama waktu perendaman mengakibatkan penurunan laju korosi pada baja karbon St37. Efektivitas inhibitor maksimal terdapat pada konsentrasi 5% dengan waktu perendaman 8 hari yaitu sebesar 78,57%. Hasil karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) permukaan baja pada sampel St37-8-5 dan St37-4-5 lebih halus dengan lapisan berwarna putih. Tanin dalam ekstrak daun belimbing wuluh telah teradsorpsi pada permukaan baja. Sedangkan permukaan baja pada sampel St37-4-0 dan St37-8-0 berwarna hitam disertai lubang dan retakan. Hasil karakterisasi *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) pada sampel St37-8-0 dan St37-4-0 menunjukkan bahwa kandungan unsur oksigen lebih besar dan unsur Fe lebih kecil dibandingkan pada sampel St37-8-5 dan St37-4-5.

Kata Kunci: Baja karbon St37, daun belimbing wuluh, inhibitor, NaCl.

ABSTRACT

THE EFFECTIVENESS OF BILIMBI LEAVES EXTRACT AS INHIBITORS ON CARBON STEEL St37 IN NaCl 3% CORROSIVE MEDIUM

By

NIA APRILLIANI

The effectiveness of belimbing wuluh leaves extract as an inhibitor of St37 carbon steel in a corrosive medium of 3% NaCl had been researched. The concentration of belimbing wuluh leaves extract inhibitor was used 0%, 3%, 5% and 7% with immersion time of 4 and 8 days. Corrosion rate testing was done by weight loss method. The results of the research at each immersion time, showed that the optimum concentration of leaves belimbing wuluh extract to inhibit corrosion is 5% and the longer time immersion resulted in decreasing corrosion rate on St37 carbon steel. The maximum effectiveness of inhibitor occurred at 5% concentration with 8 days immersion time which is 78.57%. Characterization using Scanning Electron Microscopy (SEM) showed that the surface of steel looks smoother with white on sample St37-8-5 and St37-4-5 showing that tannin in belimbing wuluh leaves extract has been adsorbed on the steel surface while St37 carbon steel on St37-8-0 and St37-4-0 has a black steel surface with holes and cracks. Characterization using Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) obtained oxygen element on sample St37-8-0 and St37-4-0 greater concentration and Fe element smaller on sample St37-8-5 and St37-4-5.

Key words: *Carbon steel St37, belimbing wuluh leaves, corrosion inhibitor, NaCl.*

**EFEKTIVITAS EKSTRAK DAUN BELIMBING WULUH
(*Averrhoa bilimbi L.*) SEBAGAI INHIBITOR PADA BAJA KARBON St37
DALAM MEDIUM KOROSIF NaCl 3%**

Oleh

NIA APRILLIANI

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
2017**

Judul Skripsi : **EFEKTIVITAS EKSTRAK DAUN
BELIMBING WULUH (*Averrhoa bilimbi L.*)
SEBAGAI INHIBITOR PADA BAJA
KARBON St37 DALAM MEDIUM KOROSIF
NaCl 3%**

Nama Mahasiswa : **Nia Aprilliani**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1317041028**

Jurusan : **Fisika**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



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

Suprihatin, M.Si.
NIP 19730414 199702 2 001

2. Ketua Jurusan Fisika

[Signature]

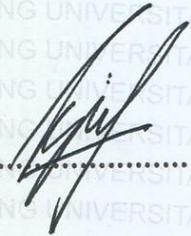
Arif Surtano, M.Si., M.Eng.
NIP. 197109092000121001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Drs. Ediman Ginting Suka, M.Si.



Sekretaris

: Suprihatin, S.Si., M.Si.



Penguji

Bukan Pembimbing

: Drs. Syafriadi, M.Si.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Prof. Warsito, S.Si., DEA., Ph.D.

NIP. 19710212 199512 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 12 Oktober 2017

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, 10 Oktober 2017



Nia Aprilliani
NPM.1317041028

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kayu Batu, Kabupaten Way Kanan, pada tanggal 12 April 1995. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara oleh pasangan Bapak Jumin dan Ibu Isma Yuli. Penulis menyelesaikan pendidikan di SDN 2 Ogan Lima pada tahun 2007, SMPN 2 Gunung

Labuhan pada tahun 2010, dan SMAN 2 Menggala pada tahun 2013.

Selanjutnya pada tahun 2013 penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam melalui jalur SNMPTN undangan. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di kegiatan kampus yaitu Himpunan Mahasiswa Fisika sebagai Anggota Bidang Kaderisasi tahun 2013-2014, Badan Eksekutif Mahasiswa FMIPA sebagai Anggota Departemen Pengembangan Sains dan Lingkungan Hidup pada tahun 2014-2015, Badan Eksekutif Mahasiswa FMIPA sebagai Bendahara Departemen Kesejahteraan Mahasiswa tahun 2015-2016, dan Badan Eksekutif Mahasiswa Universitas sebagai Staff Ahli Kementerian Kesejahteraan Mahasiswa dan Masyarakat. Penulis juga pernah menjadi asisten praktikum Fisika Dasar, Sol Gel, Sains Dasar Fisika, dan Fisika Eksperimen. Penulis melakukan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju-BATAN, Serpong, Tangerang Selatan dengan judul “Pemanfaatan Difraktometer Neutron untuk Analisis Struktur Kristal Bahan”. Kemudian penulis melakukan penelitian “Efektivitas Ekstrak Daun Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi L.*) sebagai Inhibitor pada Baja Karbon St37 dalam Medium Korosif NaCl 3%” sebagai tugas akhir di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNILA.

MOTTO

“Man Jadda WaJada”

“Siapa bersungguh-sungguh pasti berhasil”

“Man Shabara Zhafira”

“Siapa yang bersabar pasti beruntung”

(Ahmad Fuadi)

Aku persembahkan karya kecilku ini kepada

ALLAH SWT

Kedua Orang Tuaku, yang selalu
mendo'akanku, mengasihiku, mendukungku,
menyemangatiku, dan sebagai motivator
terbesar dalam hidupku

Adik-adikku serta keluarga besar yang
menjadi penyemangatku

Sahabat dan teman seperjuangan Angkatan

'13

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 BELIMBING WULUH (*Averrhoa bilimbi L.*) SEBAGAI INHIBITOR PADA BAJA KARBON St37 DALAM MEDIUM KOROSIF NaCl 3%”**. Tujuan penulisan skripsi ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar sarjana 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. Aamiin.

Bandar Lampung, 12 Oktober 2017

Penulis,

Nia Aprilliani

SANWACANA

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

1. Bapak Drs. Ediman Ginting Suka, M.Si. sebagai Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan arahan.
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 skripsi.
3. Bapak Drs. Syafriadi, M.Si. sebagai Pembahas yang telah mengoreksi kekurangan, memberikan kritik dan saran.
4. Kedua orangtuaku Bapak Jumin dan Ibu Isma Yuli, yang luar biasa selalu mendoakanku serta adik-adikku Yesinta Melani Dewi dan Desta Ardiansyah. Terimakasih untuk kehadirannya dalam hidupku yang senantiasa memberikan dukungan, do'a dan semangat yang luar biasa sampai penulis menyelesaikan skripsi.
5. Bapak Drs. Pulung Karo Karo, M.Si. sebagai Pembimbing Akademik, yang telah memberikan bimbingan serta nasehat dari awal perkuliahan sampai menyelesaikan tugas akhir.

6. Bapak Arif Surtono, M.Si., M.Eng. sebagai Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
7. Bapak Gurum Ahmad Fauzi, S.Si., M.T. sebagai Sekretaris Jurusan Fisika dan para dosen serta karyawan di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
8. Paman- pamanku Robert Kennedi dan Putra Irawan serta keluarga besar dari Ibuku yang telah banyak membantu dan menyemangatiku.
9. Teman-temanku: Ilwan Pusaka, Suci Pangestuti, Nurlita Novitri, Widya Ayu, Mardianto, Sinta Novita, Nabilah Rafidiyah, Arta Bayti Bonita, Maria Sova, Siti Isma, Ratna Noviyana, Dewi Nurul F.F.E, Rizky Fadhlilah, Fauza Ramadhan N dan Rio Aditya Putra, yang tidak bisa disebutkan satu per satu. Terima kasih untuk bantuan, semangat dan do'anya.
10. Teman- teman Fisika angkatan 2013 yang selama ini memberikan semangat.
11. Kakak-kakak tingkat: Kak Fiskan, Mba Mon Mon, kak Apri dan Mba Diah serta adik-adik tingkat.

Bandar Lampung, 12 Oktober 2017

Penulis

Nia Aprilliani

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	5
C. Batasan Masalah	5
D. Tujuan Penelitian	6
E. Manfaat Penelitian	6

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Baja.....	7
1. Baja Karbon.....	7
2. Baja Paduan.....	9
B. Korosi.....	11
1. Faktor Korosi.....	13
2. Jenis-Jenis Korosi.....	15
C. Pengaruh Ion Klorida terhadap Korosi pada Baja.....	21
D. Inhibitor Korosi.....	21
E. Klasifikasi Inhibitor.....	22
F. Ekstrak Daun Sirsak sebagai Inhibitor Korosi.....	24
1. Metode Ekstraksi.....	24
2. Belimbing Wuluh (<i>Averrhoa bilimbi L.</i>).....	26
3. Kandungan Senyawa Kimia dalam Belimbing Wuluh.....	27
G. Tanin.....	28
1. Tanin Terkondensasi.....	28
2. Tanin Terhidrolisis.....	29
H. Laju Korosi.....	29
I. <i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy</i> (SEM-EDS).....	31

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat penelitian.....	34
B. Alat dan Bahan.....	34
C. Preparasi Bahan.....	35

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perhitungan Laju Korosi.....	41
B. Analisis SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>).....	46
C. Analisis EDS (<i>Energy Dispersive Spectroscopy</i>).....	49

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan.....	59
B. Saran.....	60

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Klasifikasi baja karbon.....	9
2.2. Komposisi kimia baja St37	10
2.3. Kandungan kimia dalam belimbing wuluh	27
2.4. Konstanta laju korosi	30
3.1. Kode sampel.....	36
4.1. Hasil pengukuran baja St37 dalam medium korosif NaCl 3%	40
4.2. Laju korosi pada baja karbon St37.....	41
4.3. Efisiensi inhibitor ekstrak daun belimbing wuluh	44
4.4. Perbandingan unsur-unsur kimia pada sampel St37-4-0.....	49
4.5. Perbandingan unsur-unsur kimia pada sampel St37-4-5.....	52
4.5. Perbandingan unsur-unsur kimia pada sampel St37-8-0.....	55
4.5. Perbandingan unsur-unsur kimia pada sampel St37-8-5.....	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Korosi merata.....	16
2.2 Korosi galvanik.....	16
2.3 Korosi sumuran.....	17
2.4 Korosi celah.....	19
2.5 Korosi antar batas butir.....	20
2.6 Korosi retak teganga.....	21
2.7 Tanaman belimbing wuluh.....	27
2.8 Struktur dasar tanin terkondensasi.....	28
2.9 Struktur asam galat.....	29
2.10 Diagram skema SEM.....	31
3.1 Diagram alir penelitian.....	35
4.1 Pengaruh konsentrasi inhibitor dan waktu perendaman terhadap laju korosi dalam medium korosif NaCl 3%.....	42
4.2 Pengaruh konsentrasi dan waktu perendaman terhadap efisiensi inhibitor dalam medium korosif NaCl 3%	45
4.3 Hasil SEM dengan perbesaran 500×: (a) sampel St37-4-0 (b) sampel St37-4-5 (c) sampel St37-8-0 (d) sampel St37-8-5	47

4.4	Hasil uji EDS pada area permukaan sampel St37-4-0	49
4.5	Hasil uji EDS pada area permukaan sampel St37-4-5	51
4.6	Hasil uji EDS pada area permukaan sampel St37-8-0	54
4.7	Hasil uji EDS pada area permukaan sampel St37-8-5	56

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Baja merupakan material yang paling banyak digunakan dalam bidang industri, hal ini karena baja mudah didapatkan dan difabrikasi. Baja pada dasarnya adalah bentuk perpaduan suatu logam yaitu besi (Fe) dengan karbon (C) (Jones, 1992). Oleh karena itu, baja dibagi menjadi dua kelompok yaitu baja karbon dan baja paduan. Salah satu pemanfaatan baja adalah sebagai material konstruksi (struktur) pada bangunan-bangunan seperti pada jembatan, tower, rangka gedung dan lain-lain. Baja yang digunakan pada konstruksi umumnya memiliki spesifikasi tegangan (*tensile strength*) yang jelas, salah satunya adalah baja St37 (Salmon dan Jhonson, 1994).

Baja St37 merupakan bahan bangunan yang sangat kuat dengan struktur butir yang halus. St adalah singkatan dari *steel* atau *sthal*, sedangkan angka 37 berarti menunjukkan batas minimum kekuatan tarik sebesar 37 MPa. Namun baja memiliki kelemahan yaitu mudah terkorosi, sehingga dapat mengakibatkan kegagalan produksi pada komponen industri (Budianto dkk., 2009). Korosi adalah penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia suatu logam dengan lingkungannya (Jones, 1992).

Di Indonesia permasalahan korosi perlu mendapat perhatian serius, mengingat dua per tiga wilayah nusantara terdiri dari lautan dan terletak pada daerah tropis dengan curah hujan yang tinggi, dimana lingkungan seperti ini dikenal sangat korosif. Lingkungan yang menyebabkan korosi sangat dipengaruhi oleh adanya gas limbah (sulfur dioksida, sulfat, hidrogen sulfida, klorida), kandungan O₂, pH larutan, temperatur, kelembaban, kecepatan alir dan aktifitas mikroba (Asdim, 2007). Sehingga semua konstruksi baja harus diwaspadai dari serangan korosi (Harsisto dan To'at, 1997).

Beberapa penelitian untuk mengatasi korosi yaitu menggunakan inhibitor korosi (Umoren *et al.*, 2014), perlindungan katodik (Abreu *et al.*, 1999), pelapisan cat (Mansfeld *et al.*, 1991) dan lain-lain. Sejauh ini, penggunaan inhibitor korosi merupakan cara yang paling efektif untuk mencegah korosi, karena prosesnya sederhana dengan biaya relatif murah (Ali dkk., 2014).

Inhibitor korosi merupakan zat atau bahan yang bila ditambahkan dalam konsentrasi kecil ke dalam medium korosif dapat menurunkan atau mencegah laju korosi logam (Trethewey and Chamberlain, 1991). Umumnya inhibitor korosi berasal dari senyawa anorganik dan organik. Fosfat (Nahali *et al.*, 2014), silikat (Salasi *et al.*, 2007), tungstat (Mu *et al.*, 2006) dan molibdat (Saremi *et al.*, 2005) adalah senyawa anorganik yang digunakan sebagai inhibitor korosi. Namun, senyawa-senyawa tersebut merupakan bahan kimia yang berbahaya, harganya relatif mahal, dan tidak ramah lingkungan (Saputra, 2011).

Oleh karena itu, diperlukan inhibitor korosi dari bahan yang aman, bersifat *bio-degradable*, biaya murah dan ramah lingkungan (Umoren *et al.*, 2011).

Inhibitor organik yaitu inhibitor yang berasal dari bagian tumbuhan yang mengandung tanin. Tanin merupakan senyawa yang berfungsi sebagai zat antioksidan yang mampu menghambat dan mencegah proses korosi karena memiliki unsur N, P, O, S dan pasangan elektron bebas (Umoren *et al.*, 2016). Unsur-unsur tersebut membentuk senyawa kompleks yang dapat teradsorpsi pada permukaan baja berupa lapisan tipis (Okafor *et al.*, 2010), sehingga mampu menghambat korosi logam (Asdim, 2007). Penggunaan produk tumbuhan sebagai inhibitor korosi dibuktikan dengan senyawa fitokimia yang terkandung di dalamnya dengan struktur elektrokimia dan molekuler mendekati sama dengan molekul inhibitor organik konvensional (Umoren *et al.*, 2011).

Telah banyak dikembangkan inhibitor korosi pada baja St37 dari bahan alam yang ramah lingkungan. Sari dkk., (2013) melakukan penelitian menggunakan inhibitor korosi dari ekstrak daun teh (*Camelia sinensis L.*) dalam medium korosif NaCl 3% dan HCl 3%. Buyuksagis *et al.*, (2015) melakukan penelitian mengenai inhibitor korosi dari ekstrak buah oak (*Quercus robur*) dan kulit delima (*Pomegranate peels*) dalam medium korosif larutan *Geothermal*. Gerengi *et al.*, (2016) melakukan penelitian menggunakan inhibitor korosi dari ekstrak daun kesemek (*Diospyros kaki L.*) dalam medium korosif HCl 0,1 M.

Belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi L.*) merupakan tanaman yang sering ditemukan di pekarangan rumah. Di Indonesia, daun belimbing wuluh banyak

dimanfaatkan sebagai obat tradisional. Kandungan senyawa kimia dalam daun belimbing wuluh yaitu tanin, flavonoid, alkaloid, saponin, kalium, asam sitrat dan glikosida (Hayati dkk., 2010; Roy *et al.*, 2011; Panjaitan dkk., 2017). Senyawa-senyawa yang terkandung dalam daun belimbing wuluh dapat membentuk senyawa kompleks, salah satu zat aktif tersebut adalah tanin. Kandungan tanin dalam daun belimbing wuluh sebesar 10,92% (Ummah, 2010) sehingga daun belimbing wuluh dapat berfungsi sebagai inhibitor korosi.

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh M. Reza Ardiansyah (2014) menggunakan inhibitor korosi dari ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi L.*) dengan variasi media korosif HCl 1M, 2M, 3M, 4M, dan 5M, kemudian perendaman dilakukan selama 1, 2, 3, 4, 5 minggu pada baja karbon dengan konsentrasi inhibitor 5%. Dari hasil penelitian tersebut diperoleh efisiensi inhibitor sebesar 83,666% dalam medium korosif HCl 1M selama 1 minggu.

Pada penelitian ini menggunakan baja karbon St37 yang direndam dalam medium korosif NaCl 3% pada konsentrasi inhibitor 0%, 3%, 5%, dan 7% dengan waktu perendaman selama 4 hari dan 8 hari. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi inhibitor ekstrak daun belimbing wuluh dan waktu perendaman terhadap laju korosi pada baja karbon St37 dalam medium korosif NaCl 3% dan mengetahui efisiensi inhibisi dari ekstrak daun belimbing wuluh pada baja karbon St37. Hasil korosi dikarakterisasi dengan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) untuk melihat struktur mikro dan EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) untuk melihat produk korosi. Untuk menentukan laju korosi dilakukan menggunakan metode kehilangan berat.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh konsentrasi inhibitor ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi L.*) dan waktu perendaman terhadap laju korosi pada baja karbon St37 dalam medium korosif NaCl 3%?
2. Berapakah efisiensi inhibisi dari ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi L.*) pada baja karbon St37?
3. Bagaimana struktur mikro, dan unsur-unsur kimia yang dihasilkan pada baja karbon St37 setelah ditambahkan inhibitor ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi L.*) dalam medium korosif NaCl 3%.

C. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Sampel yang digunakan adalah baja karbon St37.
2. Medium korosif yang digunakan adalah NaCl dengan konsentrasi 3%.
3. Perendaman baja pada medium korosif menggunakan inhibitor ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi L.*) dengan konsentrasi 0%, 3%, 5%, 7% dan dengan variasi waktu perendaman selama 8 hari dan 4 hari.
4. Laju korosi dihitung dengan metode kehilangan berat.
5. Karakterisasi yang dilakukan menggunakan SEM dan EDS.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh konsentrasi inhibitor ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi L.*) dan waktu perendaman terhadap laju korosi dalam medium korosif NaCl 3%.
2. Mengetahui efisiensi inhibisi dari ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi L.*) pada baja karbon St37.
3. Mengetahui struktur mikro dan produk korosi pada baja karbon St37 setelah perendaman dalam medium korosif NaCl 3%.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi tentang manfaat daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi L.*) sebagai inhibitor korosi pada baja karbon.
2. Memberikan informasi mengenai pengaruh konsentrasi larutan inhibitor ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi L.*) pada baja karbon St37 dalam medium korosif NaCl 3%.
3. Menjadi tambahan referensi tentang inhibitor korosi di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, terutama di Jurusan Fisika.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Baja

Baja adalah material logam yang terbentuk dari paduan logam besi (Fe) dan karbon (C). Besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Sifat mekanis pada baja bergantung pada kandungan karbon. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0,1% hingga 1,7% sesuai dengan tingkatannya. Berdasarkan komposisinya, baja dibedakan menjadi baja karbon (*Carbon steel*) dan baja paduan (*Alloy steel*).

1. Baja Karbon (*Carbon Steel*)

Baja karbon adalah paduan besi (Fe) dan karbon (C) dengan kadar 0,05% Fe dan 1% C, serta unsur-unsur lainnya seperti mangan (Mn), silikon (Si), nikel (Ni), vanadium (V), molybdenum (Mo) dan lain sebagainya dalam presentasi yang kecil (Fontana, 1978). Baja karbon banyak digunakan dalam dunia industri seperti pada kapal, pipa dan tangki (Jones, 1996). Sifat mekanis baja bergantung pada kadar karbonnya. Jika kadar karbon naik, maka kekuatan dan kekasarnya juga bertambah tinggi (Wiryo Sumarto, 2000). Baja karbon dibagi menjadi tiga yaitu: baja karbon rendah, baja karbon sedang dan baja karbon tinggi.

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

Baja karbon rendah memiliki kandungan karbon dibawah 0,3%. Baja karbon rendah sering disebut dengan baja perkakas. Jenis baja yang umum dan banyak digunakan adalah jenis *cold roll steel* dengan kandungan karbon 0,08%–0,3% yang biasa digunakan untuk badan kendaraan. Baja karbon rendah dalam perdagangan dibuat dalam plat baja, baja strip dan baja batangan untuk konstruksi (Sack, 1976).

b. Baja karbon sedang (*Medium steel carbon*)

Baja karbon sedang memiliki kekuatan yang lebih baik dari baja karbon rendah, tidak mudah dibentuk oleh mesin, lebih sulit dilakukan pengelasan dan dapat dikeraskan dengan perlakuan panas. Baja karbon sedang banyak digunakan untuk poros, rel kereta api, baut, komponen mesin yang membutuhkan kekuatan tinggi dan lain–lain (Sack,1976).

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

Baja karbon tinggi memiliki karbon paling tinggi jika dibandingkan dengan baja karbon rendah dan karbon sedang, yaitu memiliki kandungan karbon 0,6%–1,7%. Pada umumnya, baja karbon tinggi sukar dibentuk dan memiliki keuletan yang rendah (Sack, 1976). Baja ini mempunyai tegangan tarik paling tinggi dan banyak digunakan untuk material *tools* seperti untuk membuat mesin bubut dan alat-alat mesin (Amanto dan Daryanto, 1999).

Klasifikasi baja dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1. Klasifikasi baja karbon (Linnert, 1994).

Kandungan Karbon (%)	Nama	Aplikasi
0,15	<i>Low carbon steel</i>	Baja strip, badan mobil, dan kawat las
0,15–0,30	<i>Mild steel</i>	Konstruksi bangunan
0,35–0,60	<i>Medium carbon steel</i>	Bagian mesin, roda gigi, dan pegas
0,60–1.00	<i>High carbon steel</i>	Rel kereta api

Sumber: Welding Metallurgy, 1994.

2. Baja Paduan (*Alloy Steel*)

Baja paduan adalah baja yang mempunyai unsur karbon (C) yang lebih rendah dari elemen paduannya seperti mangan (Mn), silikon (Si), nikel (Ni), kromium (Cr), molybdenum (Mo), tembaga (Cu) dan vanadium (V) (Linnert, 1994) yang berguna untuk memperoleh sifat-sifat baja yang dikehendaki, seperti sifat kekuatan, kekerasan dan keuletannya. Paduan dari beberapa unsur yang berbeda memberikan sifat khas dari baja. Misalnya baja yang dipadu dengan nikel, mangan dan krom akan menghasilkan baja yang mempunyai sifat keras dan ulet. Berdasarkan paduannya baja paduan terbagi dalam 3 jenis yaitu:

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

Baja paduan rendah merupakan baja paduan yang elemen paduannya 2,5% terdiri dari unsur Cr, Mn, S, Si, P dan lain-lain. Baja jenis ini biasanya digunakan untuk perkakas seperti pahat kayu, poros dan gergaji (ASM Handbook, 1993).

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

Baja paduan menengah adalah baja paduan yang memiliki elemen paduan 2,5%-10 % wt.

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

Baja paduan tinggi adalah baja paduan yang memiliki elemen Cr, Ni, atau Mn lebih dari 10% wt (Amanto dan Daryanto, 1999).

Elemen paduan ditambahkan ke baja mempunyai fungsi untuk meningkatkan sifat mekanik (kekuatan dan ketangguhan), menambah atau mengurangi kecenderungan untuk pengerasan selama perlakuan panas, mengubah sifat magnetik dan menghambat korosi (Linnert, 1994).

Baja St37 adalah baja yang digunakan untuk konstruksi dan industri perpipaan dan diproduksi berdasarkan standar DIN (Jerman) dengan kekuatan tarik sebesar 37 MPa. Baja St37 mempunyai kadar karbon sebesar 0,13% dan tergolong dalam baja karbon rendah. Komposisi kimia baja St37 dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Komposisi kimia baja St37.

No	Unsur	Komposisi (%)
1	Karbon (C)	0,134
2	Mangan (Mn)	1,19
3	Silikon (Si)	0,247
4	Fosfor (P)	0,022
5	Sulfur (S)	0,002
6	<i>Cuprum</i> (Cu)	0,011
7	Nikel (Ni)	0,019
8	Molibden (Mo)	0,003
9	Krom (Cr)	0,025
10	Vanadium (V)	0,0004
11	Titanium (Ti)	0,009
12	Besi (Fe)	98,2

Sumber: LIPI *Laboratory*, 2016.

B. Korosi

Korosi adalah penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia suatu logam dengan lingkungannya. Lingkungan yang dimaksud berupa air, larutan asam, larutan basa, larutan garam, udara dan sebagainya (Jones, 1992).

Reaksi korosi logam melibatkan dua reaksi setengah sel, yaitu reaksi oksidasi pada anoda dan reaksi reduksi pada katoda (Jones, 1992).

a. Anoda

Anoda adalah bahan logam yang mengalami korosi dengan melepaskan elektron-elektron dari atom logam netral untuk membentuk ion. Ion ini kemudian bereaksi membentuk karat. Reaksi oksidasi pada anoda dapat dituliskan dengan persamaan:

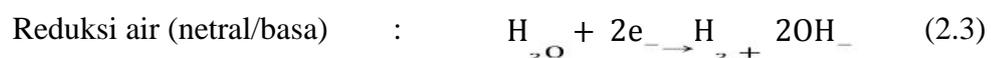


Dengan z adalah valensi logam dan umumnya $z = 1, 2$, atau 3 .

b. Katoda

Katoda adalah bahan logam yang tidak mengalami korosi karena menerima elektron. Pada lingkungan alam, proses yang sering terjadi adalah pelepasan H_2 dan reduksi O_2 .

1) Pelepasan H_2 dalam larutan asam dan netral



2) Reaksi oksigen terlarut dalam larutan asam dan netral



Elemen-elemen utama penyebab terjadinya korosi adalah:

a. Material

Material logam akan bersifat sebagai anoda dalam proses korosi. Anoda adalah suatu bagian dari suatu reaksi yang akan mengalami oksidasi. Akibat reaksi oksidasi, suatu logam akan kehilangan elektron sehingga logam menjadi ion.

b. Lingkungan

Lingkungan akan bersifat sebagai katoda dalam peristiwa korosi. Katoda adalah suatu bagian dari reaksi yang akan mengalami reduksi. Akibat reaksi reduksi, lingkungan yang bersifat katoda akan membutuhkan elektron yang akan diambil dari anoda. Beberapa lingkungan yang dapat bersifat katoda adalah lingkungan air, atmosfer, gas, tanah dan minyak.

c. Reaksi antara material dan lingkungan

Reaksi korosi hanya akan terjadi jika terdapat hubungan atau kontak langsung antara material dan lingkungan. Sehingga, akan terjadi reaksi reduksi dan oksidasi secara spontan.

d. Elektrolit

Dalam rangkaian elektrik, antara anoda dan katoda harus dilengkapi dengan elektrolit agar terjadi suatu reaksi reduksi dan oksidasi. Elektrolit menghantarkan listrik karena mengandung ion-ion yang mampu menghantarkan *elektroequivalen force* sehingga reaksi dapat berlangsung (Fontana and Greene, 1986).

1. Faktor Korosi

Beberapa faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi proses korosi antara lain:

a. Suhu

Kenaikan suhu akan menyebabkan bertambahnya kecepatan reaksi korosi. Hal ini terjadi karena makin tinggi suhu maka energi kinetik dari partikel-partikel yang bereaksi akan meningkat sehingga melampaui besarnya harga energi aktivasi dan akibatnya laju kecepatan reaksi korosi juga akan makin cepat, begitu juga sebaliknya (Fogler, 1992).

b. Kecepatan alir fluida atau kecepatan pengadukan

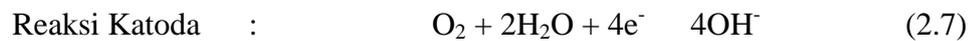
Laju korosi cenderung bertambah jika laju atau kecepatan fluida bertambah besar. Hal ini karena kontak antara zat pereaksi dan logam akan semakin besar sehingga ion-ion logam akan makin banyak yang lepas sehingga logam akan mengalami korosi (Kirk and Othmer, 1965).

c. pH

Kenaikan laju korosi pada logam terjadi pada pH di bawah 4 dan di atas 12, hal ini disebabkan karena lapisan pelindung pada besi tidak terbentuk (Roberge, 2008).

d. Oksigen

Oksigen yang terlarut menyebabkan korosi pada logam akan bertambah. Kelarutan oksigen dalam air merupakan fungsi dari tekanan, temperatur dan kandungan klorida. Untuk tekanan 1 atm dan temperatur kamar, kelarutan oksigen adalah 10 ppm. Kelarutan oksigen akan berkurang dengan bertambahnya temperatur dan konsentrasi garam. Reaksi korosi secara umum pada besi akibat kelarutan oksigen adalah:



(Djaprie, 1995).

e. Waktu kontak

Inhibitor dapat membuat ketahanan logam terhadap korosi lebih tinggi. Dengan adanya penambahan inhibitor ke dalam larutan, maka laju korosi akan terhambat. Namun semakin lama waktu perendaman, maka inhibitor akan semakin habis terserang oleh larutan, sehingga waktu kerja inhibitor untuk melindungi logam dari korosi akan hilang atau habis pada waktu tertentu (Uhlig, 1961).

f. Padatan terlarut

➤ Klorida (Cl⁻)

Klorida menyerang lapisan *mild steel* dan lapisan *stainless steel*. Padatan juga menyebabkan terjadinya *pitting*, *crevice corrosion*, dan juga menyebabkan pecahnya paduan. Klorida biasanya ditemukan pada campuran minyak-air dalam konsentrasi tinggi yang akan menyebabkan proses korosi. Proses korosi juga

dapat disebabkan oleh kenaikan konduktivitas larutan garam, apabila larutan garam yang lebih konduktif, maka laju korosinya juga akan lebih tinggi.

➤ Karbonat (CO_3)

Kalsium karbonat sering digunakan sebagai pengontrol korosi dimana lapisan karbonat diendapkan sebagai lapisan pelindung permukaan logam, tetapi dalam produksi minyak sering menimbulkan masalah *scale*.

➤ Sulfat (SO_4)

Ion sulfat biasanya terdapat dalam minyak. Dalam air, ion sulfat juga ditemukan dalam konsentrasi yang cukup tinggi dan bersifat kontaminan (Putra, 2011).

2. Jenis-jenis korosi

Jenis-jenis korosi secara umum dapat dibedakan sebagai berikut:

a. Korosi merata (*Uniform corrosion*)

Korosi merata merupakan korosi yang disebabkan oleh reaksi kimia atau elektrokimia yang terjadi secara seragam pada permukaan logam. Efeknya adalah terjadi penipisan pada permukaan dan akhirnya menyebabkan kegagalan karena ketidakmampuan untuk menahan beban. Korosi ini dapat dicegah atau dikendalikan dengan pemilihan material termasuk *coating*, penambahan inhibitor korosi pada fluida atau menggunakan *cathodic protection* (Jones, 1996). Gambar 2.1 menunjukkan korosi merata.



Gambar 2.1. Korosi merata (Sumber: Priyotomo, 2008).

b. Korosi dwi logam (*Galvanic corrosion*)

Korosi dwi logam terjadi jika dua logam berbeda jenis yang dialiri listrik berada dalam elektrolit yang sama, salah satu logam mengalami korosi sedangkan satunya tidak mengalami korosi. Ketika kedua logam ditempatkan dalam medium korosif yang sama maka kedua logam dapat mengalami korosi dalam tingkat yang berbeda (Chatterjee *et al.*, 2001), hal ini disebabkan karena beda potensial. Akibatnya, logam dengan ketahanan terhadap korosi yang rendah akan mengalami laju korosi lebih tinggi dibandingkan dengan logam yang memiliki ketahanan terhadap korosi tinggi. Gambar 2.2 menunjukkan korosi galvanik.

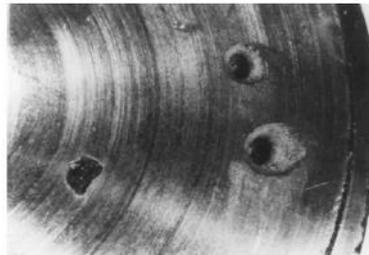


Gambar 2.2. Korosi Galvanik (Sumber: ASM Handbook, 1991).

c. Korosi sumuran (*pitting corrosion*)

Bentuk dari korosi ini berhubungan dengan pembentukan lubang, seperti lubang atau rongga dengan diameter permukaan sama atau kurang dari kedalaman.

Kedalaman yang meningkat menyebabkan pengurangan pada ketebalan bagian logam. Lebar lubang korosi juga meningkat seiring dengan waktu, akan tetapi tidak mempengaruhi kedalaman lubang korosi. Kebanyakan pinggiran lubang masih ditutupi dengan produk korosi, yang mempersulit pendeteksian selama pemeriksaan. Lubang korosi dapat menyebabkan terjadinya kebocoran tidak terduga pada pipa atau tangki, lubang korosi juga menyebabkan patah getas, kerusakan *fatigue* (Chatterjee *et al.*, 2001). Gambar 2.3 menunjukkan korosi sumuran.



Gambar 2.3. Korosi sumuran (Sumber: Chatterjee *et al.*, 2001).

Karakteristik korosi sumuran adalah:

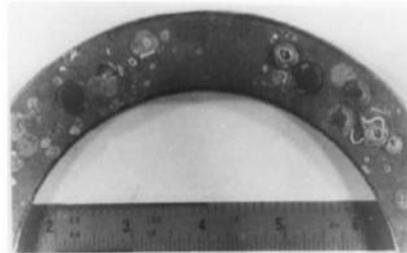
1. Serangan korosi tersebar ke seluruh daerah yang kecil. Lubang–lubang korosi terkadang terisolasi dan terkadang dekat antara satu sama lain, sehingga memberikan tampilan yang kasar pada daerah yang terkena serangan.
2. Lubang korosi atau korosi sumuran biasanya berinisiasi pada permukaan yang lebih tinggi pada bagian yang diletakkan secara horizontal dan tumbuh searah dengan arah gravitasi.
3. Lubang korosi atau korosi sumuran biasanya membutuhkan masa inisiasi yang panjang sebelum akhirnya muncul lubang korosi.

4. Lubang korosi dipengaruhi oleh autokatalik di alam. Oleh karena itu, korosi tersebar sendiri meskipun tidak ada rangsangan eksternal. Jadi, begitu terinisiasi lubang korosi terus tumbuh.
5. Larutan dalam keadaan stagnan atau diam akan menyebabkan terbentuknya lubang korosi, bahkan material yang dalam medium yang bergerak juga rentan terhadap lubang korosi.
6. Baja tahan karat dan paduannya sangat rentan terhadap lubang korosi. Korosi pada baja tahan karat sering terjadi dalam larutan netral ke asam klorida. Baja karbon lebih tahan terhadap lubang korosi dibandingkan baja tahan karat.
7. Lubang–lubang korosi pada umumnya berasosiasi dengan ion halida, klorida, bromida, dan hipoklorit yang agresif. Halida tembaga, besi dan merkuri sangat agresif karena kationnya tereduksi secara katodikal dan meneruskan serangan korosi (Chatterjee *et al.*, 2001).

d. Korosi celah (*Crevice corrosion*)

Korosi celah biasanya disebabkan oleh kontak material dengan material lain. Area celah logam bersentuhan dengan material lain, baik logam atau non logam. Area celah lebih mudah terkorosi dalam medium korosif dibandingkan dengan daerah di luar celah. Jenis serangan ini dikenal dengan korosi celah. Celah biasanya cukup besar untuk jebakan dalam zat cair tetapi terlalu kecil memungkinkan zat cair mengalir. Contoh korosi celah terjadi di daerah bawah baut dan paku kelingan, sekrup, di sela–sela gasket yang terbentuk oleh kotoran atau endapan yang timbul dari produk–produk karat. Korosi celah dapat terjadi

pada logam dalam lingkungan korosif. Bagaimanapun, seperti aluminium atau *stainless steel* sangat rentan terhadap korosi celah terutama di lingkungan yang mengandung ion klorida, seperti air laut (Chatterjee *et al.*, 2001). Gambar 2.4 menunjukkan korosi celah.



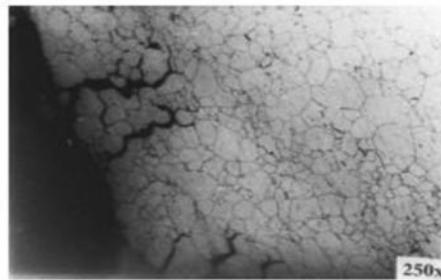
Gambar 2.4. Korosi celah pada *stainless steel*
(Sumber: Chatterjee *et al.*, 2001).

Mekanisme korosi celah dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Mula-mula elektrolit mempunyai komposisi seragam. Korosi terjadi perlahan-lahan di seluruh permukaan logam baik di luar maupun di dalam celah.
2. Pengambilan oksigen yang terlarut menyebabkan lebih banyak lagi difusi oksigen dari permukaan elektrolit yang kontak langsung dengan atmosfer. Oksigen di permukaan luar celah lebih mudah dikonsumsi dibandingkan di dalam celah. Akibatnya proses katodik di dalam celah terhambat sehingga pembangkitan ion hidroksil berkurang.
3. Produksi ion-ion positif dalam celah menyebabkan ion-ion negatif dari elektrolit terdifusi ke dalam celah. Ion-ion negatif seperti Cl^- menyebabkan penurunan pH, sehingga mempercepat dan merusak selaput bahan.
4. Peningkatan ion hidrogen mempercepat proses pelarutan logam sehingga serangan korosi lebih hebat (Lister and Cook, 2011).

e. Korosi antar batas butir (*Intergranular corrosion*)

Korosi antar batas butir adalah serangan korosi yang terjadi pada daerah batas butir dan daerah yang berdekatan dengan batas butir. Di daerah batas butir memiliki sifat yang lebih reaktif. Banyak sedikitnya batas butir akan mempengaruhi kegunaan logam tersebut. Semakin sedikit batas butir pada suatu material, maka akan menurunkan kekuatan material tersebut. Jika logam terkena karat, maka di daerah batas butir akan terkena serangan terlebih dahulu dibandingkan daerah yang jauh dari batas butir. *Intergranular corrosion* dapat terjadi karena adanya kotoran pada batas butir, penambahan pada salah satu unsur paduan atau penurunan unsur di daerah batas butir. Sebagai contoh paduan besi dan aluminium, dimana kelarutan besi lambat sehingga terjadi serangan pada batas butir (Chatterjee *et al.*, 2001). Gambar 2.5 menunjukkan korosi antar batas butir.

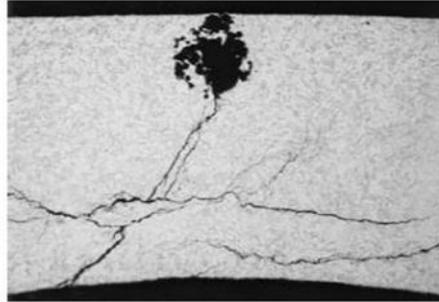


Gambar 2.5. Korosi antar batas butir (Sumber: Chatterjee *et al.*, 2001).

f. Korosi retak tegangan (*Stress corrosion cracking*)

Korosi retak tegangan adalah peristiwa pembentukan dan perambatan retak dalam logam yang terjadi secara simultan antara tegangan tarik yang bekerja pada bahan tersebut dengan lingkungan korosif. Korosi retak tegangan dapat terjadi dalam

lingkungan korosif. Hal ini terjadi karena adanya serangan korosi terhadap bahan. Korosi retak tegangan merupakan kerusakan yang paling berbahaya, Karena, tidak ada tanda-tanda sebelumnya (Badaruddin *et al.*, 2006). Gambar 2.6 menunjukkan korosi retak tegangan.



Gambar 2.6. Korosi retak tegangan (Sumber: Priyotomo, 2008).

C. Pengaruh Ion Klorida terhadap Korosi pada Baja

Salah satu faktor yang mempengaruhi korosi pada baja karbon adalah adanya ion agresif seperti ion klorida (Cl^-). Konsentrasi ion klorida yang makin tinggi akan meningkatkan kecenderungan terjadinya korosi. Ion klorida biasanya bertindak sebagai ion agresif karena kemampuannya untuk menghancurkan lapisan pasif pada permukaan baja karbon dan mempercepat laju korosi (Ardhiansyah, 2014). Ion klorida dalam elektrolit akan meningkatkan konduktivitas larutan, sehingga aliran arus korosi akan lebih meningkat (Roberge, 2008).

D. Inhibitor Korosi

Inhibitor korosi adalah senyawa kimia yang apabila ditambahkan dalam jumlah sedikit ke dalam lingkungan dapat mengurangi laju korosi pada logam (Fontana and Greene, 1986).

Secara umum mekanisme kerja inhibitor adalah:

- a. Inhibitor teradsorpsi pada permukaan logam sehingga membentuk lapisan tipis pada permukaan logam dengan ketebalan beberapa molekul sehingga tidak dapat dilihat oleh mata biasa
- b. Inhibitor melakukan korosi terlebih dahulu terhadap logam kemudian menghasilkan produk korosi dan mengalami proses adsorpsi sehingga membentuk lapisan pasif pada permukaan logam
- c. Inhibitor menghilangkan konstituen yang agresif dari lingkungannya

(Dalimunthe, 2004).

E. Klasifikasi Inhibitor

Klasifikasi inhibitor dapat dibedakan berdasarkan aplikasi, reaksi elektrokimia dan mekanisme kerja.

1. Klasifikasi inhibitor berdasarkan aplikasi.

a. Inhibitor pada lingkungan asam

Inhibitor pada lingkungan asam digunakan untuk mengurangi korosi selama proses *pickling* pada baja, yang merupakan proses penghilangan kerak oksida. Dalam industri minyak bumi, biasanya inhibitor dalam lingkungan asam juga digunakan untuk mencegah korosi peralatan pengeboran.

b. Inhibitor pada lingkungan netral

Inhibitor pada lingkungan netral digunakan untuk melindungi *cooling water circuit*, inhibitor tidak hanya mengurangi laju korosi merata, namun juga melindungi logam dari korosi lokal dan korosi retak tegangan (Landolt, 2007).

2. Klasifikasi inhibitor berdasarkan reaksi elektrokimia.

a. Inhibitor anodik

Inhibitor anodik bekerja dengan mengurangi laju korosi suatu logam dengan memperlambat reaksi elektrokimia melalui pembentukan lapisan pasif di permukaan logam dan lapisan ini akan menghalangi pelarutan anoda selanjutnya. Lapisan pasif yang terbentuk mempunyai potensial korosi yang tinggi atau menaikkan polarisasi anodik. Senyawa yang biasa digunakan sebagai inhibitor anodik adalah kromat, nitrat, molibdat, silikat, fosfat, dan borat (Roberge, 2008).

b. Inhibitor katodik

Inhibitor katodik menurunkan laju korosi dengan cara memperlambat reaksi katodik. Inhibitor katodik bereaksi dengan OH^- untuk mengendapkan senyawa-senyawa tidak larut pada permukaan logam, sehingga dapat menghalangi masuknya oksigen. Contoh inhibitor katodik adalah Zn, CaCO_3 , dan polifosfat (Dalimunthe, 2004).

3. Klasifikasi inhibitor berdasarkan mekanisme kerja.

a. Inhibitor adsorpsi

Inhibitor adsorpsi umumnya berupa senyawa organik yang dapat mengisolasi permukaan logam dari lingkungan korosif, dengan cara membentuk senyawa kompleks berupa lapisan tipis. Lapisan ini tidak dapat dilihat oleh mata biasa, namun dapat menghambat penyerangan lingkungan terhadap logamnya. Contoh jenis inhibitor ini adalah tanin dan merkaptobenzotiazol (Dalimunthe, 2004).

b. Inhibitor passivasi

Inhibitor passivasi bekerja dengan membentuk lapisan pasif pada permukaan logam. Inhibitor passivasi bisa jadi sebagai agen pengoksidasi. Contoh inhibitor pengoksidasi adalah kromat, dimana ion kromat akan tereduksi menjadi Cr_2O_3 atau $\text{Cr}(\text{OH})_3$ pada permukaan logam untuk menghasilkan oksida kromat dan besi oksida yang bersifat sebagai proteksi. Passivasi adalah peristiwa dimana baja yang terkorosi akan membentuk lapisan pelindung berupa oksida besi yang menyebabkan laju korosi menurun (Murabbi dan Sulistijono, 2012).

c. Inhibitor presipitasi

Inhibitor presipitasi bekerja dengan membentuk presipitat di seluruh permukaan suatu logam yang berperan sebagai lapisan pelindung untuk menghambat reaksi anodik dan katodik logam tersebut secara tidak langsung. Contoh dari inhibitor presipitasi adalah silikat dan fosfat. Silikat dan fosfat sangat berguna pada sistem lingkungan karena bersifat aditif yang tidak beracun (Roberge, 2000).

F. Ekstrak Daun Belimbing Wuluh sebagai Inhibitor Korosi

1. Metode 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

(etil asetat), kemudian pelarut yang bersifat polar misalnya metanol atau etanol (Harborne, 1987).

Berdasarkan bentuk fase yang diekstraksi, ekstraksi digolongkan dalam dua jenis yaitu ekstraksi cair-cair dan ekstraksi cair-padat. Untuk cair-cair dapat menggunakan corong pisah, sedangkan ekstraksi cair-padat terdiri dari beberapa cara yaitu maserasi, perkolasi, dan sokletasi (Harborne, 1987).

Maserasi berasal dari bahasa latin *macerase* berarti mengairi dan melunakkan. Maserasi merupakan cara ekstraksi yang paling sederhana. Maserasi dilakukan dengan cara merendam serbuk simplisia dalam cairan penyari. Cairan penyari akan menembus dinding sel dan masuk ke dalam rongga sel simplisia yang mengandung zat aktif, kemudian zat aktif akan larut. Simplisia yang akan diekstraksi ditempatkan dalam wadah bersama larutan penyari yang telah ditetapkan, wadah ditutup rapat kemudian dikocok berulang-ulang sehingga memungkinkan pelarut masuk ke seluruh permukaan simplisia (Ansel, 1989). Sedangkan jika dalam keadaan diam, akan menyebabkan turunnya perpindahan bahan aktif. Secara teoritis, pada suatu maserasi tidak memungkinkan terjadinya ekstraksi absolut. Semakin besar perbandingan simplisia terhadap cairan pengekstraksi, akan semakin banyak hasil yang diperoleh (Voigh, 1994). Keuntungan metode ekstraksi ini, adalah metode ini lebih mudah dikerjakan dan biaya yang lebih relatif murah.

2. Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi L.*)

Belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi L.*) merupakan salah satu spesies dalam keluarga belimbing (*Averrhoa*). Diperkirakan tanaman ini berasal dari daerah Amerika tropik. Tanaman ini tumbuh baik di negara asalnya, sedangkan di Indonesia banyak dipelihara di pekarangan dan kadang-kadang tumbuh secara liar di ladang atau tepi hutan (Thomas, 2007). Tanaman ini mudah sekali tumbuh dan berkembang melalui cangkok atau persemaian biji. Jika ditanam lewat biji, pada usia 3–4 tahun sudah mulai berbuah. Jumlah setahun bisa mencapai 1.500 buah (Mario, 2011). Pohon belimbing wuluh bisa tumbuh dengan ketinggian mencapai 5–10 m. Batang utamanya pendek, berbenjol–benjol, cabangnya rendah dan sedikit (Masripah, 2009). Tanaman belimbing wuluh dapat dilihat pada Gambar 2.7.

Klasifikasi ilmiah belimbing wuluh adalah (Dasuki, 1991)

Kingdom	: <i>Plantae</i>
Sub kingdom	: <i>Tracheobionta</i>
Divisio	: <i>Magnoliophyta</i>
Kelas	: <i>Dicotyledone</i>
Sub kelas	: <i>Rosidae</i>
Ordo	: <i>Geraniales</i>
Familia	: <i>Oxalidaceae</i>
Suku	: <i>Oxalidaceae</i>
Genus	: <i>Averrhoa</i>
Spesies	: <i>Averrhoa bilimbi L.</i>



Gambar 2.7. Tanaman Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi L.*).

3. Kandungan Senyawa Kimia dalam Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi L.*)

Buah belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi L.*) memiliki kandungan kimia yaitu alkaloid, flavonoid, tanin, steroid, saponin, triterpenoid (Lathifah, 2008). Ekstrak daun belimbing wuluh mengandung flavonoid, saponin, triterpenoid dan tanin (Anggraini dan Oktadoni, 2016). Tanin yang paling dominan pada tanaman belimbing wuluh adalah tanin terkondensasi. Bunga belimbing wuluh mengandung senyawa kimia yang bersifat antibakteri seperti saponin, flavonoid dan polifenol (Ardananurdin, 2004).

Kandungan kimia dalam daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi L.*) dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Kandungan Kimia dalam Daun Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi L.*).

Kandungan	Komponen (%)
Saponin	10,0
Tanin	6,0
Sulfur	2,5
Kalium Oksalat	17,5
Peroksida	1,0
Glukosid	14,5

(Sumber :Wijayakusuma dan Dalimartha, 2006).

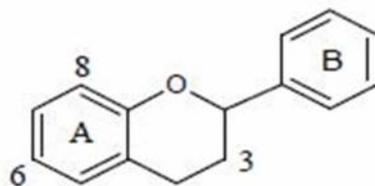
G. Tanin

Tanin adalah senyawa fenolik kompleks yang memiliki berat molekul 500–3000 g/mol. Tanin terletak terpisah dari protein dan enzim sitoplasma di dalam tumbuhan. Sebagian besar tumbuhan yang mengandung senyawa tanin dihindari oleh hewan pemakan tumbuhan karena rasanya yang sepat. Pada umumnya tanin terdistribusi dalam kingdom tumbuhan *Gymnospermae* dan *Angiospermae* yang terdapat khusus dalam jaringan kayu (Harborne, 1987).

Tanin dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu:

1. Tanin Terkondensasi

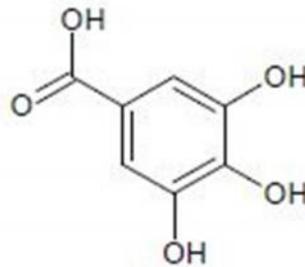
Tanin terkondensasi atau proantosianidin merupakan polimer flavonoid. Proantosianidin didasarkan pada sistem cincin heterosiklik yang diperoleh dari fenilalanin (B) dan biosintesis poliketida (A). Proantosianidin adalah senyawa yang menghasilkan pigmen antosianidin melalui pemecahan secara oksidatif dalam alkohol panas. Kebanyakan proantosianidin adalah prosianidin, jika direaksikan dengan asam akan menghasilkan sianidin (Hagerman, 2002). Struktur dasar tanin terkondensasi tertera pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Struktur dasar tanin terkondensasi.

2. Tanin Terhidrolisis

Tanin terhidrolisis merupakan turunan dari asam galat (asam 3,4,5- trihidroksil benzoat). Senyawa ini mengandung ikatan ester antara suatu monosakarida terutama gugus hidroksilnya. Struktur asam galat tertera pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Struktur asam galat.

H. Laju Korosi

Logam dikatakan mengalami korosi ketika terserang secara kimiawi, serangan ini akan terjadi secara spesifik. Laju korosi adalah kecepatan penembusan logam atau kehilangan berat persatuan luas tergantung pada teknik pengukuran yang digunakan dan dinyatakan dalam satuan *mmpy* (*millimeter per year*) dan besarnya laju dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$CR = \frac{KW}{AT\rho} \quad (2.8)$$

dengan:

CR = Laju korosi (*mmpy*)

K = Konstanta laju korosi

W = Selisih massa (*gram*)

T = Waktu perendaman (*jam*)

A = Luas permukaan (cm^2)

ρ = Massa jenis ($gram/cm^3$)

Efisiensi inhibitor mengindikasikan sejauh mana laju korosi diperlambat oleh kehadiran inhibitor. Efisiensi inhibitor dapat ditulis dalam persamaan berikut:

$$\eta (\%) = \frac{(CR_{uninhibited} - CR_{inhibited})}{CR_{uninhibited}} \times 100\% \quad (2.9)$$

dengan :

= Efisiensi inhibitor (%)

$CR_{uninhibited}$ = Laju korosi tanpa inhibitor (*mmpy*)

$CR_{inhibited}$ = Laju korosi dengan inhibitor (*mmpy*)

(Fontana and Greene, 1986).

Konstanta laju korosi dapat dilihat pada Tabel 2.4.

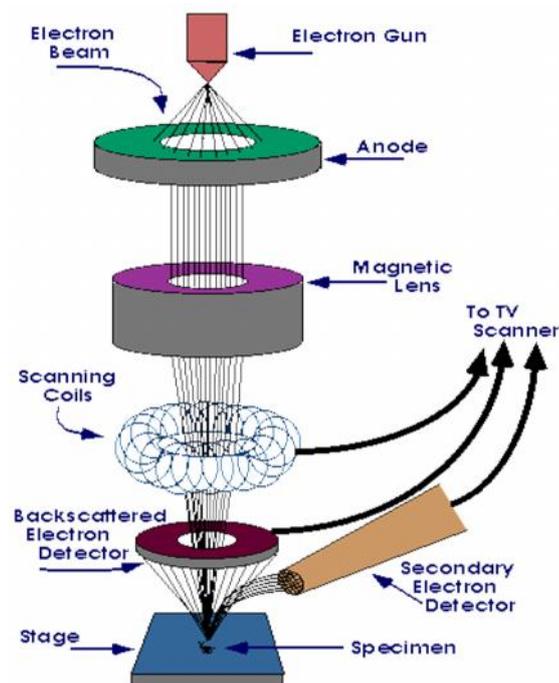
Tabel 2.4 Konstanta laju korosi

No	Konstanta Laju Korosi	K
1	<i>Mils per year</i> (mpy)	$3,45 \times 10^6$
2	<i>Inches per year</i> (ipy)	$3,45 \times 10^3$
3	<i>Inches per month</i> (ipm)	$2,87 \times 10^2$
4	<i>Millimeters per year</i> (mmpy)	$8,76 \times 10^4$
5	<i>Micrometers per year</i> (μ mmpy)	$8,76 \times 10^7$
6	<i>Milligram per square decimeter per day</i> (mmpd)	$18,84 \times 10^6$

Penggunaan ungkapan *inches per year*, *inches per month*, *millimeter per year*, dan *mils per year* dapat menunjukkan secara langsung ketahanan korosi dalam bentuk penembusan. Dari segi ketepatan *mils per year* lebih dipilih ketika laju korosi berkisar 1–200 *mpy* sehingga dengan ungkapan ini akan menunjukkan data–data korosi menggunakan angka kecil dan menghindarkan angka desimal. Penunjukan satuan *inches per year* dan *inches per month* akan melibatkan titik desimal (Fontana, 1978).

I. *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS)*

Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah alat yang dapat digunakan untuk mengamati dan menganalisis struktur mikro dan morfologi berbagai material. SEM memiliki kemampuan dimana sumber energi yang digunakan adalah berkas elektron, sehingga menghasilkan resolusi yang tinggi, tekstur, topografi, morfologi serta tampilan permukaan sampel yang dapat terlihat dalam ukuran mikron. SEM juga memberikan informasi skala atomik dari suatu sampel (Griffin and Riessen, 1991). Skema SEM dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Skema SEM (Sumber: Griffin and Riessen, 1991).

Electron Gun merupakan sumber elektron dari bahan material yang menggunakan energi tegangan tinggi sekitar 10-40 kV. Material yang biasa digunakan yaitu tungsten dan Lantanum atau Hexaboride cerium (LaB_6 atau CeB_6). Tungsten

merupakan material yang biasa digunakan sebagai *electron gun* dalam SEM-EDS. Energi panas pada bahan material akan diubah menjadi energi kinetik oleh elektron sehingga ada pergerakan elektron. Semakin besar panas yang diterima maka energi kinetiknya akan semakin besar sehingga pergerakan elektron semakin cepat dan tidak menentu yang mengakibatkan elektron tersebut terlepas dari permukaan bahan material. Bahan yang digunakan sebagai sumber elektron disebut sebagai emitter atau lebih sering disebut katoda sedangkan bahan yang menerima elektron disebut sebagai anoda atau *plate* dalam instrument SEM-EDS.

Magnetic lens terdiri dari dua buah kodensator yang berfungsi untuk menfokuskan arah elektron. Selain itu, lensa magnetik juga berfungsi untuk menguatkan elektron sehingga informasi gambar yang dihasilkan memiliki kualitas yang baik. *Scanning foil* berfungsi untuk mengumpulkan berkas sinar elektron, karena pada dasarnya elektron yang dipancarkan ke sampel tidak terjadi secara kontinu melainkan berupa paket-paket energi. Setelah terjadi tumbukan antara elektron dan sampel, detektor akan merekam interaksi yang terjadi pada sampel. Detektor *secondary electron* (SE) merupakan sintilator yang akan menghasilkan cahaya jika mengenai elektron, cahaya tersebut akan dikonversi menjadi sinyal elektrik oleh *photomultiplier*. Dalam sintilator terdapat potensial positif yang digunakan untuk mempercepat aliran SE, sehingga SE yang memiliki energi rendah (beberapa volt) dapat ditangkap oleh detektor dengan baik. Sedangkan detektor *backscattered electron* (BSE) yang juga terdapat sintilator dapat menerima sinyal BSE tanpa adanya beda potensial, karena pada dasarnya

BSE sudah memiliki energi yang cukup tinggi untuk diterima oleh detektor BSE (Griffin and Riessen, 1991).

SE dan BSE dimanfaatkan dalam SEM-EDS sebagai analisis bahan material yang didasarkan pada tingkat energi dan tentunya menggunakan spektrometer jenis *energy dispersive* (ED). Karena spektrometer jenis ED diakui memiliki akurasi yang tinggi untuk menganalisis jenis unsur pada bahan material. SE adalah sebuah pancaran elektron yang dihasilkan akibat interaksi elektron dengan sampel. SE berasal dari interaksi elektron yang energinya rendah (kurang dari 50 eV) dan hanya mampu berinteraksi pada permukaan sampel, maka informasi yang dapat diambil dari SE yaitu mencakup bentuk permukaan sampel (topografi).

BSE dihasilkan oleh interaksi elektron yang memiliki energi tinggi sebagai akibat adanya hamburan elastik. Energi yang dimiliki elektron ini mampu berinteraksi dengan sampel hingga menembus lapisan permukaan sampel. Informasi yang diperoleh dari elektron BSE mencakup morfologi struktural pada bahan material. Adanya interaksi elektron yang menghasilkan SE dan BSE pada alat SEM-EDS, maka alat ini digunakan untuk menganalisis permukaan sampel (topografi) dan morfologi struktur (elemen) dari suatu bahan material (Griffin and Riessen, 1991).

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret 2017 sampai Juni 2017 di Laboratorium Fisika Dasar Universitas Lampung, Laboratorium Kimia Organik Universitas Lampung, Laboratorium Teknik Mesin SMK 2 Bandar Lampung, Laboratorium Metalurgi LIPI Tanjung Bintang Lampung Selatan, Laboratorium PSTBM-BATAN Gedung 71 kawasan PUSPIPTEK (Pusat Pengembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi) Serpong.

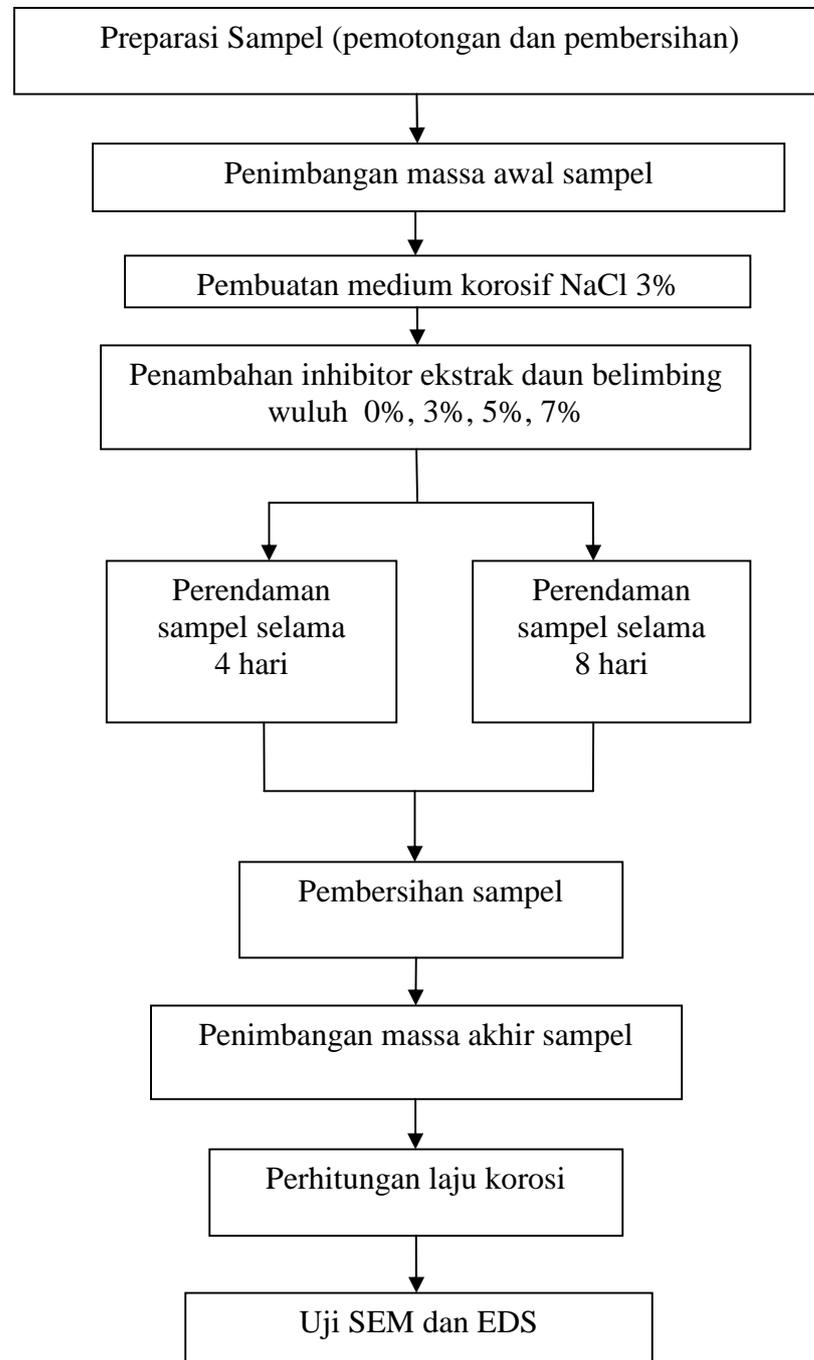
B. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin penggiling, penguap putar vakum (*rotary evaporator*), spatula, pipet tetes, aluminium foil, jangka sorong, erlenmeyer, tisu, corong, neraca digital, alat pemotong baja, gergaji mesin, gelas ukur, benang, kayu kecil, kertas amplas, plastik kecil, *decicator*, SEM (*Scanning Electron Microscopy*), EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*).

Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi L.*), baja karbon St37, natrium klorida (NaCl), etanol 96%, dan aquades.

C. Preparasi Bahan

Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

D. Kode Sampel

Untuk memudahkan penyajian dan analisis data, setiap sampel diberi kode dengan format: sampel-lama perendaman-kadar inhibitor. Kode sampel yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Kode Sampel.

No	Kode	Keterangan
1	St37-4-0	Perendaman selama 4 hari dengan inhibitor 0%
2	St37-4-3	Perendaman selama 4 hari dengan inhibitor 3%
3	St37-4-5	Perendaman selama 4 hari dengan inhibitor 5%
4	St37-4-7	Perendaman selama 4 hari dengan inhibitor 7%
5	St37-8-0	Perendaman selama 8 hari dengan inhibitor 0%
6	St37-8-3	Perendaman selama 8 hari dengan inhibitor 3%
7	St37-8-5	Perendaman selama 8 hari dengan inhibitor 5%
8	St37-8-7	Perendaman selama 8 hari dengan inhibitor 7%

1. Pembuatan Larutan Inhibitor dari daun belimbing wuluh

Pembuatan larutan inhibitor dari daun belimbing wuluh yaitu:

1. Mengeringkan daun belimbing wuluh segar sebanyak 2500 gram dalam suhu kamar selama 30 hari untuk menghilangkan kadar air.
2. Menghaluskan daun belimbing wuluh yang telah kering dengan blender untuk mempermudah dan memaksimalkan proses ekstraksi.
3. Mengekstrak daun belimbing wuluh menggunakan metode *maserasi*.
4. Memasukkan hasil *maserasi* daun belimbing wuluh yang telah halus ke dalam botol yang berisi etanol 96% selama 5 hari.
5. Menyaring hasil perendaman menggunakan kertas saring hingga memperoleh filtrat.

6. Menguapkan filtrat dari hasil *maserasi* 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 St37 dengan panjang 25 mm, lebar 12 mm dan tinggi 2 mm.
2. Membersihkan dan memperhalus permukaan baja menggunakan kertas amplas 400 grid, 800 grid, 1000 grid dan 5000 grid untuk menghilangkan pengotor.
3. Mencelupkan baja ke dalam aseton untuk membersihkan pengotor yang menempel pada baja.

3. Penimbangan massa awal sampel

Baja yang 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 aquades. Untuk pengenceran larutan NaCl ditentukan secara matematis berdasarkan persamaan (3.1).

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

dengan:

V_1 = Volume mula-mula (*ml*)

M_1 = Konsentrasi mula-mula (%)

V_2 = Volume setelah pengenceran (*ml*)

M_2 = Konsentrasi setelah pengenceran (%)

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

5. Pembersihan dan Penimbangan Massa Akhir Sampel

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

6. Menghitung Laju Korosi

Untuk menghitung laju korosi, dilakukan menggunakan metode kehilangan berat dengan tahap-tahap sebagai berikut:

- a. Menimbang sampel untuk mengetahui massa awal sebelum perendaman.
Dalam tahap ini sampel yang digunakan ada 8, dibagi menjadi 2 bagian untuk variasi waktu perendaman 4 hari dan 8 hari dalam larutan 3% NaCl. Masing-masing bagian terdiri dari 4 sampel dengan konsentrasi inhibitor 0%, 3%, 5%, dan 7%.
- b. Membersihkan dan mengeringkan masing-masing sampel, kemudian menimbang massa setelah perendaman.

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

Sampel yang telah direndam kemudian dikarakterisasi 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.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

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

1. Pengaruh konsentrasi inhibitor ekstrak daun belimbing wuluh dan waktu perendaman terhadap laju korosi pada baja karbon St37 dalam medium korosif NaCl 3% yaitu semakin bertambahnya konsentrasi maka laju korosinya semakin menurun sampai dengan konsentrasi inhibitor 5% dan semakin lama waktu perendaman mengakibatkan penurunan laju korosi pada baja karbon St37.
2. Efisiensi maksimal dari inhibitor ekstrak daun belimbing wuluh dalam medium korosif NaCl 3% terdapat pada konsentrasi 5% dengan waktu perendaman 8 hari yaitu sebesar 78,57%.
3. Hasil SEM menunjukkan mikro struktur permukaan baja pada sampel St37-4-5 dan St37-8-5 lebih halus daripada permukaan baja pada sampel St37-4-0 dan St37-8-0. Dari hasil EDS, pada sampel St37-8-0 dan St37-4-0 menunjukkan bahwa kandungan unsur oksigen lebih besar dan unsur Fe lebih kecil dibandingkan pada sampel St37-8-5 dan St37-4-5.

B. SARAN

Dari penelitian yang telah dilakukan saran untuk penelitian selanjutnya adalah penambahan variasi waktu.

DAFTAR PUSTAKA

- Abreu, C.M. M., M. Izquierdo., P. X.R. Nóvoa and Pérez C. 1999. A new approach to the determination of the cathodic protection period in zinc-rich paints. *Journal of Corrosion*. Vol. 55. No.12.
- Ali, F., D. Saputri dan R. F. Nugroho. 2014. Pengaruh waktu perendaman dan konsentrasi ekstrak daun jambu biji (*Psidium guajava L.*) sebagai inhibitor korosi baja SS 304 dalam larutan garam dan asam. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol. 20. No.1.
- Amanto, H. dan Daryanto. 1999. *Ilmu Bahan*. Bumi Aksara. Jakarta. P. 63-87.
- Anggraini, N dan O. Saputra. 2016. Khasiat belimbing wuluh (*Averrhoa blimbi L.*) terhadap penyembuhan jerawat (*Acne vulgaris*). *Majority*. Vol. 5. No.1.
- Ansel, H.C. 1989. *Pengantar Bentuk Sediaan Farmasi*. Edisi Keempat. Universitas Indonesia. Jakarta. P. 412-413.
- Ardananurdin, A. 2004. Uji efektivitas bunga belimbing wuluh (*Averrhoa blimbi L.*) sebagai antimikroba terhadap bakteri *salmonella typhi* secara in vitro. *Jurnal Kedokteran Brawijaya*. Vol. 20. No. 1.
- Ardhiansyah, M Reza. 2014. Pemanfaatan ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa belimbi L.*) sebagai bioinhibitor korosi pada logam baja karbon. (*Skripsi*). Politeknik Negeri Sriwijaya. Palembang.
- Asdim, 2007. Penentuan efisiensi inhibisi ekstrak kulit buah manggis (*Garcinia mangostana L.*) pada reaksi korosi baja dalam larutan asam. *Jurnal Gradien*. Vol.3. No.2.
- ASM handbook. 1991. *Heat Treating*. Tenth Edition. ASM International. New York. Vol.4.
- ASM handbook. 1993. *Properties and Selection: Iron Steel and High Performance Alloys*. Tenth Edition. Metals Handbook. New York. Vol. 6.

- Badaruddin, M., A. Suudi dan A. Hamni. 2006. Perilaku korosi retak tegangan stainless steel 304 dalam lingkungan asam sulfat akibat prestrain. *Teknologi Makara*. Vol. 10 . No. 2.
- Budianto, A., K. Purwantini dan B.A.T. Sujitno. 2009. Pengamatan struktur mikro pada korosi antar butir dari material baja tahan karat austenitik setelah mengalami proses pemanasan. *JFN*. Vol. 3. No. 2. P. 107-129.
- Buyuksagis, A., Dilek M and M. Kargioglu. 2015. Corrosion inhibitor of St37 steel in geothermal fluid by *Quercus robur* and *Pomegranate* peels extracts. *Journal of Physicochemical Problems of Materials Protection*. Vol. 51. No. 5. ISSN. 2070-2051.
- Chatterjee, U.K., S.K. Bose and S.K. Roy. 2001. *Environmental Degradation of Metals Corrosion Technology*. Series 4. Marcel Dekker Inc. New York.
- Dalimunthe, I.S. 2004. *Kimia dari Inhibitor Korosi*. Universitas Sumatera Utara. Medan. P. 45-48.
- Dasuki, U.A. 1991. *Sistematika Tumbuhan Tinggi*. ITB. Bandung.
- Djaprie S. 1995. *Ilmudan Teknologi Bahan*. Edisi 5. Erlangga. Jakarta.
- Fontana, G. M. 1978. *Corrosion Engineering*. Mc Graw Hill International Book Company. New York.
- Fontana, M.G dan M.D. Greene. 1986. *Corrosion Engineering Hand Book*. Mc Graw Hill Book Company. New York. P. 144-147.
- Fogler. 1992. *Element of Chemical Reaction Engineering*. Second Edition. Prentice Hall International Inc. Washington D.C. P. 58-62.
- Gerengi, H., I. Uygur., M. Solomon., M. Yildis and H. Goksu. 2016. Evaluation of the inhibitive effect of diospyros kaki (*Persimmon*) leaves extract on St37 steel corrosion in acid medium. *Journal of Sustainable Chemistry and Pharmacy*. P. 57-66.
- Griffin, B.J and V.A. Riessen. 1991. *Scanning Electron Microscopy Course Note*. The University of Western Australia. Nedlands.
- Harborne, J.B. 1987. *Metode Fitokimia Penuntun Cara Modern Menganalisa Tumbuhan*. ITB. Bandung.
- Harsisto dan To'at Nursalam. 1997. Karakterisasi korosi baja karbon St37 dengan las SMAW dalam lingkungan NaCl. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Sains Materi*. ISSN. 1410-2897.

- Hayati, E.K., A.G. Fasyah dan L. Sa'adah. 2010. Fraksinasi dan indentifikasi senyawa tanin pada daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi L.*). *Jurnal Kimia*. Vol. 4. No.2.
- Hussin, M.H and Kassim, M.J. 2010. Electrochemical studies of mild Steel corrosion inhibition in aqueous solution by *Uncaria gambir* extract. *Journal of Physical Science*. Vol. 21. No. 1. Pp. 1-13.
- Jones, Denny A.1992. *Principles and Prevention of Corrosion*. Mac Millan Publishing Company. New York. P. 12.
- Jones, Denny A. 1996. *Principles and Prevention of Corrosion*. Prentice Hall. Inc. Newark. P. 514.
- Kirk and Othmer. 1965. *Encyclopedia of Chemical Technology*. Second Edition. Vol. 6. P. 320. John Willey and Sons. New York.
- Kroschwitz, J. 1990. *Polymer Characterization and Analysis*, John Wiley and Sons. Toronto.
- Landolt, D. 2007. *Corrosion and Surface Chemistry of Metals*. First Edition. EPFL Press. Lausanne.
- Lathifah, Q A'Y. 2008. Uji efektifitas ekstrak kasar senyawa antibakteri pada buah belimbing wuluh (*Averrhoa blimbi L.*) dengan variasi pelarut. (*Skripsi*). Universitas Islam Negeri Malang. Malang.
- Linnert, G.E. 1994. *Welding Metallurgy: Carbon and Alloy Steels*. Fourth Edition. American Welding Society. Miami.
- Ludiana, Y dan S. Handani, 2012. Pengaruh konsentrasi inhibitor ekstrak daun teh (*Camelia sinensis*) terhadap laju korosi baja karbon Schedule 40 Grade B ERW. *Jurnal Fisika*. Vol. 1. No. 1.
- Lister, D.H dan W.G. Cook. 2011. *Reactor Chemistry and Corrosion*. Section 5 Crevice Corrosion. Paris.
- Mansfeld, F dan C.H.Tsai. 1991. Determination of coating deterioration with EIS: I. basic relationships. *Journal of Corrosion*. Vol. 47. No. 12.
- Mario, P. 2011. *Khasiat dan Manfaat Belimbing Wuluh*. Stomata. Surabaya. P. 65-68.
- Masripah. 2009. Aktivitas antibakteri dari ekstrak etanol daun belimbing wuluh (*Averrhoa blimbi L.*) terhadap kultur aktif *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. (*Skripsi*). Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah. Jakarta.

- Mu, G., X. Li., Q. Qu and J. Zhou. 2006. Molybdate and tungstate as corrosion inhibitors for cold rolling steel in hydrochloric acid solution. *Journal of Corrosion Science*. P. 445- 459.
- Murabbi, A.L dan Sulistijono. 2012. Pengaruh konsentrasi larutan garam terhadap laju korosi dengan metode polarisasi dan uji kekerasan serta uji tekuk pada plat bodi mobil. *Jurnal Teknik Pomits*. Vol. 1. No.1. P.4.
- Nahali, H., L. Dhoubi., and H. Idrissi. 2014. Effect of phosphate based inhibitor on the threshold chloride to initiate steel corrosion in saturated hydroxide solution. *Journal of Construction and Building*. P. 87-94.
- Okafor, P.C., E. E. Ebenso and U.J. Ekbe. 2010. *Azadirachta indica* extract as corrosion inhibitor for mild steel in acidic medium. *Journal of Electrochemical Science*. P. 978-993.
- Panjaitan, R.S., Riniwasih., Lilih., D. Seto dan Hengky. 2017. Uji aktivitas antibakteri ekstrak etanol 70% dari daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi L.*) terhadap bakteri *Shigella dysenteryae*. *Jurnal Penelitian Farmasi Indonesia*. Vol.2. No 1.
- Pradityana, A., Sulistijono.. A. Shahab., Lukman and D. Susanti. 2016. Inhibition of corrosion of carbon steel in 3% NaCl solution by *Myrmecodia pendans* extract. *Journal of Corrosion*. Vol. 2016. No.1.
- Priyotomo, G. 2008. *Kamus Saku Korosi Material*. Metalurgi LIPI. Tangerang. P. 4-14.
- Putra, R.A. 2011. Pengaruh waktu perendaman dengan penambahan ekstrak ubi ungu sebagai inhibitor organik pada baja karbon rendah di lingkungan HCl 1M. (*Skripsi*). Universitas Indonesia. Depok.
- Roberge, P.R. 2000. *Handbook of Corrosion Engineering*. Mc Graw-Hill. New York.
- Roberge, P.R. 2008. *Corrosion Engineering-Principles and Practice*. The Mc Graw-Hill Companies Inc. New York. P. 23-28.
- Roy, A., G and Lakshmi. 2011. *Averrhoa bilimbi linn* nature's drug store a pharmacological review. *International Journal of Drug Development and Reseach*. Vol.3. No.3.
- Sack, R.J. 1976. *Welding Principle and Practices*. Mc Graw Hill. New York.

- Salasi, M., T. Shahrabi., E. Roayaeiand., M. Aliofkhazraei. 2007. The electrochemical behaviour of environment-friendly inhibitors of silicate and phosphonate in corrosion control of carbon steel in soft water media. *Journal of Materials Chemistry and Physics*. P. 183–190.
- Salmon, C.G dan J.E. Jhonson. 1994. *Struktur Baja Desain dan Perilaku*. Erlangga. Jakarta.
- Smallman, R.E. dan Bishop, R.J. 2000. *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*. Edisi keenam. Erlangga. Jakarta.
- Saputra, R. 2011. Studi pengaruh konsentrasi ekstrak teh roselia (*Hibiscus sabdariffa*) sebagai green corrosion inhibitor untuk material baja karbon rendah di lingkungan NaCl 3,5% pada temperatur 40 °C. (Skripsi). Universitas Indonesia. Depok.
- Sari, D.M., S. Handani dan Y. Yetri. 2013. Pengendalian laju korosi baja St37 dalam medium asam klorida dan natrium klorida menggunakan inhibitor ekstrak daun teh (*Camelia sinensis*). *Jurnal Fisika*. Vol. 2. No. 3.
- Saremi, M. C., M. Dehghanian and M.M. Sabet. 2005. The effect of molybdate concentration and hydrodynamic effect on mild steel corrosion inhibitor in simulated cooling water. *Journal of Corrosion Science*. P. 1404-1412.
- Trethewey, KR and J. Chamberlain. 1991. *Korosi untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa*. Alih Bahasa Alex Tri Kantjono Widodo. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Thomas, A.N.S. 2007. *Tanaman Obat Tradisional*. Kanisius. Yogyakarta.
- Ummah, M.K. 2010. Ekstraksi dan pengujian aktivitas antibakteri senyawa tanin pada daun belimbing wuluh (*Averrhoa belimbi L.*) kajian variasi pelarut. (Skripsi). UIN Malang. Malang.
- Umoren, S.A. I.B. Obot and Obi Egbedi. 2011. Corrosion inhibition and absorption behaviour for aluminum by extract of *Aningeria robusta* in HCL solution: synergistic effect of iodide ions. *Journal of Environ*. P. 21-22.
- Umoren, S.A. M.M. Solomon. U.B. Eduok. I.B. Obot and A.U. Israel. 2014. A inhibition of mild steel corrosion in H₂SO₄ solution by coconut coir dust extract obtained from different solvent systems and synergistic effect of iodide ions: ethanol and acetone extracts. *Journal of Environ. Chem. Eng*. 2.
- Umoren, S. A and A. Madhankumar. 2016. Effect of addition of CeO₂ nanoparticles to pectin as inhibitor of X60 steel corrosion in HCl medium. *Journal of Molecular Liquids*. P. 72-82.

- Voight, R. 1994. *Buku Pelajaran Teknologi Farmasi*. Edisi V. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Wijayakusuma, H dan Dalimartha, S. 2000. *Ramuan Tradisional untuk Pengobatan Darah Tinggi*. Cetakan VI. Penebar Swadaya. Jakarta. P. 13.
- Wirjosumarto, H. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Erlangga. Jakarta.
- Yetri, Y., Emriadi., N. Jamarun and Gunawarman. 2014. Corrosion inhibition efficiency of mild Steel in hydrochloric acid by adding *Theobroma cacao* peel extract. *Journal of Chemical and Environmental Sciences*. Vol. 10. P. 15-19.
- Zulfikar, V. 2014. Pengaruh konsentrasi inhibitor ekstrak daun jambu biji dan waktu perendaman terhadap laju korosi baja API 5L Grade B Schedule 80 dalam media air laut. (*Skripsi*). Universitas Brawijaya. Malang.