

**EFEKTIVITAS EKSTRAK DAUN SALAM (*Syzygium polyantha L.*)
SEBAGAI INHIBITOR KOROSI BAJA KARBON API 5L DI MEDIA
KOROSI NaCl 3,5%**

(SKRIPSI)

**Oleh
DIAH PUSPITA SARI**



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

ABSTRAK

EFEKTIVITAS EKSTRAK DAUN SALAM (*Syzygium polyantha L.*) SEBAGAI INHIBITOR KOROSI BAJA KARBON API 5L DI MEDIA KOROSI NaCl 3,5%

Oleh

DIAH PUSPITA SARI

Telah dilakukan penelitian mengenai efektivitas ekstrak daun salam (*Syzygium polyantha L.*) sebagai inhibitor korosi baja karbon API 5L di media korosi NaCl 3,5%. Pengujian dilakukan dengan metode kehilangan berat dan metode polarisasi elektrokimia. Pengujian dengan metode kehilangan berat dilakukan dengan variasi waktu perendaman 48 jam, 96 jam, 144 jam dan penambahan volume inhibitor ekstrak daun salam 0 ml, 2 ml, 4 ml, dan 6 ml. Pengujian dengan metode polarisasi elektrokimia dilakukan terhadap sampel dengan penambahan inhibitor 0 ml dan 6 ml. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin meningkat volume inhibitor yang ditambahkan dan semakin lama waktu perendaman, maka laju korosi yang terjadi semakin menurun, dan efisiensi inhibitor meningkat. Efisiensi inhibitor tertinggi terjadi pada sampel API-96-6 sebesar 74,96%. Karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM), *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS), dan *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan pada sampel API-144-0 dan API-144-6. Hasil karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) memperlihatkan lebih jelas adanya lubang (*hole*), gumpalan (*cluster*), dan retakan (*crack*) pada sampel API-144-0 dibandingkan sampel API-144-6. Karakterisasi *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) mengidentifikasi adanya unsur C (karbon), O (oksigen), Cl (klorida), Mn (mangan), dan Fe (besi). Hasil karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) memperlihatkan bahwa fasa yang terbentuk adalah Fe murni.

Kata kunci: Baja karbon API 5L, ekstrak daun salam (*Syzygium polyantha L.*), SEM-EDS, XRD.

ABSTRACT

THE EFFECTIVITY OF BAY LEAF (*Syzygium polyantha L.*) EXTRACT AS INHIBITORS CORROSION OF CARBON STEEL API 5L IN MEDIA CORROSION NaCl 3,5%

By

DIAH PUSPITA SARI

Bay leaf extract was conducted as an inhibitor corrosion of carbon steel API 5L in media corrosion NaCl 3,5% by weight loss and electrochemical polarization method. Testing with weight loss method was carried out by varying the immersion time of 48 hours, 96 hours, 144 hours and the addition of bay leaf extract inhibitor volume of 0 ml, 2 ml, 4 ml, and 6 ml. While testing the electrochemical polarization method was conducted on samples with the addition of inhibitors 0 ml and 6 ml. The results showed that the more volume inhibitors were added and the longer the immersion time, the corrosion rate decreased, and efficiency inhibitor increased. The highest inhibitor efficiency is in sample API-96-6 of 74.96%. Characterization Scanning Electron Microscopy (SEM), Energy Dispersive Spectroscopy (EDS), and X-Ray Diffraction (XRD) was performed on samples of API-API-144-0 and 144-6. SEM results on sample API 144-0 showed more clearly the pores, agglomerations, and cracks than sample API-144-6. EDS results identified the elements of C (carbon), O (oxygen), Cl (chloride), Mn (manganese), and Fe (iron). And XRD results showed that the phase formed is pure Fe.

Keyword : carbon steel API 5L, bay leaf extract, SEM-EDS, XRD

**EFEKTIVITAS EKSTRAK DAUN SALAM (*Syzygium polyantha L.*)
SEBAGAI INHIBITOR KOROSI BAJA KARBON API 5L DI MEDIA
KOROSI NaCl 3,5%**

Oleh

DIAH PUSPITA SARI

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 SALAM
(*Syzygium polyantha* L.) SEBAGAI INHIBITOR
KOROSI BAJA KARBON API 5L DI MEDIA
KOROSI NaCl 3,5%**

Nama Mahasiswa : **Diah Puspita Sari**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1217041013

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

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Arif Surtono', is written over the text of the department head's name and NIP.

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

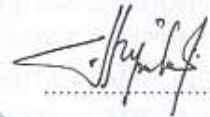
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

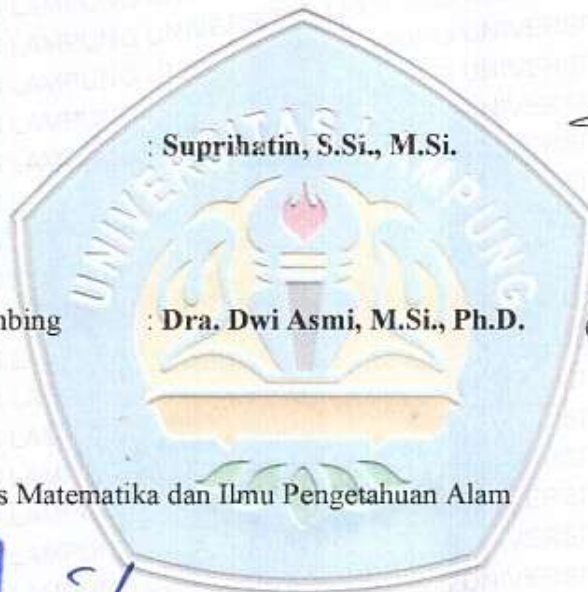
Ketua : Drs. Ediman Ginting Suka, M.Si.



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



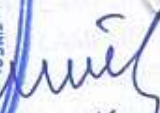
**Penguji
Bukan Pembimbing : Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Prof. Warsito, S.Si., DEA., Ph.D.
NIP. 19710212 199512 1 001



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 29 November 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, Desember 2016



Diah Puspita Sari
NPM. 1217041013

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Mulya Asri Kec. Tulang Bawang Tengah, Kab. Tulang Bawang Barat pada tanggal 22 Juli 1994. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Bintoro dan Ibu Atik Suharti. Penulis menyelesaikan pendidikan di SDN 03 Mulya Asri tahun 2006, SMPN 01 Tulang Bawang Tengah pada tahun 2009, dan SMAN 07 Bandar Lampung pada tahun 2012.

Selanjutnya pada tahun 2012 penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam melalui jalur ujian tulis SNMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di kegiatan kampus yaitu Badan Eksekutif Mahasiswa sebagai anggota Garuda Muda pada tahun 2012-2013 dan Himpunan Mahasiswa Fisika sebagai anggota bidang kaderisasi dari tahun 2014-2015. Penulis melakukan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI (P2MM) Serpong, Tangerang Selatan dengan judul “Uji Korosi Baja Karbon di Lingkungan Air Laut Sintesis”. Penulis juga pernah menjadi asisten Praktikum Fisika Dasar I, Fisika Dasar II, dan Sains Dasar Fisika. Kemudian penulis melakukan penelitian dengan judul “Efektivitas Ekstrak Daun Salam (*Syzygium polyantha L.*) sebagai Inhibitor Korosi Baja Karbon API 5L di

Media Korosi NaCl 3,5%” sebagai tugas akhir di Jurusan Fisika Fakultas
Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNILA.

MOTTO

“Berusaha yang terbaik, nikmati setiap prosesnya, dan bersyukur dengan hasilnya”

“Rasa gengsi dan malu hanya akan menjadi beban dalam meraih sukses”

Aku persembahkan karya kecilku ini kepada

ALLAH SWT

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

Kakak-Adikku serta keluarga besar yang menjadi
penyemangatku

Sahabat dan teman seperjuangan Angkatan '12

Almamater Tercinta.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayahnya-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Efektivitas Ekstrak Daun Salam (*Syzygium polyantha L.*) sebagai Inhibitor Korosi Baja Karbon API 5L di Media Korosi NaCl 3,5%”. 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. Aamiin.

Bandar Lampung, Desember 2016

Penulis,

Diah Puspita Sari

SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan pada 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 Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D., sebagai Penguji yang telah mengoreksi kekurangan, memberi kritik dan saran selama penulisan skripsi.
4. Kedua orang tua: Bapak Bintoro dan Ibu Atik Suharti, kakekku H. Kusnadi, mamasku Angger Pambudi, adikku Farid Abdul Aziz, dan keluarga besarku. Terima kasih telah menjadi bagian hidup dari penulis yang senantiasa memberi dukungan berupa do'a dan semangat yang tiada henti, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

5. Bapak Prof. Simon Sembiring, Ph.D., sebagai Pembimbing Akademik, yang telah memberikan bimbingan serta nasehat dari awal perkuliahan sampai menyelesaikan tugas akhir.
6. Bapak Arif Surtono, M.Si., M.Eng., selaku Ketua Jurusan dan para dosen serta karyawan di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
7. Bapak Prof. Warsito, S.Si., DEA., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
8. Pihak PT. SEAPI (*South East Asia Pipe Industries*) yang telah membantu dalam menyediakan sampel yang digunakan oleh penulis dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir.
9. Sahabatku (Owner Mosadit_flowers): Mona Alгатama Putri F, Rosalina, M. Muntami Jayati dan Dwi Nadia, terima kasih atas dukungan dan kebersamaannya yang lalu, sekarang, dan seterusnya yang tak terlupakan.
10. Seseorang yang mengasihi dan yang 'ku kasihi, atas dukungan, do'a, serta semangatnya.
11. Sahabatku: Tri Susilo Kusumo, Arif Rifai, Siti Rokayah, Jovizal Aristian, Apriyanto S. Giri, Eva Dwi Lestari, Fitri Ristiana, Vita kost (Meri, Ria, Teguh, Anik), keluarga KKN (Ayu, Fitria, Jogik, Sena, Reno, Izal), dan sahabat-sahabatku untuk semangat, bantuan dan do'anya.

12. Teman–teman seperjuangan angkatan 2012 yang selama ini memberikan semangat.

13. Kakak-kakak tingkat serta adik-adik tingkat dan semua teman-teman.

Semoga Allah SWT melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya kepada kita semua. Aamiin.

Bandar Lampung, Desember 2016

Penulis

Diah Puspita Sari

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN	x
KATA PENGANTAR	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xviii
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	5
C. Tujuan Penelitian	5
D. Batasan Masalah	5
E. Manfaat Penelitian	6

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Baja.....	7
B. Pengertian Korosi	12
C. Jenis-Jenis Korosi.....	15
D. Laju Korosi.....	18
E. Pengaruh NaCl terhadap Laju Korosi	21
F. Pengendalian Korosi dengan Inhibitor	21
G. Daun Salam	23
H. Tanin.....	25
I. SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>).....	25
J. XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	27

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian	31
B. Alat dan Bahan	31
C. Pengkodean Sampel	32
D. Prosedur Penelitian.....	33
E. Diagram Alir Penelitian	36

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perhitungan Laju Korosi dengan Metode Kehilangan Berat (<i>weight loss</i>)	38
B. Hasil Laju Korosi dengan Metode Polarisation Elektrokimia	43
C. Hasil Analisis XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	44
D. Hasil Analisis SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>) dan EDS (<i>Energy Dispersive X-ray</i>)	48

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	55
B. Saran	56

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Sel korosi basah sederhana.....	14
2. Korosi seragam pada pipa	15
3. Korosi galvanik	16
4. Korosi celah.....	16
5. Korosi sumuran	17
6. Daun salam	23
7. Struktur dasar tanin	25
8. Skema SEM.....	26
9. Skema metode difraksi sinar-X	28
10. Difraksi sinar-X oleh atom-atom pada bidang	29
11. Diagram alir penelitian	36
12. Pengaruh volume inhibitor terhadap laju korosi pada media NaCl 3,5%	40
13. Pengaruh volume inhibitor dan lama perendaman terhadap efisiensi inhibitor dalam media korosi NaCl 3,5%.....	41
14. Difraktogram sampel API-144-0 dan API-144-6.....	45
15. Hasil SEM sampel API-144-0: (a) perbesaran 500x, (b) perbesaran 1000x, (c) perbesaran 1500x; dan sampel API-144-6: (d) perbesaran 500x, (e) perbesaran 1000x, (f) perbesaran 1500x	49
16. EDS sampel API-144-0 dengan perbesaran 500x	51
17. EDS sampel API-144-6 pada perbesaran 500x	52

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Klasifikasi baja menurut Harsono W. Wiryosumarto dan T. Okumura.....	9
2. Komposisi kimia baja API 5L	12
3. Hubungan laju korosi dan ketahanan korosi relatif.....	18
4. Konstanta laju korosi.....	19
5. Taksonomi dari daun salam.....	24
6. Kode sampel	32
7. Data penelitian baja karbon API 5L dalam media korosi NaCl 3,5%	37
8. Hasil perhitungan laju korosi dan efisiensi inhibitor.....	39
9. Hasil laju korosi dengan metode polarisasi elektrokimia.....	43
10. Perbandingan hasil penelitian sampel API-144-0 dengan data standar PCPDFWIN	46
11. Perbandingan hasil penelitian sampel API-144-6 dengan data standar PCPDFWIN.....	47

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia sebagai negara berkembang dengan perkembangan teknologi, pertumbuhan ekonomi, dan pembangunan dari tahun ke tahun mengakibatkan meningkatnya penggunaan berbagai logam, misalnya berupa baja, besi, aluminium, dan lain-lain. Logam tersebut banyak digunakan dalam sektor industri logam, industri perhubungan, industri pertambangan dan energi, pekerjaan umum, industri pertanian, dan lain sebagainya. Seiring dengan waktu penggunaan yang berhubungan langsung dengan lingkungan sekitar dapat menyebabkan penurunan mutu logam akibat interaksi logam tersebut dengan lingkungannya. Hal tersebut ditandai dengan terjadinya korosi atau karat. Korosi merupakan serangan yang bersifat korosif pada suatu logam oleh reaksi kimia atau elektrokimia dengan lingkungannya (Trethewey dan Chamberlain, 1991).

Pada konstruksi yang terbuat dari logam maupun non logam, korosi dapat menimbulkan kerugian yang sangat besar. Kerugian yang dapat ditimbulkan tidak hanya biaya langsung seperti pergantian peralatan industri, perawatan konstruksi dan sebagainya, tetapi juga kerugian biaya secara tidak langsung seperti terganggunya proses produksi yang umumnya lebih besar dibandingkan dengan biaya langsung (Putranto, 2008).

Beberapa studi menunjukkan bahwa biaya yang dibutuhkan akibat terjadinya korosi di negara berkembang adalah sekitar 3-4% dari “*gross national product*” (GNP). Di Amerika Serikat berdasarkan survei tahun 2002, biaya total untuk perbaikan dan kerugian akibat korosi diperkirakan 80 milyar dolar per tahun. Sedangkan di Indonesia, diperkirakan sekitar 20 triliun hilang percuma setiap tahunnya karena proses korosi. Korosi yang merugikan ini tidak dapat dicegah atau pun dihilangkan, namun dapat diminimalisir dengan beberapa teknik proteksi. Diantaranya dengan pelapisan permukaan logam, perlindungan katodik, penambahan inhibitor, dan lain-lain. Sejauh ini penggunaan inhibitor merupakan salah satu cara yang paling efektif untuk mengendalikan laju korosi, karena selain biayanya yang relatif murah, proses penggunaan inhibitor sangat sederhana (Hermawan, 2010).

Inhibitor korosi didefinisikan sebagai suatu zat yang apabila ditambahkan ke dalam lingkungan korosif akan menurunkan serangan korosi dari lingkungan tersebut pada logam (Ilim, 2008). Umumnya inhibitor korosi berasal dari senyawa organik dan anorganik yang mengandung gugus-gugus yang memiliki pasangan elektron bebas, seperti nitrit, kromat, fosfat, urea, fenilalanin, imidazolin, dan senyawa-senyawa amina. Namun, penggunaan inhibitor dengan senyawa kimia tersebut kurang efektif, karena harganya yang relatif mahal, mengandung bahan kimia yang berbahaya, dan tidak ramah lingkungan (Haryono dkk, 2010). Berdasarkan hal tersebut, perlu dilakukan penelitian mengenai pembuatan inhibitor dari bahan senyawa organik yang dalam penggunaannya aman, mudah didapatkan, bersifat *biodegradable*, biaya murah, dan ramah lingkungan. Bahan senyawa organik berasal dari tumbuh-tumbuhan yang mengandung atom N, O, P,

S dan atom-atom yang memiliki pasangan elektron bebas yang berfungsi sebagai ligan yang dapat membentuk senyawa kompleks pada logam (Oguzie, 2007).

Pada saat ini sudah marak dikembangkan inhibitor korosi alternatif ramah lingkungan dari bahan alam. Penelitian pernah dilakukan Rozanna Sri Irianty dan Khairat (2013) terhadap ekstrak daun pepaya (*Carica papaya L.*) pada baja AISI 4140 dalam media air laut. Senyawa antioksidan pada daun pepaya dapat menghambat reaksi korosi pada baja. Tahun 2014, Vicky Zulfikar melakukan penelitian mengenai inhibitor korosi dari ekstrak daun jambu biji (*Psidium Guajava L.*). Dalam ekstrak daun jambu terdapat senyawa tanin sebesar 17% yang dapat membentuk senyawa kompleks dengan Fe dan menghalangi serangan ion-ion korosif pada permukaan logam (Lestari, 2010). Penelitian yang dilakukan oleh Marlina (2015) menggunakan daun teh (*Camellia sinensis*) yang kaya akan antioksidan membuktikan bahwa inhibitor ekstrak daun teh efektif dalam menghambat laju korosi pada logam C-Mn. Kandungan tanin dalam daun teh sebesar 17,68% (Tim Peneliti dan Pengembangan Industri, 2013).

Salam (*Syzygium polyantha L.*) merupakan tanaman berkayu yang biasanya dimanfaatkan daunnya. Di Indonesia daun salam dikenal sebagai bumbu masakan dan juga sebagai obat tradisional. Daun salam termasuk jenis tumbuhan yang kaya senyawa antioksidan yang merupakan inhibitor penghambat oksidasi (Utami, 2009). Kandungan senyawa kimia dalam daun salam yaitu tanin, flavonoid, saponin, polifenol, alkaloid dan minyak atsiri (Sudarsono dkk, 2002). Senyawa-senyawa yang terkandung dalam daun salam tersebut dapat membentuk senyawa kompleks, salah satu zat aktif tersebut adalah tanin (Utami, 2008). Kandungan

tanin dalam daun salam yaitu 21,7% (Sampurno, 2004). Berdasarkan kandungan tersebut diharapkan daun salam dapat berfungsi sebagai inhibitor korosi. Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Muchamad Bagus (2014) dengan variasi penambahan ekstrak daun salam 0 ppm, 100 ppm, 300 ppm pada baja API 5L Grade B yang direndam dalam media korosi NaCl 3,5% dan H₂SO₄ 1 M selama 144 jam. Dalam penelitian tersebut diperoleh efisiensi inhibitor sebesar 81,502% dengan penambahan ekstrak daun salam 300 ppm.

Pada penelitian ini baja yang digunakan adalah baja karbon API 5L sebagai sampel uji korosi. Baja karbon API 5L banyak digunakan sebagai bahan pada pipa-pipa penyalur dalam produksi industri migas dan konstruksi jembatan. Sampel baja karbon API 5L direndam dalam media korosi NaCl 3,5% dengan variasi waktu perendaman dan penambahan volume dari ekstrak inhibitor daun salam. Waktu perendaman yang dilakukan adalah 48 jam, 96 jam, dan 144 jam. Sedangkan untuk penambahan ekstrak inhibitor adalah 0 ml, 2 ml, 4 ml, dan 6 ml. Selanjutnya dilakukan karakterisasi uji laju korosi dengan metode kehilangan berat dan polarisasi elektrokimia menggunakan alat *Corrosion Measurement System* (CMS), *Scanning Electron Microscopy* (SEM) yang dilengkapi dengan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) dan *X-Ray Diffraction* (XRD).

B. Rumusan Masalah

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah:

1. Apakah ekstrak daun salam (*Syzygium polyantha L.*) efektif digunakan sebagai inhibitor korosi?
2. Bagaimana pengaruh variasi waktu perendaman dan penambahan volume inhibitor ekstrak daun salam (*Syzygium polyantha L.*) terhadap laju korosi, struktur mikro, unsur-unsur kimia dan fasa yang terbentuk pada sampel?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui efektivitas ekstrak daun salam (*Syzygium polyantha L.*) sebagai inhibitor korosi
2. Mengetahui pengaruh variasi waktu perendaman dan penambahan volume inhibitor ekstrak daun salam (*Syzygium polyantha L.*) terhadap laju korosi, struktur mikro, unsur-unsur kimia dan fasa yang terbentuk pada sampel

D. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Baja yang digunakan adalah baja karbon API 5L
2. Inhibitor yang digunakan adalah ekstrak daun salam (*Syzygium polyantha L.*) dengan penambahan volume 0 ml, 2 ml, 4 ml, dan 6 ml
3. Media korosi yang digunakan yaitu larutan NaCl dengan konsentrasi 3,5%
4. Waktu perendaman sampel 48, 96, dan 144 jam

5. Pengujian laju korosi dilakukan dengan metode kehilangan berat dan metode polarisasi elektrokimia menggunakan alat *Corrosion Measurement System* (CMS)
6. Pengujian struktur mikro menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) yang dilengkapi dengan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) untuk mengetahui unsur-unsur kimia, dan fasa yang terbentuk pada sampel menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD)

E. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi mengenai pengaruh variasi waktu perendaman dan penambahan volume inhibitor ekstrak daun salam pada baja API 5L di media korosi NaCl 3,5%.
2. Dapat menjadi tambahan referensi 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), dimana besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Sifat mekanis pada baja bergantung pada kandungan karbon, dimana secara normal kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0,1% hingga 1,7% sesuai dengan tingkatannya. Berdasarkan komposisi baja dibedakan menjadi baja karbon (*Carbon Steel*) dan baja paduan (*Alloy Steel*).

1. Baja Karbon (*Carbon Steel*)

Baja karbon didefinisikan sebagai campuran karbon (C) dan besi (Fe), umumnya sebagian besar baja hanya mengandung karbon dengan sedikit paduan lainnya. Berdasarkan konsentrasi karbonnya, baja karbon digolongkan menjadi:

a. Baja karbon rendah (*Low Carbon Steel*)

Baja jenis ini memiliki kandungan karbon di bawah 0,25%. Baja karbon rendah tidak merespon pada perlakuan panas (*heat treatment*) yang bertujuan untuk mengubah struktur mikronya menjadi martensit. Struktur mikro dari baja karbon rendah terdiri dari unsur ferit dan perlit, sehingga baja ini relatif lunak dan lemah, tetapi sangat bagus pada kelenturan dan kekerasannya, serta *machinable* dengan

kemampuan yang baik. Baja karbon rendah dalam perdagangan dibuat dalam plat baja, baja strip dan baja batangan untuk konstruksi.

b. Baja karbon sedang (*Medium Carbon Steel*)

Baja karbon sedang memiliki kandungan karbon antara 0,25 dan 0,6%.

Baja jenis ini dapat diberi perlakuan panas *austenizing*, *quenching*, dan *tempering* untuk memperbaiki sifat-sifat mekaniknya. Baja karbon sedang memiliki kekerasan yang rendah, sehingga perlakuan panas hanya pada bagian-bagian yang sangat tipis dengan rasio *quenching* yang sangat cepat. Baja karbon sedang ini banyak digunakan untuk berbagai keperluan alat-alat perkakas bagian mesin, keperluan industri kendaraan, roda gigi, pegas dan sebagainya.

c. Baja karbon tinggi (*High Carbon Steel*)

Baja karbon tinggi biasanya memiliki kandungan karbon antara 0,60 dan 1,40%. Baja karbon tinggi merupakan baja yang paling keras dan kuat, serta paling rendah kelenturannya diantara baja karbon lainnya. Komposisi baja karbon tinggi ditambah nikel atau kobalt, krom atau tungsten. 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).

Menurut Harsono Wiryosumarto dan T. Okumura (1991) klasifikasi baja disajikan dalam bentuk Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi baja menurut Harsono Wiryosumarto dan T. Okumura.

Jenis	Kelas	Kadar Karbon (%)	Kekuatan Luluh (Kg/mm ²)	Kekuatan Tarik (Kg/mm ²)	Perpanjangan (%)	Kekerasan Brinell	Penggunaan
Baja karbon rendah	Baja lunak khusus	0,08	18-28	32-36	40-30	95-100	Plat tipis
	Baja sangat lunak	0,08-0,12	20-29	36-42	40-30	80-120	Batang, kawat
	Baja lunak	0,12-0,20	22-30	38-48	36-24	100-130	
	Baja setengah lunak	0,20-0,30	24-36	44-45	32-22	112-145	Konstruksi umum
Baja karbon sedang	Baja setengah keras	0,30-0,40	30-40	50-60	30-17	140-170	Alat-alat mesin
Baja karbon tinggi	Baja keras	0,40-0,50	34-46	58-70	26-14	160-200	perkakas
	Baja sangat keras	0,50-0,80	36-47	65-100	20-10	180-235	Rel, pegas & kawat piano

Sumber: Teknologi Pengelasan Logam, 1991.

2. Baja Paduan (*Alloy Steel*)

Baja paduan merupakan suatu baja yang tercampur dengan satu atau lebih unsur campuran, pembuatan baja paduan ini dikarenakan adanya keterbatasan baja karbon dengan sifat-sifat yang spesial dari logam terutama baja. Sifat-sifat spesial yang dimiliki oleh baja paduan ini meliputi sifat kelistrikan, magnetis, koefisien spesifik, serta pemuaian panas pada pemanasan yang berhubungan dengan pemotongan logam. Baja paduan terbagi dalam 3 jenis yaitu:

1. Baja paduan rendah (*Low Alloy Steel*)

Baja paduan rendah merupakan baja paduan yang elemen paduannya kurang dari 2,5 % wt.

2. Baja paduan menengah (*Medium Alloy Steel*)

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

3. Baja paduan tinggi (*High Alloy Steel*)

Baja paduan tinggi memiliki elemen paduan lebih dari 10% wt (Amanto dan Daryanto, 1999).

Menurut Alexander (1991) selain karbon dan besi, terdapat kandungan unsur-unsur paduan lain pada baja. Adanya unsur lain tersebut dikarenakan akibat proses pembuatan dan sifat-sifat alamiah dari bahan-bahan mentah yang digunakan. Unsur-unsur lain tersebut biasanya merupakan ikatan yang berasal dari pembuatan baja seperti mangan dan silikon. Sedangkan unsur pengotor, seperti belerang, posfor, oksigen, nitrogen dan lain-lain yang biasanya ditekan sampai kadar yang sangat kecil.

Pengaruh unsur-unsur paduan pada baja adalah:

a) Unsur Posfor (P)

Unsur posfor membentuk larutan besi fosfida. Posfor dalam baja dapat mengakibatkan kerapuhan dalam keadaan dingin. Baja yang mempunyai titik cair yang rendah tetap menghasilkan sifat yang keras dan rapuh. Baja mengandung unsur posfor sekitar 0,05%. Semakin besar prosentase posfor semakin tinggi batas tegangan tariknya, tetapi *impact strength* dan *ductility* nya turun.

b) Unsur Sulfur (S)

Unsur sulfur membahayakan sulfida yang mempunyai titik cair rendah dan rapuh. Kandungan sulfur harus dijaga agar serendah-rendahnya sekitar 0,05%. Sulfur dapat mempengaruhi sifat rapuh panas. Unsur sulfur cenderung sebagai segregasi

blok maupun gas. Hal ini terjadi apabila proses peleburan baja dilakukan secara tidak cermat. Untuk mencegah hal tersebut, dapat dilakukan dengan penambahan unsur Mn.

c) Unsur Silikon

Unsur silikon mempunyai sifat elastis / keuletan yang tinggi dan cenderung kuat berikatan dengan oksigen. Silikon mampu menaikkan kekerasan dan elastisitas, akan tetapi menurunkan kekuatan tarik dan keuletan dari baja. Penambahan silikon secara berlebih membuat baja mudah retak dan tidak stabil, tetapi unsur ini menghasilkan lapisan grafit yang menyebabkan baja tidak kuat. Baja mengandung silikon sekitar 0,1 – 0,3%.

d) Unsur Mangan

Unsur mangan mempunyai sifat yang tahan terhadap gesekan dan tahan tekanan (*impact load*). Unsur ini mudah berubah kekerasannya pada kondisi temperatur yang tidak tetap dan juga digunakan untuk membuat *alloy* mangan tembaga yang bersifat *ferromagnetic*. Unsur mangan yang bercampur dengan sulfur akan menghasilkan mangan sulfida dan diikuti pembentukan besi sulfida. Selain itu, mangan berfungsi sebagai bahan oksidiser (mengurangi kadar O dalam baja), menurunkan kerentanan *hot shortness* pada aplikasi pengerjaan panas. Mangan dapat larut, membentuk *solid solution strength* dan *hardness*. Baja mengandung mangan lebih dari 1 % (Jones, 1996).

Baja API 5L merupakan baja dengan kandungan karbon yang sangat rendah yaitu 0,06%. Baja jenis ini biasa digunakan pada industri perminyakan sebagai pipa penyalur. Komposisi kimia dari baja API 5L disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi kimia baja API 5L.

No.	Unsur	Komposisi (%)
1	Karbon (C)	0,063
2	Silikon (Si)	0,250
3	Mangan (Mn)	1,477
4	Posfor (P)	0,0082
5	Sulfur (S)	0,0030
6	Krom (Cr)	0,351
7	Molibden (Mo)	0,0038
8	Nikel (Ni)	0,012
9	Tembaga (Cu)	0,14
10	Alumunium (Al)	0,029
11	Arsen (As)	0,034
12	Boron (B)	0,00013
13	Kalsium (Ca)	0,0011
14	Niobium (Nb)	0,032
15	Timbal (Pb)	0,013
16	Antimon (Sb)	0,0035
17	Timah (Sn)	0,0031
18	Talium (Ti)	0,014
19	Vanadium (V)	0,0056
20	Bismut (Bi)	0,0052
21	Nitrogen (N)	0,001
22	Besi (Fe)	97,69

Sumber: SEAPI *Laboratory*, 2015.

B. Pengertian Korosi

Sekitar tahun 1500 SM besi telah dimanfaatkan oleh manusia, dan sejak tahun 1667 pertama digunakan istilah “korosi” (Moechtar, 1996). Korosi atau yang lebih dikenal dengan pengkaratan, secara umum didefinisikan sebagai penurunan mutu dari logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya (Trethewey dan Chamberlain, 1991). Adanya reaksi redoks antara suatu logam dengan berbagai zat di lingkungannya akan menghasilkan senyawa-senyawa yang tidak dikehendaki. Selain itu, korosi juga dapat didefinisikan sebagai perusakan material tanpa perusakan mekanis (*non destructive*). Korosi dapat terjadi dengan cepat atau lambat, tergantung dari pengaruh lingkungan sekelilingnya. Di sini

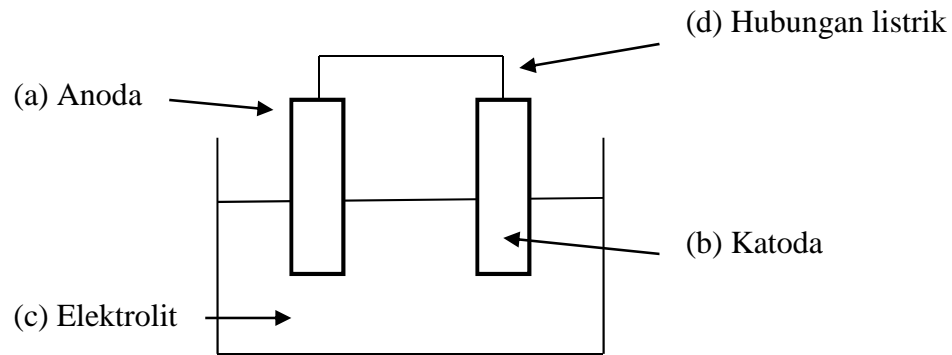
yang dimaksud dengan lingkungan sekelilingnya dapat berupa lingkungan asam, udara, embun, air tawar, air laut, air danau, air sungai dan air tanah. Terdapat 4 komponen penting dalam kelangsungan korosi, yaitu:

- a) 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 adalah bahan logam yang tidak mengalami korosi karena menerima elektron. Reaksi yang terjadi pada katoda bergantung pada pH larutan, pada larutan asam akan terbentuk gas H_2 , sedangkan pada larutan basa akan terbentuk gas O_2 . Reaksi yang terjadi pada katoda berupa reaksi reduksi.
- c) Elektrolit adalah larutan yang dapat menghantarkan listrik sebagai media perpindahan elektron dari anoda menuju katoda. Jenis elektrolit bermacam-macam dapat berupa larutan asam, basa dan larutan garam. Selain itu, air juga dapat digunakan sebagai elektrolit karena kebanyakan air bersifat konduktif. Walaupun sebenarnya air yang murni tidak dapat menghantarkan listrik.
- d) Hubungan listrik adalah hubungan antara anoda dan katoda yang terdapat kontak listrik, sehingga arus dalam sel korosi dapat mengalir.



Gambar 1. Sel korosi basah sederhana (Trethewey dan Chamberlain, 1991).

Pada Gambar 1. korosi terjadi melalui reaksi elektrokimia di permukaan logam karena adanya larutan elektrolit. Sepotong logam yang berada pada lingkungan elektrolit dapat bertindak sebagai anoda, katoda, dan penghubung listrik itu sendiri. Laju korosi ditentukan oleh kesetimbangan antara dua reaksi elektrokimia yang berlawanan. Yang pertama adalah reaksi anodik, dimana logam teroksidasi dan mendapatkan penambahan jumlah elektron. Reaksi lawannya adalah reaksi katodik dengan satu unsur larutan (umumnya O_2 atau H^+) dikurangi dan elektron lepas dari logam. Aliran arus elektron ini merupakan penyebab utama korosi dalam logam.

Korosi dapat terjadi dimana saja, dan pada bahan apa saja. Boleh dikatakan bahwa hampir tidak ada benda padat yang tidak dapat mengalami korosi. Hingga saat ini dikenal sebanyak 105 jenis bahan yang dapat mengalami korosi, 80 diantaranya merupakan bahan logam. Setiap jenis logam tersebut mempunyai sifat kimiawi, kimiawi, fisik dan mekanik yang berbeda-beda. Misalnya, logam aluminium tahan terhadap korosi atmosfer, namun tidak tahan terhadap korosi merkuri (air raksa). Logam mulia seperti emas dan platina yang kebal terhadap

sebagian besar korosi, tidak akan tahan pada bromine basah, atau pada karbon tetraklorida konsentrasi 60% ke atas (Widharto, 2001).

C. Jenis-Jenis Korosi

Secara umum, tipe dari korosi dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Korosi Seragam (*Uniform Corrosion*)

Korosi seragam merupakan korosi dengan serangan merata pada seluruh permukaan logam akibat reaksi kimia karena pH air yang rendah dan udara yang lembab, sehingga semakin lama logam akan semakin menipis. Korosi terjadi pada permukaan logam yang terekspos pada lingkungan korosif. Biasanya ini terjadi pada pelat baja. Untuk contoh korosi seragam dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Korosi seragam pada pipa (ASM Handbook, 1991).

2. Korosi Galvanik

Korosi galvanik terjadi jika dua logam yang berbeda jenis dan komposisi dihubungkan melalui elektrolit. Sehingga salah satu dari logam yang bersifat anodik akan terkorosi, sedangkan logam lainnya yang lebih katodik terlindungi dari korosi. Untuk memprediksi logam yang terkorosi pada korosi galvanik dapat menggunakan deret volta. Posisi logam pada deret volta akan menentukan apakah suatu logam lebih anodik atau katodik. Bentuk korosi galvanik dapat dilihat pada

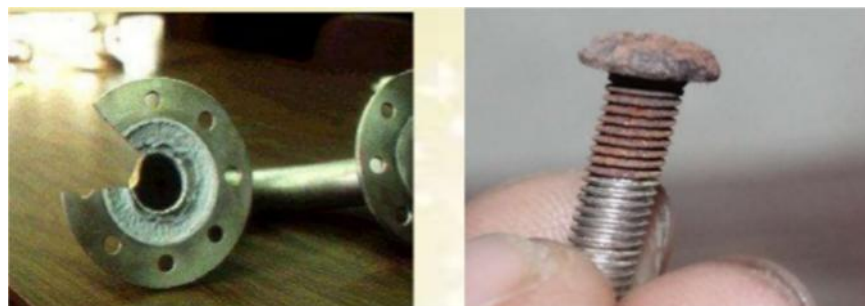
Gambar 3.



Gambar 3. Korosi Galvanik (ASM Handbook, 1991).

3. Korosi Celah

Korosi celah biasanya terjadi pada sela-sela sambungan logam yang sejenis atau pada retakan di permukaan logam. Hal ini disebabkan akibat perbedaan konsentrasi ion atau oksigen diantara celah dengan lingkungannya. Celah atau ketidak teraturan permukaan lainnya seperti celah paku keling (*rivet*), baut, *washer*, gasket, deposit dan sebagainya, yang bersentuhan dengan media korosi dapat menyebabkan korosi terlokalisasi. Bentuk korosi celah dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Korosi celah (Priyotomo, 2008).

4. Korosi Sumuran

Korosi sumuran terjadi karena adanya serangan korosi lokal pada permukaan logam, sehingga membentuk cekungan atau lubang pada permukaan logam. Korosi logam pada baja tahan karat terjadi karena rusaknya lapisan pelindung

(*passive film*) akibat komposisi logam yang tidak homogen, dimana pada daerah batas timbul korosi yang berbentuk sumur dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Korosi sumuran.

5. Korosi Batas Butir (*intergranular corrosion*)

Korosi batas butir menyerang pada batas butir akibat adanya segregasi dari unsur pasif, seperti krom yang meninggalkan batas butir sehingga pada batas butir bersifat anodik.

6. *Dealloying*

Dealloying adalah lepasnya unsur-unsur paduan yang lebih aktif (anodik) dari logam paduan, sebagai contoh: lepasnya unsur seng atau Zn pada kuningan (Cu – Zn) dan dikenal dengan istilah *densification*.

7. Korosi Erosi

Korosi erosi disebabkan oleh kombinasi fluida korosi dan kecepatan aliran yang tinggi. Bagian fluida yang kecepatan alirannya rendah akan mengalami laju korosi rendah, sedangkan fluida kecepatan tinggi menyebabkan terjadinya erosi dan dapat menggerus lapisan pelindung, sehingga mempercepat korosi.

8. Korosi Aliran (*Flow Induced Corrosion*)

Korosi Aliran digambarkan sebagai efek dari aliran terhadap terjadinya korosi. Meskipun mirip, antara korosi aliran dan korosi erosi adalah dua hal yang berbeda. Korosi aliran adalah peningkatan laju korosi yang disebabkan oleh

turbulensi fluida dan perpindahan massa akibat dari aliran fluida di atas permukaan logam. Korosi erosi adalah naiknya korosi dikarenakan benturan secara fisik pada permukaan oleh partikel yang terbawa fluida (Jones, 1992).

D. Laju Korosi

Laju korosi didefinisikan sebagai banyaknya logam yang dilepas tiap satuan waktu pada permukaan tertentu. Laju korosi umumnya dinyatakan dengan satuan *milli per year* (mpy). Pada Tabel 3. ditunjukkan hubungan laju korosi dengan ketahanan korosi relatif.

Tabel 3. Hubungan laju korosi dan ketahanan korosi relatif (Fontana, 1986).

Ketahanan Korosi Relatif	Laju Korosi		
	Mpy	mmpy	$\frac{mm}{1000 \cdot y}$
Sangat baik	< 1	< 0,02	< 25
Baik	1 – 5	0,02 – 0,1	25 – 100
Cukup	5 – 20	0,1 – 0,5	100 – 500
Kurang	20 – 50	0,5 – 0,1	500 – 1000
buruk	50 – 200	1 – 5	1000 – 5000

Untuk menghitung laju korosi pada umumnya dapat dilakukan menggunakan 2 cara, yaitu:

1. Metode kehilangan berat

Metode kehilangan berat adalah perhitungan laju korosi dengan mengukur kekurangan berat akibat korosi yang terjadi. Metode ini menggunakan jangka waktu penelitian hingga mendapatkan jumlah kehilangan akibat korosi yang terjadi. Untuk mendapatkan jumlah kehilangan berat akibat korosi menggunakan

rumus pada ASTM G1-90 vol 3.2 tahun 2002 sebagai berikut:

$$CR = \frac{K w}{\rho AT} \quad (2.1)$$

dimana:

- CR = *Corrosion Rate*
 K = Konstanta laju korosi
 w = Selisih massa (gram)
 = Massa jenis spesimen (g/cm³)
 A = Luas spesimen (cm²)
 T = Waktu yang diperlukan (jam)

Dalam metode ini, massa awal sebelum dan setelah perlakuan atau perendaman pada media korosi dari benda uji merupakan data yang digunakan pada persamaan (2.1) dengan konstanta laju korosi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Konstanta laju korosi.

No	Satuan laju korosi yang diinginkan	K
1	<i>Milli per year</i> (mpy)	$3,45 \times 10^{-6}$
2	<i>Millimeters per year</i> (mmpy)	$8,76 \times 10^{-4}$
3	<i>Micrometers per year</i> (μ mpy)	$8,76 \times 10^{-2}$

2. Metode polarisasi elektrokimia

Metode polarisasi elektrokimia merupakan suatu metode elektrokimia yang dikembangkan berdasarkan tingkat polarisasi logam yang berinteraksi dengan lingkungan korosi. Untuk menentukan tingkat polarisasi suatu logam dilakukan dengan *Tafel Extrapolation (plot tafel)*. Pengujian dengan cara tafel banyak

diaplikasikan untuk mengukur laju korosi pada media korosi secara cepat. Kontak langsung antara logam dan media korosi, mengakibatkan adanya reaksi reduksi dan oksidasi pada logam dan akan timbul arus (I_{corr}). Arus yang terjadi menghasilkan potensial korosi (E_{corr}), dimana potensial daerah anodik sama dengan potensial daerah katodik. Berikut ini beberapa komponen elektrokimia:

- a. Elektroda kerja (*working electrode*) merupakan elektroda yang di uji.
- b. Elektroda pembantu (*auxilliary electrode*) merupakan elektroda pembantu atau elektroda kedua yang berfungsi untuk mengangkut arus dalam rangkaian yang terbentuk dalam penelitian.
- c. Elektroda acuan merupakan elektroda pembanding yang mengacu dalam pengukuran potensial elektroda kerja.

Metode elektrokimia ini menggunakan rumus yang didasari pada Hukum Faraday sebagai berikut:

$$\text{Laju korosi (mpy)} = 0,129 \frac{I_{corr} E}{\rho} \quad (2.2)$$

dimana:

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

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

$$= \text{Densitas logam terkorosi (gr/cm}^3\text{)}$$

(ASTM G1-90 vol 3.2 tahun 2002).

Sedangkan untuk menghitung efisiensi penggunaan inhibitor dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$(\%) = \frac{(CR \text{ uninhibited} - CR \text{ inhibited})}{CR \text{ uninhibited}} \times 100\% \quad (2.3)$$

dimana:

= Efisiensi inhibitor (%)

CR uninhibited = Laju korosi tanpa inhibitor

CR inhibited = Laju korosi dengan inhibitor

(Fontana, 1986).

E. Pengaruh NaCl terhadap Laju Korosi

Natrium klorida merupakan senyawa ionik dengan rumus NaCl atau lebih dikenal dengan garam dapur. Dalam larutan, garam akan terurai menjadi anion dan kation yang menjadikan larutan mampu menghantarkan muatan listrik yang mengalir dalam larutan tersebut. Hal ini mengakibatkan nilai konduktivitas dari larutan garam yang sebanding dengan konsentrasi garam terlarut yang terdapat pada larutan tersebut (Rustandi, 2011).

Pada proses korosi terjadi reaksi elektrokimia antara logam yang bertindak sebagai anoda dan lingkungan sebagai katoda (Fontana, 1986). Kecepatan reaksi tersebut ditentukan dari konduktivitas media korosi, yang dapat mengakibatkan peningkatan laju korosi dari reaksi elektrokimia. Pada beberapa literatur laju korosi baja karbon berada pada konsentrasi NaCl 3-3,5% (Jones, 1992).

F. Pengendalian Korosi dengan Inhibitor

Pengendalian korosi dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satunya adalah menggunakan inhibitor. Inhibitor berasal dari kata “inhibisi” yang memiliki arti

menghambat, sehingga inhibitor dapat diartikan sebagai suatu zat yang apabila ditambahkan ke dalam sistem reaksi kimia dapat menghambat reaksi antarmuka antara material dengan lingkungan, sehingga dapat mengurangi laju korosi dari material tersebut (Dalimunthe, 2004).

Secara umum mekanisme kerja inhibitor adalah:

1. Pembentukan lapisan tipis pada permukaan dengan ketebalan beberapa molekul inhibitor pada permukaan logam karena permukaan logam mengadsorpsi inhibitor
2. Melalui pengaruh lingkungan atau pH dari lingkungan menyebabkan inhibitor mengendap pada permukaan logam, dan teradsorpsi, sehingga membentuk lapisan yang melindungi dari serangan korosi
3. Inhibitor melakukan korosi terlebih dahulu terhadap logam kemudian menghasilkan produk korosi dan mengalami proses adsorpsi sehingga membentuk suatu lapisan pasif pada permukaan logam
4. Penghilangan konstituen yang agresif dari lingkungannya.

Berdasarkan bahan dasarnya, inhibitor korosi dibagi menjadi dua yaitu inhibitor dari senyawa organik dan senyawa anorganik (Widharto, 1999).

a. Inhibitor organik

Inhibitor dari bahan organik membentuk senyawa kompleks yang mengendap pada permukaan logam sebagai lapisan pelindung yang dapat menghambat reaksi logam dengan lingkungannya. Reaksi yang terjadi dapat berupa reaksi anodik, reaksi katodik, atau keduanya bergantung dari reaksi pada permukaan dan

potensial logam tersebut. Penggunaan inhibitor organik dengan konsentrasi yang tepat dapat mengoptimalkan perlindungan pada seluruh logam (Roberge, 2000).

b. Inhibitor anorganik

Inhibitor anorganik merupakan inhibitor yang terbuat dari bahan kimia yang bersifat toksik (Ameer *et al*, 2000). Inhibitor anorganik memiliki gugus aktif berupa anion negatif yang bersifat sebagai inhibitor anodik, sehingga mampu mengurangi korosi (Wiston, 2000).

G. Daun Salam (*Syzygium polyantha L.*)

Tanaman salam (*Syzygium polyantha L.*) merupakan jenis tanaman yang banyak terdapat di wilayah Indonesia. Pohon salam dapat tumbuh di dataran rendah sampai pegunungan dengan ketinggian 1800 m, dan banyak tumbuh di hutan maupun rimba belantara (Dalimartha, 2000). Pohon salam biasanya dimanfaatkan daunnya sebagai bumbu masakan atau pengobatan, dan bagian kulit pohonnya yang digunakan untuk bahan pewarna atau anyaman, sedangkan buah dari pohon salam dapat dikonsumsi (Dalimarta, 2005). Bentuk dari daun salam dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Daun salam.

Taksonomi dari daun salam ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Taksonomi dari Daun Salam.

Klasifikasi Ilmiah	
Kingdom	<i>Plantae</i>
Divisi	<i>Magnoliophyta</i>
Kelas	<i>Magnoliopsida</i>
Ordo	<i>Myrtales</i>
Famili	<i>Myrtaceae</i>
Genus	<i>Syzygium</i>
Spesies	<i>Syzygium polyantha</i>

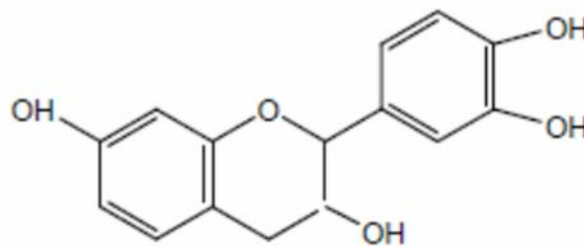
Sumber: Van Steenis, 2003.

Kandungan kimia daun salam yaitu tanin (21,7%), flavanoid (0,4%), saponin, triterpen, polifenol, minyak atsiri (0,17%), dan alkaloid (Sudarsono dkk, 2002 ; Sampurno, 2004).

Ekstraksi merupakan proses penarikan kandungan kimia yang larut sehingga terpisah dari bahan yang tidak dapat terlarut pada pelarut cair. Proses ekstraksi dilakukan untuk memperoleh ekstrak pekat dari simplisia nabati atau simplisia hewani menggunakan pelarut, kemudian diuapkan sehingga menghasilkan ekstrak pekat (Ansel, 1989). Dalam ekstraksi dilakukan beberapa metode, salah satunya adalah maserasi. Maserasi merupakan proses ekstraksi dengan cara perendaman dengan bahan organik pada suhu ruang. Selanjutnya rendaman tersebut dievaporasi. Semakin besar perbandingan simplisia terhadap cairan pengestraksi, maka akan semakin banyak yang diperoleh (Voight, 1984).

H. Tanin

Tanin merupakan zat organik yang sangat kompleks, terdiri dari senyawa fenolik dan termasuk kelompok polifenol yang memiliki berat molekul antara 500-3000 g/mol (Risnasari, 2001). Tanin terdapat dalam tumbuhan pada bagian buah, daun, dan kulit batang. Tanin memiliki sifat yang mampu mengendapkan alkaloid, gelatin dan protein lainnya. Selain itu, sifat kimia senyawa fenol pada tanin mempunyai aksi adstringensia, antiseptik, dan sebagai pemberi warna alami (Hageman, 2002). Berdasarkan strukturnya, tanin dibedakan menjadi dua kelas yaitu tanin terkondensasi (*condensed tannins*) dan tanin terhidrolisis (*hydrolysable tannins*) (Manitto, 1992). Struktur dasar tanin dapat dilihat pada Gambar 7.



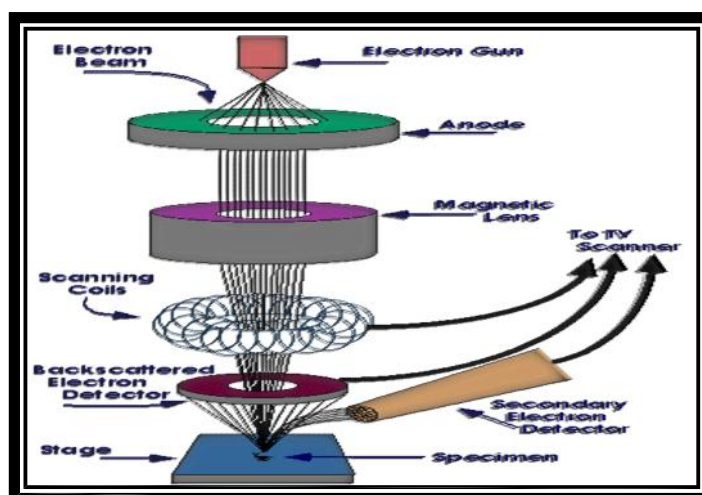
Gambar 7. Struktur Dasar Tanin (Hidayati, 2009).

I. SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

SEM (*Scanning Electron Microscopy*) merupakan mikroskop elektron yang banyak digunakan dalam ilmu pengetahuan material. Pertama kali SEM dideskripsikan oleh Fisikawan Jerman Dr. Max Knoll pada tahun 1935. Kemudian perkembangan SEM pada tahun 1942 dipelopori oleh tiga orang Ilmuwan Amerika yaitu Dr. Vladimir Kosma Zworykin, Dr. James Hillier, dan Dr. Snijder. Mereka mengembangkan pemindai dari SEM dengan resolusi hingga 50 nm dan magnifikasi 8.000 kali, sehingga dengan cara ini sinar elektron dapat difokuskan

terhadap permukaan objek dan mendeteksi elektron yang muncul pada gambar permukaan objek (McMullan, 1988).

SEM digunakan pada sampel yang tebal dan memungkinkan untuk analisis permukaan. Pancaran berkas yang jatuh pada sampel akan dipantulkan dan didifraksikan. Akibat adanya elektron yang terdifraksi, sehingga dapat teramati dalam bentuk pola-pola difraksi yang tampak bergantung pada bentuk dan ukuran sel satuan dari sampel. Prinsip kerja pada SEM ditunjukkan dalam skema pada Gambar 8.



Gambar 8 Skema SEM (Griffin and Reissen, 1997).

Prinsip kerja dari SEM yaitu sinar dari penembak elektron (*electron gun*) dipancarkan pada lensa kondensor, sebelum masuk pada lensa kondensor pengatur dari pancaran sinar elektron (*electron beam*) diberikan tegangan tinggi antara anoda dan katoda untuk meningkatkan kecepatan elektron. Kemudian sinar elektron dikumpulkan oleh lensa kondensor elektromagnetik dan difokuskan oleh lensa objektif. Sinar elektron tersebut, akan dideteksi (*scanning coils*) satu titik ke

titik yang lain sehingga menghasilkan bintik gelap pada monitor (Chan, 1993).

SEM juga dapat digunakan untuk menyimpulkan data-data kristalografi yang dapat dikembangkan untuk menentukan elemen atau senyawa yaitu dengan dilengkapi teknik EDS (*Energy Dispersive Spectroscop*). Bila ada seberkas elektron ditembakkan pada sampel, akan terjadi interaksi yang mengakibatkan elektron tersebut dihamburkan oleh elektron lain yang mengelilingi inti atom. Hal ini menyebabkan atom menjadi kurang stabil. Oleh karena itu, elektron diluar yang memiliki energi lebih besar akan berpindah orbit ke energi yang lebih rendah untuk melepaskan energi dalam bentuk sinar-X. Spektrum sinar-X yang dipancarkan tersebut memiliki energi spesifik tertentu berdasarkan nomor atom dari bahan. Dengan mengetahui energi sinar-X yang dipancarkan, dapat diketahui nomor atom dari bahan yang memancarkan sinar-X tersebut dan kandungan relatif bahan tersebut di dalam paduan berdasarkan sinar-X yang dipancarkan. EDS juga dapat digunakan untuk menganalisis secara kualitatif dari presentase masing-masing elemen (Qulub, 2011).

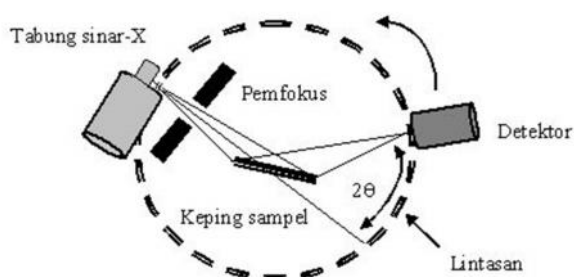
J. XRD (*X-Ray Diffraction*)

Tahun 1895 seorang Fisikawan asal Jerman bernama Roentgen pertama kali menemukan difraksi sinar-X pada kristal (Brindley dan Brown, 1980). Penamaan “sinar-X” mulanya dikarenakan sinar yang terbentuk masih merupakan misteri. Pada penelitian selanjutnya diketahui bahwa sifat sinar-X tersebut memiliki daya penetrasi yang tinggi, dapat menghitamkan pelat film, dapat membuat mineral terfluoresensi dan tidak dapat dibelokkan oleh medan magnet ataupun medan listrik (Keller dkk, 1993). Sinar-X merupakan salah satu bentuk radiasi

elektromagnetik yang mempunyai nilai energi antara 200 eV – 1 MeV dengan panjang gelombang 0,5 – 2,5 Å. Panjang gelombang yang sama dengan jarak antara atom dalam kristal, menyebabkan sinar-X menjadi salah satu teknik dalam analisis mineral (Suryanarayana dan Norton, 1998).

Difraksi sinar-X atau yang dikenal dengan XRD adalah alat yang digunakan untuk menentukan struktur dan pengenalan bahan-bahan baik keramik, logam, gelas maupun komposit. Teknik dasar XRD digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi untuk mendapatkan ukuran partikel (Widhyastuti dkk, 2009).

Komponen dasar XRD terdiri dari sumber sinar-X (*X-Ray source*), material uji (spesimen), dan detektor sinar-X (*X-Ray detector*) (Sartono, 2006). Dalam teknik pengujian dengan metode difraksi sinar-X, sampel yang digunakan dapat berupa serbuk atau padatan kristalin yang diletakkan pada plat kaca. Skema metode difraksi sinar-X seperti pada Gambar 9.

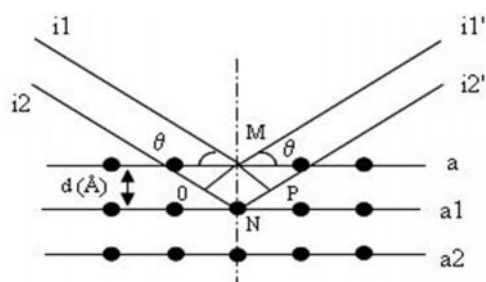


Gambar 9. Skema metode difraksi sinar-X.

Sinar-X yang keluar dari tabung sinar-X dalam keadaan vakum pada tegangan tinggi dan dengan kecepatan tinggi menumbuk permukaan logam (Cu) atau sampel padatan kristalin. Kemudian sinar-X tersebut akan diabsorpsi,

ditransmisikan, dan sebagian dihamburkan terdifraksi ke segala arah sampel. Selanjutnya detektor bergerak dengan kecepatan sudut yang konstan, untuk mendeteksi pola difraksi sinar-X tersebut. Pola difraksi yang dihasilkan berupa deretan puncak-puncak difraksi dengan intensitas relatif yang bervariasi sepanjang 2θ tertentu. Besarnya intensitas relatif bergantung pada jumlah atom atau ion yang ada, dan distribusinya di dalam sel satuan material tersebut. Selain itu, pola difraksi setiap padatan kristalin sangat khas berdasarkan kisi kristal, unit parameter dan panjang gelombang sinar-X yang digunakan. Hal tersebut menunjukkan bahwa sangat kecil kemungkinan dihasilkan pola difraksi yang sama untuk suatu padatan kristalin yang berbeda (Warren, 1969).

Difraksi sinar-X oleh atom-atom pada bidang dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Difraksi sinar-X oleh atom-atom pada bidang (Ismunandar, 2006).

Gambar 10. difraksi sinar-X oleh atom-atom pada bidang atom paralel a dan a1 yang terpisah oleh jarak d . Dua berkas sinar-X yaitu a dan a1 dianggap bersifat paralel, monokromatik dan koheren dengan panjang gelombang datang pada bidang dengan sudut θ . Jika kedua berkas tersebut terdifraksi berturut-turut oleh M dan N menjadi $i1'$ dan $i2'$ yang masing-masing akan membentuk sudut terhadap bidang dan bersifat paralel, monokromatik dan koheren. Perbedaan

panjang antara i_1-M-i_1' dengan i_2-N-i_2' adalah sama dengan n panjang gelombang, maka persamaan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} n &= ON + NP \\ n &= d \sin \theta + d \sin \theta \\ &= 2 d \sin \theta \end{aligned} \quad (2.4)$$

Persamaan (2.4) dikenal sebagai Hukum Bragg, dengan n pada bidang tersebut bernilai 1. Persamaan tersebut dapat diturunkan menjadi

$$= 2 d \sin \theta \quad (2.5)$$

Dimana λ = panjang gelombang (m), d = jarak (m), dan θ = sudut difraksi (Richman, 1967). Karena nilai $\sin \theta$ tidak melebihi 1, maka pengamatan berada pada interval $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ sehingga

$$\frac{n\lambda}{2d} = \sin \theta < 1 \quad (2.6)$$

Dari persamaan (2.6) untuk memenuhi nilai $\sin \theta$, maka kondisi untuk difraksi pada sudut 2θ yang teramati adalah

$$\lambda < 2d \quad (2.7)$$

Persamaan (2.7) menjelaskan bahwa panjang gelombang sinar-X yang digunakan untuk menentukan struktur kristal harus lebih kecil dari jarak antar atom (Zakaria, 2003).

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni sampai Agustus 2016 di Laboratorium Kimia Organik Universitas Lampung, Laboratorium Metalurgi PT.SEAPI (*South East Asia Pipe Industries*), Laboratorium Korosi P2MM-LIPI Serpong, dan Laboratorium Terpadu UIN Syarif Hidayatullah Jakarta, serta Laboratorium Pusat Survei Geologi Kelautan (P3GL) Bandung.

B. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan adalah blender, penguap putar vakum (*rotary evaporator*), labu takar, *beaker glass*, spatula, pipet tetes, aluminium foil, corong, kertas saring, neraca digital, alat pemotong baja, gergaji mesin, resin dan katalis, kabel, solder, kertas amplas, *refine polisher*, *Corrosion Measurment System (CMS)*, *X-Ray Diffraction (XRD)*, dan *Scanning Electron Microscopy (SEM)* yang dilengkapi dengan *Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)*.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon API 5L, inhibitor ekstrak daun salam, natrium klorida (NaCl) 3,5%, aquades, etanol 96%.

C. Pengkodean Sampel

Sampel yang digunakan ada 12 sehingga digunakan kode sampel untuk membedakannya. Kode sampel yang dibuat dengan format= bahan yang digunakan – waktu perendaman – volume inhibitor yang ditambahkan. Contoh kode sampel yang digunakan yaitu API-48-4 dimana API adalah baja yang digunakan, waktu perendaman selama 48 jam, dan volume inhibitor yang ditambahkan sebanyak 4 ml. Kode sampel baja yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Kode Sampel.

Sampel	Keterangan
API-48-0	Perendaman selama 48 jam dengan penambahan inhibitor 0 ml
API-48-2	Perendaman selama 48 jam dengan penambahan inhibitor 2 ml
API-48-4	Perendaman selama 48 jam dengan penambahan inhibitor 4 ml
API-48-6	Perendaman selama 48 jam dengan penambahan inhibitor 6 ml
API-96-0	Perendaman selama 96 jam dengan penambahan inhibitor 0 ml
API-96-2	Perendaman selama 96 jam dengan penambahan inhibitor 2 ml
API-96-4	Perendaman selama 96 jam dengan penambahan inhibitor 4 ml
API-96-6	Perendaman selama 96 jam dengan penambahan inhibitor 6 ml
API-144-0	Perendaman selama 144 jam dengan penambahan inhibitor 0 ml
API-144-2	Perendaman selama 144 jam dengan penambahan inhibitor 2 ml
API-144-4	Perendaman selama 144 jam dengan penambahan inhibitor 4 ml
API-144-6	Perendaman selama 144 jam dengan penambahan inhibitor 6 ml

D. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini sebagai berikut:

a) Preparasi baja karbon

1. Memotong plat baja menggunakan *refine cutter* dengan ukuran 1x1 cm sebanyak 2 buah dan ukuran panjang 20 mm, lebar 50 mm, tinggi 8 mm sebanyak 12 buah
2. Menghubungkan sampel ukuran 1x1 cm dengan kabel berukuran panjang 15 cm menggunakan bantuan solder
3. *Memounting* sampel yang telah tersambung kabel menggunakan resin dan katalis sebagai pengeras
4. Mengamplas permukaan sampel yang diekspos menggunakan mesin *refine polisher* dengan tingkat kekasaran 60#, 80#, 100#, 120#, 400#, dan 800# hingga bersih merata.

b) Ekstraksi Daun Salam

1. Membersihkan dan mengeringkan daun salam pada temperatur kamar selama 10 hari hingga kering
2. Menghaluskan daun salam kering menggunakan blender
3. Menyaring daun salam yang telah diblender untuk memperoleh serbuk daun salam
4. Menimbang serbuk daun salam sebanyak 300 gr, kemudian mengekstraknya dengan etanol 96% menggunakan metode maserasi selama 24 jam
5. Menyaring ekstrak daun salam dan mengambil filtratnya
6. Kemudian memasukkan filtrat tersebut ke dalam *rotary vacuum evaporator* pada suhu 55°C selama 1 jam hingga menghasilkan ekstrak pekat.

c) Pembuatan Media Korosi

Media korosi yang digunakan dalam penelitian ini adalah NaCl dengan konsentrasi 3,5%. Pembuatan media korosi menggunakan perbandingan massa dan volume. Massa NaCl yang digunakan sebanyak 35 gram dan ditambahkan dengan aquades sampai volume 1000 ml.

d) Menghitung Laju Korosi

Menghitung laju korosi dilakukan dengan dua metode yaitu:

1. Metode Kehilangan Berat

Sampel baja yang sudah bersih ditimbang untuk mengetahui massa awal sebelum perendaman. Pengujian dengan metode kehilangan berat ini dilakukan di Laboratorium Kimia Organik. Dalam tahap metode ini sampel yang digunakan ada 12, dibagi menjadi 3 bagian besar untuk variasi waktu perendaman 48 jam, 96 jam, dan 144 jam dalam larutan 3,5% NaCl. Masing-masing bagian terdiri dari 4 sampel dengan perlakuan penambahan 0 ml, penambahan 2 ml, 4 ml, dan 6 ml. Setelah dilakukan pengujian laju korosi, masing-masing sampel dibersihkan dan dikeringkan, kemudian ditimbang massa setelah pengkorosian. Selanjutnya untuk menghitung laju korosi dapat digunakan persamaan (2.1), sedangkan untuk menghitung efisiensi penggunaan inhibitor dihitung menggunakan persamaan (2.2).

2. Metode polarisasi elektrokimia menggunakan CMS *Software* GAMRY 5.06

Pada metode ini pengujian dilakukan menggunakan *Software* GAMRY 5.06 pada program eksperimen *tafel* dengan rangkaian sel polarisasi yang dilakukan di Laboratorium Korosi P2MM-LIPI Serpong. Sampel baja yang digunakan pada

metode ini ada 2, dengan perlakuan penambahan inhibitor 0 ml dan penambahan inhibitor 6 ml pada media korosi NaCl 3,5%. Sel polarisasi terdiri dari elektroda uji (*electrode working*), elektroda pembantu (*counter electrode*), dan elektroda referensi (*reference electrode*). Masing-masing komponen polarisasi dihubungkan ke PC dengan *input data* pada *Gammry Instrument Framework*. Selanjutnya analisis data dilakukan menggunakan *software Gammry Analysis* setelah dilakukan perendaman selama 1 jam.

e) Karakterisasi

Karakterisasi yang dilakukan dalam penelitian meliputi:

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

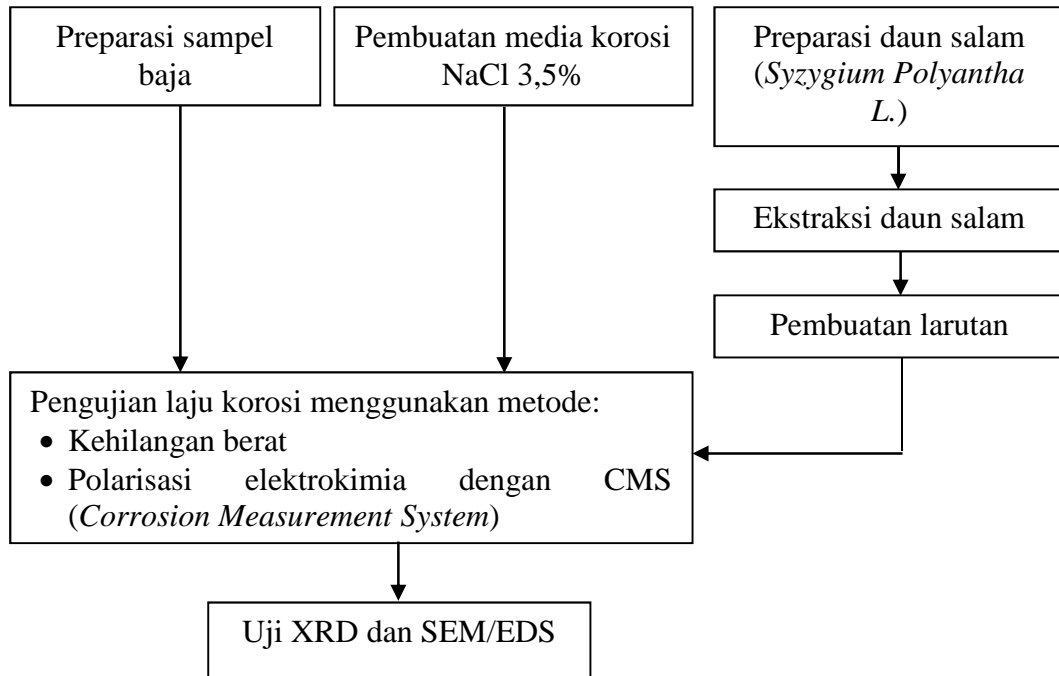
Sampel yang telah mengalami perlakuan kemudian akan diuji menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) yang dilengkapi dengan EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) *Carl Zeis Type EVO MA 10* untuk mengetahui struktur permukaan dan unsur-unsur kimia yang ada pada sampel.

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

Sampel yang telah mengalami perlakuan kemudian akan diuji menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) merk *Shimadzu XD 610* untuk mengetahui fasa yang terbentuk pada sampel.

E. Diagram Alir Penelitian

Presedur kerja penelitian dapat dilihat pada diagram alir pada Gambar 11.



Gambar 11. Diagram alir penelitian.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

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

1. Semakin meningkat penambahan volume inhibitor ekstrak daun salam yang digunakan, maka laju korosi yang terjadi pada baja karbon API 5L semakin menurun.
2. Semakin lama waktu perendaman sampel baja karbon API 5L dalam media korosi NaCl 3,5%, maka laju korosi semakin menurun.
3. Efisiensi penggunaan inhibitor terbesar pada sampel API-96-6 sebesar 74,96%.
4. Hasil laju korosi dengan inhibitor 6 ml lebih rendah dibandingkan laju korosi dengan penambahan inhibitor 0 ml pada pengujian menggunakan metode polarisasi elektrokimia
5. Hasil karakterisasi SEM memperlihatkan bahwa retakan (*crack*) terjadi pada sampel API-144-0, sedangkan sampel API-144-6 terlihat seperti telah terlapisi oleh inhibitor ekstrak daun salam.
6. Hasil karakterisasi EDS pada sampel API-144-0 dan API-144-6 mengidentifikasi adanya unsur C (karbon), O (oksigen), Cl (klorida), Mn (mangan), dan Fe (besi).

7. Hasil karakterisasi XRD mengidentifikasi bahwa fasa yang terbentuk pada baja karbon API 5L adalah Fe murni dengan bidang kisi 110, 200, dan 211 dengan struktur BCC.

B. SARAN

Pada penelitian selanjutnya disarankan melakukan pengujian laju korosi menggunakan metode polarisasi elektrokimia dengan menambahkan variasi konsentrasi inhibitor yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alexander, W.O., Davies., Heslop, S. 1991. *Dasar Metalurgi untuk Rekayasawan, terjemahan Dr. Ir Sriati Djaprie*. PT.Gramedia Pustaka Utama. Jakarta. Hal 209.
- Amanto, H dan Daryanto. 1999. *Ilmu Bahan*. Bumi Aksara. Jakarta. Hal 63-87.
- Ameer, M. A., Khamis, E., dan Al-Senani, G. 2000. Effect of Thiosemicarbozones on Corrosion of Steel of Phoporic Acid Produced by Wet Process: *Science Technologies*. Vol. 2. P. 127-138.
- Ansel, Howard C. 1989. *Pengantar Bentuk Sediaan Farmasi*, Terjemahan Farida Ibrahim. UI Press. Jakarta. Hal 291-297.
- ASM handbook. 1991. ASM Handbook Heat Treating. *ASM International*. USA. Vol 4. P. 1012.
- ASTM. 2002. Standart Test Methods for Pitting and Crevice Corrosion Resistance of Stainless Steels and Related Alloys by Use Ferric Chlorida Solution. Amerika. *ASTM International*. G1-90 vol.3.2
- Bagus, Muchamad F. F. 2014. *Pengaruh Penambahan Ekstrak Daun Salam terhadap Laju Korosi pada Baja API 5L Grade B di Lingkungan 3,5% NaCl dan H₂SO₄ 1 M*. (Skripsi). Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- 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.
- 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.
- Dalimartha, Setiawan. 2000. *Atlas Tumbuhan Obat, Jilid 2*. Trubus Agriwidya. Jakarta. Hal 162-263.
- Dalimartha, Setiawan. 2005. *Tanaman Obat di Lingkungan Sekitar*. Puspa Swara. Jakarta. Hal 39.

- Dalimunthe, I. S. 2004. *Kimia dari Inhibitor Korosi*. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Fontana, Mars G. 1986. *Corrosion Engineering, 3rd Edition*. McGraw-Hill. Houston. New York. Hal 556.
- Gamry Instrument. 1990. *Framework Operator'S Manual Corrosion Measurement System 100*. USA.
- Griffin, B.J. and Riessen V.A. Scanning Electron Microscopy Course Note. The University of Western Australia. Nedlands. P.1-8.
- Hageman, A, E. 2002. *Tannin Chemistry*. Departement of Chemistry and Biochemistry. Oxford. Miami University. Hal 116.
- Haryono, G, B., Sugiarto, H., Farid., dan Tanoto, Y. 2010. Ekstrak Bahan sebagai Inhibitor Korosi. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia*. FTI UPN Veteran. Yogyakarta. Hal 1-6.
- Hermawan, Beni. 2007. *Ekstrak Bahan Alami sebagai Inhibitor Korosi*. <http://www.Chem-istry.org/author/BeniHermawan.com>. Diakses tanggal 19 November 2015 pukul 16.00 WIB.
- Hussin, Mohd Hazwan and Kassim. Mohd Jain. 2010. Electrochemical Studies of Mild Steel Corrosion Inhibition in Aqueous Solution by Uncaria gambir Extract. *Journal of Physical Science*. Vol. 2. No.1 Tahun 2010. Hal 1-13.
- Ilim, 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. Hal 257-256.
- Irianty, Sri Rozanna dan Khairat. 2013. Ekstrak Daun Pepaya sebagai Inhibitor Korosi pada Baja AISI 4140 dalam Medium Air Laut. *Jurnal Teknologi*, Vol. IV (2) 2013. ISSN: 2087-5428. Hal 77-82.
- Ismunandar. 2006. *Buku Teks Pengantar Kimia Buku Online*. <http://ashadisasongko.staff.ipb.ac.id>. Diakses tanggal 21 November 2015.
- Jones, Denny A. 1992. *Principles and Prevention of Corrosion*, Maxwell. Macmillan. Singapura. Hal 572.
- Jones. 1996. *Instrument Analysis and Management, Ed 5th*. John and Sons, Inc. New York.
- Lestari, S. 2010. Pengaruh Berat dan Waktu Kontak untuk Adsorpsi Timbal (II) oleh Adsorben dari Kulit Batang Jambu Biji (*Psidium guajava* L). *Jurnal Kimia Mulawarman*. Samarinda. Vol. 8 (1). Hal: 7-10.

- Keller, J.F., Gettys, E., dan Skove, M.I. 1993. *Physics Classical and Modern, Ed 2nd*. McGraw-Hill Inc, USA. Hal 901.
- Manitto, P. 1992. *Biosintesis Produk Alami*. IKIP Semarang Press. Semarang. Hal 597.
- McMullan, D. 1988. *Von Ardenne and The Scanning Electron Microscopy*. Proc Roy Micrisc. Vol. 23. Hal 283-288.
- Moechtar, Syahril. 1996. *Galvanis Celup Panas (Hot Dip Galvanizing) sebagai Alternatif Perlindungan Baja terhadap Korosi*. Bandung.
- Murti, Eri A., Handani, Sri., dan Yetri, Yuli. 2016. Pengendalian Laju Korosi pada Baja API 5L Grade B N menggunakan Ekstrak Daun Gambir (*Uncaria gambir Roxb*). *Jurnal Fisika Unand*. Vol. 5, No. 2. ISSN 2302-8491.
- Nurul, Hidayati. 2009. *Uji Efektivitas Antibakteria Ekstrak Kasar Daun Teh (Camellia sinesis)*. (Skripsi). Universitas Islam Negeri (UIN). Malang.
- Oguzie, E. 2007. Corrosion Inhibition of Aluminium in Acidic and Alkaline Media by Sansevieria Trifas – Ciata Extract. *Corrosion Science*. Vol. 49. P. 402-417.
- Pakpahan, Marlina. 2015. *Inhibisi Korosi Baja Karbon Rendah C-Mn Steel pada Ekstrak Daun Teh (Camellia sinensi) dalam Medium Korosif*. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Priyotomo, G. 2008. *Kamus Saku Korosi Material*. Metalurgi LIPI. Tangerang. Hal 4-14.
- Putranto, Donny. 2008. *Fenomena Korosi*. <http://KimiaDahsyat.blogspot.com>. Diakses tanggal 22 November 2016.
- Qulub. 2011. *Scanning Electron Microscope dan Energi Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS)*. <http://www.Munawirul-q.blogspot.com/2011/031>. Diakses tanggal 2 Desember 2015.
- Quraishi, M.A., Singh, A., Kumar, V., Yadav, D., and Singh, A. 2010. Green Approach to Corrosion Inhibition of Mild Steel in Hydrochloric Acid and Sulphuric Acid Solutions by the Extract Koenigii leaves. *Materials Chemistry and Physics*. India. Vol. 12 (2) P.114-122.
- Richman, M. H. 1967. An Introduction to The Science of Metals. *Blaisdell Publishing Company*. USA. Hal 78-79.
- Risnasari, I. 2001. *Pemanfaatan Tannin sebagai Bahan Pengawet Kayu*. (Skripsi). Universitas Sumatera Utara. Medan.

- Roberge, Pierre R. 2000. *Handbook of Corrosion Engineering*. New York. McGraw-Hill. Hal 754.
- Rustandi, Andi. 2011. *Studi Pengaruh Laju Alir Fluida terhadap Laju Korosi Baja API 5L X-52 menggunakan Metode Polarisasi pada Lingkungan NaCl 3,5% yang Mengandung Gas CO₂*. (Skripsi). Universitas Indonesia. Depok.
- Sampurno, H. 2004. *Monografi Ekstrak Tumbuhan Obat Indonesia*. Vol 1. Jakarta. BPOM RI. Hal 159.
- Sartono, A. A. 2006. *Difraksi Sinar-X (XRD)*. (Skripsi). Universitas Indonesia. Depok.
- Sudarsono, Gunawan D., Wahyuono, S., Donatus IA dan Purnomo. 2002. *Tumbuhan Obat II, Hasil Penelitian, Sifat-Sifat dan Penggunaan*. Pusat Studi Obat Tradisional UGM. Yogyakarta.
- Sudrajat, Ardhi dan Bayuseno, A.P. 2014. *Analisis Kerak dan Pipa Nickel Alloy N06025 pada Waste Heat Boiler*. Vol. 2, No. 1, Tahun 2014.
- Suryanarayana, C and Norton M.G. 1998. *X-Ray Diffraction*. Plenum Press. New York. Hal 3-19.
- Trethewey, K.R and Chamberlain, J. 1991. *Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasa*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta. Hal 393.
- Tim Penelitian dan Pengembangan Industri. 2013. Kandungan Senyawa Kimia pada Daun Teh (*Camellia sinensi*). *Warta Penelitian dan Pengembangan Industri*. Vol. 19. P. 12-16.
- Utami, Prapti. 2009. *Solusi Sehat Asam Urat dan Rematik*. Agromedia Pustaka. Jakarta. Hal 72.
- Utami, I.W. 2008. *Efek Fraksi Air Ekstrak Daun Salam (*Syzygium polyanthum* Wight.) terhadap penurunan Kadar Asam Urat pada Mencit Putih (*Mus Musculus*) Jantan Galur balb-c yang diinduksi dengan Kalium Oksonat*. (Skripsi). Universitas Muhammadiyah. Surakarta.
- Van Steenis, C.G.G.J. 2003. *Flora Pegunungan Jawa*. Pusat Penelitian Biologi. Bogor. Hal 259.
- Voight. 1984. *Buku Ajar Teknologi Farmasi*. Diterjemahkan Soendari Noeroto S. UGM Press. Yogyakarta. Hal 337-338.
- Warren, E. 1969. *X-Ray Diffraction*. Addison-wesley pub. Institute of Technology Massachusetts. New York.

- Widharto, S. 1999. *Karat dan Pencegahannya*. Pradnya Paramita. Jakarta. Hal 192.
- Widharto, S. 2001. *Petunjuk Kerja Las*. Pradnya Paramita. Jakarta. Hal 227.
- Widhyastuti, Y., Novita M., dan R. Maharini. 2009. *X-Ray Diffractometer (XRD)*. Universitas Sebelas Maret. Solo.
- Wirjosumarto, H. dan Okumura, T. 1991. *Teknologi Pengelasan Logam*. Pradnya Paramita. Jakarta. Hal 434.
- Wiston, R. 2000. *Uhlig's Corrosion Handbook Edition 2nd*. New York. John Willey and Sons. Inc.1091.
- Yetri, Yuli., Emriadi., Jamarun, Novesar., dan Gunarwan. 2014. Corrosion Inhibition Efficiency of Mild Steel in Hydrochloric Acid by Adding Theobroma Cacao Peel Extract. *International Conference on Biological, Chemical and Environmental Science*. Malaysia. Vol. 27 (3). P. 785.
- Zakaria. 2003. *Analisis Kandungan Magnetik pada Batuan Beku Daerah Istimewa Yogyakarta dengan Metode X-Ray Diffraction*. (Skripsi). Universitas Haluoleo. Kendari.
- Zulfikar, Vicky. 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.