

**EFEKTIVITAS EKSTRAK DAUN PEPAYA (*Carica Papaya l*) SEBAGAI
INHIBITOR PADA BAJA St37 DALAM MEDIUM KOROSIF
NaCl 3 % DENGAN VARIASI WAKTU PERENDAMAN**

Skripsi

Oleh

RAMON SANJAYA



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2018**

ABSTRACT

EFFECTIVENESS OF PAPAYA LEAF EXTRACT (*Carica Papaya l*) AS INHIBITOR ON St37 STEEL IN CORROSIVE MEDIUM NaCl 3 % WITH VARIATION OF IMMERSION TIME

By

Ramon Sanjaya

*This research aims to determine the effectiveness of papaya leaf extract (*carica papaya l*) as inhibitor on St37 steel in corrosive medium NaCl 3 %. To determine the resulting corrosion rate, the phase formed on steel and microstructure, corrosion products produced on steel after soaking on corrosive medium with inhibitors and without inhibitor papaya leaf extract. Thus, weight loss method analysis, XRD analysis, analysis SEM and EDS. Based on the results of XRD analysis, SEM and EDS with the addition of inhibitors of the diffraction peaks decreased, and the corroded surface area decreased, and the reduction of FeO content in the sample was less. From the three analyzes and calculation of corrosion rate obtained that inhibitor papaya leaf extract, effectively inhibiting the corrosion rate on St37 Steel.*

Key words : *Steel St37, corrosion inhibitor, NaCl and carica papaya l leaves extract.*

ABSTRAK

EFEKTIVITAS EKSTRAK DAUN PEPAYA (*Carica Papaya l*) SEBAGAI INHIBITOR PADA BAJA St37 DALAM MEDIUM KOROSIF NaCl 3 % DENGAN VARIASI WAKTU PERENDAMAN

Oleh

Ramon Sanjaya

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektifitas ekstrak daun pepaya (*Carica Papaya l*) sebagai inhibitor pada baja St37 dalam medium korosif NaCl 3 %. Untuk mengetahui laju korosi yang dihasilkan, fasa yang terbentuk pada baja dan struktur mikro serta produk-produk korosi yang dihasilkan pada baja setelah direndam dalam medium korosif dengan inhibitor dan tanpa inhibitor ekstrak daun pepaya maka, dilakukan analisis metode pengurangan berat, analisis XRD dan analisis SEM serta EDS. Berdasarkan hasil analisis XRD, SEM dan EDS dengan adanya penambahan inhibitor puncak-puncak difraksi berkurang, dan luas permukaan sampel yang terkorosi berkurang, serta pengurangan kadar FeO dalam sampel lebih sedikit. Dari ketiga hasil analisis dan perhitungan laju korosi didapatkan bahwa inhibitor ekstrak daun pepaya (*Carica Papaya l*) efektif dalam menginhibisi laju korosi pada baja St37.

Kata kunci : Baja St37, ekstrak daun pepaya, inhibitor korosi, dan NaCl.

**EFEKTIVITAS EKSTRAK DAUN PEPAYA (*Carica Papaya l*) SEBAGAI
INHIBITOR PADA BAJA St37 DALAM MEDIUM KOROSIF
NaCl 3 % DENGAN VARIASI WAKTU PERENDAMAN**

Oleh

RAMON SANJAYA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

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



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2018**

Judul Skripsi : **EFEKTIVITAS EKSTRAK DAUN PEPAYA
(*Carica Papaya I*) SEBAGAI INHIBITOR
PADA BAJA St37 DALAM MEDIUM
KOROSIF NaCl 3 % DENGAN VARIASI
WAKTU PERENDAMAN**

Nama Mahasiswa : **Ramon Sanjaya**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1417041065**

Jurusan : **Fisika**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

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

Agus Riyanto, M.Sc.
NIP 19860822 201504 1 002

2. Ketua Jurusan Fisika

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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Drs. Ediman Ginting Suka, M.Si

Sekretaris : Agus Riyanto, M.Sc.

**Penguji
Bukan Pembimbing : Drs. Pulung Karo Karo, M.Si**

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 19 Juli 2018

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, 19 Juli 2018



Ramon Sanjaya
NPM. 1417041065

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, Kelurahan Jagabaya II Kecamatan Wayhalim Bandar Lampung pada tanggal 13 Mei 1995. Penulis merupakan anak Ke Lima dari pasangan Bapak Endang dan Ibu Sa'ah. Penulis menyelesaikan pendidikan di SDN 1 Sawah Brebes tahun 2008, SMPN 24 Bandar Lampung pada tahun 2011, dan SMAN 13 Bandar Lampung pada tahun 2014.

Selanjutnya pada tahun 2014 penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di kegiatan kampus yaitu Paduan Suara Mahasiswa sebagai Anggota Muda pada tahun 2014-2015, dan Himpunan Mahasiswa Fisika sebagai Anggota Bidang Sosial Masyarakat (SOSMAS) dari tahun 2015-2016. Penulis melakukan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Balai Besar Kulit, Karet, dan Plastik (BBKPP) Yogyakarta dengan judul “Uji Ketahanan Gosok Warna Tutup, *Glace Story* Baik Keadaan Basah maupun Kering pada Proses Penyamakan Kulit Kambing. Penulis juga pernah menjadi asisten praktikum Fisika Dasar, dan Sains Dasar. Kemudian penulis melakukan penelitian “Efektivitas Ekstrak Daun Pepaya (*Carica Papaya L*) Pada Baja St37 Dalam Medium Korosif NaCl 3 % Dengan Variasi Waktu Perendaman” sebagai tugas akhir di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNILA.

MOTTO

“Live with passion today and every day”

“Jadilah yang terbaik diantara yang terbaik”

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

“Hadapilah semua masalah dengan senyuman”

Aku persembahkan karya kecilku ini kepada

ALLAH SWT

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

ADIK-ADIKKU SERTA KELUARGA BESAR YANG
MENJADI PENYEMANGATKU

TEMAN SEPERJUANGANKU DAN ANGKATAN '14

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 PEPAYA (*Carica Papaya l*) SEBAGAI INHIBITOR PADA BAJA S_t37 DALAM MEDIUM KOROSIF NaCl 3 % DENGAN VARIASI WAKTU PERENDAMAN”**. 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, 19 Juli 2018

Penulis,

Ramon Sanjaya

SANWACANA

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

1. Bapak Drs. Ediman Ginting Suka, M.Si, sebagai Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan arahan yang mendukung dari awal sampai akhir penulisan.
2. Bapak Agus Riyanto, M.Sc, 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. Bapak Drs. Pulung Karo Karo, M.Si, sebagai Penguji yang telah mengoreksi kekurangan, memberi kritik dan saran selama penulisan skripsi.
4. Kedua orangtuaku bapak Endang dan ibu Sa'ah yang luar biasa selalu menyemangatiku serta kakak dan adikku. Terimakasih untuk kehadirannya dalam hidupku yang senantiasa memberikan dukungan, do'a dan semangat yang luar biasa, serta kebersamaan sampai penulis menyelesaikan skripsi.

5. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng., selaku Ketua Jurusan dan para dosen serta karyawan di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
6. Bapak Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc., sebagai Pembimbing Akademik, yang telah memberikan bimbingan serta nasehat dari awal perkuliahan sampai menyelesaikan tugas akhir.
7. Bapak Yusep Riyadi, ST., M.Sc., selaku kakak angkatku atas dukungannya selama perkuliahan sampai menyelesaikan tugas akhir.
8. Seseorang yang mengasihi dan yang 'ku kasihi, terimakasih atas dukungan, doa, serta semangatnya.
9. Teman-teman fisika angkatan 2014 yang selama ini memberikan semangat.
10. Kakak-kakak tingkat serta adik-adik tingkat dan semua teman-teman.

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

Bandar Lampung, 19 Juli 2018

Penulis

Ramon Sanjaya

DAFTAR ISI

Halaman

ABSTRACT	i
ABSTRAK	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
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	3
C. Batasan Masalah	3
D. Tujuan Penelitian	3
E. Manfaat Penelitian	4

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Korosi	5
B. Mekanisme Terbentuknya Sel Korosi	12
1. Laju Korosi	12
2. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi	13
C. Pengaruh Konsentrasi NaCl terhadap Laju Korosi	15
D. Inhibitor Korosi	16
E. Baja	17
1. Baja Karbon	18
2. Baja Paduan	19
F. Daun Pepaya	21

1. Taksonomi	22
2. Kandungan Kima Pepaya	22
G. Daun Pepaya sebagai Inhibitor Korosi	23
1. Metode Ekstraksi	23
2. Tanin.....	24
3. Interaksi Tanin dengan Besi	25
H. XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	25
I. SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>) yang dilengkapi dengan EDS (<i>Energy Dispersive Spectroscopy</i>)	29
J. Metode Kehilangan Berat	32

III. METODELOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian	33
B. Alat dan Bahan	33
C. Prosedur Penelitian	34
D. Kode-Kode Sampel	38

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengaruh Waktu Perendaman terhadap Laju Korosi pada Baja St37	40
B. Analisis XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	43
C. Analisis EDS (<i>Energy Dispersive Spectroscopy</i>) dan SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>)	51

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	64
B. Saran	65

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Syarat terjadinya korosi	7
Gambar 2. Korosi merata (<i>uniform corrosion</i>)	8
Gambar 3. Korosi celah (<i>crevice corrosion</i>)	9
Gambar 4. Korosi sumuran (<i>pitting corrosion</i>).....	9
Gambar 5. Korosi retak-tegangan (<i>stress corrosion cracking</i>).....	10
Gambar 6. Korosi selektif (<i>selective corrosion</i>)	10
Gambar 7. Korosi erosi (<i>erosion corrosion</i>)	10
Gambar 8. Korosi mikroba (<i>microbiological corrosion</i>)	11
Gambar 9. Penggetasan hidrogen (<i>hydrogen embrittlement</i>)	11
Gambar 10. Mekanisme korosi	12
Gambar 11. Pengaruh konsentrasi NaCl terhadap laju korosi	16
Gambar 12. Struktur Kristal Baja St37	20
Gambar 13. Daun pepaya	21
Gambar 14. Diagram sinar-X	26
Gambar 15. Difraksi sinar-X oleh bidang atom	27
Gambar 16. Sinar-X yang dihamburkan oleh atom-atom Kristal yang berjarak d	27
Gambar 17. Diagram SEM	30
Gambar 18. Diagram alir penelitian	37

Gambar 19. Grafik hubungan antara waktu perendaman terhadap efisiensi inhibitor ekstrak daun pepaya pada baja St37	43
Gambar 20. Hasil difaktogram analisis XRD	44
Gambar 21. Hasil uji EDS sampel St37 <i>raw</i>	52
Gambar 22. Hasil uji EDS sampel St37 8.0	54
Gambar 23. Hasil uji EDS sampel St37 4.15	55
Gambar 24. Hasil uji EDS sampel St37 6.15.....	56
Gambar 25. Hasil uji EDS sampel St37 8.15.....	57
Gambar 26. Hasil analisis SEM	59

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Komposisi kimia baja St37	21
Tabel 2. Konstanta laju korosi pada baja karbon	35
Tabel 3. Kode Sampel	38
Tabel 4. Data penelitian baja St37 dalam medium korosif NaCl 3 %	41
Tabel 5. Hasil perhitungan laju korosi baja St37	42
Tabel 6. Perbandingan hasil sampel St37 <i>raw</i> dengan data <i>HighScore</i>	45
Tabel 7. Perbandingan hasil sampel St37 4.15 dengan data <i>HighScore</i>	46
Tabel 8. Perbandingan hasil sampel St37 6.15 dengan data <i>HighScore</i>	47
Tabel 9. Perbandingan hasil sampel St37 8.15 dengan data <i>HighScore</i>	48
Tabel 10. Perbandingan hasil sampel St37 8.0 dengan data <i>HighScore</i>	49
Tabel 11. Hasil analisis EDS pada sampel St37 <i>raw</i>	53
Tabel 12. Hasil analisis EDS pada sampel St37 8.0	54
Tabel 13. Hasil analisis EDS pada sampel St37 4.15	55
Tabel 14. Hasil analisis EDS pada sampel St37 6.15	56
Tabel 15. Hasil analisis EDS pada sampel St37 8.15	58

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Baja merupakan jenis logam paduan yang banyak digunakan oleh masyarakat. Baja menjadi material utama dalam pembangunan-pembangunan infrastruktur, mobil, kapal, kereta api, persenjataan dan alat-alat perkakas. Sifat baja sangat tergantung pada kadar karbon, sehingga baja karbon dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya (Afandi dkk., 2015). Material baja dengan unsur paduan utama karbon, sering dinamakan baja karbon. Baja jenis ini dibedakan menjadi tiga, yaitu baja karbon rendah, baja karbon medium dan baja karbon tinggi (Nanulaitta, dan Lillipaly, 2012). Pada industri perkapalan baja yang sering digunakan untuk membuat suatu kapal adalah baja karbon rendah (Afandi dkk., 2015). Salah satu contoh baja karbon rendah ialah baja St37.

Baja St37 merupakan salah satu baja yang biasa digunakan dalam industri perkapalan. Baja St37 adalah baja yang digolongkan mempunyai kekuatan tarik yang baik yaitu berkisar antara 37 - 45 kg/mm². Baja St37 digolongkan kadar karbon rendah karena memiliki nilai karbon sebesar 0,468 - 574 % (Rusmadi dan Feidihal, 2006). Baja ini juga memiliki harga yang lebih murah. Tetapi, baja jenis ini memiliki kelemahan yaitu mudah terkorosi (Budianto dkk., 2009). Terjadinya

korosi tidak dapat dihindari, namun laju korosi ini dapat dikurangi. Pengurangan laju dari proses korosi dapat dilakukan dengan proteksi katodik, proteksi anodik, pelapisan (*coating*), dan penambahan inhibitor. Penggunaan inhibitor merupakan salah satu cara yang paling efektif untuk mencegah korosi karena biayanya murah dan prosesnya sederhana (Handani dan Ella, 2012).

Inhibitor korosi terdiri dari inhibitor anorganik dan inhibitor organik. Inhibitor anorganik antara lain silikat, borat, tungstat, fostat, kromat, dikromat, dan arsenat merupakan jenis bahan kimia yang berbahaya, mahal dan tidak ramah lingkungan (Indrayani, 2016). Oleh karena itu, saat ini sedang dikembangkan penggunaan bahan organik yang lebih alami untuk dijadikan bahan inhibitor korosi yang lebih aman dan biokompatibel dengan tubuh (Machfudzah dkk., 2014). Menurut hasil penelitian Asdim (2007), telah didapatkan bahwa senyawa antioksidan dalam ekstrak kulit buah manggis dapat menghambat reaksi korosi baja *stainless steel* dalam larutan garam. Kandungan zat antioksidan, seperti polifenol, tanin, alkaloid, saponin, minyak atsiri, dan asam amino yang memiliki banyak unsur N, O, P, S yang dapat membentuk senyawa kompleks yang mampu menghambat korosi logam (Machfudzah dkk., 2014). Salah satu bahan alam yang banyak mengandung zat antioksidan dan berpotensi sebagai inhibitor korosi adalah daun pepaya (*Carica papaya L.*) (Andi dkk., 2014). Daun pepaya juga memiliki senyawa kimia N-asetil-glukosaminida yang berfungsi sebagai pelindung dari korosi (Handani dan Ealla, 2012). Selain itu, daun pepaya mudah didapatkan, harganya murah, dan ramah lingkungan. Saat ini, efektivitas ekstrak daun pepaya dalam menghambat korosi belum teruji secara ilmiah. Oleh karena itu, penelitian

ini ditujukan untuk mengetahui efektivitas ekstrak daun pepaya pada baja St37 yang direndam pada larutan NaCl 3 % pada penambahan inhibitor dan tanpa inhibitor dengan waktu perendaman 4 hari, 6 hari dan 8 hari. Maka peneliti ingin mengetahui pengaruh waktu perendaman terhadap laju korosi pada baja karbon St37 dalam larutan NaCl 3 % dan mengetahui efisiensi inhibisi dari ekstrak daun pepaya pada baja karbon St37 serta mengetahui struktur mikro dan produk – produk korosi yang dihasilkan pada baja setelah direndam dalam medium korosif.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh inhibitor ekstrak daun pepaya terhadap laju korosi pada baja karbon St37 dan bagaimana struktur mikro dan produk-produk korosi yang dihasilkan pada baja St37

C. Batasan Masalah

Pada penelitian ini, batasan masalah yang digunakan adalah:

1. Sampel yang digunakan adalah baja St37
2. Medium korosif yang digunakan adalah NaCl dengan konsentrasi 3 %.
3. Perendaman baja pada medium korosif menggunakan inhibitor dan tanpa inhibitor ekstrak daun pepaya dengan variasi waktu perendaman 4 hari, 6 hari dan 8 hari.

D. Tujuan Penelitian

Penelitian yang akan dilaksanakan bertujuan untuk mengetahui laju korosi yang dihasilkan pada baja St37 dengan inhibitor dan tanpa inhibitor ekstrak daun pepaya menggunakan variasi waktu perendaman pada medium korosif NaCl 3 %,

mengetahui efisiensi dari ekstrak daun pepaya pada baja St37 dengan perlakuan yang diberikan, serta mengetahui struktur mikro dan produk-produk korosi yang dihasilkan pada baja setelah direndam dalam medium korosif.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari hasil penelitian ini yaitu:

1. Untuk memberikan informasi mengenai pengaruh konsentrasi larutan inhibitor ekstrak daun pepaya pada baja St37 pada medium korosif dengan variasi waktu perendaman.
2. Dapat menjadi tambahan referensi di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, terutama di Jurusan Fisika.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Korosi

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

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

1. Logam

Pada logam yang mengalami pengkorosian terbentuk sel korosi yang didalamnya ada 2 komponen penting dalam penentuan terjadinya reaksi korosi, yaitu :

a. Anode

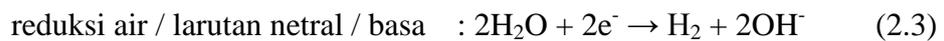
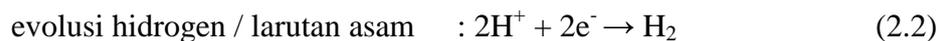
Anode adalah bagian permukaan yang mengalami reaksi oksidasi atau terkorosi. Pada anode ini logam terlarut dalam larutan dan melepaskan elektron untuk membentuk ion logam yang bermuatan positif. Reaksi korosi suatu logam M dinyatakan dalam persamaan berikut:



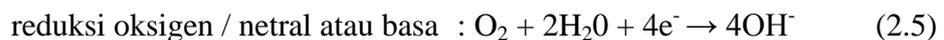
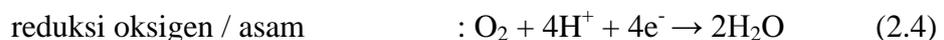
b. Katode

Katode adalah elektrode yang mengalami reaksi reduksi menggunakan elektron yang dilepaskan oleh anode. Pada lingkungan air alam, proses yang sering terjadi adalah pelepasan H₂ dan reduksi O₂.

- Pelepasan H₂ dalam larutan asam dan netral



- Reduksi oksigen terlarut dalam larutan asam dan netral



- Reduksi ion logam yang lebih elektronegatif

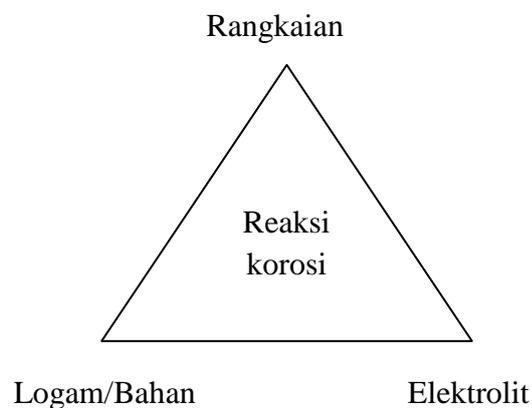


2. Elektrolit

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

3. Rangkaian listrik

Antara anode dan katode haruslah terdapat suatu hubungan atau kontak agar elektron dapat mengalir dari anode menuju katode. Gambar 1 menunjukkan syarat terjadinya korosi.



Gambar 1. Syarat terjadinya korosi (Jones, 1992)

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

a. Korosi merata (*uniform corrosion*)

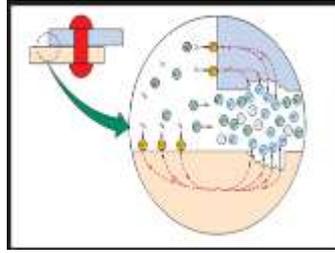
Korosi merata yaitu korosi yang terjadi pada permukaan logam akibat pengikisan permukaan logam secara merata sehingga ketebalan logam berkurang sebagai akibat permukaan terkonversi oleh produk karat yang biasanya terjadi pada peralatan-peralatan terbuka, misalnya permukaan pipa. Gambar 2 menunjukkan korosi merata.



Gambar 2. Korosi merata (Priyotomo, 2008).

b. Korosi celah (*crevice corrosion*)

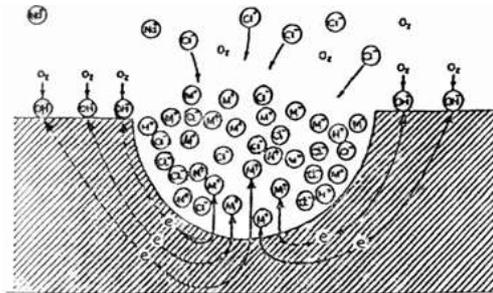
Korosi celah yaitu korosi yang terjadi pada permukaan logam secara local. Biasanya terjadi pada logam pasif akibat dari kerusakan lapisan oksida pelindung dari logam. Korosi terjadi akibat dari adanya konsentrasi senyawa korosif pada bagian permukaan logam. Untuk kasus ini, konsentrasi terjadi akibat dari adanya celah yang sangat kecil antara dua permukaan logam. Gambar 3 menunjukkan korosi celah.



Gambar 2.3. Korosi celah (Priyotomo, 2008).

c. Korosi sumuran (*pitting corrosion*)

Korosi sumuran yaitu korosi terbentuk lubang-lubang pada permukaan logam karena hancurnya film dari proteksi logam disebabkan oleh laju korosi yang berbeda antara satu tempat dengan tempat lainnya pada permukaan logam tersebut. Kerusakan dimulai akibat komposisi tidak homogen. Gambar 4 menunjukkan korosi sumuran.



Gambar 4. Korosi sumuran (Priyotomo, 2008)

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

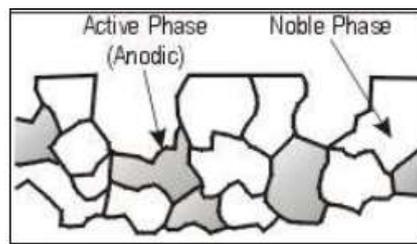
Korosi retak-tegangan yaitu korosi yang berbentuk retakan-retakan yang tidak mudah dilihat, terbentuk dipermukaan logam dan berusaha merembet ke dalam. Ini terjadi pada logam-logam yang banyak mendapatkan tekanan. Hal ini disebabkan kombinasi dari tegangan tarik dan lingkungan yang bersifat korosif sehingga struktur logam melemah. Gambar 5 menunjukkan korosi retak-tegangan.



Gambar 5. Korosi retak-tegangan (Priyotomo, 2008).

e. Korosi selektif (*selective corrosion*)

Korosi selektif yaitu terjadi akibat terlarutnya suatu unsur yang bersifat lebih anodik dari suatu paduan, misalnya dezincification yang melepaskan Zn dari paduan tembaga. Gambar 6 menunjukkan korosi selektif.



Gambar 6. Korosi selektif (Priyotomo, 2008).

f. Korosi erosi (*erosion corrosion*)

Korosi erosi yaitu terjadinya aliran fluida yang cepat dan bersifat korosif pada permukaan logam. Gambar 7 menunjukkan korosi erosi.



Gambar 7. Korosi erosi (Priyotomo, 2008).

g. Korosi mikroba (*microbiological corrosion*)

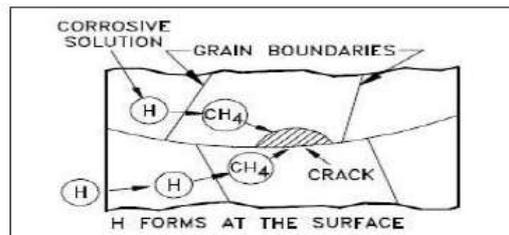
Korosi mikroba yaitu korosi yang terjadi diakibatkan oleh adanya mikroba atau bakteri (*microbially-induced corrosion/MIC*). Gambar 8 menunjukkan korosi mikroba.



Gambar 8. Korosi Mikroba (Priyotomo, 2008).

h. Penggetasan hidrogen (*hydrogen embrittlement*)

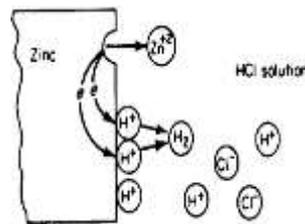
Penggetasan hidrogen yaitu terjadinya peristiwa dimana atom hidrogen memasuki suatu baja atau alloy tertentu. Gambar 9 menunjukkan penggetasan hidrogen.



Gambar 9. Penggetasan hidrogen (Priyotomo, 2008).

B. Mekanisme Terbentuknya Sel Korosi

Secara umum mekanisme korosi yang terjadi di dalam suatu larutan berawal dari logam yang teroksidasi dan melepaskan elektron untuk membentuk ion logam yang bermuatan positif. Larutan akan bertindak sebagai katoda dengan reaksi yang umum terjadi adalah pelepasan H_2 dan reduksi O_2 , akibat ion H^+ dan H_2O yang tereduksi. Reaksi ini terjadi di permukaan logam yang akan menyebabkan pengelupasan akibat pelarutan logam ke dalam larutan secara berulang-ulang (Nurdin dkk, 1998). Gambar 10 menunjukkan mekanisme korosi.



Gambar 10. Mekanisme Korosi (Nurdin dkk, 1998)

1. Laju Korosi

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

$$CR = \frac{Km}{AT\rho} \quad (2.7)$$

Dimana: CR = Laju korosi (mm/y)

K = Konstanta laju korosi

m = Selisih massa (mg)

T = Waktu perendaman (*tahun*)

A = Luas permukaan (mm^2)

ρ = Massa jenis (mg/mm^3)

2. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi laju korosi yaitu:

a. Jenis logam dan struktur mikroskopis logam

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

b. Komposisi dan konsentrasi larutan elektrolit

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

1. Konduktivitas

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

2. Derajat keasaman (pH)

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

3. Gas terlarut

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

a. Temperatur

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

b. Tekanan

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

c. Kecepatan alir fluida

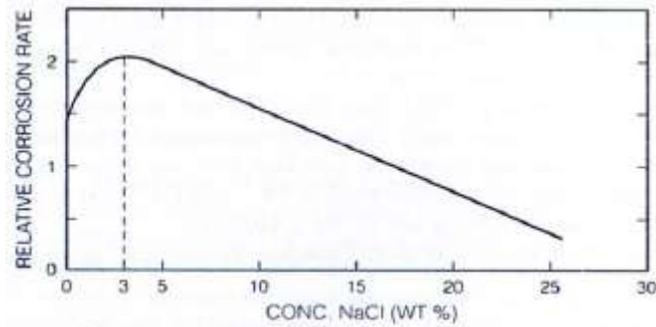
Adanya kecepatan alir fluida yang berbeda-beda akan menentukan jenis korosi yang dapat terjadi. Korosi yang sering ditimbulkan akibat faktor ini adalah korosi erosi.

C. Pengaruh Konsentrasi NaCl terhadap Laju Korosi

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

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

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



Gambar 11. Pengaruh Konsentrasi NaCl Terhadap Laju Korosi

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

D. Inhibitor Korosi

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

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

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

E. Baja

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

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

1. Baja Karbon

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

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

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

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

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

Baja karbon menengah adalah baja yang mengandung karbon 0,3 % sampai 1 %. Baja ini memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan baja karbon rendah yaitu kekerasannya lebih tinggi, kekuatan tarik dan batas regang yang lebih tinggi, tidak mudah dibentuk oleh mesin, lebih sulit digunakan untuk pengelasan, dan dapat dikeraskan (*quenching*) dengan baik. Baja karbon menengah dapat

digunakan untuk poros, rel kereta api, roda gigi, pegas, baut, komponen mesin yang membutuhkan kekuatan tinggi dan lain-lain.

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

Baja karbon tinggi adalah baja yang mengandung kandungan karbon 0,6 % sampai 1,7 % dan memiliki ketahanan panas yang tinggi, namun keuletannya lebih rendah. Baja karbon tinggi mempunyai kuat tarik yang paling tinggi dan banyak digunakan untuk material *tools*. Salah satu aplikasi dari baja ini adalah dalam pembuatan kawat baja dan kabel baja. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung di dalam baja, maka baja karbon ini banyak digunakan dalam pembuatan pegas dan alat-alat perkakas seperti palu, gergaji dan lain-lain (ASM handbook, 1993).

2. Baja Paduan

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

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

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

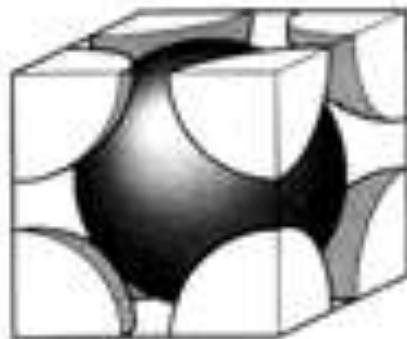
b. Baja paduan menengah (*Medium alloy steel*)

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

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

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

Baja St37 adalah baja karbon sedang yang setara dengan AISI 1045, dengan komposisi kimia Karbon : 0.5 %, Mangan : 0.8 %, Silikon : 0.3 % ditambah unsur lainnya. Dengan kekerasan ± 170 HB dan kekuatan tarik 650 - 800 N/mm². Secara umum baja St37 dapat digunakan langsung tanpa mengalami perlakuan panas, kecuali jika diperlukan pemakaian khusus. (Kirono dan Amri, 2013). Baja St37 memiliki struktur kristal BCC, dimana logam yang memiliki struktur kristal BCC mempunyai sebuah atom pada pusat kubus dan sebuah atom pada setiap titik sudut kubus. Struktur kristal baja ditunjukkan seperti Gambar 12. Komposisi kimia baja St37 dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 12. Struktur kristal baja St37
(<https://hima-tl.ppns.ac.id/struktur-kristal-logam/>)

Tabel 1. 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	Tembaga (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

F. Daun Pepaya (*Carica papaya L.*)

Pepaya (*Carica papaya L.*) adalah tanaman herbal besar dengan batang tunggal yang tegak dan ketinggiannya dapat mencapai hingga 9 m. Batang pepaya berongga, beruas-ruas, dan semi kayu. Ruas-ruas batang merupakan tempat melekatnya tangkai daun yang panjang, berbentuk bulat, dan berlubang. Daun pepaya bertulang menjari (*palminervus*) dengan warna permukaan atas hijau tua, sedangkan warna permukaan bagian bawah hijau muda



Gambar 13. Daun pepaya
(<https://www.manfaatsehat.id/manfaat-daun-pepaya/>)

1. Taksonomi

Kedudukan tanaman daun pepaya secara botanis dapat dilihat pada sistemika berikut ini (Jimenez dkk, 2014). :

Kerajaan : Plantae

Divisi : Spermatophyta

Subdivisi : Angiosperma

Kelas : Dicotyledoneae

Ordo : Brassicales

Famili : Caricaceae

Genus : *Carica*

Species : *Carica papaya* Linn

2. Kandungan Kimia Pepaya

Daun pepaya (*Carica papaya* L.) mengandung enzim papain, alkaloid karpainin, karpain, pseudokarpain, vitamin C dan E, kolin, glikosid, saponin, tanin dan karposid. Daun pepaya juga mengandung mineral seperti kalium, kalsium, magnesium, tembaga, zat besi, zink, dan mangan. Buah pepaya mengandung β karoten, pectin, d-galaktosa, l-arabinosa, papain, dan papayotimin papain. Biji mengandung glukosida karkirin dan karpain. Getah pepaya mengandung papain, kemokapain, lisosim, lipase, glutamin, dan siklotransferase (Jimenez dkk, 2014).

G. Ekstrak Daun Pepaya sebagai Inhibitor Korosi

1. Metode Ekstraksi

Ekstraksi adalah proses penarikan komponen aktif dari suatu campuran padatan dan/atau cairan dengan menggunakan pelarut tertentu. Proses ini merupakan langkah awal yang penting dalam penelitian tanaman obat, karena preparasi ekstrak kasar tanaman merupakan titik awal untuk isolasi dan pemurnian komponen kimia yang terdapat dalam tanaman. Ekstraksi senyawa aktif dari tanaman obat adalah pemisahan secara fisik atau kimiawi dengan menggunakan cairan atau padatan dari bahan padat (Fauzana, 2010).

Perlakuan pendahuluan sebelum ekstraksi sangat penting untuk mempermudah proses ekstraksi. Perlakuan pendahuluan ini tergantung dari sifat senyawa yang terdapat dalam bahan yang akan. Perlakuan pendahuluan untuk bahan yang mengandung minyak adalah dengan pengeringan dan pengecilan ukuran bahan. Pengeringan dilakukan sampai kadar air tertentu lalu dilanjutkan dengan penggilingan untuk mempermudah proses ekstraksi, serta mempermudah kontak antar bahan dengan pelarut sehingga ekstraksi berlangsung dengan baik (Fauzana, 2010).

Metode ekstraksi dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu ekstraksi sederhana dan ekstraksi khusus. Ekstraksi sederhana meliputi maserasi, perkolasi, reperkolasi, evakolasi, dan dialokasi. Ekstraksi khusus meliputi sokletasi, arus balik dan ultrasonik. Maserasi merupakan proses perendaman sampel menggunakan pelarut organik pada temperatur ruangan. Proses ini sangat menguntungkan dalam isolasi senyawa bahan alam karena dengan perendaman sampel tumbuhan akan terjadi

pemecahan dinding dan membran sel akibat perbedaan tekanan antara di dalam dan di luar sel, sehingga metabolit sekunder yang ada dalam sitoplasma akan terlarut dalam pelarut organik dan ekstraksi senyawa akan sempurna karena dapat diatur lama perendaman yang dilakukan (Rizky dkk, 2012). Secara teoritis, pada suatu maserasi tidak memungkinkan terjadinya ekstraksi absolut. Semakin besar perbandingan simplisia terhadap cairan pengestraksi, akan semakin banyak hasil yang diperoleh. Keuntungan metode ekstraksi ini adalah metode ini lebih mudah dikerjakan dan biaya yang lebih relatif murah (Apriliani, 2016).

2. Tanin

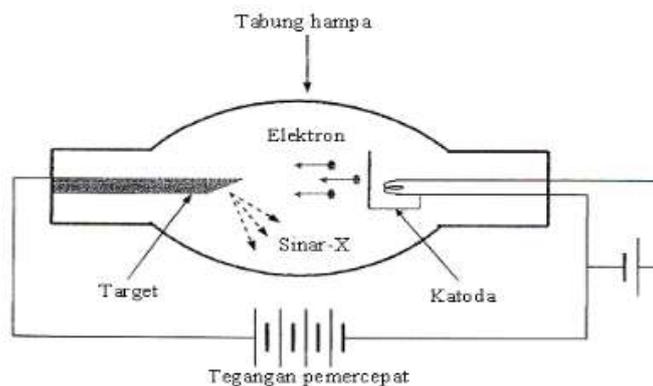
Tanin merupakan zat organik yang sangat kompleks dan terdiri dari senyawa fenolik yang banyak terdapat pada bermacam – macam tumbuhan, antara lain : pinang, akasia, gabus, bakau, pinus, gambir dan pepaya. Umumnya tanin tersebar hampir pada seluruh bagian tumbuhan seperti pada bagian kulit kayu, batang, daun, buah. Istilah tanin pertama sekali diaplikasikan pada tahun 1796 oleh seguin. Tanin merupakan senyawa aktif metabolit sekunder yang diketahui mempunyai beberapa khasiat diantaranya yaitu sebagai *astringent*, anti diare, antibakteri dan antioksidan. Tanin berbentuk serpihan mengkilat berwarna kekuningan sampai coklat muda atau serbuk amorf, tidak berbau, atau sedikit berbau khas. Tanin mempunyai aktivitas antioksidan menghambat pertumbuhan tumor kegunaan lain dibidang industri adalah untuk menyamak kulit dan sebagai anti korosi (Amelia, 2015).

3. Interaksi Tanin dengan Besi

Besi merupakan salah satu unsur transisi deret pertama yang dalam bentuk aliansinya mempunyai banyak manfaat bagi kehidupan manusia. Dengan semakin berkembangnya teknologi dan industri kebutuhan akan besi dan baja semakin meningkat. Besi banyak digunakan untuk industri otomotif, kimia, perminyakan, perabotan rumah tangga, elektronik, dan konstruksi bangunan. Agar mempunyai ketahanan yang lebih baik biasanya besi sering dicampur dengan bahan-bahan lain seperti karbon dan unsur transisi lain sesuai dengan kebutuhan. Senyawa tanin dapat membentuk kompleks dengan besi (II) dan besi (III). Kompleks besi (II)-tanin tidak berwarna dan sangat mudah larut dan teroksidasi. Dengan adanya oksigen, kompleks ini berubah menjadi kompleks besi(III)-tanin yang disebut tanat. Kompleks inilah yang akan melekat pada permukaan besi yang akan menghalangi terjadinya proses korosi lebih lanjut karena kompleks tersebut akan terserap pada permukaan besi dan melindungi permukaan besi (Ali dkk, 2014)

H. XRD (*X-Ray Diffraction*)

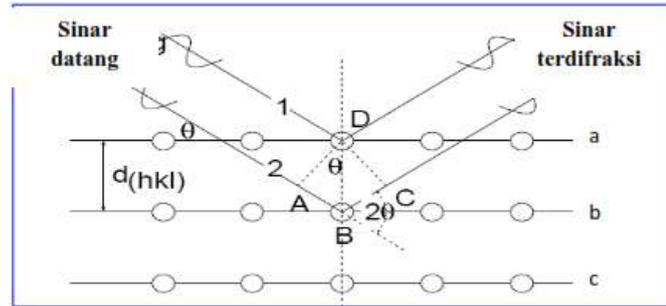
Sinar-X pertama kali ditemukan oleh Wilhelm Rontgen pada tahun 1895. Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang ($\lambda \approx 0,1 \text{ nm}$) yang lebih pendek dibanding gelombang cahaya ($\lambda = 400-800 \text{ nm}$) (Smallman, 2000). Panjang gelombang sinar-X ini merupakan dasar digunakannya teknik difraksi sinar-X (*X-Ray Diffraction*) untuk mengetahui struktur mikroskopis suatu bahan. Gambar 13 menunjukkan diagram sinar-X.



Gambar 14. Diagram sinar-X (Athur Beiser, 1992)

Sinar-X dihasilkan apabila elektron-elektron dengan laju tinggi menumbuk suatu bahan (Gambar 13). Peristiwa pembentukan sinar-X dapat dijelaskan secara makroskopik yaitu sebuah katoda yang dipanasi oleh filamen panas berdekatan yang dilalui arus listrik menyediakan elektron secara terus-menerus dengan emisi termionik. Beda potensial V yang tinggi diantara katoda dengan target logam mempercepat elektron ke arah target dan menghasilkan sinar-X.

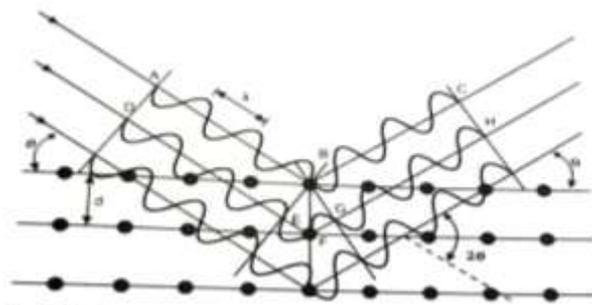
Metode difraksi sinar-X (*X-Ray Diffraction*, XRD) memegang peran yang sangat penting untuk analisis padat kristalin, yaitu untuk meneliti ciri utama struktur (parameter kisi dan tipe struktur), dan untuk mengetahui rincian lain misalnya susunan berbagai jenis atom dalam kristal, keberadaan cacat, ukuran butiran, orientasi, ukuran dan kerapatan presipitat. Oleh karena pola difraksi untuk tiap unsur pada Gambar 14 adalah spesifik, maka metode ini sangat akurat untuk menentukan komposisi unsur dan senyawa yang terkandung dalam suatu sampel, karena pola yang terbentuk seperti *fingerprint* dari suatu materi.



Gambar 15. Difraksi sinar-X oleh bidang atom (Cullity,1978)

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

Pola difraksi, intensitas dan sudut difraksi 2θ berbeda-beda untuk setiap bahan. Interferensi berupa puncak-puncak intensitas diperoleh sebagai hasil proses difraksi, dimana terjadi interaksi antara sinar-X dengan atom-atom pada bidang kristal (Vlack, 1994). Hamburan sinar-X oleh elektron-elektron di dalam atom suatu material dapat dilihat dalam Gambar 15.



Gambar 16. Sinar-X yang dihamburkan oleh atom-atom kristal yang berjarak d (Richman, 1967).

Dari Gambar 15 terlihat bahwa gelombang pertama memiliki panjang yang sama yaitu $AB+BC$, begitu pula dengan gelombang kedua $DF+FH$. Gelombang kedua berjalan lebih jauh dari gelombang pertama, dan selisihnya adalah:

$$\Delta = (DF + FH) - (AB + BC) \quad (2.8)$$

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

$$DE=AB, GH=BC \quad (2.9)$$

Perbedaan antara dua gelombang tersebut adalah:

$$\Delta = EF + FG$$

(2.10)

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

$$\lambda = d \sin \theta + d \sin \theta \quad (2.11)$$

$$\lambda = 2 d \sin \theta \quad (2.12)$$

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

$$n\lambda = 2 d \sin \theta \quad (2.13)$$

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

$$\lambda = 2 \frac{d'}{n} \sin \theta \quad (2.14)$$

Jarak antar bidang adalah $1/n$ dari jarak sebelumnya, maka ditetapkan $d = \frac{d'}{n}$ dengan demikian persamaan Bragg dapat ditulis seperti:

$$\lambda = 2 d \sin \theta \quad (2.15)$$

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

$$\frac{n\lambda}{2d} = \sin \theta < 1 \quad (2.16)$$

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

$$\lambda < 2d \quad (2.17)$$

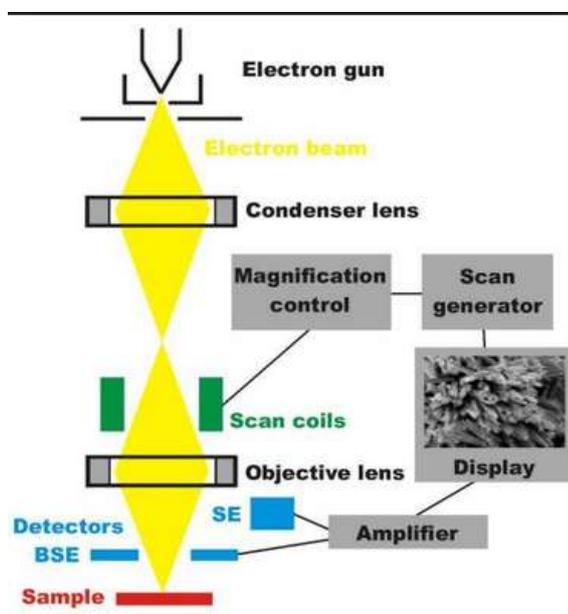
Pada kebanyakan kristal nilai d adalah dalam orde 3 \AA atau kurang, sehingga kristal tidak dapat mendifraksikan sinar ultraviolet dengan panjang gelombang kira-kira 500 \AA (Cullity, 1978).

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

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

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

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



Gambar 17. Diagram SEM (Reed, 1993)

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

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

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

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

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

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

J. Metode Kehilangan Berat

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

III. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2017 sampai Juni 2018 di Laboratorium Kimia Organik Universitas Lampung, Laboratorium Material Teknik Mesin SMKN 2 Bandar Lampung, Laboratorium Metalurgi LIPI Tanjung Bintang, Lampung Selatan, Laboratorium Metalurgi dan Korosi LIPI Serpong Tangerang, serta.

B. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *tissue*, gelas, gelas kimia, gelas ukur, labu takar, botol sampel, spatula, pipet tetes, corong, aluminium foil, jangka sorong, benang nilon, neraca digital, *rotary vacuum evaporator*, alat pemotong baja, kertas amplas 320, 400, 800, 2000, kertas saring, blender, SEM (*Scanning Electron Microscopy*), EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*), dan XRD (*X-Ray Diffraction*), Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah daun pepaya, baja St37, NaCl 3 %, etanol 96 %, akuades, dan aseton.

C. Prosedur Penelitian

Prosedur pada penelitian ini dibagi menjadi 5 tahap yaitu, preparasi sampel, pembuatan medium korosif dan larutan inhibitor daun pepaya, perendaman, perhitungan laju korosi dan analisis data.

1. Preparasi sampel

Preparasi sampel dengan memotong baja St37 dengan ukuran 20 x 20 x 5 mm³ sebanyak 7 buah. Membersihkan dan menghaluskan permukaan baja menggunakan kertas amplas 320, 400, 800 dan 2000 grid untuk menghilangkan kotoran dan bekas goresan pada saat pemotongan. Mencelupkan baja ke dalam aseton untuk membersihkan kotoran yang menempel pada baja.

2. Pembuatan medium korosif dan larutan inhibitor daun pepaya

Pembuatan larutan NaCl 3 % yaitu dengan metode pengenceran, yaitu 3 gram NaCl dilarutkan dengan aquabides sebanyak 97 ml (Sari dkk, 2013). Sedangkan pembuatan larutan inhibitor ekstrak daun pepaya yaitu dengan mengeringkan daun pepaya sebanyak 10 kg dalam suhu kamar selama 20 hari untuk menghilangkan kadar air. Menghaluskan daun pepaya yang telah kering dengan blender untuk memudahkan dan memaksimalkan proses ekstraksi. Mengekstrak daun pepaya yang telah halus dengan metode maserasi (Indrayani, 2016). Memasukkan hasil maserasi daun pepaya ke dalam botol yang berisi etanol 70 % selama 24 jam. Menyaring hasil perendaman menggunakan kertas saring hingga diperoleh filtrat.

Menguapkan filtrat dari hasil maserasi menggunakan alat penguap putar vakum (*rotary evaporator*) dengan kecepatan 200 rpm pada suhu 50 °C hingga menghasilkan ekstrak pekat

3. Perendaman

Dalam tahap perendaman ini sampel yang digunakan ada 7 sampel, dimana 1 sampel *raw*, 3 sampel ditambahkan inhibitor dan 3 sampel tanpa penambahan inhibitor. Kemudian masing-masing sampel direndam pada medium korosif NaCl 3% dengan variasi waktu perendaman 4 hari, 6 hari, dan 8 hari.

4. Perhitungan laju korosi

Perhitungan laju korosi dilakukan menggunakan metode kehilangan berat (Kayadoe dan Turalely, 2016). Dengan cara menimbang terlebih dahulu massa awal sampel sebelum terkorosi kemudian sampel yang telah direndam dibersihkan dan dikeringkan lalu meimbang massa akhir sampel. Sampel tiap satuan luas dan waktu menggunakan persamaan (3.2) dengan konstanta laju korosi yang dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 2. Konstanta laju korosi pada baja karbon.

No	Konstanta Laju Korosi	K
1	<i>Mils per year (mpy)</i>	$3,45 \times 10^6$
2	<i>Inches per year (inches/y)</i>	$3,45 \times 10^3$
3	<i>Millimeters per year (mm/y)</i>	87,6
4	<i>Micrometers per year ($\mu\text{m}/\text{y}$)</i>	$8,76 \times 10^7$
5	<i>Milligrams per square decimeter per day (mmd)</i>	$2,40 \times 10^6 \times D$

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

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

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

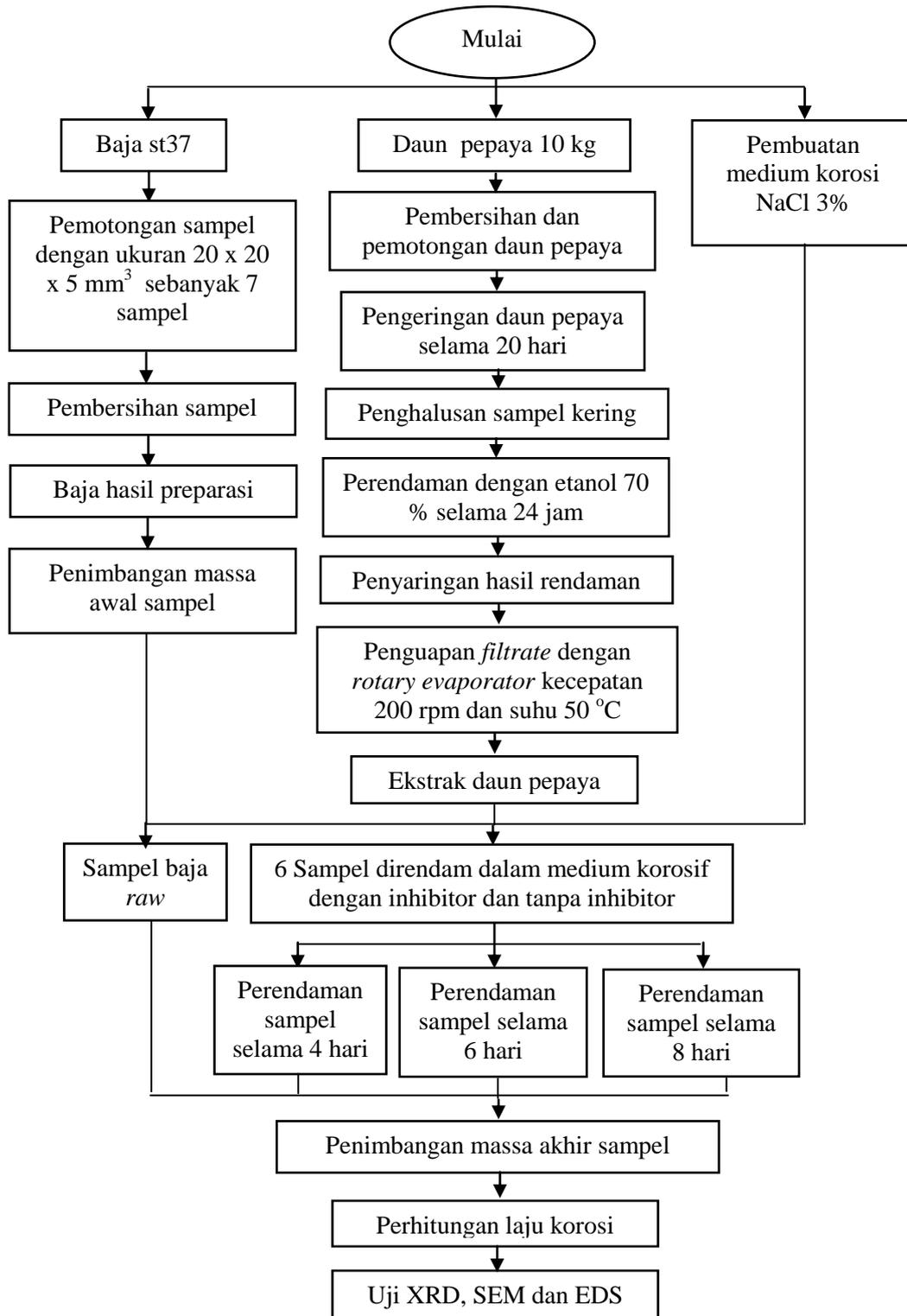
$$\eta(\%) = \frac{(CR_{uninhibited} - CR_{inhibited})}{CR_{uninhibited}} \times 100\% \quad (3.3)$$

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

(Fontana, 1986).

5. Karakterisasi dan analisis data

Sampel baja yang telah mengalami pengkorosian kemudian diuji menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) yang bertujuan untuk mengetahui fasa dan produk-produk korosi yang terbentuk pada sampel dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) yang dilengkapi dengan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) untuk mengetahui struktur permukaan sampel dan melihat unsur-unsur kimia yang ada pada sampel. Diagram alir pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.1



Gambar 18. Diagram alir penelitian

D. Kode – Kode Sampel

Kode sampel yang digunakan untuk memudahkan penyajian dan analisis data ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 3. Kode Sampel

No	Kode Sampel	Keterangan
1.	St37 4.0	Waktu perendaman 4 hari pada inhibitor 0 %
2.	St37 6.0	Waktu perendaman 6 hari pada inhibitor 0 %
3.	St37 8.0	Waktu perendaman 8 hari pada inhibitor 0 %
4.	St37 4.15	Waktu perendaman 4 hari pada inhibitor 15 %
5.	St37 6.15	Waktu perendaman 6 hari pada inhibitor 15 %
6.	St37 8.15	Waktu perendaman 8 hari pada inhibitor 15 %
7.	St37 <i>raw</i>	Sampel baja <i>raw</i>

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

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

1. Waktu perendaman sangat berpengaruh terhadap laju korosi yang dihasilkan, dimana semakin lama waktu perendaman semakin besar laju korosi pada baja tanpa inhibitor.
2. Efektivitas tertinggi terdapat pada sampel baja St37 dengan waktu perendaman 6 hari dengan efisiensi 71,02 %.
3. Berdasarkan hasil analisis XRD terdapat 9 puncak yang terbentuk pada sampel tanpa inhibitor yang memiliki fasa Fe murni dan Fe_2O_3 . Setelah penambahan inhibitor puncak yang terbentuk berkurang menjadi 3 dengan fasa Fe murni.
4. Berdasarkan hasil analisis SEM dan EDS terbukti bahwa sampel baja telah terkorosi, terlihat bahwa pada hasil analisis EDS jumlah FeO berkurang dan pada hasil analisis SEM permukaan sampel telah mengalami perubahan struktur.
5. Dari ketiga hasil analisis dan perhitungan laju korosi didapatkan bahwa inhibitor ekstrak daun pepaya (*Carica Papaya L*) efektif dalam menghambat laju korosi pada baja St37.

B. Saran

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

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, Y.K., Arief.I.S., dan Amiadji. (2015). Analisa Laju Korosi Pada Pelat Baja Karbon Dengan Variasi Ketebalan Coating. *Jurnal Teknik ITS*. Vol. 4, No. 1.
- Ali, F., Saputri, D., & Nugroho, R. F. (2014). Pengaruh Waktu Perendaman Dan Konsentrasi Ekstrak Daun Jambu Biji (*Psidium guajava* , Linn) Sebagai Inhibitor Terhadap Laju. *Teknik Kimia*. Vol. 20 No. 1.
- Amanto, H. dan Daryanto. 1999. *Ilmu Bahan*. Bumi Aksara. Jakarta. P. 63-87.
- Amelia, FR. (2015). Penentuan Jenis Tanin dan Penetapan Kadar Tanin Dari Buah Bungur Muda (*Lagerstroemia Speciosa* Pers.) Secara Spektrofotometri Permanganometri. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Universitas Surabaya*. Vol. 4, No 2.
- Andi., Pratiwi. L., dan Wijianto. B. (2014). Uji Efektivitas Antioksidan Ekstrak Etanol Daun Pepaya (*Carica papaya L*) Pada Sediaan Krim Terhadap DPPH (1,1-diphenyl -2-picrylhydrazil). *Jurnal Kesehatan Farmasi*. Vol. 4, No. 2.
- Apriliani, N. (2016). Efektivitas Ekstrak Daun Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi L.*) Sebagai Inhibitor Pada Baja Karbon St37 Dalam Medium Korosif NaCl 3%. (*Skripsi*). Universitas Lampung. Lampung.
- Asdim. (2007). Penghambatan Reaksi Korosi Baja Dengan Menggunakan Ekstrak Kulit Buah Manggis (*Grasinia Mangostana L*). *Jurnal Gradien*. Vol. 4, No.1.
- ASM handbook. 1993. Properties and Selection: Iron Stell and High Performance Alloys. *Tenth Edition*. Metals handbook. Vol. 6.
- Athur, Beiser. 1992. *Konsep Fisika Modern*. Jilid 3. Terjemahan The Houw Liong Ph.D. Erlangga. Jakarta.
- Budianto, A., Purwantini, K., dan Sujitno, B. A. T. 2009. Pengamatan Struktur Mikro pada Korosi antar Butir dari Material Baja Tahan Karat Austenitik setelah Mengalami Proses Pemanasan. *Jurnal Forum Nuklir*. Vol. 3. P. 107-129.

- Chan, S. G., Beck, T. R., 1993. *Electrochemical Technology Corp.* Seattle Washington. United State of America. P. 125-129.
- Cullity, B, D. 1978. *Elements of X-Rays Diffraction, Second Edition.* Adison-Wesley Publishing Company Inc. United State of America. P. 1, 87.
- Dalimunthe, I. S. 2004. *Kimia dari Inhibitor Korosi.* Universitas Sumatera Utara. Medan. P. 45-48.
- Fauzana, LD. (2010). Perbandingan Metode Maserasi, Remaserasi, Perkolasi, dan Reperkolasi Terhadap Rendemen Ekstrak Temulawak (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb.). (Skripsi). Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Fontana, M. C., dan Greene, M. D. 1986. *Corrosion Engineering Hand Book.* Mc Graw Hill Book Company. New York. P. 144-147.
- Giri, A.S., Ginting, E., dan Suprihatin. 2017. Efektivitas Ekstrak daun Sirsak Sebagai Inhibitor Pada Baja Karbon API 5L dalam Larutan NaCl 3 %. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika.* Vol. 5 No. 1.
- Handani, S., & Megi, S. E. (2012). Pengaruh Inhibitor Ekstrak Daun Pepaya Terhadap Korosi Baja Karbon Schedule 40 Grade B ERW Dalam Medium Air Laut Dan Air Tawar. *Jurnal Ris. Kim.* Vol. 5 No. 2. P 175–179.
- Hidayat, T., Rhamdhani, M. A. E., Jack and P. C. Hayes. 2008. The Characterization of Nickel Metal Pore Structures and Measurement of Intrinsic Reaction Rate During The Reduction of Nickel Oxide In H₂-N₂ and H₂-H₂O Atmospheres. *Mineral Engineering.* Vol. 21.
- Indrayani, N.L. (2016). Studi Pengaruh Ekstrak Eceng Gondok Sebagai Inhibitor Korosi Untuk Pipa Baja SS400 Pada Lingkungan Air. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin.* Vol. 4, No. 2.
- Jimenez VM, Mora-Newcomer E, Gutierrez-Soto MV. (2014). *Biology of the papaya plant.* In : Ming R, Moore PH. *Genetics and genomics of papaya.* New York.. p. 17 – 9, 22 - 35.
- Jones, Denny A.1992. *Principles and Prevention of Corrosion.* Maxwell Macmillan. Singapura. P. 12.
- Kayadoe, V., & Turalely, R. (2016). Ekstrak Daun Nipah Sebagai Inhibitor Korosi Baja SS-304 Dalam Larutan H₂SO₄ Nipah Leaf Extract As Corrosion Inhibitors For SS-304 In H₂SO₄ Solution. *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pembelajarannya.* ISBN : 978-602-0951-12-6. P. 99–105.
- Kirono, S., dan Amri, A. (2013). Pengaruh Tempering Pada Baja St37 Yang Mengalami Karburasi Dengan Bahan Padat Terhadap Sifat Mekanis Dan struktur Mikro. *Jurnal Teknik Mesin.* Vol. 4, No. 2.

- Laksono, E. W. 2006 Pasivasi Sebagai Pengendali Korosi. *Seminar nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA*. UNY. Yogyakarta.
- Lipi *Laboratory*. 2016. Report Of Analysis.UPT. Balai Pengolahan Mineral Lampung.
- Machfudzoh, P.A., Amin, M.N., Putri, L.S.D. (2014). Efektivitas ekstrak Daun Belimbing Wuluh Sebagai Bahan Inhibitor Korosi Pada Kawat Ortodonsi Berbahan Dasar Nikel-Titanium. *Jurnal Hasil Penelitian*. Vol. 4, No.1.
- Manfaatsehat.id. 2017. 30 Manfaat Daun Pepaya Untuk Kesehatan & Kecantikan. <https://www.manfaatsehat.id/manfaat-daun-pepaya/>. 25 januari 2018. 10.05 WIB.
- Nanulaitta, N.J.M., dan Lillipaly. (2012). Analisa Sifat Kekerasan Baja St-42 Dengan Pengaruh Besarnya Butiran Media Katalisator Tulang Sapi (CaCo₃) Melalui Proses Pengarbonan Padat (Pack Carburizing)). *Jurnal Teknologi*. Vol. 9, No. 1.
- Nurdin, Isdriyani dan Syahri, M. 1998. *Inhibisi Korosi Baja Karbon di dalam Larutan Karbonat Bikarbonat*. ITB. Bandung.
- Piere R, Roberge. 2008. *Corrosion Engineering-Principles and Practice*. TheMcGraw-Hill Companies Inc. United State of America. P. 23-28.
- Priyotomo, G. 2008. *Kamus Saku Korosi Material*. Metalurgi LIPI. Tangerang. P. 4-14.
- Purboto, P. L. 2009. Peningkatan Kekakuan Pegas Daun dengan Cara Quenching. *Jurnal Media Mesin*. Vol. 10. No. 1.
- Putri, A. M., Rochani, I., dan Supomo, H. 2012. Studi Laju Korosi Dan *Surface* Morfologi Pipa Bawah Laut API 5L Grade X65 dengan Variasi Sudut Bending. *Jurnal Teknik ITS*. Vol. 1.
- Qulub. 2011. *Scanning Electron Microscope dan Energi Dispersive X-Ray Spectroscopy(SEM-EDS)*. <http://www.Munawirul-q.blogspot.com/2011/031>. Diakses tanggal 23 Desember 2014, pukul 20.00 WIB.
- Reed, S. J. B. 1993. *Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology*. Cambridge University Press, Florida. P. 23-24.
- Richman, M. H. 1967. *An Introduction to The Science of Metals*. Blaisdell Publishing Company, United State of America. P. 78-79.
- Rizky, Y., Nasution, A., Hermawan, S., & Hasibuan, R. (2012). Penentuan Efisiensi Inhibisi Reaksi Korosi Baja Menggunakan Ekstrak Kulit Buah Manggis (*Garcinia mangostana* L). *Jurnal Teknik Kimia USU*. Vol. 1 No2.

- Rusmadi dan Feidihal. (2006). Analisa Persentase Kandungan Karbon Pada Logam Baja. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 3, No. 1.
- Rustandi, Andi, Iandiono. Dito. 2011. Studi Laju Korosi Baja Karbon untuk Pipa Penyalur Proses Produksi Gas Alam yang Mengandung Gas CO₂ pada Lingkungan NaCl 0.5, 1.5, 2.5, dan 3.5%. (*Skripsi*). Universitas Indonesia. Depok. P. 44-46.
- Sari, D. M., Handani, S., Yetri, Y., Fisika, J., Mipa, F., & Andalas, U. (2013). Pengendalian Laju Korosi Baja St-37 Dalam Medium Asam Klorida dan Natrium Klorida Menggunakan Inhibitor Ekstrak Daun Teh (*Camelia Sinensis*) Control of ST-37 Steel Corrosion Rate in Hydrochloride Acid And Natrium Chloride Media By Using *Camelia Sinensis* Le. *Poli Rekayasa*, 8(April).
- Smallman, R. E. and Bishop, R. J. 2000. *Modern Physical Metallurgy and Material Engineering*. Oxford. Butterworth-Heinemann. P. 34-35.
- Supardi, R. 1997. *Korosi Edisi Pertama*. Tarsito. Bandung. P. 56-58.
- Vlack, Van L. H. 1994. *Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam)*, Edisi kelima. Erlangga. Jakarta. P. 101-104.
- Wildani S. 2009. Pengaruh Inhibitor Ekstrak daun inai (*Lawsonia inermis*) terhadap Laju Korosi baja St37 dengan Metode Pengurangan Massa. Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas. Padang.