

**ANALISIS EFEKTIVITAS CAMPURAN METIL ESTER TURUNAN  
MINYAK BIJI KARET (*Hevea brasiliensis*) DENGAN DIETANOLAMINA  
SEBAGAI INHIBITOR KOROSI BAJA LUNAK DALAM MEDIUM  
YANG MENGANDUNG KARBON DIOKSIDA (CO<sub>2</sub>)**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**Nikita Damayanti**



**JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2021**

## ABSTRAK

### ANALISIS EFEKTIVITAS CAMPURAN METIL ESTER TURUNAN MINYAK BIJI KARET (*Hevea brasiliensis*) DENGAN DIETANOLAMINA SEBAGAI INHIBITOR KOROSI BAJA LUNAK DALAM MEDIUM YANG MENGANDUNG KARBON DIOKSIDA (CO<sub>2</sub>)

Oleh

**Nikita Damayanti**

Penelitian ini dilakukan untuk menguji efektivitas campuran dietanolamina dan metil ester turunan minyak biji karet sebagai inhibitor korosi baja lunak dalam medium larutan garam yang mengandung CO<sub>2</sub>. Metil ester dibuat dengan transesterifikasi minyak biji karet menggunakan metanol dengan katalis zeolit-A. Serangkaian campuran dibuat dengan mencampur dietanolamina dan metil ester dengan perbandingan 0:5; 1:4; 2:3; 3:2; 4:1; dan 5:0. Percobaan inhibitor korosi dilakukan dalam larutan NaCl 3% jenuh dengan CO<sub>2</sub> menggunakan metode *wheel test* dan morfologi atau sampel permukaan logam dianalisis menggunakan SEM. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa persentase proteksi tertinggi sebesar 60,11% diperoleh dari percobaan menggunakan larutan inhibitor dengan perbandingan dietanolamina terhadap metil ester 3:2. Proteksi inhibitor juga ditunjukkan oleh morfologi permukaan sampel yang dilihat dengan SEM.

**Kata Kunci : Inhibitor korosi, baja lunak, metil ester, minyak biji karet,  
*wheel test*.**

## **ABSTRACT**

### **ACTIVITY OF MIXED DIETHANOLAMINE AND FATTY ACID METHYLESTERS OF RUBBER SEED OIL AS CORROSION INHIBITOR FOR MILD STEEL IN CARBON DIOXIDE CONTAINING MEDIUM**

**By**

**Nikita Damayanti**

This research was conducted to study the ability of mixed diethanolamine and rubber seed oil-derived methyl esters as corrosion inhibitor of mild steel in CO<sub>2</sub> containing brine solution. Methyl esters were prepared by transesterification of rubber seed oil using methanol in the presence of zeolite-A as catalyst. A series of mixtures were prepared by mixing methyl esters and diethanolamine with the ratios of 5:0; 4:1; 3:2; 2:3; 1:4; and 0:5. Corrosion inhibition experiments were conducted in a 3% NaCl solution saturated with CO<sub>2</sub> using wheel test method, and the morphology of the metal sample was analyzed using Scanning Electron Microscope (SEM). The results obtained indicate that the highest percent of protection of 60.11% was obtained from the experiment using the inhibitor solution with the ratio of methyl esters to diethanolamin to of 3:2. The protection of the inhibitor was also indicated by surface morphology of the sample as seen by SEM.

**Keywords:** Corrosion inhibitor, mild steel, rubber seed oil methyl ester, *wheel test*.

**ANALISIS EFEKTIVITAS CAMPURAN METIL ESTER TURUNAN  
MINYAK BIJI KARET (*Hevea brasiliensis*) DENGAN DIETANOLAMINA  
SEBAGAI INHIBITOR KOROSI BAJA LUNAK DALAM MEDIUM  
YANG MENGANDUNG KARBON DIOKSIDA (CO<sub>2</sub>)**

**Oleh**

**NIKITA DAMAYANTI**

**Skripsi**

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

**Pada**

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



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2021**

Judul Skripsi : **ANALISIS EFEKTIVITAS CAMPURAN METIL  
ESTER TURUNAN MINYAK BIJI KARET (*Hevea  
brasiliensis*) DENGAN DIETANOLAMINA  
SEBAGAI INHIBITOR KOROSI BAJA LUNAK  
DALAM MEDIUM YANG MENGANDUNG  
KARBON DIOKSIDA (CO<sub>2</sub>)**

Nama Mahasiswa : **Nikita Damayanti**

No. Pokok Mahasiswa : 1757011004

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**Dr. Dra. Ilim M.S.**  
NIP. 19650525 199003 2 002

**Prof. Wasinton Simanjatak, Ph.D.**  
NIP. 19590706 198811 1 001

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA

**Mulyono, Ph.D**  
NIP. 19740611 200003 1 002

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

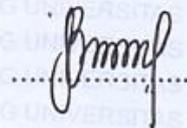
**Ketua : Dr. Ilim, M.S.**



**Sekretaris : Prof. Wasinton Simanjutak, Ph.D.**



**Penguji  
Bukan Pembimbing : Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si.**



**2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**Dr. Eng Sripto Dwi Yuwono, M.T.**  
NIP. 19740705 200003 1 001

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 01 November 2021**

**SURAT PERNYATAAN  
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Nikita Damayanti  
NPM : 1757011004  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya yang berjudul **“Analisis Efektivitas Campuran Metil Ester Turunan Minyak Biji Karet (*Hevea brasiliensis*) dengan Dietanolamina sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak dalam Medium yang Mengandung Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>)”** adalah benar karya saya sendiri, baik gagasan, hasil, dan analisisnya. Selanjutnya saya juga tidak keberatan jika sebagian atau seluruh data di dalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi, sepanjang nama saya disebutkan dan terdapat kesepakatan sebelum dilakukan publikasi.

Bandar Lampung, 26 November 2021

Menyatakan,



Nikita Damayanti  
NPM. 1757011004

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Nikita Damayanti, lahir di Lempuyang Bandar, Lampung Tengah pada tanggal 4 Juli 1999. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Bonaris Siagian dan Ibu Marni Situngkir.

Penulis mengawali pendidikan di Taman Kanak-Kanak (TK) Dharmawanita 1 Bandar Sakti pada tahun 2004-2005. Kemudian melanjutkan pendidikannya di SD Negeri 3 Bandar Sakti pada tahun 2005-2009, SD Negeri 002 Sagulung Batam pada tahun 2009-2011. Tahun 2011-2014 penulis melanjutkan pendidikannya pada jenjang pertama di SMP Negeri 1 Terusan Nunyai. Tahun 2014-2017 penulis melanjutkan pendidikannya pada sekolah menengah atas di SMA Negeri 1 Terusan Nunyai. Penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Mandiri Masuk Perguruan Tinggi Wilayah Barat Indonesia (SMM PTN-Barat) pada tahun 2017. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam kegiatan organisasi. Organisasi yang diikuti penulis yaitu Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) sebagai anggota Biro Penerbitan pada tahun 2018-2019 dan 2019-2020. Penulis juga pernah menjadi Asisten Praktikum Kimia Fisik pada tahun 2020 dan 2021 untuk mahasiswa kimia.

Penulis menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) pada tahun 2020 di Laboratorium Kimia Anorganik /Fisik Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Sebagai bentuk aplikasi bidang ilmu kepada masyarakat, penulis telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada tahun 2020 di Desa Agung Dalam, Kecamatan Banjar Margo, Kabupaten Tulang Bawang, Provinsi Lampung. Kemudian sebagai bentuk aplikasi bidang ilmu di dunia kerja, penulis telah menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Analisis Efektivitas Campuran Metil Ester Turunan Minyak Biji Karet (*Hevea brasiliensis*) dengan Dietanolamina sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak dalam Medium yang Mengandung Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>)”

## **MOTTO**

"I can do all things through him who strengthens me"  
(Philippians 4:13)

The fear of the Lord is the beginning of knowledge; fools despise wisdom  
and instruction"  
(Proverbs 1:7)

"Because all that you have obtained so far, is not because of your strength  
and greatness, but because of God's grace"  
(eomma)

"Treasure yourself well, so you can spread more love to those people  
around you. that's why yourself always comes first"  
(Na Jaemin-NCT)

"A lot of times when we aren't happy, it's because we compare ourselves  
to others. works on being a better version of ourselves and we will be  
closer to happiness"  
(Huang Renjun-NCT)

"You guys can succeed, but there's always failure. I know it hurts, but that's  
what gonna make you guys stronger cause that's not gonna be the end"  
(Young K-Day 6)

"Be humble, be grateful, give back, share, pay it forward, chase your  
dreams, go for it, and take a moment to remember where it is ALL from"  
(Justin Bieber)

## **PERSEMBAHAN**

Puji syukur kehadirat Tuhan Yesus Kristus atas segala kasih dan kebaikan yang selalu dilimpahkan dalam hal berkat, hikmat berfikir, kesehatan dan kekuatan dalam setiap proses perkuliahan yang telah dilalui. Tangan Tuhan selalu menopang dan menjawab setiap doa indah pada waktunya.

Keluarga tercinta:

Kepada Bapak dan Ibu yang telah bekerja keras menahan segala keinginan demi mendukung pendidikan. Memberikan dukungan berupa doa, semangat dan materi untuk penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir dengan baik, serta adik penulis yang selalu memberikan semangat dan dukungan.

Rasa hormat saya kepada:

Ibu Dr. Ilim, M.S., Bapak Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D  
dan Ibu Dr. Kamisah D. Pandiangan, M. Si.  
Terima kasih telah membimbing penulis.

Bapak Ibu Dosen Jurusan Kimia.

Atas dedikasi dan ilmu yang telah diberikan kepada penulis selama menempuh pendidikan di kampus.

Sahabat-sahabat terbaik yang selalu hadir dan menemani penulis dalam suka maupun duka, mendengarkan segala keluh kesah penulis serta memberikan saran terbaik untuk penulis.

Kepada diri sendiri yang telah bekerja keras dan tidak pernah menyerah walau dalam keadaan yang sulit, tidak pernah berhenti belajar untuk selalu membenahi diri dan melakukan yang terbaik.

Serta,

Almamater tercinta, Universitas Lampung.

## SANWACANA

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan kasihNya-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Analisis Efektivitas Campuran Metil Ester Turunan Minyak Biji Karet (*Hevea brasiliensis*) dengan Dietanolamina sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak dalam Medium yang Mengandung Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>)”** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada program studi Kimia FMIPA Universitas Lampung. Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, saran, dan kritik yang telah diberikan berbagai pihak. Oleh sebab itu, pada kesempatan ini sebagai wujud rasa hormat, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Bonaris Siagian dan Ibu Marni Situngkir selaku orang tua penulis yang selalu memberikan penulis kasih sayang, nasihat, dukungan dan doa. Semoga selalu diberikan kesehatan, kebaikan dan panjang umur oleh Tuhan Yesus.
2. Ibu Dr. Ilim, M.S. selaku dosen Pembimbing I dan Pembimbing Akademik penulis, terima kasih atas segala motivasi, bimbingan dan saran yang telah diberikan hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dan perkuliahan dengan baik. Semoga selalu diberikan kesehatan dan kebaikan.
3. Bapak Prof. Wasinton Simanjutak, Ph.D. selaku dosen Pembimbing II yang sudah banyak membantu penulis, senantiasa memotivasi dan memberikan pengarahan dalam proses penelitian dan penyusunan skripsi. Semoga selalu diberikan kesehatan dan kebaikan.

4. Ibu Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si. selaku dosen Pembahas yang telah memberikan motivasi, kritik, dan saran yang membangun kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Semoga selalu diberikan kesehatan dan kebaikan.
5. Bapak Mulyono, Ph.D. selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
6. Bapak dan Ibu Dosen di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu, pengalaman, dan motivasi kepada penulis selama perkuliahan. Semoga selalu diberi kesehatan dan kebaikan dalam hidup.
7. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T., sebagai Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
8. Adik penulis Jonatan Hotman Siagian, yang selalu memberikan dukungan dan saran bagi penulis. Semoga selalu diberkati, diberikan kesuksesan dan umur yang panjang oleh Tuhan Yesus.
9. Keponakan penulis Alfanius Yobel yang penulis sayangi yang selalu memberikan canda tawa dan semangat bagi penulis. Semoga Tuhan menyertai kehidupan dan pertumbuhan baikmu.
10. Apri Dearn Sinaga dan Winda Safitri sebagai rekan satu bimbingan dalam menyelesaikan penelitian, terima kasih untuk segala bantuan, dukungan dan kerjasamanya, kakak-kakak Kimia 2016 yakni Mutiara Nur Aulia, Ahmad Misbah Khoeroni, Tb. Sofi Sudirmano dan Laila Hidayah serta kakak S2 yakni Herliana, terima kasih karena selalu sabar dalam memberikan bimbingan dan motivasi dalam menyelesaikan penelitian.
11. Sahabat-sahabat penulis “Keluarga Jan Ethes Sanjarut”, Aiga Sheira Rait, Apri Dearn Sinaga, Grace Sondang Pretti, Novalisa Putri dan Olivia Margaretta atas segala motivasi dan bantuannya sehingga penulis dapat melewati masa-masa yang berat dalam perkuliahan. Semoga persahabatan kita tetap terjaga dan kita selalu diberi jalan yang baik oleh Tuhan Yesus.

12. Sahabat-sahabat penulis “MMG”, Hana Eka Putri, Imelda Maharani dan Wenni Puspa sari yang selalu menemani, memberikan dukungan dan menghibur penulis dikala jenuh. Semoga selalu diberikan kesehatan dan kelancaran dalam menggapai mimpi.
13. Sahabat-sahabat penulis sejak sekolah minggu hingga saat ini, Adang Afandi dan Abigail Dwi Larasati yang selalu memberikan dukungan, saran dan hiburan untuk penulis. Semoga selalu diberikan kesehatan dan kebaikan.
14. Sahabat-sahabat penulis Sari Saras, Indah Lely, Vega Nurmalita, Sugeng Riyadi dan Niko Aji yang selalu menyemangati dan memberikan saran bagi penulis. Semoga selalu diberikan kesehatan dan kebaikan.
15. Sahabat-sahabat terdekat penulis di kelas C Anisa Amelz, Indah Parwati, Innama Trina, Nelda Rosa, Putri Okta, Iffah Nur Faidah, Firyal Humaira, Winda Agustina dan Nurmalia Salis yang selalu memberikan dukungan, saran dan hiburan selama menjalani proses perkuliahan dan penelitian yang berat. Semoga selalu diberikan kesehatan dan kebaikan.
16. Teman-teman di Lab Kimia Anorganik/Fisik dan Lab Polimer, Mia Saputri, Erroh Muhayarah, Andreas Sibuea, Davincent Andreas, Erma Marlita, Eva Melisa, Syaydati Aulia dan Charlita Ramadia yang selalu menemani dan memberikan saran selama penulis melakukan penelitian. Semoga selalu diberikan kesehatan dan kelancaran dalam menjalani kehidupan.
17. Teman-teman “Yuk Menuju Lebih Baik -Kelas C” dan “Kimia 2017” yang sudah menemani penulis sejak mahasiswa baru hingga penulis mampu menyelesaikan perkuliahan dengan baik. Semoga kita dapat dipertemukan kembali dan menjalani kehidupan yang baik.
18. Teman-teman “KKN Desa Agung Dalem”, Wenti Matanari, Jayanti Diah, Desak Made, Winda Ambarwati, Laurensius Amedeo dan Rio Apriansyah. Terima kasih telah bersama menjalani program KKN dengan baik dan menjadi teman yang mewarnai proses perkuliahan. Semoga kita dapat dipertemukan kembali dan menjalani kehidupan yang baik.

19. Jemaat GPI sidang Bandar Sakti yang senantiasa membantu dalam dukungan doa dan motivasi.
20. POM-MIPA yang menjadi sarana penulis untuk bertumbuh dalam iman.
21. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah membantu dan memberikan dukungan dalam penyelesaian skripsi ini.

Demikian yang dapat penulis sampaikan, Masih banyak kesalahan dan kekurangan dalam penyusunan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan informasi, wawasan dan ilmu yang bermanfaat . Semoga Tuhan Yang Maha Esa selalu memberi kita berkat kesehata dan kebaikan dalam menjalani hidup.

Bandar Lampung, 26 November 2021  
Penulis,

**Nikita Damayanti**

## DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL.....	iv
DAFTAR GAMBAR .....	v
I. PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan Penelitian .....	4
1.3. Manfaat Penelitian .....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1. Korosi.....	5
2.1.1. Pengertian Korosi.....	5
2.1.2. Faktor-Faktor Korosi.....	5
2.1.3. Mekanisme Korosi .....	6
2.1.4. Jenis-Jenis Korosi .....	7
2.1.5. Dampak Korosi .....	8
2.1.6. Pencegahan Terhadap Korosi.....	9
2.2. Korosi CO <sub>2</sub> .....	10
2.3. Inhibitor Korosi.....	11
2.3.1. Inhibitor Anorganik.....	11
2.3.2. Inhibitor Organik.....	12
2.3.3. Mekanisme Inhibitor .....	12
2.4. Bahan Baku Inhibitor .....	14
2.4.1. Biji Karet ( <i>Hevea brasiliensis</i> ) .....	14
2.4.2. Minyak Biji Karet .....	15
2.4.3. Dietanolamina dan Alkanolamida.....	16
2.5. Transesterifikasi.....	17

2.6. Zeolit.....	18
2.6.1. Zeolit A .....	20
2.7. Baja .....	20
2.8. Uji Aktivitas Inhibitor Korosi.....	22
2.8.1. Metode Kehilangan Berat ( <i>Wheel Test</i> ).....	22
2.9. Analisis Instrumentasi.....	23
2.9.1. FTIR ( <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> ) .....	23
2.9.2. GC-MS ( <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> ) .....	24
2.9.3. SEM ( <i>Scanning Electron Microscopy</i> ) .....	25
2.9.4. XRD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ).....	26
III. METODE PENELITIAN.....	28
3.1. Waktu dan Tempat.....	28
3.2. Alat dan Bahan.....	28
3.3. Prosedur Penelitian .....	29
3.3.1. Preparasi Sekam Padi dan Ekstraksi Silika.....	29
3.3.2. Sintesis dan Kalsinasi Zeolit A .....	29
3.3.3. Karakterisasi Zeolit A .....	30
3.3.4. Preparasi Minyak Biji Karet .....	30
3.3.5. Transesterifikasi Minyak Biji Karet.....	30
3.3.6. Karakterisasi Produk Transesterifikasi (Metil Ester).....	31
3.3.7. Pembuatan Inhibitor Korosi .....	31
3.3.8. Karakterisasi Bahan Produk Inhibitor .....	31
3.3.9. Persiapan Larutan.....	31
3.3.10. Uji Aktivitas Inhibitor Korosi .....	32
3.3.11. Analisis Permukaan.....	33
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	34
4.1. Pengantar.....	34
4.2. Preparasi Sekam Padi dan Ekstraksi Silika.....	34
4.3. Sintesis Zeolit A.....	36
4.4. Karakterisasi Zeolit A .....	37
4.4.1. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	37
4.4.2. <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) .....	40
4.5. Preparasi Minyak Biji Karet .....	41
4.6. Transesterifikasi Minyak Biji Karet.....	42

4.7. Karakterisasi Metil Ester.....	43
4.7.1. <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR) .....	43
4.7.2. <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS) .....	45
4.8. Pencampuran Metil Ester dengan Dietanolamina sebagai Inhibitor Korosi.....	46
4.9. Karakterisasi Bahan Produk Inhibitor.....	47
4.10. Penentuan Laju Korosi.....	50
4.10.1. Metode <i>Wheel Test</i> .....	50
4.11. Analisis Permukaan.....	51
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	55
5.1. Kesimpulan .....	55
5.2. Saran .....	55
DAFTAR PUSTAKA .....	56
LAMPIRAN.....	62

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 1. Komposisi Biji Karet .....	14
Tabel 2. Komposisi Minyak Biji Karet .....	15
Tabel 3. Data puncak $2\theta$ Standar IZA Zeolit A dengan Zeolit A Sintesis.....	39
Tabel 4. Data Hasil Pencocokan $2\theta$ Zeolit A Program <i>Match!</i> dengan Zeolit A Sintesis.....	40
Tabel 5. Perbandingan FTIR Produk Hasil Transesterifikasi .....	45
Tabel 6. Identifikasi Produk Transesterifikasi dengan Menggunakan MS .....	46
Tabel 7. Komponen dari Variasi Larutan Inhibitor.....	47
Tabel 8. Identifikasi Spektrum FTIR Bahan Produk Inhibitor .....	50
Tabel 9. Hasil Pengujian Inhibitor Menggunakan Metode <i>Wheel Test</i> .....	51
Tabel 10. Pengukuran Dimensi dan Penimbangan Baja Lunak.....	66
Tabel 11. Perhitungan Kehilangan Berat, Luas Permukaan, Laju Korosi dan Persen Inhibitor .....	67

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 1. Korosi dari Baja. ....	7
Gambar 2. Proses Reaksi Ion $\text{Fe}^{2+}$ dengan Inhibitor Bahan Alam.....	13
Gambar 3. Bagian-Bagian Biji Karet. ....	14
Gambar 4. Reaksi Alkanolamida .....	17
Gambar 5. Reaksi Transesterifikasi. ....	18
Gambar 6. Struktur Dasar Zeolit $\text{TO}_4$ .....	19
Gambar 7. Diagram Skema Spektrometer FTIR.....	24
Gambar 8. Instrumentasi Kromatografi Gas-Spektrometer Massa .....	25
Gambar 9. Ilustrasi Difraksi Sinar-X pada XRD. ....	26
Gambar 10. Tahap-Tahap Kerja Penelitian.....	33
Gambar 11. Sekam Padi Bersih .....	35
Gambar 12. Proses Ekstraksi Silika (a). Sol Silika Sekam Padi (b). Residu Sekam Padi .....	35
Gambar 13. Proses Terbentuknya Silika (a). Gel Silika Coklat (b). Gel silika Bersih (c). Bubuk Silika.....	36
Gambar 14. Proses Sintesis Zeolit A (a). Larutan Natrium Silika (b). Campuran Natrium Silika dan Aluminium Foil (c). Zeolit A Sebelum Kalsinasi (d). Zeolit A Setelah Kalsinasi.....	37
Gambar 15. Perbandingan Difraktogram Standar IZA Zeolit A dan Zeolit A Sintesis .....	38

Gambar 16. Difraktogram Zeolit A Sintesis Menggunakan Program <i>Match! 3</i> .....	39
Gambar 17. Mikrograf Zeolit A dengan Perbesaran (a). 10.000 kali (b). 20.000 Kali .....	41
Gambar 18. Proses Pengolahan Minyak Biji Karet (a). Biji Karet (b). Kernel Kering (c). Proses Press (d). Minyak Biji Karet .....	42
Gambar 19. Rangkaian Alat Refluks .....	43
Gambar 20. Proses Transesterifikasi (a). Hasil Transesterifikasi di dalam Corong Pisah (b). Proses Evaporasi (c). Gliserol dan Minyak Sisa (d). Metil Ester .....	43
Gambar 21. Spektrum FTIR Produk Transesterifikasi (Metil Ester).....	44
Gambar 22. Kromatogram GC Produk Hasil Transesterifikasi (Metil Ester).....	45
Gambar 23. Larutan Inhibitor Campuran Metil Ester dan Dietanolamina.....	47
Gambar 24. Spektrum FTIR dari Bahan Produk Inhibitor.....	48
Gambar 25. Mikrograf SEM Baja Lunak dengan Perbesaran 10.000 x (a). Tanpa Perlakuan (b). Setelah direndam dalam Medium NaCl 3 % (c). Penambahan Inhibitor Dietanolamina (d). Penambahan Inhibitor Metil Ester (e). Penambahan Inhibitor Minyak Biji Karet (f). Penambahan Inhibitor Campuran 3 mL Dietanolamina: 2 mL Metil Ester.....	52
Gambar 26. Spektroskopi Massa Metil Linoleat.....	69

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Korosi merupakan penurunan kualitas suatu logam yang disebabkan oleh terjadinya reaksi elektrokimia antara logam dengan lingkungannya yang mengakibatkan terjadinya penurunan mutu logam menjadi rapuh, kasar, dan mudah hancur. Lingkungan korosif adalah suatu lingkungan dimana terdapat banyak zat korosif yang dapat menyebabkan terjadinya korosi, seperti kondisi lingkungan fisik (air, tanah dan udara) yang terkontaminasi oleh bahan pencemar melebihi batas-batas yang telah ditetapkan (Putra dan Tanjung, 2020).

Berdasarkan jenis lingkungannya korosi dapat dibagi menjadi dua yaitu korosi internal dan korosi eksternal. Korosi eksternal merupakan jenis korosi yang terjadi pada bagian luar permukaan sistem perpipaan dan peralatan logam yang kontak dengan udara bebas dan permukaan tanah yang mengandung zat-zat korosif. Sedangkan korosi internal merupakan korosi yang terjadi di dalam pipa akibat adanya kandungan  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{S}$  pada minyak bumi, sehingga apabila terjadi kontak dengan air akan membentuk asam yang merupakan penyebab korosi. Pada industri gas dan minyak bumi, korosi yang terjadi umumnya disebabkan oleh adanya gas  $\text{CO}_2$  (Ikhsan dkk., 2018).

Korosi  $\text{CO}_2$  merupakan salah satu faktor paling umum yang berkontribusi terhadap kerusakan bahan logam selama eksploitasi dan pemindahan hasil minyak dan gas di seluruh dunia. Korosi  $\text{CO}_2$  adalah bentuk degradasi yang terjadi ketika  $\text{CO}_2$  terlarut dalam kondensat membentuk asam karbonat ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) yang menimbulkan korosi pada baja dan paduan logam membentuk besi karbonat. Korosi  $\text{CO}_2$  biasanya terjadi melalui hidrasi  $\text{CO}_2$  menjadi asam karbonat di fase

berair. Adanya *brine water* yang mengandung NaCl dan  $\text{HCO}_3^-$  yang tinggi serta adanya gas  $\text{CO}_2$  yang terlarut dapat meningkatkan potensi korosi, ditambah lagi dengan adanya injeksi gas  $\text{CO}_2$  pada sumur minyak dapat menyebabkan korosi  $\text{CO}_2$  semakin meningkat. Dampak dari korosi  $\text{CO}_2$  pada pendistribusian minyak mentah (*crude oil*) yaitu kerusakan dan kegagalan pada bahan infrastruktur seperti kebocoran pipa minyak yang dapat memberikan dampak buruk baik dari segi ekonomi, keselamatan dan lingkungan (Elgaddafi *et al.*, 2020).

Adapun beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampak dari korosi  $\text{CO}_2$  yaitu pelapisan (*coating*), pemilihan material dan desain (*material selection and design*), proteksi katodik dan penambahan inhibitor. Penambahan inhibitor korosi merupakan cara yang paling efektif untuk mengendalikan korosi asam termasuk korosi karbon dioksida (Ilim, 2017). Inhibitor korosi merupakan suatu zat kimia yang bila ditambahkan ke dalam suatu lingkungan tertentu dapat menghambat laju korosi. Berdasarkan bahan dasarnya, inhibitor korosi terdiri dari komponen senyawa organik dan anorganik. Senyawa anorganik mengandung silikat, borat, tungstat, molibdat, fosfat, kromat, dikromat, dan arsenat yang merupakan jenis bahan kimia yang berbahaya, mahal dan tidak ramah lingkungan. Hal ini menyebabkan penggunaan inhibitor anorganik mulai diminimalisir oleh industri. Penggunaan inhibitor ini dapat menyebabkan polusi pada lingkungan dan dapat berdampak pada makhluk hidup. Oleh karena itu, penggunaan inhibitor organik khususnya ekstrak dari bahan alam lebih dipilih karena bersifat aman, biaya murah, mudah didapatkan, ramah lingkungan dan bersifat *biodegradable* (Indrayani, 2016).

Ekstrak bahan alam pada umumnya mengandung senyawa organik berupa komponen polifenol, alkaloid, flavonoid, karbohidrat, senyawa amfoter, oleat, monoamin, diamin, amida, imidazol dan derivatnya. Komponen senyawa organik tersebut biasanya memiliki gugus fungsi yang tersusun dari atom N, S, atau O serta gugus fungsi yang terdiri dari ikatan rangkap tiga, konjugasi atau cincin aromatik sebagai pusat adsorpsi pada permukaan logam. Senyawa ini dapat teradsorpsi pada permukaan logam dan memblokir permukaan aktif untuk mengurangi laju korosi (Setiawan dkk., 2018). Literatur ilmiah korosi telah

mencatat sejumlah penelitian mengenai inhibitor dari bahan organik seperti penggunaan tumbuhan tembakau, teh dan kopi sebagai inhibitor korosi baja lunak dalam air laut buatan yang jenuh CO<sub>2</sub> (Ilim dkk., 2007), pengaruh inhibitor daun gambir terhadap laju korosi baja karbon (Putra dan Kasuma, 2018) dan pengembangan aplikasi mikroemulsi minyak biji markisa sebagai penghambat korosi baja karbon (Souza *et al.*, 2020).

Adanya penelitian-penelitian sebelumnya mengenai inhibitor dari bahan alam diharapkan memberikan aspirasi untuk mendapatkan inhibitor-inhibitor baru yang dapat menginhibisi korosi secara optimum. Tanaman karet (*Hevea brasiliensis*) merupakan salah satu hasil pertanian yang banyak menunjang perekonomian negara. Selain menghasilkan lateks, perkebunan karet juga menghasilkan biji karet yang belum dimanfaatkan secara optimum. Biji karet mengandung sekitar 40-59% minyak nabati (Pandiangan *et al.*, 2016). Minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) mengandung 55,9 - 58,5% asam lemak poli-tak jenuh seperti asam linoleat dan asam linolenat, 20,1 - 24,6% asam lemak mono tak jenuh seperti asam oleat, dan 18,9% asam lemak jenuh seperti asam palmitat dan asam stearat (Roschat *et al.*, 2017).

Transesterifikasi adalah tahap konversi dari trigliserida (minyak nabati) menjadi alkil ester, melalui reaksi dengan alkohol, dan menghasilkan produk samping yaitu gliserol. Reaksi transesterifikasi diikuti esterifikasi merupakan metode sederhana untuk mengkonversi lemak atau minyak menjadi biodiesel (metil ester). Reaksi transesterifikasi menggunakan katalis dalam reaksinya, tanpa adanya katalis reaksinya akan berjalan dengan lambat (Meriatna dkk., 2016). Katalis yang digunakan dalam transesterifikasi pada penelitian ini adalah zeolit A yang disintesis dari ekstrak sekam padi, dalam aplikasinya, zeolit-A dapat berperan sebagai katalis, penukar ion, adsorben dan membran. Zeolit-A hasil sintesis juga memiliki aktivitas katalitik yang tinggi untuk mengkonversi asam lemak menjadi metil ester (Herliana *et al.*, 2021).

Salah satu senyawa inhibitor korosi yang bisa dikembangkan adalah senyawa yang mengandung nitrogen yaitu senyawa amida. Beberapa penelitian tentang

potensi senyawa amida sebagai inhibitor telah dilaporkan oleh (Velazquez *et al.*, 2018); (Ali *et al.*, 2019); dan (Elsharif *et al.*, 2020). Pada penelitian ini akan dilakukan pencampuran metil ester turunan minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) dengan dietanolamina sebagai inhibitor korosi yang diuji aktivitasnya menggunakan metode *wheel test* sebagai inhibitor korosi baja lunak dalam medium korosif yang mengandung CO<sub>2</sub>.

## 1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mensintesis katalis zeolit A dari silika ekstrak sekam padi.
2. Mengekstrak minyak biji karet dari biji karet yang tidak terpakai.
3. Menghasilkan metil ester dari proses transesterifikasi minyak biji karet menggunakan katalis zeolit A.
4. Mengkarakterisasi produk hasil transesterifikasi menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) dan *Gas Chromatography Mass Spectrometry* (GC-MS).
5. Menguji aktivitas larutan inhibitor (alkanolamida) sebagai senyawa inhibitor korosi.

## 1.3. Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memanfaatkan secara optimal biji karet yang jarang digunakan.
2. Memanfaatkan katalis dari bahan baku limbah pertanian (sekam padi).
3. Mendapatkan senyawa alkanolamida dari ekstrak minyak biji karet sebagai alternatif senyawa inhibitor organik.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Korosi

#### 2.1.1. Pengertian Korosi

Korosi berasal dari bahasa latin “*Corrodere*” yang artinya merusak logam atau berkarat akibat lingkungannya. Pengkaratan merupakan fenomena kimia pada bahan-bahan logam di berbagai macam kondisi lingkungan. Lingkungan sekelilingnya dapat berupa udara, air tawar, air laut, larutan dan tanah yang bersifat elektrolit. Namun, jika dilihat dari sudut pandang ilmu kimia, korosi merupakan reaksi logam menjadi ion pada permukaan logam yang kontak langsung dengan lingkungan berair dan oksigen. Contoh umum, yaitu kerusakan logam besi dengan terbentuknya karat oksida. Proses korosi adalah proses oksidasi, pada logam yang terkorosi, akan terjadi proses pelepasan elektron. Logam jika berada dalam lingkungan *aqueous* akan menjadi tidak stabil dan secara spontan akan teroksidasi. Reaksi yang terjadi disebut reaksi oksidasi atau reaksi elektrokimia (Indrayani, 2016).

#### 2.1.2. Faktor –Faktor Korosi

Menurut (Zahra dkk., 2019) beberapa faktor yang dapat mempengaruhi terjadinya korosi yaitu:

a. pH

Semakin tinggi pH maka laju korosi akan semakin cepat, sehingga air dalam sistem pendingin dikontrol agar pH sekitar pH netral yaitu tujuh koma lima sampai delapan koma lima (7,5 – 8,5).

b. Temperatur

Temperatur mempengaruhi kecepatan reaksi redoks pada peristiwa korosi. Secara

umum, semakin tinggi temperatur maka semakin cepat terjadinya korosi. Hal ini disebabkan dengan meningkatnya temperatur maka meningkat pula energi kinetik partikel sehingga kemungkinan terjadinya tumbukan efektif pada reaksi redoks semakin besar dan laju korosi pada logam semakin meningkat.

c. Partikel padat dan sistem deposit

Banyaknya partikel padat atau mineral-mineral yang terkandung di dalam air bertendensi menyebabkan terbentuknya deposit. Deposit yang keras dan melekat kuat di permukaan logam disebabkan oleh konsentrasi mineral-mineral yang melebihi batas kelarutannya. Dari adanya deposit maka di daerah bawah deposit akan mudah terbentuk korosi (korosi di bawah deposit atau *under deposit corrosion*).

d. Kecepatan aliran air

Kecepatan aliran air yang tinggi diatas kecepatan kritisnya di dalam pipa berpotensi menimbulkan korosi. Kerusakan permukaan logam yang disebabkan oleh aliran fluida yang sangat deras yang disebut erosi. Proses erosi dipercepat oleh kandungan partikel padat dalam fluida yang mengalir tersebut atau oleh adanya gelembung-gelembung gas. Dengan rusaknya permukaan logam, rusak pula lapisan film pelindung sehingga memudahkan terjadinya korosi. Kalau hal ini terjadi maka proses ini disebut karat erosi.

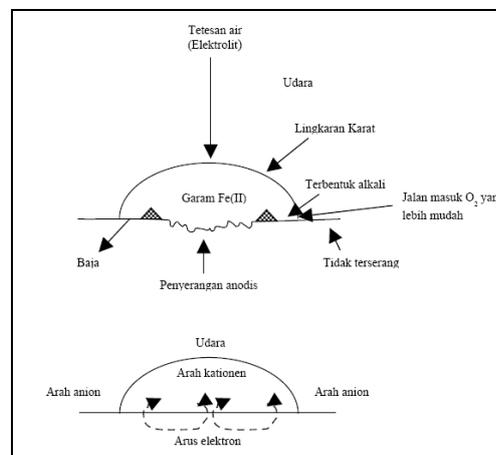
e. Pertumbuhan mikroorganisme

Secara teoritis apabila tidak terdapat zat asam, maka laju korosi pada baja relatif lambat, namun pada kondisi-kondisi tertentu ternyata laju korosinya justru tinggi sekali. Setelah diselidiki ternyata di daerah tersebut hidup sejenis bakteri anaerob yang hanya bertahan dalam kondisi tanpa zat asam. Bakteri ini mengubah (*reducing*) garam sulfat menjadi asam yang reaktif dan menyebabkan korosi.

### 2.1.3. Mekanisme Korosi

Secara umum mekanisme korosi yang terjadi di dalam suatu larutan berawal dari logam yang teroksidasi di dalam larutan 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  $H^+$  dan  $H_2O$  yang tereduksi. Reaksi ini terjadi di permukaan logam yang

akan menyebabkan pengelupasan akibat pelarutan logam ke dalam larutan secara berulang-ulang. Secara termodinamis, proses korosi merupakan kecenderungan normal suatu logam untuk kembali ke kondisi alaminya atau ke bentuk yang lebih stabil. Pada temperatur rendah dan basah, korosi terjadi dengan mekanisme reaksi elektrokimia yang membentuk reaksi oksidasi dan reaksi reduksi. Reaksi elektrokimia didefinisikan sebagai reaksi kimia yang melibatkan perpindahan elektron dari anoda (-) ke katoda (+) dalam larutan elektrolit (Putra dan Tanjung, 2020). Menurut (Nugroho, 2015) proses terbentuknya korosi dapat dijelaskan dalam Gambar 1.



**Gambar 1.** Korosi dari Baja (Nugroho, 2015).

#### 2.1.4. Jenis-Jenis Korosi

Menurut (Ikhsan dkk., 2018) berikut ini adalah beberapa jenis korosi berdasarkan penyebabnya yang dibedakan menjadi:

a. Korosi Seragam/Merata (*Uniform Corrosion*)

Korosi seragam adalah korosi yang terjadi pada permukaan logam akibat reaksi kimia karena pH air yang rendah dan udara yang lembab, sehingga makin lama logam makin menipis.

b. Korosi Sumuran (*Pitting Corrosion*)

Korosi sumuran atau *Pitting Corrosion*, adalah korosi yang disebabkan karena komposisi logam yang tidak homogen yang dimana pada daerah batas timbul korosi yang berbentuk sumur.

c. Korosi Galvanik (*Galvanic Corrosion*)

Korosi Galvanik, yaitu korosi yang terjadi pada dua logam berbeda potensial dalam satu elektrolit. Logam yang mempunyai nilai potensial standar reduksi rendah ( $E^0$ ) (anodik) akan terkorosi.

d. Korosi Erosi (*Erosion Corrosion*)

Korosi erosi, merupakan gabungan dari kerusakan akibat reaksi elektrokimia dan kecepatan fluida yang tinggi pada permukaan logam. Korosi erosi dapat pula terjadi karena adanya aliran fluida yang sangat tinggi melewati benda yang diam atau statis. Serta bisa juga terjadi karena sebuah objek bergerak cepat di dalam fluida yang diam, misalnya pada baling-baling kapal laut.

e. Korosi Tegangan (*Stress Corrosion Cracking*)

Korosi retak tegang (*Stress Corrosion Cracking*), bisa terjadi karena butiran logam yang berubah bentuk akibat logam mengalami perlakuan khusus atau mendapatkan beban sehingga butiran logam menjadi tegang dan butiran ini akan sangat mudah bereaksi dengan lingkungan.

### 2.1.5. Dampak Korosi

Banyak sekali dampak yang diakibatkan oleh korosi, berikut beberapa dampak negatif yang ditimbulkan oleh proses korosi menurut (Putra dan Kasuma, 2018) diantaranya yaitu :

- a. Patahnya peralatan yang berputar karena korosi, yang merugikan dari segi material dan mengancam keselamatan jiwa.
- b. Pecahnya peralatan bertekanan atau bersuhu tinggi karena korosi, yang selain merusak alat juga membahayakan keselamatan.
- c. Hancurnya peralatan karena lapuk oleh korosi sehingga tidak bisa dipakai lagi sebagai bahan konstruksi, dan harus diganti dengan yang baru.
- d. Hilangnya keindahan konstruksi karena produk korosi yang menempel padanya.
- e. Bocornya peralatan, seperti : tangki dan pipa sehingga tidak bisa berfungsi optimal. Peralatan yang bocor atau rusak juga mengakibatkan produk ataupun fluida kerja terkontaminasi oleh fluida atau bahan-bahan lain, maupun oleh senyawa-senyawa hasil korosi. Bocor atau rusaknya peralatan juga merugikan

dari segi produksi, akibat hilangnya produk berharga. Kebocoran atau kerusakan bisa mengakibatkan terhentinya operasi pabrik, bahkan membahayakan lingkungan akibat terlepasnya bahan berbahaya ke lingkungan.

### 2.1.6. Pencegahan Terhadap Korosi

Menurut (Córdoba *et al.*, 2016) metode pengendalian korosi dapat dibedakan menjadi lima kategori, yaitu :

#### a. Pelapisan (*coating*)

Metode pelapisan (*coating*) adalah salah satu upaya pengendalian korosi dengan menerapkan suatu lapisan dengan permukaan logam. Misalnya, dengan pengecatan atau penyepuhan logam. Adanya lapisan pada permukaan logam akan meminimalkan kontak antara logam dengan lingkungannya yang kemudian akan mencegah proses terjadinya korosi pada logam.

#### b. Pemilihan material dan desain (*material selection and design*)

Dengan melakukan pemilihan material yang sesuai dengan keadaan lingkungan kerja sehingga proses korosi dapat meminimalisir. Selain itu pemilihan desain-desain yang sesuai dengan aplikasi dilapangan.

#### c. Proteksi Katodik

Proteksi katodik dilakukan sebagai salah satu cara pencegahan korosi pada logam. Proteksi ini dapat dilakukan dengan dua cara yaitu; metode anoda tumbal (*sacrificial anode method*) dan metode arus terpasang (*impressed current method*). Prinsip dasar dari perlindungan katodik ini adalah dengan menggandengkan logam yang akan dilindungi dengan logam lain yang bersifat lebih tahan korosi, seperti seng dan aluminium. Bahan anoda yang tepat dan didistribusikan merata pada permukaan logam yang akan dilindungi akan memungkinkan polarisasi katodiknya mencapai potensial lebih negatif. Cara ini disebut anoda-anoda tumbal (*sacrificial anode*).

#### d. Inhibitor Korosi

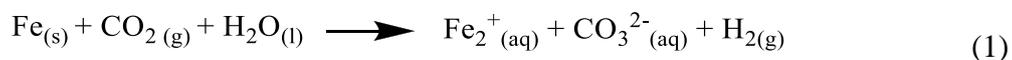
Inhibitor adalah zat yang menghambat atau menurunkan laju reaksi kimia. Sifat inhibitor berlawanan dengan katalis, yang mempercepat laju reaksi. Inhibitor korosi adalah zat yang dapat mencegah atau memperlambat korosi logam.

Inhibitor korosi sendiri didefinisikan sebagai suatu zat yang apabila ditambahkan dalam jumlah sedikit ke dalam lingkungan akan menurunkan serangan korosi lingkungan terhadap logam.

## 2.2. Korosi CO<sub>2</sub>

Korosi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) adalah degradasi suatu logam oleh asam karbonat. Korosi baja karbon merupakan masalah yang signifikan dalam industri minyak, produksi gas dan sistem transportasi gas, yang menyebabkan kerugian ekonomi yang signifikan. Dalam produksi gas dan minyak, CO<sub>2</sub> selain H<sub>2</sub>S merupakan salah satu faktor utama penyebab korosi. Jika terlarut dalam air gas ini akan membentuk suatu asam lemah H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> yang bersifat korosif. Laju korosi pada korosi CO<sub>2</sub> ditentukan oleh sifat lapisan produk korosi yang terbentuk pada permukaan logam. Jika lapisan terbentuk pada keadaan yang sesuai maka akan terbentuk lapisan protektif yang dapat menurunkan laju korosi (Sudiarti, 2017).

Reaksi keseluruhan dalam korosi CO<sub>2</sub> dapat dinyatakan sebagai berikut:



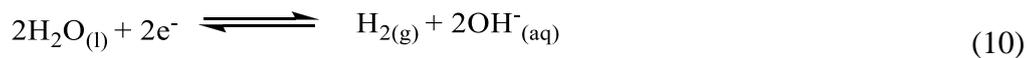
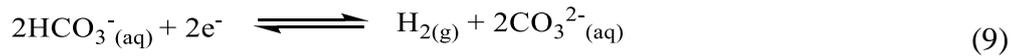
Menurut (Kahyarian *and* Nestic, 2020) pengertian konvensional korosi CO<sub>2</sub> merupakan hasil dari serangkaian reaksi kimia dan elektrokimia. Langkah pertama adalah pelarutan gas karbon dioksida dalam air (2), langkah kedua adalah hidrasi CO<sub>2</sub> berair yang menghasilkan pembentukan asam karbonat (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Urutan reaksi yang menunjukkan keberadaan CO<sub>2</sub> di dalam air adalah sebagai berikut :



Reaksi anodik untuk besi oksidatif adalah pedoman dasar dalam korosi CO<sub>2</sub>, yang terjadi di permukaan baja ditunjukkan pada Persamaan (6).



Untuk reaksi katodik di dalam lingkungan CO<sub>2</sub> ditunjukkan pada Persamaan (7-10).



### 2.3. Inhibitor Korosi

Inhibitor adalah senyawa kimia yang apabila ditambahkan kedalam lingkungan dalam jumlah sedikit dapat menghambat laju korosi. Penggunaan inhibitor hingga saat ini masih menjadi solusi terbaik untuk melindungi korosi internal pada logam, dan dijadikan sebagai pertahanan utama industri proses dan ekstraksi minyak. Inhibitor merupakan metoda perlindungan yang fleksibel, yaitu mampu memberikan perlindungan dari lingkungan yang kurang agresif sampai pada lingkungan yang tingkat korosifitasnya sangat tinggi, mudah diaplikasikan dan tingkat keefektifan biayanya paling tinggi karena lapisan yang terbentuk sangat tipis sehingga dalam jumlah kecil mampu memberikan perlindungan yang luas (Putra dan Kasuma, 2018). Menurut (Turnip dkk., 2015) inhibitor biasanya berasal dari senyawa organik dan anorganik. Inhibitor organik atau anorganik bekerja dengan membentuk senyawa kompleks yang mengendap (adsorpsi) pada permukaan logam sebagai lapisan pelindung yang bersifat hidrofobik yang dapat menghambat reaksi logam tersebut dengan lingkungannya. Reaksi tersebut dapat berupa reaksi anodik dan katodik ataupun keduanya.

#### 2.3.1. Inhibitor Anorganik

Inhibitor anorganik merupakan inhibitor yang berasal dari mineral yang tidak mengandung senyawa karbon di dalamnya. Senyawa anorganik biasanya mengandung silikat, borat, tungstat, molibdat, fosfat, kromat, dikromat, dan arsenat. Senyawa tersebut merupakan bahan kimia yang berbahaya, mahal, tidak

ramah lingkungan, karena sifat racunnya dapat menyebabkan kerusakan sementara atau permanen, pada sistem organ tubuh makhluk hidup seperti gangguan pada ginjal, hati dan juga sistem enzim. Hal ini menyebabkan penggunaan inhibitor anorganik mulai diminimalisir oleh industri. Penggunaan inhibitor ini dapat menyebabkan polusi pada lingkungan dan dapat berdampak pada makhluk hidup (Setyowati dkk., 2020).

### **2.3.2. Inhibitor Organik**

Inhibitor organik diklasifikasikan dalam dua jenis yaitu sintesis dan alami. Inhibitor organik sintesis mempunyai keuntungan antara lain dapat disintesis senyawa yang diinginkan dengan jumlah dan jenis tertentu. Beberapa penelitian inhibitor organik sintesis dari senyawa oligomer dengan proteksi cukup baik, telah dilakukan sintesis oligomer 4 vinilpiridin (Ilim *et al.*, 2016) dan oligomer 4-vinilpiperidin (Ilim *et al.*, 2017). Pada umumnya inhibitor yang lebih dikenal dan efektif adalah senyawa organik yang mengandung heteroatom seperti, O, N atau S dan beberapa ikatan yang memungkinkan terjadinya adsorpsi pada permukaan logam. Senyawa ini dapat teradsorpsi pada permukaan logam dan memblokir permukaan aktif untuk mengurangi laju korosi. Inhibitor organik bekerja dengan membentuk senyawa kompleks yang mengendap. Akibat adsorpsi pada permukaan logam sebagai lapisan pelindung yang bersifat hidrofobik yang dapat menghambat reaksi logam tersebut dengan lingkungannya dan dapat menetralisasi konstituen korosif dan mengabsorpsi konstituen korosif tersebut. Bila ditambahkan dengan konsentrasi yang tepat, inhibitor dapat melindungi seluruh permukaan logam (Almahdali dkk., 2019).

### **2.3.3. Mekanisme Inhibitor**

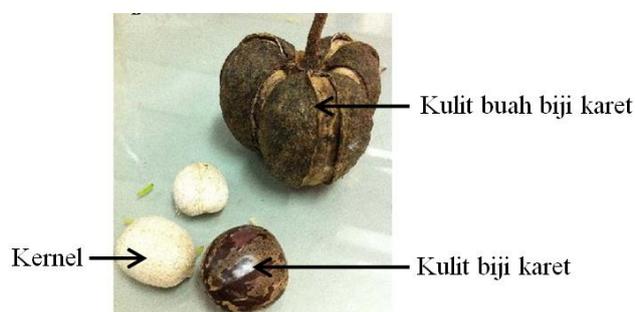
Reaksi yang terjadi antara logam  $Fe^{2+}$  dengan medium korosif diperkirakan menghasilkan  $FeCO_3$ , oksidasi lanjutan menghasilkan  $Fe_2(CO_3)_3$  dan reaksi antara  $Fe^{2+}$  dengan inhibitor alam maupun sintetis menghasilkan senyawa kompleks. Inhibitor ekstrak bahan alam maupun sintetis yang mengandung nitrogen mendonorkan sepasang elektronnya pada permukaan logam mild steel ketika ion  $Fe^{2+}$  berdifusi ke dalam larutan elektrolit, reaksinya adalah seperti pada Gambar 2.



## 2.4. Bahan Baku Inhibitor

### 2.4.1. Biji Karet (*Hevea brasiliensis*)

Tanaman karet dapat menghasilkan 800 biji karet untuk setiap pohonnya per tahun. Pada lahan seluas 1 hektar, dapat ditanami sebanyak 400 pohon karet. Maka untuk lahan seluas 1 hektar diperkirakan dapat menghasilkan 5.050 kg biji karet per tahunnya Sementara itu biji karet masih belum dimanfaatkan dan dibuang sebagai limbah. Biji karet mempunyai bentuk ellipsoidal, dengan panjang 2,5-3 cm, yang mempunyai berat 2-4 gram/biji. Biji karet terdiri dari 40-50% kulit yang keras berwarna coklat, dan 50-60% kernel yang berwarna putih kekuningan (Hakim dan Mukhtadi, 2017). Biji karet mengandung minyak nabati dalam jumlah yang cukup besar, berkisar antara 40-59% yang menjadikan minyak nabati ini sebagai bahan baku alternatif yang menarik untuk produksi biodiesel (Pandiangan *et al.*, 2016). Bagian-bagian biji karet dan komposisi dari biji karet ditunjukkan pada Gambar 3 dan Tabel 1.



**Gambar 3.** Bagian-Bagian Biji Karet (Kittigowittana *et al.*, 2013).

**Tabel 1.** Komposisi Biji Karet (Shokib *et al.*, 2010).

Komposisi	Kandungan (%)
Minyak	45.63
Abu	2.71
Air	3.71
Protein	22.17
Karbohidrat	24.21

### 2.4.2. Minyak Biji Karet

Minyak biji karet mengandung 55,9 - 58,5% asam lemak poli-tak jenuh seperti asam linoleat dan asam linolenat, 20,1 - 24,6% asam lemak mono-tidak jenuh seperti asam oleat, dan 18,9% asam lemak jenuh seperti asam palmitat dan asam stearat (Roschat *et al.*, 2017). Minyak biji karet merupakan minyak bukan untuk konsumsi karena terdapat senyawa beracun sianogenik glikosida dengan kandungan asam prussic yang dapat bereaksi dengan enzim. Minyak biji karet selama ini telah digunakan sebagai bahan baku pelumas, tinta percetakan, biodiesel, cat, dan resin (Kittigowittana *et al.*, 2013). Kandungan minyak biji karet tercantum dalam Tabel 2.

**Tabel 2.** Komposisi Minyak Biji Karet

Kandungan Asam Lemak	Komposisi (%)		
	(Roschat <i>et al.</i> , 2017)	(Gimbun <i>et al.</i> , 2013)	(Pandiangan <i>et al.</i> , 2017)
Asam palmitat	9,1	10,29	11,83
Asam stearat	5,6	8,68	13,27
Asam oleat	24,0	20,7	60,80
Asam linoleat	46,2	58,5	11,77
Asam linolenat	14,2	0,8	-
Asam lemak lainnya	0,9	1,04	2,33

Salah satu cara pengambilan minyak secara fisika adalah pengepresan sedangkan cara lain pengambilan minyak adalah dengan ekstraksi padat-cair dengan bantuan pelarut. Metode pengambilan minyak biji karet dengan pengepresan mekanik yaitu biji karet diberikan tekanan tinggi sehingga menyebabkan minyak yang terkandung didalamnya keluar. Jika menggunakan metode ekstraksi *solvent* mahal dan harus memiliki keterampilan khusus. Selain itu kualitas minyak yang dihasilkan dengan metode ekstraksi *solvent* sangat ditentukan oleh selektivitas pelarut dan proses pemisahan pelarut dari minyaknya. Minyak biji karet ataupun minyak nabati pada umumnya memiliki kekentalan yang relatif tinggi dibandingkan dengan minyak solar dari fraksi minyak bumi. Kekentalan ini dapat dikurangi dengan memutus percabangan rantai karbon tersebut melalui proses transesterifikasi menggunakan alkohol rantai pendek, misalnya metanol (Kusumaningtyas dan Bachtiar, 2013).

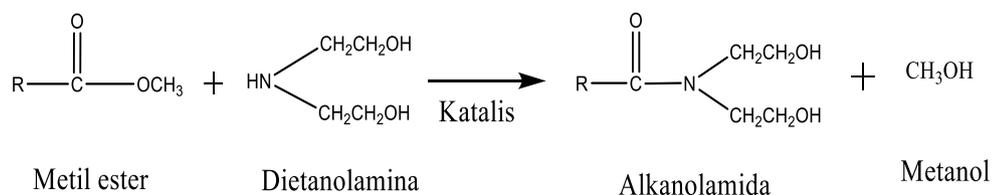
### 2.4.3. Dietanolamina dan Alkanolamida

Dietanolamina merupakan cairan tidak berwarna atau sedikit berwarna, memiliki rumus kimia  $\text{NH}(\text{C}_2\text{H}_4\text{OH})_2$ . Dietanolamina pertama kali diperoleh dengan mereaksikan dua mol dietanolamin dengan satu mol asam lemak. Dietanolamina adalah senyawa yang terdiri dari gugus amina dan alkohol. Dietanolamina (DEA) banyak digunakan untuk sintesis berbagai senyawa heterosiklik penting seperti morfin, piperazin, oksazolidin, dioksazin, *crown ether* dan cairan ionik. Dietanolamina dan turunannya memiliki aplikasi yang luas di industri farmasi, surfaktan, polisher, dan kosmetik. DEA digunakan sebagai perantara dalam industri kimia karet dan sebagai pengemulsi dan agen pendispersi di berbagai produk pertanian. DEA juga digunakan dalam perekat, semen, pelapis, elektroplating, tinta cetak, pelumas, cat, kertas, minyak bumi, batubara dan produksi polimer serta *finishing* tekstil. Oleh karena itu, dietanolamina (DEA) dapat digunakan untuk sintesis surfaktan (Yar *et al.*, 2013).

Sebagai inhibitor DEA merupakan inhibitor tipe campuran. DEA menghambat korosi baja ringan karena adsorpsi fisik inhibitor pada permukaan logam. Studi pada suhu yang lebih tinggi menunjukkan bahwa efisiensi penghambatan menurun dengan kenaikan suhu. Efisiensi penghambatan telah ditemukan meningkat dengan meningkatnya konsentrasi DEA dan menurun dengan meningkatnya suhu. Hasilnya menunjukkan tingkat penghambatan korosi yang tinggi pada konsentrasi yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa efek penghambatan DEA mungkin terutama karena adsorpsi gugus amina ( $\text{NH}-$ ) dan hidroksil ( $-\text{OH}$ ) pada permukaan logam (Singh *et al.*, 2007).

Alkanolamida merupakan senyawa amida yang banyak digunakan dalam industri kimia, kosmetik, maupun otomotif. Senyawa ini memiliki sifat deterjensi karena memiliki molekul *amphiphilic*. *Amphiphilic* adalah suatu molekul yang sekaligus memiliki gugus hidrofilik dan gugus lipofilik dimana bagian polar yang suka akan air (hidrofilik) dan bagian nonpolar yang suka akan minyak/lemak (lipofilik). Karena sifatnya, alkanolamida dapat berperan sebagai surfaktan. Surfaktan adalah bahan aktif permukaan senyawa yang tepat untuk bertindak sebagai agen pengemulsi, deterjen, pelumas dan sebagainya. Alkanolamida dapat diproduksi

dengan dua cara, yaitu dengan mereaksikan asam lemak dengan etanolamina atau dengan mereaksikan ester dengan dietanolamina. Mereaksikan asam lemak atau metil ester dengan etanolamin akan menghasilkan monoetanolamida. Sedangkan mereaksikan ester dengan dietanolamina akan menghasilkan dietanolamida (alkanolamida) (Manurung *et al.*, 2013). Penelitian tentang alkanolamida sebagai inhibitor korosi belum banyak dilaporkan, oleh karena itu dalam penelitian ini akan menguji aktivitas senyawa alkanolamida sebagai inhibitor korosi yang tidak beracun (*non toxic*), tidak iritasi dan ramah terhadap lingkungan. Alkanolamida dihasilkan ketika terjadi reaksi antara asam lemak atau metil ester dengan senyawa amina berupa dietanolamina. Reaksi alkanolamida dari senyawa asam lemak dan metil ester dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Reaksi Alkanolamida (Kumar and Ali, 2015)

## 2.5. Transesterifikasi

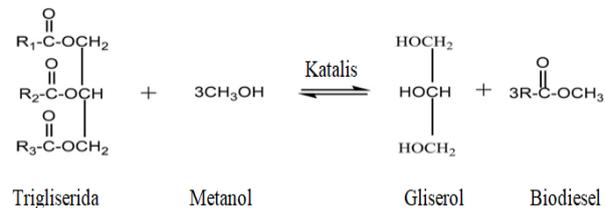
Transesterifikasi adalah salah satu metode yang digunakan untuk memproduksi biodiesel sebagai bahan bakar alternatif ramah lingkungan dan tidak beracun dari minyak tumbuhan atau hewan. Dalam reaksi ini metanol direaksikan dengan trigliserida untuk menghasilkan metil ester (biodiesel) dan gliserol. Dalam reaksi transesterifikasi, molekul trigliserida dalam bentuk minyak bereaksi dengan rantai pendek metil dari metanol dalam suasana katalis membentuk metil ester dan gliserol. Secara stoikiometri, setiap mol metanol bereaksi dengan asam lemak bebas untuk menghasilkan metil ester dan air (Khazaai *et al.*, 2017).

Adapun kelebihan dari metode transesterifikasi menurut (Shokib *et al.*, 2010) adalah sebagai berikut :

1. Memiliki waktu reaksi yang sangat cepat
2. Tidak terpengaruh oleh keberadaan air dalam minyak

3. Memiliki hasil biodiesel yang lebih tinggi
4. Tidak menghasilkan sabun dan limbah signifikan lainnya
5. Dapat digunakan dalam bahan baku apa pun
6. Mengubah asam lemak tak jenuh menjadi metil ester asam lemak.

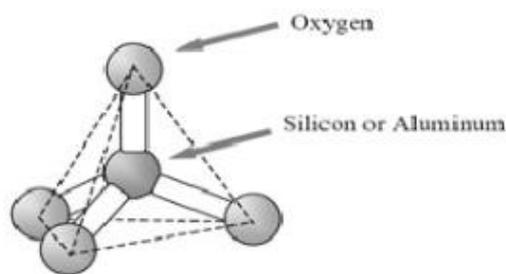
Reaksi transesterifikasi juga menggunakan katalis dalam reaksinya. Tanpa adanya katalis, reaksi berjalan dengan lambat. Katalis yang digunakan merupakan katalis homogen atau katalis heterogen untuk mengkatalisis reaksi tersebut melalui situs aktif asam atau basa pada katalis. Katalis heterogen dapat dijadikan solusi dalam pembuatan biodiesel karena bersifat lebih tidak korosif, tidak membutuhkan proses pemisahan yang mahal, serta dapat mengurangi dampak pencemaran lingkungan. Disamping itu dengan penggunaan katalis heterogen tidak akan ada pembentukan sabun melalui reaksi netralisasi asam lemak bebas atau saponifikasi trigliserida. Salah satu katalis asam yang dapat dikembangkan dalam pembuatan biodiesel adalah zeolit (Nasution dkk., 2019). Secara sederhana reaksi transesterifikasi ditunjukkan pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Reaksi Transesterifikasi (Meriatna dkk., 2016).

## 2.6. Zeolit

Zeolit merupakan suatu mineral yang terdiri atas kristal alumina silikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah dalam kerangka tiga dimensi. Ion-ion alkali tersebut dapat diganti oleh kation lain tanpa merusak struktur zeolit. Struktur zeolit terdiri dari  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  dan  $[\text{AlO}_4]^{5-}$  tetrahedral yang diperpanjang tak terhingga dalam tiga jaringan dimensi yang dihubungkan oleh atom oksigen,  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  dan  $[\text{AlO}_4]^{5-}$  tetrahedral ini dapat diwakili oleh bentuk  $\text{TO}_4$  (Mgbemere *et al.*, 2017). Struktur dasar zeolit ditunjukkan pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Struktur Dasar Zeolit  $TO_4$  (Mgbemere *et al.*, 2017).

Berdasarkan asalnya zeolit terbagi atas dua jenis yaitu zeolit alam dan zeolit sintetik, zeolit alam adalah zeolit yang ditambang langsung dari alam. Dengan demikian harganya jauh lebih murah daripada zeolit sintesis. Zeolit alam merupakan mineral yang jumlahnya banyak tetapi distribusinya tidak merata, zeolit alam memiliki selektivitas yang tinggi untuk ion logam berat dan ion amonium. Zeolit alam memiliki beberapa kelemahan, diantaranya mengandung banyak pengotor seperti Na, K, Ca, Mg dan Fe serta kristalinitasnya kurang baik. Keberadaan pengotor-pengotor tersebut dapat mengurangi aktivitas dari zeolit. Disisi lain, zeolit alam memiliki aplikasi yang terbatas dalam industri karena, sifat-sifatnya sangat bergantung pada struktur kristalnya. Kerugian utama adalah bahwa diameter saluran terlalu kecil (dalam kasus klinoptilolit, yang paling umum di alam adalah 0,30-4 nm ), yang tidak memungkinkan adsorpsi molekul gas dan senyawa organik yang lebih besar. Selain itu, endapan zeolit merupakan sumber daya yang tidak dapat diperbarui (Król, 2020).

Sedangkan zeolit sintetik adalah zeolit yang disintesis secara rekayasa sedemikian rupa sehingga didapatkan karakteristik yang diinginkan seperti struktur kristal, ukuran pori dan kerangka dari struktur zeolit tersebut (Singh *and* Jha, 2012). Pada zeolit sintetik dapat diperbaiki strukturnya dengan cara aktivasi dan modifikasi. Hal ini dapat dilakukan untuk memperbaiki karakter zeolit sehingga dapat digunakan sebagai katalis, adsorben, penyaringan molekul, pemisahan, dan penukar kation. Zeolit sintetik dikembangkan untuk mengatasi kelemahan dari zeolit alam antara lain karena komposisi mineral yang bervariasi dan ukuran pori-pori yang tidak seragam. Pengembangan zeolit sintetik ini dapat dilakukan dengan mengatur pori-porinya sehingga lebih spesifik pemanfaatannya. Zeolit sintetik

juga menunjukkan kapasitas adsorpsi yang jauh lebih tinggi untuk ion logam berat (misalnya  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{2+}$ ) daripada zeolit alam. Keuntungan lain dari zeolit sintetis dibandingkan yang alami adalah ukuran pori yang jauh lebih besar. Hal ini memungkinkan penyerapan molekul yang lebih besar, yang memperluas jangkauan aplikasi potensial (Król, 2020)

### **2.6.1. Zeolit A**

Zeolit A atau yang dikenal dengan sebutan Linde Type-A (LTA), merupakan suatu mineral anorganik yang berupa kristal dengan rumus kimia yang dibuat menurut rumus umum  $[\text{N}_2\text{O}.\text{Al}_2\text{O}_3.2\text{SiO}_2.x\text{H}_2\text{O}]$  (Simanjuntak *et al.*, 2021). Zeolit A merupakan tipe zeolit sintetis dengan nilai rasio Si/Al rendah yaitu 1 atau mendekati 1, zeolit dengan rasio Si/Al rendah jauh lebih polar dan dengan demikian menunjukkan kapasitas penyerapan yang lebih kuat. Sifat ini membuat zeolit dengan rasio Si/Al rendah sering digunakan dalam pengolahan limbah cair, peningkatan kualitas air dengan pengurangan kesadahan, dan sebagai penukar ion. Reaktan utama dalam sintesis zeolit adalah senyawa silika dan alumina. Zeolit A sebagai membran mampu untuk memisahkan molekul organik seperti etanol dan metanol dari air. Sebagai penukar ion, zeolit A memiliki kapasitas tukar kation yang cukup tinggi sehingga dapat dipertukarkan dengan logam yang mencemari lingkungan. Pada umumnya, zeolit A sintetis memiliki bentuk serbuk dengan ukuran partikel yang kecil (Rella dan Widiastuti, 2013).

### **2.7. Baja**

Baja merupakan salah satu jenis logam yang banyak digunakan dengan unsur karbon sebagai salah satu dasar campurannya. Di samping itu baja juga mengandung unsur-unsur lain seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), mangan (Mn) dan sebagainya yang jumlahnya dibatasi. Sifat baja pada umumnya sangat dipengaruhi oleh persentase karbon dan struktur mikro. Struktur mikro pada baja karbon dipengaruhi oleh perlakuan panas dan komposisi baja. Karbon dengan unsur campuran lain dalam baja membentuk karbida yang dapat menambah kekerasan, tahan gores dan tahan suhu baja. Perbedaan persentase karbon dalam

campuran logam baja karbon menjadi salah satu cara mengklasifikasikan baja (Nanulaitta dan Lillipaly, 2012). Menurut (Fatoni, 2016) baja dapat diklasifikasikan menjadi:

## 1. Baja Karbon

### a. Baja Karbon Rendah

Kadar karbon sampai 0,25% sangat luas penggunaannya, sebagai baja konstruksi umum, untuk baja profil rangka bangunan, baja tulang beton, rangka kendaraan, mur baut, plat, pipa dan lain-lain. Baja ini kekuatannya relatif rendah, tetapi keuletannya tinggi.

### b. Baja Karbon Menengah

Kadar karbon 0,25-0,55% lebih kuat dan keras. Penggunaan hampir sama dengan baja karbon rendah, digunakan untuk yang memerlukan kekuatan dan ketangguhan yang lebih tinggi. Juga banyak digunakan sebagai baja konstruksi mesin, untuk poros, roda gigi, rantai dan lain-lain.

### c. Baja Karbon Tinggi

Kadar karbon lebih dari 0,55% dengan sifat mekanik lebih kuat dan keras dari baja karbon rendah dan menengah tetapi keuletan dan ketangguhan lebih rendah. Baja jenis ini digunakan terutama untuk baja perkakas dan biasanya memerlukan sifat tahan aus misalnya untuk mata bor, tap dan mesin perkakas tangan.

## 2. Baja Paduan

Baja paduan adalah baja yang mempunyai kadar karbon sama dengan baja lunak, tetapi ditambah dengan sedikit unsur-unsur paduan. Penambahan unsur ini dapat meningkatkan kekuatan baja tanpa mengurangi keuletannya. Baja paduan banyak digunakan untuk kapal, jembatan, roda kereta api, ketel uap, tangki-tangki dan dalam permesinan.

### a. Baja Paduan Rendah

*Low alloy steel* atau baja paduan dengan kadar unsur paduan rendah (kurang dari 10), mempunyai kekuatan dan ketangguhan lebih tinggi daripada baja karbon dengan kekuatan yang sama. Sifat tahan korosi pada umumnya lebih baik dan banyak digunakan sebagai baja konstruksi mesin.

## b. Baja Paduan Tinggi

*High alloy steel* baja paduan dengan unsur paduan tinggi, mempunyai sifat khusus tertentu contohnya yaitu baja tahan karat (*stainless steel*), baja perkakas (*tool steel*, misalnya *High Speed Steel*) dan baja tahan panas (*heat resisting*).

## 2.8. Uji Aktivitas Inhibitor Korosi

Pengujian aktivitas senyawa inhibitor dapat dilakukan dengan mengukur laju korosi suatu sampel logam dalam larutan yang mengandung inhibitor. Penentuan laju korosi dilakukan dengan menggunakan metode kehilangan berat (*wheel test*)

### 2.8.1. Metode Kehilangan Berat (*Wheel Test*)

Metode kehilangan berat merupakan metode pengukuran laju korosi yang paling sederhana. Massa sampel sebelum dan setelah dilakukan uji ditimbang untuk mengetahui selisih massanya. Keuntungan dari teknik kehilangan berat adalah korosi yang sebenarnya terjadi dapat diamati pada sampel. Selain itu, teknik ini memungkinkan pemeriksaan visual, fisik dan kimia analisis produk korosi (Kumar *et al.*, 2014). Pengukuran korosi secara langsung menggunakan metode kehilangan berat dilakukan pada sampel kecil (kupon atau kawat) selama waktu tertentu. Kehilangan berat atau *wheel test* yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada penelitian (Ilim *et al.*, 2017) yang dapat dihitung berdasarkan Persamaan (11) :

$$CR = \frac{10 \cdot W_t \cdot 365}{A \cdot D \cdot t} \quad (11)$$

dengan:

CR ( <i>Corrosion rate</i> )	=	laju korosi (mmpy = <i>millimeter per year</i> )
Wt ( <i>Weight loss</i> )	=	kehilangan berat (gram)
A ( <i>area of coupon</i> )	=	luas permukaan (cm <sup>2</sup> )
D ( <i>density of metal</i> )	=	kerapatan (g cm <sup>-3</sup> ), setara dengan 7,86 g cm <sup>-3</sup> untuk baja lunak
t ( <i>time of exposure</i> )	=	waktu perlakuan (hari)

Untuk mengetahui kemampuan proteksi dari inhibitor dalam menghambat laju korosi dapat dilakukan dengan menghitung persen proteksi inhibitor menggunakan Persamaan (12) (Ilim *et al.*, 2017).

$$\%P = \frac{CR_o - CR_i}{CR_o} \times 100\% \quad (12)$$

dengan:

%P = persen proteksi

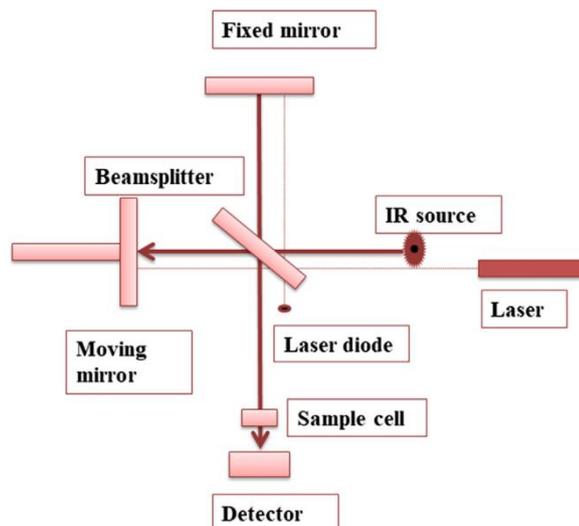
CR<sub>o</sub> = laju korosi tanpa inhibitor (blanko)

CR<sub>i</sub> = laju korosi dengan inhibitor

## 2.9. Analisis Instrumentasi

### 2.9.1. FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*)

*Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) adalah teknik yang digunakan untuk mendapatkan spektrum infra merah dari serapan atau emisi suatu padatan, cairan dan gas. Cara langsung untuk pengukuran absorpsi ini adalah dengan menyortkan berkas cahaya monokromatik pada sampel dan mengukur seberapa banyak sampel terserap (Song, 2017). Analisis FTIR digunakan untuk identifikasi bahan organik, anorganik, dan polimerik memanfaatkan sinar infra merah untuk memindai sampel. Perubahan pola karakteristik pita serapan dengan jelas menunjukkan adanya perubahan komposisi material. FTIR berguna dalam mengidentifikasi dan mengkarakterisasi bahan yang tidak diketahui, mendeteksi kontaminan dalam suatu bahan, menemukan aditif serta mengidentifikasi dekomposisi dan oksidasi. Diagram skematis FTIR digambarkan pada Gambar 7.

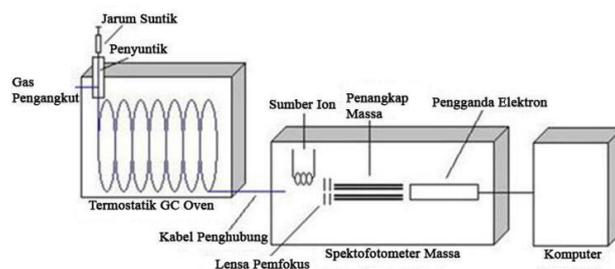


**Gambar 7.** Diagram Skema Spektrometer FTIR (Titus *et al.*, 2019).

Radiasi infra merah sekitar  $10.000\text{--}100\text{ cm}^{-1}$  dikirim melalui sampel dengan sebagian radiasi diserap dan sebagian lagi melewati. Radiasi yang diserap diubah oleh sampel menjadi energi getaran atau rotasi. Sinyal resultan yang diperoleh pada detektor adalah spektrum yang umumnya dari  $4000$  hingga  $400\text{ cm}^{-1}$ , yang merepresentasikan sidik jari molekuler sampel. Setiap molekul memiliki sidik jari yang unik, yang membuat FTIR menjadi alat yang sangat bermanfaat untuk identifikasi bahan kimia (Titus *et al.*, 2019).

### 2.9.2. GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*)

*Gas Chromatography-Mass Spectrometer* merupakan gabungan metode analisis antara GC dan MS. Dengan adanya gabungan kedua metode ini akan memberikan keuntungan yang lebih baik karena senyawa yang telah terpisahkan oleh GC dapat langsung dideteksi oleh MS kemudian GC-MS mampu memisahkan komponen-komponen dalam suatu analit sekaligus menentukan jenis komponen tersebut melalui spektrum massanya (Widelia, 2012). Bagian-bagian alat GC-MS ditunjukkan pada Gambar 8.



**Gambar 8.** Instrumentasi Kromatografi Gas-Spektrometer Massa (Widelia, 2012).

Prinsip kerja GC-MS adalah sampel yang berupa cairan diinjeksikan ke dalam injektor kemudian diuapkan. Sampel yang berbentuk uap dibawa oleh gas pembawa menuju kolom untuk proses pemisahan. Setelah terpisah, masing-masing komponen akan melalui ruang pengion dan dibombardir oleh elektron sehingga terjadi ionisasi. Fragmen-fragmen ion yang dihasilkan akan ditangkap oleh detektor dan dihasilkan spektrum massa (Widelia, 2012).

### 2.9.3. SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

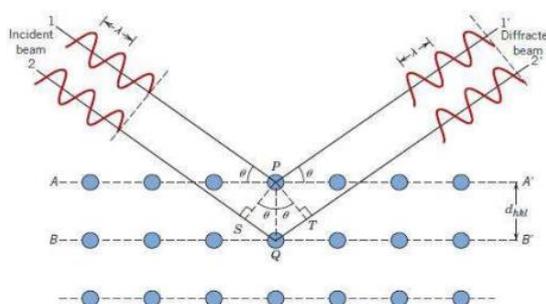
SEM adalah jenis mikroskop elektron yang menghasilkan gambar sampel dengan memindainya bersama berkas elektron terfokus. Elektron berinteraksi dengan atom dalam sampel, menghasilkan berbagai sinyal yang dapat dideteksi dan berisi informasi tentang topografi dan komposisi permukaan sampel (Wang, 2016).

Dalam SEM, ketika berkas elektron mengenai permukaan spesimen, ia berinteraksi dengan permukaan. Ketika pancaran elektron mengenai spesimen, sinar-X dan tiga jenis elektron dipancarkan: elektron hamburan balik (primer), elektron sekunder dan elektron Auger. SEM menggunakan primer atau *backscattered* dan sekunder elektron. Gambar beresolusi tinggi diproduksi oleh SEM yang mengungkapkan rincian sekitar 1-5 nm menggunakan elektron sekunder. Untuk mengidentifikasi komposisi unsur, sinar-X karakteristik digunakan dengan teknik yang dikenal sebagai EDX. SEM dan EDX dapat digabung untuk menentukan komposisi kimia dari spesimen (Titus *et al.*, 2019).

### 2.9.4. XRD (X-Ray Diffraction)

Difraksi sinar-X (XRD) adalah teknik non destruktif yang memberikan informasi rinci tentang struktur kristal material logam maupun paduan, mineral, polimer, material organik, superkonduktor dan konstanta kisi. XRD memberikan data-data difraksi dan kuantisasi intensitas difraksi pada sudut-sudut dari suatu bahan. Data yang diperoleh dari XRD berupa intensitas difraksi sinar-X yang terdifraksi dan sudut-sudut  $2\theta$ . Tiap pola yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu (Sima *et al.*, 2016).

Prinsip kerja XRD secara umum adalah XRD terdiri dari tiga bagian utama, yaitu tabung sinar-X, tempat objek sampel dan detektor sinar-X yang berisi katoda yang memanaskan filamen, sehingga menghasilkan elektron. Perbedaan tegangan menyebabkan percepatan elektron akan menembaki objek. Ketika elektron mempunyai tingkat energi yang tinggi dan menabrak elektron dalam objek sehingga dihasilkan pancaran sinar-X. Objek dan detektor berputar untuk menangkap dan merekam intensitas refleksi sinar-X. Detektor merekam dan memproses sinyal sinar-X dan mengolahnya dalam bentuk grafik. Tiap pola yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal dan memiliki orientasi tertentu (Hastuti, 2017).



**Gambar 9.** Ilustrasi difraksi sinar-X pada XRD (Hastuti, 2017).

Dari Gambar 9 dapat dideskripsikan sebagai berikut. Sinar datang yang menumbuk pada titik pada bidang pertama dan dihamburkan oleh atom P. Sinar datang yang kedua menumbuk bidang berikutnya dan dihamburkan oleh atom Q, sinar ini menempuh jarak  $SQ + QT$  bila dua sinar tersebut paralel dan satu fasa

(saling menguatkan). Jarak tempuh ini merupakan kelipatan ( $n$ ) panjang gelombang ( $\lambda$ ), sehingga persamaan menjadi (hukum bragg):

$$n\lambda = SQ + QT$$

$$n\lambda = d \sin \theta + d \sin \theta$$

$$n\lambda = 2 d \sin \theta \tag{18}$$

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan Januari 2021 sampai dengan Agustus 2021 di Laboratorium Kimia Anorganik/ Fisik Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Karakterisasi menggunakan XRD dilakukan di Divisi Karakterisasi Material, Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh November (ITS). Karakterisasi menggunakan GC-MS dilakukan di Laboratorium Instrumentasi FMIPA Terpadu Universitas Islam Indonesia. Karakterisasi FTIR dan SEM dilakukan di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung.

#### 3.2. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah; XRD (*X-Ray Diffraction*), FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*), GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*), SEM (*Scanning Electron Microscopy*), alat-alat gelas laboratorium, oven, saringan mesh 200, *autoclave*, *furnace*, *hotplate*, neraca analitik, *screw press*, pengaduk magnet, termometer, alat refluks, mikropipet dan jangka sorong.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah; sekam padi,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{NaOH}$ , indikator universal, akuades, aluminium foil, kertas saring, biji karet, metanol, dietanolamina,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SnCl}_3$ ,  $\text{HCl}$ , baja lunak, amplas grit (200, 400, 800, 1000, 1200) dan gas  $\text{CO}_2$ .

### 3.3. Prosedur Penelitian

#### 3.3.1. Preparasi Sekam Padi dan Ekstraksi Silika

Preparasi sekam padi dan ekstraksi silika dilakukan dengan mengikuti metode yang dilakukan oleh (Simanjuntak *et al.*, 2016). Sekam padi dikumpulkan dan dibersihkan dari pengotor, dengan cara dicuci berulang menggunakan air panas, kemudian akan terpisah sekam padi yang tenggelam dan yang mengapung. Sekam padi yang mengapung dibuang, sedangkan sekam padi yang tenggelam dikumpulkan kemudian direndam dengan larutan HNO<sub>3</sub> 10% selama 12 jam, setelah 12 jam dibilas dengan air bersih hingga bebas asam, dan dikeringkan di bawah sinar matahari untuk digunakan sebagai sampel ekstraksi silika.

Untuk ekstraksi silika sekam padi, digunakan 70 gram sekam padi yang dipanaskan di dalam larutan NaOH 1,5% hingga mendidih selama 30 menit. Hasil ekstraksi sekam padi yang telah mendidih selama 30 menit dikumpulkan, didinginkan pada suhu kamar, didiamkan selama 12 jam, dan disaring untuk memperoleh filtrat yang mengandung silika (sol silika). Filtrat (sol silika) yang telah didapatkan dinetralkan dengan cara ditambahkan larutan HNO<sub>3</sub> 10% secara bertahap hingga terbentuk gel silika, kemudian diuji keadaan pH gel silika yang terbentuk menggunakan indikator universal hingga didapatkan keadaan pH sekitar 7-8. Gel silika yang terbentuk didiamkan 1 malam pada suhu ruang, lalu dibilas dengan air panas untuk menghilangkan kelebihan asam. Gel silika dikeringkan dalam oven pada suhu 100 °C selama 8 jam. Silika padat digerus dan disaring menggunakan saringan 200 mesh, sehingga didapatkan silika berbentuk bubuk. Silika bubuk ini selanjutnya digunakan untuk mensintesis zeolit A.

#### 3.3.2. Sintesis dan Kalsinasi Zeolit A

Sintesis dan kalsinasi katalis zeolit-A dilakukan dengan mengikuti metode yang dilakukan oleh (Simanjuntak *et al.*, 2019). NaOH ditimbang sebanyak 20 gram kemudian dilarutkan dalam 200 mL aquades, ditambahkan dengan 30 gram silika bubuk dan di-stirrer selama 3 jam pada suhu 80 °C, campuran didinginkan dan disaring, filtrat yang diperoleh di-*aging* selama 24 jam. Filtrat yang diperoleh ditambahkan 13,5 gram aluminium foil secara perlahan agar tidak menimbulkan

letupan kemudian di-*stirrer* selama 3 jam, didiamkan selama 24 jam dan dimasukkan ke dalam *autoclave*. Untuk mendapatkan padatan kering, campuran dikristalisasi dalam oven dengan suhu 100 °C selama 96 jam lalu dicuci dengan aquades hingga pH 7-8 kemudian dikeringkan pada suhu 80 °C sehingga didapatkan bubuk prekursor zeolit-A. Bubuk prekursor zeolit-A yang diperoleh dikalsinasi dalam *furnace* dengan suhu 550 °C selama 6 jam. Zeolit-A hasil kalsinasi didiamkan dalam *furnace* hingga dingin dan selanjutnya dikarakterisasi untuk digunakan sebagai katalis transesterifikasi dan amidasi.

### **3.3.3. Karakterisasi Zeolit A**

Karakterisasi zeolit A yang dihasilkan akan dilakukan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dan XRD (*X-Ray Diffraction*).

### **3.3.4. Preparasi Minyak Biji Karet**

Preparasi minyak biji karet dilakukan dengan menggunakan metode yang telah dilakukan oleh (Pandiangan *et al.*, 2017). Biji karet disiapkan, dikupas dari kulitnya untuk mengambil biji karet bagian dalam (kernel). Kernel yang telah diperoleh dipotong menjadi bagian yang lebih kecil, dikeringkan dengan cahaya matahari hingga kernel kering dan dioven dengan suhu 80 °C selama 30 menit untuk menghilangkan kandungan air dalam kernel yang masih tersisa. Kernel yang telah kering dipress untuk memisahkan minyak dan ampas kernel menggunakan *screw press*. Minyak biji karet yang diperoleh akan digunakan untuk tahap transesterifikasi.

### **3.3.5. Transesterifikasi Minyak Biji Karet**

Transesterifikasi minyak biji karet dilakukan dengan menggunakan metode yang telah dilakukan oleh (Pandiangan *et al.*, 2017). Minyak biji karet sebanyak 25 mL, metanol 150 mL, zeolit A 2,5 gram dan pengaduk magnet dimasukkan ke dalam labu bundar 500 mL, dilengkapi dengan kondensor refluks. Campuran tersebut direfluks selama 6 jam dengan suhu 70 °C. Hasil refluks disaring menggunakan corong pisah dan didiamkan selama 12 jam hingga membentuk 2 fase. Fase bagian atas merupakan metil ester dan bagian bawah merupakan gliserol. Fase

atas dievaporasi menggunakan *rotary evaporator* untuk menghilangkan sisa alkohol. Metil ester yang didapatkan dikarakterisasi dan digunakan sebagai bahan baku pembuatan inhibitor korosi.

### **3.3.6. Karakterisasi Produk Transesterifikasi (Metil Ester)**

Karakterisasi metil ester dilakukan menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) dan GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*).

### **3.3.7. Pembuatan Inhibitor Korosi**

Pembuatan inhibitor korosi pada penelitian ini dilakukan dengan mencampurkan metil ester hasil transesterifikasi dengan dietanolamina [ $\text{NH}(\text{C}_2\text{H}_4\text{OH})_2$ ] di dalam botol reagen lalu dihomogenkan. Pencampuran antara metil ester dan dietanolamina dibuat dengan variasi sebagai berikut; 5 mL metil ester, 1 mL dietanolamina : 4mL metil ester, 2 mL dietanolamina : 3 mL metil ester, 3 mL dietanolamina : 2 mL metil ester , 4 mL dietanolamina : 1 mL metil ester, 5 mL dietanolamina dan 5 mL minyak biji karet sebagai perbandingan. Larutan hasil pencampuran ini kemudian akan diuji menggunakan metode *wheel test*.

### **3.3.8. Karakterisasi Bahan Produk Inhibitor**

Karakterisasi produk campuran metil ester dan dietanolamina terbaik, minyak biji karet dan dietanolamina sebagai larutan uji inhibitor korosi dilakukan menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*).

### **3.3.9. Persiapan Larutan**

Persiapan larutan terdiri dari pembuatan medium korosif, larutan induk inhibitor, dan *Clarker's Solution*.

#### **a. Pembuatan Medium Korosif**

Medium korosif yang akan digunakan dalam penelitian adalah larutan NaCl 3% yang dibuat dengan melarutkan kristal NaCl sebanyak 30 gram dan 0,1 gram  $\text{NaHCO}_3$  ke dalam labu ukur 1000 mL, kemudian ditambahkan aquades sampai terra dan dihomogenkan.

b. Pembuatan Larutan Induk Inhibitor

Larutan inhibitor dibuat dengan melarutkan senyawa inhibitor sebanyak 0,5 gram dengan pelarut metanol, dalam labu ukur 50 mL sehingga didapat larutan induk inhibitor korosi 10.000 ppm.

c. Pembuatan *Clarke's Solution*

*Clarke's solution* dibuat dengan mencampurkan 2 gram  $Sb_2O_3$  dan 5 gram  $SnCl_2$  yang dilarutkan dalam labu ukur 50 mL dengan HCl pekat sampai tanda tera dan dihomogenkan.

### 3.3.10. Uji Aktivitas Inhibitor Korosi

Uji aktivitas larutan inhibitor korosi dilakukan dengan penentuan laju korosi. Penentuan laju korosi dapat dilakukan dengan menggunakan metode *wheel test*. Metode kehilangan berat meliputi beberapa tahap yaitu; persiapan sampel, persiapan botol, dan pemindahan kupon.

a. Persiapan Sampel

Baja lunak dibersihkan menggunakan amplas dengan grit kekasaran 200, 400, 800, 1000 dan 1200 agar didapatkan baja lunak dengan permukaan halus dan mengkilap. Kupon dipotong dengan ukuran (2 x 1 x 0,1) cm. Kupon diukur luasnya (panjang, lebar dan tebal) dengan menggunakan mikrometer sekrup dan ditimbang berat awalnya dengan neraca analitik.

b. Persiapan Botol

Disiapkan 8 botol duran 250 mL kemudian diisi dengan 175 mL larutan medium korosif. Masing-masing botol duran ditambahkan larutan uji inhibitor sebanyak 2.625 mL menggunakan mikropipet. Kupon baja lunak yang telah diukur luas dan ditimbang beratnya, dimasukkan ke dalam masing-masing botol duran. Larutan uji dialiri gas  $CO_2$  selama 45 menit. Aliran gas  $CO_2$  dihentikan hati-hati dengan memastikan tidak ada kontaminan oksigen, botol duran langsung ditutup dan ditempatkan di dalam suhu ruang selama 24 jam.

c. Pemindahan Kupon

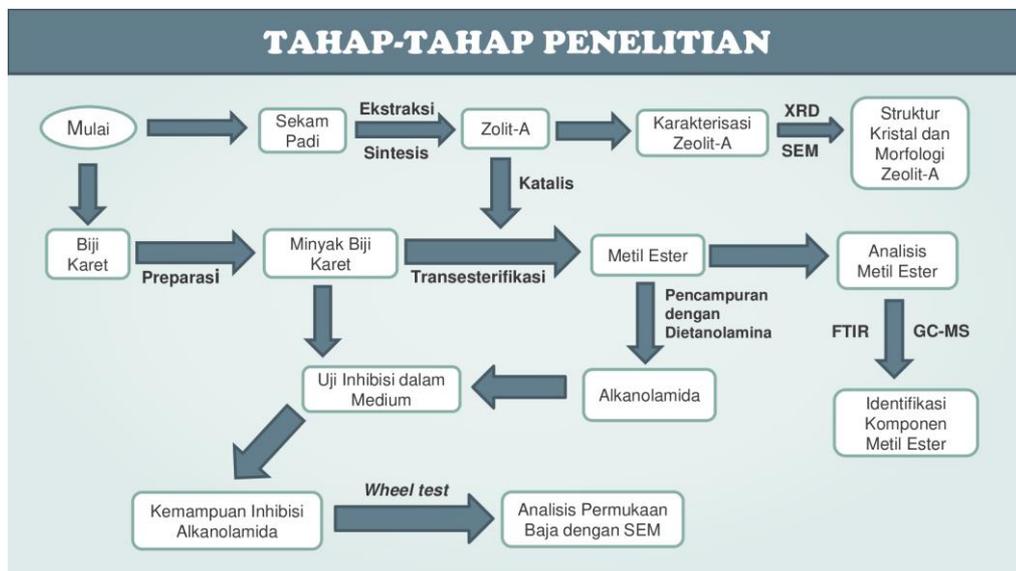
Botol-botol dipindahkan dari *wheel oven* dan dibuka tutupnya. Kupon dipindahkan dan dicuci dengan *Clarke's solution* untuk menghilangkan produk korosi dari permukaan, kemudian dibilas dengan air dan metanol. Kupon yang

sudah kering ditimbang menggunakan neraca analitik. Perhitungan laju korosi menggunakan persamaan (11) dan persen proteksi menggunakan persamaan (12).

### 3.3.11. Analisis Permukaan

Analisis permukaan baja lunak dilakukan dengan menyiapkan percobaan seperti *wheel test* tetapi produk korosi telah dibersihkan. Kupon baja lunak disiapkan dua perlakuan; baja lunak dalam larutan korosif dan baja lunak dalam larutan korosif mengandung inhibitor. Diamati dengan menggunakan alat instrumentasi yaitu *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

Tahap- tahap kerja penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 10.



**Gambar 10.** Tahap-Tahap Kerja Penelitian

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Zeolit-A dari silika sekam padi telah berhasil disintesis yang ditunjukkan oleh hasil karakterisasi menggunakan XRD dan SEM.
2. Zeolit-A sebagai katalis dalam reaksi transesterifikasi menggunakan minyak biji karet memiliki aktivitas yang baik.
3. Karakterisasi FTIR metil ester hasil transesterifikasi minyak biji karet menggunakan zeolit A menunjukkan bahwa metil ester telah berhasil terbentuk dengan adanya gugus ester  $-(C=O)-$  pada bilangan gelombang  $1714,6\text{ cm}^{-1}$ .
4. Karakterisasi GC-MS metil ester hasil transesterifikasi menggunakan zeolit A menunjukkan bahwa sudah terbentuknya metil ester dengan metil linoleat sebagai penyusun utama metil ester.
5. Uji aktivitas senyawa larutan inhibitor dengan menggunakan metode *wheel test* menunjukkan bahwa larutan inhibitor dengan perbandingan 3 mL dietanolamina : 2 mL metil ester memiliki persen inhibisi terbaik yaitu sebesar 60,11%.

### 5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, telah dihasilkan produk inhibitor korosi dengan persen inhibisi sebesar 60,11 %. Selanjutnya perlu dilakukan percobaan dengan variasi metil ester dan dietanolamina yang berbeda, juga dapat dilakukan variasi suhu saat melakukan pencampuran untuk mengetahui persen inhibisi yang lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aarathi, V., Harshita, E., Nalinashan, A., Sidharthh, A and Krishna P. R. 2019. Synthesis and Characterisation of Rubber Seed Oil Trans-Esterified Biodiesel Using Cement Clinker Catalysts. *International Journal of Sustainable Energy*, 38 (4), 333–47.
- Ahmad, J., Suzana, Y., Awais, B., Ruzaimah, K and Nik, M. 2014. Study of Fuel Properties of Rubber Seed Oil Based Biodiesel. *Energy Conversion and Management*, 78 (1), 266–75.
- Ali, M. M., Tun, T. I., Noviya, D and Khotib, M. 2019. Reaction Products of Crude Palm Oil-Based Fatty Acids and Monoethanolamine as Corrosion Inhibitors of Carbon Steel Reaction Products of Crude Palm Oil -Based Fatty Acids and Monoethanolamine as Corrosion Inhibitors of Carbon Steel. *Makara Journal of Science*, 23 (3), 155–61.
- Almahdali, K., Walanda, D dan Napitupulu, M. 2019. Pengaruh Konsentrasi Ekstrak Biji Mangga (*Mangifera Indica L.*) sebagai Inhibitor Organik pada Korosi Paku Besi dalam Medium Larutan NaCl. *J. Akademika Kim*, 8 (1), 38–42.
- Córdoba, L. C., Montemor, M. F., Thibaud, C. Silane /TiO<sub>2</sub> Coating to Control the Corrosion Rate of Magnesium Alloys in Simulated Body Fluid. *Corrosion Science*, 104 (2016), 9–10.
- Elgaddafi, R., Ramadan, A and Subhash, S. 2020. Corrosion of Carbon Steel in CO<sub>2</sub> Saturated Brine at Elevated Temperatures. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 196 (2), 1-17.
- Elsharif, A. M., Samar, A. A., Ismail, A and Haya, A. A. 2020. Synthesis of a New Class of Corrosion Inhibitors Derived from Natural Fatty Acid :Docosenoic Acid Amide Derivatives for Oil and Gas Industry. *Arabian Journal of Chemistry*, 13 (5), 1–16.
- Fatoni, Z. 2016. Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Sifat Kekerasan Baja Paduan Rendah untuk Bahan Pisau Penyayat Batang Karet. *Jurnal Desiminasi Teknologi*, 4 (1), 56–63.

- Gimbun, J., ALI, S., Kanwal, C. C. S. W., Shah, L. A., Hidayah, N., Cheng, C. K and Nurdin, S. 2013. Biodiesel Production from Rubber Seed Oil Using Activated Cement Clinker as Catalyst. *Procedia Engineering*, 53 (1), 13–19.
- Hakim, A dan Mukhtadi, E. 2017. Pembuatan Minyak Biji Karet dari Biji Karet dengan Menggunakan Metode Screw Pressing: Analisis Produk Penghitungan Rendemen, Penentuan Kadar Air Minyak, Analisa Densitas, Analisa Viskositas, Analisa Angka Asam Dan Analisa Angka Penyabunan. *Metana*, 13 (1), 13.
- Hastuti, I. 2017. *Karakterisasi Butiran Sub Mikron Nanomaterial Karbon Batok Kelapa dengan Variasi Waktu Pengadukan Bahan yang digunakan untuk Filtrasi Logam Fe Dari Limbah Air Selokan Mataram Berdasarkan Uji Uv-Vis, XRD, SEM dan AAS*. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.
- Herliana., Ilim., Simanjuntak, W and Pandiangan, K. D. 2021. Transesterification of Coconut Oil (*Cocos Nucifera L.*) into Biodiesel Using Zeolite-A Catalyst Based on Rice Husk Silica and Aluminum Foil. *Journal of Physics, Conference Series*, 1751 (1), 1–9.
- Ikhsan, H. A., Moralista, E dan Dudi, U. N. 2018. Penentuan Laju Korosi dan Sisa Umur Pakai (*Remaining Service Life / RSL*) pada Jalur Pipa Transportasi Gas Jumper Simpang Brimob–NFG (*Non Flare Gas*) Mundu di PT Pertamina EP Asset 3 Jatibarang Field Kabupaten Indramayu Provinsi Jawa Barat Determinatio. *Teknik Pertambangan*, 1 (1), 647–57.
- Ilim., Pandiangan, K.D dan Sudrajat. 2007. Studi Penggunaan Tumbuhan Tembakau, Teh dan Kopi sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak dalam Air Laut Buatan yang Jenuh CO<sub>2</sub>. *Jurnal Mekanikal*, 13 (2), 63-163.
- Ilim., Jefferson, A., Simanjuntak, W., Jeanin, M., Syah, Y. M., Bundjali, B and Buchari, B. 2016. Synthesis and Characterization of Oligomer 4-Vinylpyridine as A Corrosion Inhibitor for Mild Steel in CO<sub>2</sub> Saturated Brine Solution. *Indonesian Journal of Chemistry*, 16 (2), 198–207.
- Ilim. 2017. *Oligomer 4-Vinilpiridin Sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak dalam Larutan NaCl 3% Jenuh dengan Karbon Dioksida*. Disertasi. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Ilim., Bahri, S., Simanjuntak, W., Syah, Y.M., Bundjali, B and Buchari, B. 2017. Performance of Oligomer 4-Vinylpiperidine as a Carbon Dioxide Corrosion Inhibitor of Mild Steel. *Journal of Materials and Environmental Science*, 8 (7), 2381–2390.
- Indrayani, N. L. 2016. Studi Pengaruh Ekstrak Eceng Gondok sebagai Inhibitor Korosi untuk Pipa Baja Ss400 pada Lingkungan Air. *Jurnal Imiah Teknik Mesin*, 4 (2), 47–56.

- Kahyarian, A and Nestic, S. 2020. On the Mechanism of Carbon Dioxide Corrosion of Mild Steel : Experimental Investigation and Mathematical Modeling at Elevated Pressures and Non- Ideal Solutions. *Corrosion Science* 173 ( 2019), 108-719.
- Khazaai, S., Norhafiza,M., Maniam, G. P., Rahim, M. H.A., Yusoff, M. M and Matsumura, Y. 2017. Review on Methyl Ester Production from Inedible Rubber Seed Oil under Various Catalysts. *Industrial Crops and Products*, 97 (3), 191–195.
- Kittigowittana, K., Wongsakul, S., Krisdaphong, P., Jimtaisong, A and Saewan, N. 2013. Fatty Acid Composition and Biological Activities of Seed Oil from Rubber (*Hevea Brasiliensis*) Cultivar RRIM 600. *International Journal of Applied Research in Natural Products*, 6 (2), 1–7.
- Król, M. 2020. Natural vs. Synthetic Zeolites. *Journal Crystals*, 10 (7), 1–8.
- Kumar, D and Ali, A. 2015. Direct Synthesis of Fatty Acid Alkanolamides and Fatty Acid Alkyl Esters from High Free Fatty Acid Containing Triglycerides as Lubricity Improvers Using Heterogeneous Catalyst. *Fuel*, 159 (1), 845–853.
- Kumar, N., Singh, A. K., Ajit, K and Sushil, P. 2014. Corrosion Behaviour Of Austenitic Stainless Steel Grade 316 In Strong Acid Solution. *International Journal of Advance Research IJOAR*, 2 (3), 1–9.
- Kusumaningtyas, R. D dan Bachtiar, A. 2013. Sintesis Biodisel dari Minyak Biji Karet dengan Variasi Suhu dan Konsentrasi Koh untuk Tahapan Transesterifikasi. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 1 (2), 1-20.
- Manurung, R., Sinaga,R. A and Simatupang, R. T. 2013. Kinetics of Amidation for the Synthesis of Diethanolamide from Methyl Ester and Diethanolamine by Using Sulphuric Acid Catalyst. *IInt. j. Innov. Res. Sci. Eng. Technol*, 2 (9), 4205–4210.
- Masyithah, Z., Yudhika,S. R., Simanjuntak, L and Ginting, A. 2019. Optimization of Alkyl-Diethanolamide Synthesis from Fatty Acid Methyl Ester of Coconut Oil Using Box-Behnken Design. *Rasayan Journal of Chemistry*, 12 (2), 733–740.
- Meriatna., Suryati and Evana. 2016. “Kajian Pengaruh Konsentrasi Natrium Hidrosulfit (NaHSO<sub>3</sub>) dan Temperatur dalam Pembuatan Surfaktan Metil Ester Sulfonat (MES) dari Crude Palm Oil (CPO) dengan Metode Sulfonasi. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 5 (1), 45–56.
- Mgbemere, H. E, Ekpe, I. C and Lawal, I. G. 2017. Zeolite Synthesis, Characterisation and Application Areas: A Review. *International Research Journal of Environmental Sciences*, 6 (10), 45–59.

- Nanulaitta, N dan Lillipaly, E. 2012. Analisa Sifat Kekerasan Baja St-42 dengan Pengaruh Besarnya Butiran Media Katalisator ( Tulang Sapi ( $\text{CaCO}_3$ )) Melalui Proses Pengarbonan Padat (Pack Carburizing). *Teknologi*, 9 (2), 985–994.
- Nasution, T., Pulungan, A. M., Sihombing, J. L., Wiliranti, Y. A and Pulungan, A. N. 2019. Synthesis of Biodiesel From Rubber Seed Oil with Acid and Base Activated Natural Zeolite Catalyst. *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology*, 02, 125 – 130.
- Nugroho, F. 2015. Penggunaan Inhibitor untuk Meningkatkan Ketahanan Korosi pada Baja Karbon Rendah. *Angkasa*, 7 (1), 151–58.
- Pandiangan, K. D., Simanjuntak, W., Jamarun, N and Arief, S. 2021. The Use of  $\text{MgO/SiO}_2$  as Catalyst for Transesterification of Rubber Seed Oil with Different Alcohols. *Journal of Physics: Conference Series*, 1751 (1), 1–8.
- Pandiangan, K. D., Jamarun, N., Arief, S., Simanjuntak, W and Rilyanti, M. 2016. The Effect of Calcination Temperatures on the Activity of  $\text{CaO}$  and  $\text{CaO/SiO}_2$  Heterogeneous Catalyst for Transesterification of Rubber Seed Oil in the Presence of Coconut Oil as a Co-Reactant. *Oriental Journal of Chemistry*, 32 (6), 3021–3026.
- Pandiangan, K. D., Wasinton, S., Rilyanti, M., Jamarun, N and Arief, S. 2017. Influence of Kinetic Variables on Rubber Seed Oil Trans-Esterification Using Bifunctional Catalyst  $\text{CaO-MgO/SiO}_2$ . *Oriental Journal of Chemistry*, 33 (6), 2891–2898.
- Park, S. H., Jong, H. K., Chang, B. C and Gon, S. 2015. Fine Control of Particle Size by Seeding and Ageing under Agitation in the Synthesis of Analcime Zeolite. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 32 (12), 2512–2518.
- Putra, I. E dan Kasuma, N. S. 2018. Pengaruh Inhibitor Daun Gambir Terhadap Laju Korosi Baja Karbon Rendah dalam Larutan  $\text{HCl}$  1 %. *Jurnal Momentum*, 20 (1), 25–30.
- Putra, I. E dan Tanjung, P. 2020. Pengaruh Inhibitor Ekstrak Daun Rambutan Terhadap Laju Korosi pada Besi Cor Blok Mobil Sedan Nissan dalam Larutan  $\text{HCl}$  1 %. *Jurnal Teknik Mesin Institut Teknologi Padang*, 10 (1), 41–45.
- Rella, P dan Widiastuti, N. 2013. Sintesis dan Karakterisasi Zeolit-A Berpendukung Material Serat dengan Variasi Jumlah Material Pendukung. *Sains dan Seni*, 2 (1), 1–5.

- Roschat, W., Siritanon, T., Yoosuk, B., Sudyoadsuk, T and Promarak, V. 2017. Rubber Seed Oil as Potential Non-Edible Feedstock for Biodiesel Production Using Heterogeneous Catalyst in Thailand. *Renewable Energy*, 101 (2), 937–944.
- Sabarish, C.S., Sebastian, J and Muraleedharan. 2016. Extraction of Oil from Rubber Seed through Hydraulic Press and Kinetic Study of Acid Esterification of Rubber Seed Oil. *Procedia Technology*, 25 (4), 1006–10013.
- Setiawan, A., Nugroho, A., Mayangsari, N. E dan Widiyastuti. 2018. Karakteristik Inhibisi Korosi Baja Karbon di Dalam Larutan HCl Menggunakan Ekstrak Daun Tembakau. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 13 (2), 144–153.
- Setyowati, L. A., Dimarzio, G dan Astuti, D. H. 2020. Aplikasi Ekstrak Kulit Buah Nanas Sebagai Inhibitor Korosi Pada Baja Di Lingkungan NaCl<sub>3</sub> , 5 %. *Journal of Chemical and Process Engineering*, 01 (2), 1–6.
- Shokib, A., Gumanti, P and Rachimoellah, M. 2010. Biodiesel Production from Rubber Seed Oil by Supercritical Methanol Method. *IPTEK The Journal for Technology and Science*, 21 (2), 21–24.
- Sima, F., Ristoscu, C., Duta, L., Gallet, O., Anselme, K and Mihailescu, I. N. 2016. *Laser Thin Films Deposition and Characterization for Biomedical Applications. Laser Surface Modification of Biomaterials: Techniques and Applications*. Haute Alsace University : Elsevier Ltd. Prancis.
- Simanjuntak, W., Pandiangan, K. D., Sembiring, Z., Simanjuntak, A and Hadi, S. 2021. The Effect of Crystallization Time on Structure, Microstructure, and Catalytic Activity of Zeolite-A Synthesized from Rice Husk Silica and Food-Grade Aluminum Foil. *Biomass and Bioenergy*, 148 (2), 1–7.
- Simanjuntak, W., Pandiangan, K. D., Sembiring, Z and Simanjuntak, A. 2019. Liquid Fuel Production by Zeolite-A Catalyzed Pyrolysis of Mixed Cassava Solid Waste and Rubber Seed Oil. *Oriental Journal Of Chemistry*, 35 (1), 0–5.
- Simanjuntak, W., Sembiring, S., Pandiangan, K. D., Syani, F and Situmeang, T. M. 2016. The Use of Liquid Smoke as a Substitute for Nitric Acid for Extraction of Amorphous Silica from Rice Husk through Sol-Gel Route. *Oriental Journal of Chemistry*, 32 (4), 2079–2085.
- Singh, B and Jha, D. N. 2012. Zeolitization Characteristics of Fly Ashes From Wet- and Dry- Disposal Systems. *Acta Geotechnica Slovenica*, 2 (2), 63–71.
- Singh, M. R., Bhrara, K and Singh, G. 2007. The Inhibitory Effect of Diethanolamine on Corrosion of Mild Steel in 0.5 M Sulphuric Acidic Medium. *Portugaliae Electrochimica Acta*, 26 (6), 479–492.

- Song, K. 2017. *Interphase Characterization in Rubber Nanocomposites*. Massachusetts Institute of Technology. Elsevier Ltd. Cambridge.
- Souza, A. V., Janaína, C., Gomes, J. A. C. P., Palermo, L. C. M and Mansur, C. R. E. 2020. Development and Application of a Passion Fruit Seed Oil Microemulsion as Corrosion Inhibitor of P110 Carbon Steel in CO<sub>2</sub> Saturated Brine. *Colloids and Surfaces A* 599, (1), 124-934.
- Sudiarti, T. 2017. Adsorpsi Senyawa 2,3-Difenil-Imidazo [1,2-A] Piridin sebagai Inhibitor Korosi Baja Karbon dalam Larutan Elektrolit Jenuh Karbon Dioksida. *Science and Technology*, 9 (2), 182–196.
- Titus, D., James J. S and Roopan, S. M. 2019. *Green Synthesis, Characterization and Applications of Nanoparticles*. Chemistry of Heterocycles & Natural Product Research Laboratory. Elsevier Inc. India.
- Turnip, L., Handani, S., Mulyadi, S. 2015. Pengaruh Penambahan Inhibitor Ekstrak Kulit Buah Manggis Terhadap Penurunan Laju Korosi Baja ST-37 . *Jurnal Fisika Unand*, 4 (2), 144–149.
- Utami, M., Wijaya, K., Syoufian, A and Wicaksono, S. H. 2020. Catalytic Synthesis of Diethanolamide Surfactant from Used Cooking Oil. *Eksakta: Journal of Sciences and Data Analysis*, 20 (2), 133–138.
- Velazquez, T. N., Martinez, H., Calderon, P.J., Vazquez, E.V., Gonzalez, R and Martinez, M. 2018. Green Chemistry Letters and Reviews Use of an Amide-Type Corrosion Inhibitor Synthesized from the Coffee Bagasse Oil on the Corrosion of Cu in NaCl. *Green Chemistry Letters And Reviews*, 11 (1), 1–11.
- Wang, G. C. 2016. *The Utilization of Slag in Civil Infrastructure Construction*. Woodhead Publishing. Elsevier Inc. Carolina.
- Widelia, Irena. 2012. *Analisis Kualitatif dan Kuantitatif Narkotika Jenis Kristal Metamfetamina (Shabu) menggunakan GC-MS*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung. Bandung.
- Yar, M., Mushtaq, N and Afzal, S. 2013. Synthesis, Reactions, Applications, and Biological Activity of Diethanolamine and Its Derivatives. *Russian Journal of Organic Chemistry*, 49 (7), 949–67.
- Zahra, F. A., Bariyah, A dan Luki, O.N. 2019. Ekstrak Kafein Ampas Kopi Sebagai Inhibitor Korosi Baja Murni dalam. *Sains dan Teknologi*. 2 (2019), 1–9.