

KONVERSI METIL ESTER DARI MINYAK BIJI KARET (*Hevea brasiliensis*) MENGGUNAKAN KATALIS ZEOLIT-Y DENGAN METODE REFLUKS MENJADI SENYAWA NITROGEN DAN UJI AKTIVITAS SEBAGAI INHIBITOR KOROSI BAJA LUNAK

(Skripsi)

Oleh

ULI ASARI



**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRACT

CONVERSION OF METHYL ESTER FROM RUBBER SEED OIL (*Hevea brasiliensis*) USING ZEOLITE-Y CATALYST WITH REFLUX METHOD INTO NITROGEN COMPOUNDS AND TEST ITS ACTIVITY AS A GREEN CORROSION INHIBITOR OF MILD STEEL

By

Uli Asari

The research was conducted to convert methyl ester rubber seed oil into nitrogen compound using zeolite-Y catalyst with the reflux method. Methyl ester obtained through the transesterification process of rubber seed oil with methanol and zeolite-Y catalyst which was refluxed at temperature of 70°C for 6 hours. The nitrogen compound was obtained through an amidation reaction by preparing 3 samples based on methyl ester from rubber seed oil and diethanolamine with varying ratios of 1:1, 1.5:1, and 2:1 using the reflux method at temperature of 160°C for 3 hours. The amidation product obtained was characterized using GC-MS and FTIR, and then used as corrosion inhibitors for mild steel in CO₂ saturated 3% NaCl solution using wheel test method. The surface morphology of the mild steels were characterized using SEM. GC-MS results of methyl esters show that rubber seed oil has been converted into ester compounds consisting of 9 types of methyl esters with the highest composition being methyl linoleate with 29.51%. While the amidation product at ratio variation of 1:1 contains nitrogen compounds of 32.72%. The results of FTIR analysis show that rubber seed oil has been converted into methyl ester shown at wave number 1744 cm⁻¹ which is the C=O ester stretching vibration. Furthermore, methyl esters have been converted into amide groups as indicated by the wave number 1617 cm⁻¹ which is the vibration of the C = O amide group and is reinforced by the presence of C-N groups at wave numbers 1118 cm⁻¹ and 1053 cm⁻¹. The results of corrosion inhibitor testing on the three amidation samples showed protection percentage results of 95.86% (ratio 1:1), 91.37% (ratio 1.5:1) and 90.47% (ratio 2:1). The highest percentage of protection is shown by the sample with a 1:1 ratio variation and is supported by SEM analysis which shows that the mild steel morphology is well protected. Based on the results obtained in this research, it is showed that nitrogen compound derived from rubber seed oil have the potential to act as green corrosion inhibitors.

Keywords: Rubber seed oil methyl ester, zeolite-Y, nitrogen compounds, corrosion inhibitors, and *wheel test*.

ABSTRAK

KONVERSI METIL ESTER DARI MINYAK BIJI KARET (*Hevea brasiliensis*) MENGGUNAKAN KATALIS ZEOLIT-Y DENGAN METODE REFLUKS MENJADI SENYAWA NITROGEN DAN UJI AKTIVITAS SEBAGAI INHIBITOR KOROSI BAJA LUNAK

Oleh

Uli Asari

Penelitian ini telah dilakukan untuk mengkonversi metil ester minyak biji karet menjadi senyawa nitrogen menggunakan katalis zeolit-Y dengan metode refluks. Metil ester diperoleh melalui proses transesterifikasi minyak biji karet dengan metanol dan katalis zeolit-Y yang direfluks pada suhu 70°C selama 6 jam. Senyawa nitrogen diperoleh melalui reaksi amidasi dengan menyiapkan 3 sampel berbasis metil ester dari minyak biji karet dan dietanolamina dengan variasi nisbah 1:1, 1,5:1, dan 2:1 menggunakan metode refluks dengan suhu 160°C selama 3 jam. Produk reaksi transesterifikasi dan amidasi dikarakterisasi menggunakan GC-MS dan FTIR, selanjutnya diuji aktivitasnya sebagai inhibitor korosi baja lunak dalam larutan NaCl 3% yang jenuh CO₂ menggunakan metode *wheel test*. Morfologi permukaan baja lunak di karakterisasi menggunakan SEM. Hasil GC-MS dari metil ester menunjukkan bahwa minyak biji karet telah terkonversi menjadi senyawa ester yang terdiri dari 9 jenis metil ester dengan komposisi tertinggi adalah metil linoleat sebesar 29,51%. Produk amidasi pada variasi nisbah 1:1 mengandung senyawa nitrogen sebesar 32,72%. Hasil analisis FTIR menunjukkan bahwa minyak biji karet telah terkonversi menjadi metil ester yang ditunjukkan pada ilangan gelombang 1744 cm⁻¹ yang merupakan vibrasi ulur C=O ester. Selanjutnya metil ester telah terkonversi menjadi gugus amida yang ditunjukkan oleh bilangan gelombang 1617 cm⁻¹ yang merupakan vibrasi gugus C=O amida dan diperkuat oleh adanya gugus C-N pada bilangan gelombang 1118 cm⁻¹ dan 1053 cm⁻¹. Hasil pengujian inhibitor korosi pada ketiga sampel amidasi menunjukkan hasil persentase proteksi yaitu 95,86% (nisbah 1:1), 91,37% (nisbah 1,5:1) dan 90,47% (nisbah 2:1). Hasil persentase proteksi tertinggi ditunjukkan oleh sampel dengan variasi nisbah 1:1 dan didukung oleh analisis SEM yang menunjukkan morfologi baja lunak terlindungi dengan baik. Berdasarkan hasil yang diperoleh dalam penelitian ini menunjukkan bahwa senyawa nitrogen yang berasal dari minyak biji karet berpotensi sebagai *green corrosion inhibitor*.

Kata kunci: Metil ester minyak biji karet, zeolit-Y, senyawa nitrogen, inhibitor korosi, dan *wheel test*.

KONVERSI METIL ESTER DARI MINYAK BIJI KARET (*Hevea brasiliensis*) MENGGUNAKAN KATALIS ZEOLIT-Y DENGAN METODE REFLUKS MENJADI SENYAWA NITROGEN DAN UJI AKTIVITAS SEBAGAI INHIBITOR KOROSI BAJA LUNAK

Oleh

ULI ASARI

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
2024**

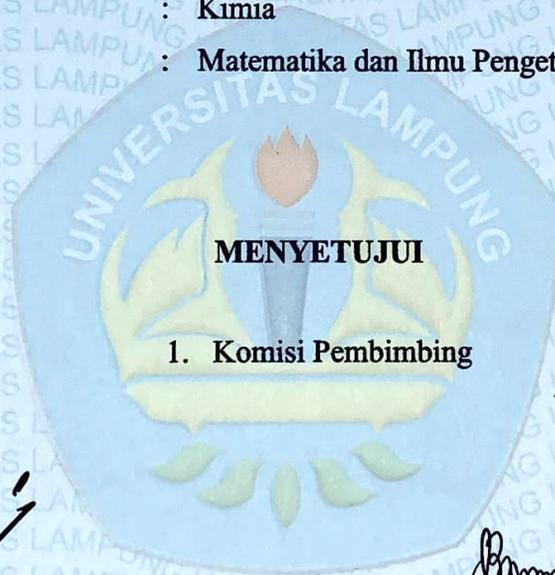
Judul Skripsi : **KONVERSI METIL ESTER DARI
MINYAK BIJI KARET (*Hevea brasiliensis*)
MENGUNAKAN KATALIS ZEOLIT-Y
DENGAN METODE REFLUKS MENJADI
SENYAWA NITROGEN DAN UJI
AKTIVITAS SEBAGAI INHIBITOR
KOROSI BAJA LUNAK**

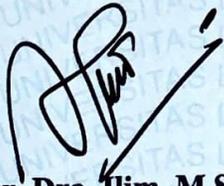
Nama Mahasiswa : **Uli Asari**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2017011088

Jurusan : Kimia

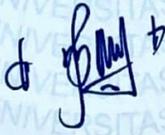
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam




Dr. Dra. Ilim, M.S.
NIP. 196505251990032002


Prof. Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si.
NIP. 197212051997032001

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA


Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si
NIP. 197205302000032001

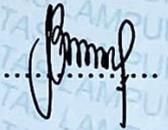
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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



Sekretaris : Prof. Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si.



Anggota : Prof. Dr. Drs. Hardoko Insan Qudus, S.U.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si, M.Si.

NIP. 19711001 200501 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 25 Juli 2024

**SURAT PERNYATAAN
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Uli Asari
Nomor Pokok Mahasiswa : 2017011088
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi yang berjudul **“Konversi Metil Ester dari Minyak Biji Karet (*Hevea brasiliensis*) Menggunakan Katalis Zeolit-Y dengan Metode Refluks Menjadi Senyawa Nitrogen dan Uji Aktivitas Sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak”** adalah benar karya sendiri dan saya tidak keberatan jika sebagian atau seluruh data di dalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan.

Bandar Lampung, 10 Agustus 2024
Menyatakan



Uli Asari
NPM. 2017011088

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Uli Asari lahir di Putra Buyut, pada 01 Januari 2022 merupakan anak kedua dari Bapak Muslih dan Ibu Kartini. Penulis memiliki satu kakak perempuan yang bernama Siti Maysaroh.

Penulis sekarang bertempat tinggal di Desa Putra Buyut, Kecamatan Gunung Sugih, Kabupaten Lampung Tengah, Lampung. Penulis telah menyelesaikan pendidikan mulai dari Taman Kanak-Kanak Miftahul Huda lulus pada tahun 2008, SDN 2 Putra Buyut lulus pada tahun 2014, SMPN 2 Kotagajah lulus pada tahun 2017, dan SMAN 1 Kotagajah lulus pada tahun 2020. Pada tahun 2020 penulis terdaftar sebagai mahasiswa jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selain menjadi mahasiswa di Universitas Lampung, penulis juga aktif dalam berorganisasi. Organisasi yang pernah diikuti penulis adalah Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) sebagai kader Muda Himaki (KAMI) pada tahun 2020, menjadi anggota Biro Sains dan Penalaran Ilmu Kimia (SPIK) pada tahun 2020-2021, dan menjadi anggota bidang Hubungan Internal dan Eksternal Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) Fakultas pada tahun 2022-2023. Selain mengikuti organisasi, penulis juga pernah menjadi anggota peneliti pada penelitian Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) pada tahun 2023. Penulis juga pernah menjadi asisten praktikum Kimia Dasar pada semester ganjil tahun ajaran 2023-2024 dan Kimia Fisik 2 pada semester genap 2023-2024.

Pada tahun 2023 di bulan Januari penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari di Desa Sri Menanti, Kecamatan Air Hitam, Kabupaten Lampung Barat, Lampung. Pada tahun 2023 juga, penulis menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) yang berjudul “Perbandingan Metil Ester Hasil Transesterifikasi Minyak Biji Karet (*Hevea brasiliensis*) Menggunakan Katalis Zeolit-A dan Zeolit-Y dengan Rasio 1:6” di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Universitas Lampung. Pada tahun 2024 penulis berhasil menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Konversi Metil Ester dari Minyak Biji Karet (*Hevea brasiliensis*) Menggunakan Katalis Zeolit-Y dengan Metode Refluks Menjadi Senyawa Nitrogen dan Uji Aktivitas Sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak” di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Universitas Lampung.

MOTTO

"Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya"

(Q.S. Al-Baqarah: 286)

"Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan"

(Q.S. Al-Insyirah: 6)

"Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah nasib suatu kaum sehingga mereka mengubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri."

(Q.S. Ar-Ra'd: 11)

"Doa Ibu lebih luas daripada langit. Dimanapun saya berada, saya berteduh di bawahnya."

(Aan Mansyur)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji syukur kepada Allah SWT atas limpahan karunia-Nya. Kupersembahkan karya ini sebagai wujud bakti dan tanggung jawabku kepada:

*Kedua orang tuaku tercinta,
Bapak Muslih dan Ibu Kartini yang telah percaya dan memberi kesempatan kepadaku untuk dapat duduk di bangku perkuliahan. Terima kasih atas kasih sayang, cinta, nasehat, dukungan, dan doa untuk kehidupan dan keberhasilanku. Bapak dan Ibu menjadi semangat terbesar penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.*

Kakak yang aku sayangi Siti Maysaroh dan kakak ipar David Kurniawan yang selalu menjadi pendengar untuk keluh-kesah dan memberi masukan serta motivasi selama menjalani perkuliahan.

Ibu Dr. Dra. Ilim, M.S., Prof. Dr. Kamisah Delilawati Pandiangan, M.Si., dan Prof. Dr. Drs. Hardoko Insan Qudus, SU. terima kasih selalu sabar dalam membimbing penulis.

Bapak Ibu Dosen Jurusan Kimia atas dedikasi dan ilmu yang telah diberikan selama menempuh pendidikan di kampus.

Teman-teman yang berjuang bersama saya untuk mengangkat derajat orang-tua, yang senantiasa memberikan semangat dan bantuan untuk saya, selalu mengajarkan tentang arti berbagi, cinta dan kebersamaan.

*Serta
Almamater Tercinta
Universitas Lampung*

SANWACANA

Puji syukur saya ucapkan kepada Allah SWT atas segala rahmat-Nya. Shalawat serta salam semoga selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, keluarga, sahabat, dan seluruh umatnya. Berbekal ilmu pengetahuan dan pengalaman yang telah diperoleh sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan judul **“Konversi Metil Ester Dari Minyak Biji Karet (*Hevea brasiliensis*) Menggunakan Katalis Zeolit-Y dengan Metode Refluks Menjadi Senyawa Nitrogen dan Uji Aktivitas Sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak”**. Skripsi ini adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.

Dalam penyusunan skripsi, penulis mendapat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Kedua orang tua saya tercinta yang selalu memberikan dukungan, semangat serta doa yang tiada putus, kasih sayang, nasihat, dan bimbingan. Semoga selalu diberikan kesehatan dan keberkahan oleh Allah SWT.
3. Ibu Dr. Ilim, M.S. selaku dosen pembimbing I atas segala bimbingan, saran, nasihat, motivasi dan ilmu yang bermanfaat, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
4. Ibu Prof. Dr. Kamisah Delilawati Pandiangan, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing II atas segala bimbingan, saran, motivasi serta ilmu yang bermanfaat, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

5. Bapak Prof. Dr. Drs. Hardoko Insan Qudus, SU. selaku pembahas atas segala saran dan masukan yang membangun, sehingga menjadikan skripsi ini menjadi lebih baik.
6. Ibu Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung dan selaku dosen pembimbing akademik atas segala bimbingan, nasehat serta saran yang telah diberikan selama penulis menempuh perkuliahan di Jurusan Kimia.
7. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
8. Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia, atas dukungan melalui dana Hibah Penelitian Dasar 2023 dengan nomor kontrak induk 027/E5/PG.02.00.PL/2023 dan nomor kontrak turunan 2192/UN26.21/PN/2023.
9. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan bimbingan serta ilmu selama penulis menempuh perkuliahan di Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
10. Segenap administrasi serta laboran Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan administrasi selama masa studi.
11. Saudara perempuan dan kakak ipar saya yang selalu mendukung, memberikan semangat dan bantuan, serta mendoakan penulis.
12. Keluarga besar yang senantiasa mendoakan, membantu, mendukung, dan memberikan kasih sayang kepada penulis.
13. *Corrosion Research Group* Mba Laila, Kak Syahrul, Mba Devy, Mba Rifdah, Kak Arya, dan Kak Dito yang telah membantu dan mendukung penulis, serta kebersamaan dalam suka maupun duka.
14. Teman-teman seperjuangan penelitian "*Corrosion Research '20*" Rekia Enrik, Wikka Septiyana, dan Risvania Nur Lativa yang selalu menemani dan memberikan saran selama penulis melakukan penelitian.
15. Sahabat terdekat penulis Bunga Mega Nurlinda, Erlisa Aulia, Nadira Meyza Ayuri dan Nurul Fajriyati 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 Allah SWT.

16. Kakak-kakak penelitian di Laboratorium Polimer, Kak Eki, Kak Zahra, dan Mba Diska atas dukungan dan bantuannya selama melakukan penelitian di Laboratorium.
17. Teman-teman di Laboratorium Polimer Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung yang tidak dapat disebutkan satu per satu atas bantuan dan kebersamannya.
18. Teman-teman *Chemistry '20* terima kasih atas pengalaman dan kebersamaan selama perkuliahan di Jurusan Kimia.
19. NPM 2054141014 yang telah kebersamai penulis serta memberikan semangat dan dukungan kepada penulis.
20. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung penulis dalam penyusunan penelitian ini atas segala kebaikan yang telah diberikan.

Akhir kata, penulis menyadari dan memohon maaf untuk kekurangan yang terdapat dalam skripsi ini, namun penulis juga berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi rekan-rekan khususnya mahasiswa kimia dan pembaca pada umumnya.

Bandar Lampung, 10 Agustus 2024
Penulis,

Uli Asari

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	5
1.3. Manfaat Penelitian	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Baja Lunak	7
2.2. Korosi.....	8
2.2.1. Pengertian Korosi	8
2.2.2. Faktor yang Mempengaruhi Korosi.....	9
2.2.3. Jenis-Jenis Korosi	10
2.2.4. Korosi CO ₂	12
2.2.5. Dampak Korosi	13
2.2.6. Penanganan Korosi	14
2.3. Inhibitor Korosi.....	15
2.3.1. Inhibitor Anorganik	15
2.3.2. Inhibitor Organik	15
2.3.3. Inhibitor Senyawa Nitrogen.....	16
2.4. Transesterifikasi Minyak Biji Karet.....	17
2.4.1. Minyak Biji Karet	17
2.4.2. Katalis Zeolit-Y	18
2.4.3. Reaksi Transesterifikasi	19
2.5. Sintesis Senyawa Nitrogen (Reaksi Amidasi).....	21
2.5.1. Dietanolamina.....	21
2.5.2. Reaksi Amidasi Menggunakan Refluks.....	21

2.6.	Uji Aktivitas Sebagai Inhibitor Korosi	23
2.6.1.	Metode <i>Wheel Test</i>	23
2.6.2.	Metode Elektrokimia	24
2.7.	Karakterisasi Produk	26
2.7.1.	<i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	26
2.7.2.	<i>Fourier Transform Infrared (FTIR)</i>	28
2.7.3.	<i>Gas Chromatography-Mass Spectrophotometry (GC-MS)</i>	30
2.7.4.	<i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	31
III.	METODE PENELITIAN	33
3.1.	Waktu dan Tempat	33
3.2.	Alat dan Bahan.....	33
3.3.	Diagram Alir Percobaan.....	34
3.4.	Prosedur Percobaan.....	35
3.4.1.	Preparasi Sekam Padi dan Ekstraksi Silika.....	35
3.4.2.	Sintesis Zeolit-Y	35
3.4.3.	Preparasi Minyak Biji Karet	36
3.4.4.	Transesterifikasi Minyak Biji Karet	37
3.4.5.	Amidasi dengan Dietanolamina.....	37
3.4.6.	Persiapan Sampel Baja Lunak	38
3.4.7.	Pembuatan Larutan	38
3.4.8.	Pengujian Inhibitor Korosi (<i>Wheel Test</i>)	39
3.4.9.	Analisis Permukaan dengan SEM.....	39
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	40
4.1.	Lingkup Penelitian	40
4.2.	Preparasi Sekam Padi dan Ekstraksi Silika.....	40
4.3.	Sintesis Zeolit-Y	42
4.3.	Karakterisasi Zeolit-Y	43
4.3.1.	<i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	43
4.3.2.	<i>Scanning Electron Microscopi (SEM)</i>	45
4.4.	Preparasi Minyak Biji Karet.....	46
4.5.	Transesterifikasi Minyak Biji Karet.....	47
4.6.	Amidasi dengan Dietanolamina	48
4.7.	Karakterisasi Produk	49
4.7.1.	<i>Fourier Transform Infrared (FTIR)</i>	49
4.7.2.	<i>Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS)</i>	50
4.7.3.	Penentuan Laju Korosi (Uji Aktivitas)	59
4.7.4.	Analisis Permukaan Menggunakan SEM	56

V. KESIMPULAN DAN SARAN	58
5.1.Kesimpulan	58
5.2.Saran.....	59
 DAFTAR PUSTAKA	 60
 LAMPIRAN	 72

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kandungan asam lemak minyak biji karet menurut berbagai penelitian	18
2. Komponen senyawa produk transesterifikasi.....	31
3. Data hasil puncak antara standar IZA zeolit-Y dan zeolit-Y sintesis	44
4. Identifikasi spektrum FTIR produk amidasi	50
5. Komponen senyawa produk metil ester minyak biji karet.....	51
6. Komponen senyawa produk amidasi variasi nisbah 1:1	53
7. Data hasil rata-rata metode <i>wheel test</i> menggunakan variasi larutan	55
8. Data pengukuran dimensi baja lunak dan persentase proteksi nisbah 1:1	78
9. Data pengukuran dimensi baja lunak dan persentase proteksi nisbah 1,5:1 ...	78
10. Data pengukuran dimensi baja lunak dan persentase proteksi nisbah 2:1	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka zeolit tipe faujasite (FAU)	19
2. Reaksi transesterifikasi	20
3. Reaksi amidasi	22
4. Contoh kurva Nyquist blanko (NaCl 3% jenuh CO ₂)	25
5. Difraksi sinar-X pada jarak antar atom d dan sinar datang θ	27
6. Difraktogram XRD standar zeolit-Y dan H-Y (IZA, 2017).....	28
7. Spektrum FTIR metil ester.....	29
8. Komponen dan skema dari GC-MS	30
9. Kromatogram GC-MS produk transesterifikasi minyak biji karet.....	31
10. Mikrograf SEM zeolit-Y dengan waktu kristalisasi 48 jam.....	32
11. Tahap-tahap kerja penelitian	34
12. Preparasi sekam padi dan ekstraksi silika (a) sekam padi bebas pengotor, (b) ekstraksi silika sekam padi, (c) sol silika hasil ekstraksi, (d) gel silika, (e) gel silika yang sudah dicuci, (f) bubuk silika	42
13. Sintesis zeolit-Y (a) larutan natrium silikat, (b) campuran natrium silikat dengan alumunium foil food grade, (c) prekursor zeolit-Y, (d) zeolit-Y.....	43
14. Difraktogram (a) zeolit-Y sintesis dan (b) zeolit-Y standar IZA.....	44
15. Mikrograf zeolit-Y sintesis (a) 10.000x, (b) 20.000x	45
16. Ekstraksi minyak biji karet (a) biji karet, (b) kernel, (c) potongan kernel, (d) proses pengepresan, (e) minyak biji karet.....	47
17. Hasil transesterifikasi minyak biji karet (a) sampel terbentuk 2 fasa, (b) metil ester	47
18. Produk amidasi dengan dietanolamina dengan variasi nisbah (a) 1:1, (b) 1,5:1, (c) 2:1	48

19. Spektrum FTIR (a) metil ester, (b) produk amidasi 1:1, (c) produk amidasi 1,5:1, (d) produk amidasi 2:1	49
20. Kromatogram sampel metil ester minyak biji karet	51
21. Kromatogram sampel reaksi amidasi dengan nisbah 1:1	52
22. Mikrograf sampel baja lunak pada perbesaran 15.000x (a) baja lunak tanpa perlakuan, (b) baja lunak dalam medium NaCl 3%, (c) penambahan inhibitor nisbah 1:1.	56
23. Gliserol.....	80
24. Dietanolamina	80
25. N-Butildietanolamina	80
26. Metil linoleat	80
27. Asam linoleat	80
38. Tripropilamina.....	80

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Baja lunak merupakan logam yang secara luas digunakan dalam sarana kehidupan manusia maupun industri seperti dalam industri makanan, minyak bumi, produksi listrik, dan kimia karena sifat mekaniknya yang sangat baik dan biayanya yang rendah (Hameed, 2011). Industri minyak dan gas menggunakan berbagai macam baja lunak untuk membuat jalur pipa, tabung, penutup pipa maupun konstruksi penyimpanan serta fasilitas lainnya (Ituen *et al.*, 2018). Meskipun baja lunak memiliki aplikasi yang luas, tetapi sangat rentan terhadap korosi terutama pada medium asam (Krishnegowda *et al.*, 2013). Korosi merupakan proses yang dihasilkan dari pengaruh medium pada bahan tertentu sehingga terjadi kerusakan secara keseluruhan yang menyebabkan kerugian ekonomi, lingkungan dan kehidupan manusia (Ferreira *et al.*, 2016).

Permasalahan korosi pada umumnya terjadi dalam industri pengolahan gas alam yang disebabkan adanya gas CO₂ baik yang berasal dari produksi maupun dari hasil pengolahan. Pada sumur produksi, saluran pipa buangan maupun hasil pengolahan biasanya mengandung gas H₂S dan CO₂. Proses yang terjadi pada saluran migas mengeluarkan gas-gas tersebut dengan jumlah relatif besar yang dapat menimbulkan korosi dan berperan sebagai faktor korosi internal. Gas CO₂ yang terlarut dalam media air maupun larutan akan membentuk suatu lingkungan yang korosif, serta dengan adanya injeksi gas CO₂ pada sumur minyak dapat menyebabkan korosi CO₂ semakin meningkat (Suryaningsih dkk., 2015).

Dampak dari adanya korosi CO₂ tidak hanya menghabiskan sumber daya tetapi juga menyebabkan kerugian yang besar, baik dari segi ekonomi, keselamatan serta lingkungan (Elgaddafi *et al.*, 2020). Menurut laporan biaya korosi dan strategi pencegahan di Amerika Serikat, biaya langsung tahunan yang ditimbulkan oleh korosi mencapai \$276 miliar, yang merupakan sekitar 3,1% dari produk domestik bruto Amerika Serikat pada tahun 1998. Selain itu, survei korosi di China juga mengakibatkan kerugian ekonomi tahunan yang setara dengan sekitar 5% dari produk domestik bruto China. Oleh karena itu, perlu dilakukan tindakan pencegahan untuk meminimalisir terjadinya korosi CO₂ (Yan *et al.*, 2024).

Beberapa teknik yang dapat digunakan untuk meminimalisir terjadinya korosi CO₂ diantaranya menggunakan pelapisan (*coating*), pemilihan material dan desain (*material selection and design*), proteksi katodik dan penambahan inhibitor (Mazumder *et al.*, 2014). Penggunaan inhibitor korosi merupakan salah satu cara yang paling praktis dan ekonomis untuk memperlambat proses korosi (May *et al.*, 2019). Inhibitor bersifat 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 mampu memberikan perlindungan yang luas (Mulyati, 2019).

Berdasarkan bahan dasarnya inhibitor dibedakan menjadi dua jenis yaitu inhibitor anorganik dan organik. Senyawa anorganik mengandung silikat, borat, molibdat, fosfat, kromat, dikromat, dan arsenat yang merupakan jenis bahan kimia yang pada umumnya berbahaya, mahal dan tidak ramah lingkungan. Hal ini menyebabkan penggunaan inhibitor anorganik mulai diminimalisir. Oleh karena itu, penggunaan inhibitor organik dipilih karena bersifat aman, mudah didapatkan, biaya murah, ramah lingkungan serta bersifat *biodegradable* (Indrayani, 2016). Contoh inhibitor korosi dari senyawa organik yang telah digunakan untuk mengurangi permasalahan korosi CO₂ yaitu berasal dari bahan alam seperti inhibitor berbasis tumbuhan tembakau, teh dan kopi oleh (Ilim *et al.*, 2012), inhibitor oligomer 4-vinilpiridin oleh (Ilim *et al.*, 2016), inhibitor N-Metil-N,N,N-

trioctilamonium oleh (Haque *et al.*, 2017), dan inhibitor N-dodesilpiridinium oleh (Avdeev, 2018).

Senyawa inhibitor yang berasal dari bahan alam sangat berpotensi untuk dikembangkan, seperti senyawa organik yaitu golongan surfaktan. Surfaktan adalah senyawa aktif yang mampu mereduksi tegangan permukaan (*surface active agent*) yang sekaligus memiliki gugus hidrofilik dan gugus hidrofobik dalam struktur molekul yang sama. Salah satu jenis surfaktan adalah surfaktan alkanolamida (Nainggolan *and* Sembiring, 2021). Alkanolamida dapat disintesis melalui reaksi amidasi di mana ester bereaksi dengan amina (Burhanuddin *et al.*, 2019). Senyawa alkanolamida yang disintesis dari metil ester dapat berasal dari minyak kelapa (Ilim *et al.*, 2022) dan dari minyak kelapa sawit (Ilim *et al.*, 2024).

Salah satu jenis minyak nabati yang berpotensi menjadi alkanolamida dan dapat dimanfaatkan sebagai inhibitor korosi adalah minyak biji karet. Biji karet mengandung sekitar 40-50% minyak nabati dengan komposisi asam lemak yang dominan adalah asam oleat dan asam linoleat, sementara sisanya berupa asam palmitat, asam stearat, asam arakidat dan asam lemak lainnya (Prihartantyo *et al.*, 2021). Minyak biji karet dapat dirubah menjadi metil ester melalui proses transesterifikasi (Athar *and* Zaidi, 2020; Pandiangan *et al.*, 2017).

Proses transesterifikasi adalah proses reaksi antara trigliserida yang bersifat non polar dan metanol yang bersifat polar menghasilkan metil ester dengan bantuan katalis (Daryono dan Mustiadi, 2022). Transesterifikasi katalis asam biasanya dilakukan dengan menggunakan asam kuat, terutama HCl, H₂SO₄, dan HNO₃. Dalam proses transesterifikasi, katalis memegang peran penting dalam mempercepat laju reaksi. Salah satu jenis katalis yang diketahui memiliki aktivitas yang baik adalah katalis zeolit-Y. Katalis zeolit-Y telah digunakan untuk berbagai reaksi, antara lain sebagai katalis dalam reaksi esterifikasi asam suksinat menggunakan etanol untuk menghasilkan monoetil dan dietil suksinat (Gandhi *et al.*, 2021), sebagai katalis dalam *bio-crude oil* hasil pirolisis minyak kelapa sawit menjadi *biogasoline* (Islami, 2018), serta sebagai katalis dalam reaksi amidasi.

Pada reaksi amidasi, katalis zeolit-Y berfungsi untuk menurunkan energi aktivasi dengan mereaksikan metil ester dengan dietanolamina sehingga diperoleh senyawa nitrogen dengan metode refluks. Metode refluks merupakan metode ekstraksi dengan bantuan pemanasan. Hal yang sangat berpengaruh terhadap ekstraksi menggunakan refluks yaitu adanya penambahan pemanasan dan pelarut yang digunakan. Metode refluks dipilih pada reaksi amidasi karena senyawa amina hanya dapat bereaksi dengan senyawa ester pada suhu tinggi. Pada suhu 140 dan 150 °C penurunan bilangan ester lambat dan terjadi fluktuasi yang menandakan bahwa reaksi amidasi yang terjadi belum stabil atau dapat dikatakan juga reaktannya tidak homogen. Selain suhu, penggunaan katalis pada reaksi amidasi juga perlu diperhatikan. Jika konsentrasi katalis terlalu rendah maka kemungkinan reaksi akan berlangsung lambat karena kemampuan untuk memutus ikatan pada metil ester agar bereaksi dengan dietanolamina juga berkurang (Khasanah dkk., 2019).

Beberapa penelitian sebelumnya tentang potensi katalis dalam mengkonversi metil ester dari minyak biji karet telah dilaporkan oleh Damayanti (2021), bahwa produk amidasi dengan perbandingan 2 mL metil ester : 3 mL dietanolamina memiliki persen inhibisi sebesar 60,11% berdasarkan metode *wheel test*. Dalam penelitian tersebut, reaksi amidasi dilakukan menggunakan metode refluks dengan penambahan 5% katalis zeolit-A. Sedangkan pada penelitian Aulia (2021), reaksi amidasi dilakukan dengan perbandingan 1:2 (10 mL metil ester : 20 mL dietanolamin) dengan penambahan 5% katalis zeolit-A menggunakan metode refluks dan diperoleh persen proteksi produk amidasi pada konsentrasi 150 mg.L⁻¹ pada suhu 50 °C sebesar 52% berdasarkan metode *wheel test*. Namun, dari kedua penelitian tersebut belum mendapatkan hasil yang optimum.

Berdasarkan uraian yang telah dipaparkan, maka pada penelitian ini dilakukan sintesis katalis zeolit-Y yang diharapkan memiliki aktivitas yang lebih baik dalam reaksi transesterifikasi minyak biji karet dan reaksi amidasi untuk menghasilkan senyawa nitrogen menggunakan metode refluks. Penelitian ini dilakukan dengan mensintesis zeolit-Y berbasis silika sekam padi dan aluminium foil *food grade*,

selanjutnya zeolit-Y yang terbentuk dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Transesterifikasi minyak biji karet dilakukan menggunakan katalis zeolit-Y untuk mendapatkan metil ester. Selanjutnya dilakukan reaksi amidasi dengan mereaksikan metil ester dari minyak biji karet, dietanolamin dan zeolit-Y sebagai katalis dengan metode refluks. Senyawa yang diperoleh dari reaksi transesterifikasi minyak biji karet dan reaksi amidasi metil ester ini dikarakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS). Senyawa nitrogen yang diperoleh dari reaksi amidasi selanjutnya diuji sebagai inhibitor korosi baja lunak dalam medium NaCl 3% yang jenuh CO₂ dengan menggunakan metode *wheel test*. Morfologi permukaan baja lunak hasil pengukuran dengan metode *wheel test* menggunakan medium korosif dengan penambahan dan tanpa inhibitor korosi dianalisis menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mensintesis katalis zeolit-Y berbasis silika sekam padi dan alumunium foil *food grade* serta melakukan karakterisasi menggunakan XRD dan SEM.
2. Menghasilkan metil ester berbasis minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) dari proses transesterifikasi menggunakan katalis zeolit-Y dan melakukan karakterisasi menggunakan FTIR dan GC-MS.
3. Menghasilkan alkanolamida melalui reaksi amidasi metil ester minyak biji karet menggunakan katalis zeolit-Y dan melakukan karakterisasi menggunakan FTIR dan GC-MS.
4. Menguji aktivitas alkanolamida berbasis minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) sebagai inhibitor korosi baja lunak dalam medium korosif yang jenuh karbon dioksida (CO₂) menggunakan metode *wheel test*.
5. Mengkarakterisasi permukaan baja lunak menggunakan SEM.

1.3. Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mampu mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya alam yaitu minyak biji karet dan sekam padi.
2. Memberikan informasi mengenai hasil sintesis dan karakterisasi zeolit-Y berbasis silika sekam padi dan alumunium foil *food grade*.
3. Memberikan informasi mengenai konversi metil ester berbasis minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) menggunakan katalis zeolit-Y dengan metode refluks.
4. Mendapatkan senyawa alkanolamida dari ekstrak minyak biji karet sebagai senyawa inhibitor korosi baja lunak alternatif.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Baja Lunak

Baja karbon merupakan logam yang sering digunakan dalam sarana kehidupan manusia maupun industri, yang mudah terserang oleh korosi dan material ini dipilih karena relatif mudah didapatkan (Khasibudin dkk., 2019). Baja lunak banyak diaplikasikan dalam pembangunan infrastruktur karena memiliki sifat mekanik yang baik serta harganya yang relatif rendah (Royani, 2021). Baja karbon dapat diklasifikasikan berdasarkan jumlah persentase komposisi kimia karbon dalam baja yakni sebagai berikut:

- a. Baja karbon rendah (*low carbon steel*)
Baja karbon rendah merupakan baja dengan kandungan unsur karbon dalam struktur baja kurang dari 0,3% C.
- b. Baja karbon sedang (*medium carbon steel*)
Baja karbon sedang merupakan baja karbon dengan persentase kandungan karbon pada besi sebesar 0,3% C-0,59% C.
- c. Baja karbon tinggi (*high carbon steel*)
Baja karbon tinggi adalah baja karbon yang memiliki kandungan karbon sebesar 0,6% C-1,4% C.

Baja karbon rendah digunakan untuk kawat, baja profil, sekrup, ulir dan baut. Baja karbon sedang digunakan untuk rel kereta api, poros roda gigi, dan suku cadang yang berkekuatan tinggi, atau dengan kekerasan sedang sampai tinggi. Sedangkan baja karbon tinggi digunakan untuk perkakas potong seperti pisau, *milling cutter*, *reamers*, tap dan bagian-bagian yang harus tahan gesekan (Prayogi, 2019).

Baja karbon rendah mengandung sekitar 0,05-0,25% karbon sehingga mudah ditempa dan ulet, baja karbon rendah juga memiliki kekuatan tarik yang relatif rendah tetapi daktilitas tinggi, kemampuan las dan kemampuan mesin. Keunggulan lain dari baja karbon rendah adalah murah dan mudah dibentuk, serta kekerasan permukaan dapat ditingkatkan melalui karburisasi. Sehingga, penggunaan material baja karbon seringkali diaplikasikan pada lingkungan yang korosif (Royani, 2021).

2.2. Korosi

2.2.1. Pengertian Korosi

Korosi adalah suatu proses degradasi atau hancurnya suatu logam akibat adanya reaksi elektrokimia yang terjadi antara logam dengan lingkungannya. Peristiwa korosi selalu melibatkan dua reaksi yang berkesinambungan yakni reaksi reduksi dan oksidasi (reaksi redoks) dimana proses ini berlangsung akibat suatu logam lebih stabil berada dalam kondisi daripada tereduksi secara termodinamika (Batu dkk., 2022). Korosi biasanya dimulai pada bagian permukaan logam dan degradasi logam kemudian dapat menyebar ke bagian dalam materi. Organisme juga dapat berkontribusi pada korosi bahan bangunan, selain itu korosi juga dapat diartikan sebagai penurunan mutu logam yang disebabkan oleh reaksi elektrokimia antara logam dengan lingkungan sekitarnya. Permukaan logam dan kerusakan atau degradasi logam kemudian dapat menyebar ke bagian dalam materi. Proses yang terjadi selama korosi adalah pelepasan atom logam dalam larutan elektrolit, yang menjadi ion logam melalui pelepasan beberapa elektron. Beberapa cara untuk mencegah terjadinya korosi yaitu dengan pelapisan, proteksi katodik dan juga dengan menambahkan inhibitor (Andira dkk., 2022).

2.2.2. Faktor yang Mempengaruhi Korosi

Faktor yang dapat mempengaruhi terjadinya korosi menurut (Zahra dkk., 2019) adalah sebagai berikut:

a. Kecepatan aliran

Kecepatan aliran sangat tinggi dapat menyebabkan korosi erosi pada permukaan logam. Sedangkan kecepatan fluida aliran rendah dapat menyebabkan jenis korosi under deposit.

b. 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*).

c. pH larutan

Ketika pH lingkungan asam, kecenderungan terjadinya korosi meningkat dan sebaliknya ketika pH lingkungan alkali, kecenderungan terjadinya deposit meningkat.

d. Suhu

Dalam sistem terbuka, semakin naik suhu, kelarutan oksigen dalam media aqueous semakin menurun karena oksigen dapat dibebaskan, sebaliknya dalam sistem tertutup oksigen tidak dibebaskan, sehingga semakin naik suhu, laju korosi semakin meningkat. Semakin naik suhu, viskositas dari media *aqueous* semakin turun sehingga memudahkan oksigen terdifusi ke permukaan logam. Hal ini akan meningkatkan laju korosi baja karena jumlah oksigen yang terlarut sebagian besar dikonsumsi dalam proses reduksi pada daerah katoda.

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 garam sulfat menjadi asam yang reaktif dan menyebabkan korosi.

2.2.3. Jenis-Jenis Korosi

a. Korosi umum

Korosi ini terjadi pada permukaan logam yang menyebabkan logam berubah warna menjadi kecoklatan. Biasanya peralatan yang ada sudah didesain sedemikian rupa untuk mengantisipasi terjadinya korosi ini dengan cara menambah ekstra ketebalan yang dibuat oleh *design engineer* untuk mengatasi kondisi tersebut atau disebut sebagai *corrosion allowance*.

b. Korosi celah

Korosi celah terjadi pada daerah celahan atau daerah-daerah yang tersembunyi pada permukaan logam yang berada pada lingkungan korosif, korosi ini terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi oksigen dicelah dengan lingkungan. Permukaan logam dengan konsentrasi O_2 yang lebih tinggi bersifat lebih katodik sedangkan konsentrasi O_2 yang jauh lebih rendah dalam celah bersifat jauh lebih anodik sehingga mengalami korosi dengan laju yang tinggi. Korosi celah dapat dikendalikan dengan cara menghindari terbentuknya celah-celah dalam suatu konstruksi.

c. *Galvanis corrosion* (korosi galvanis)

Korosi yang terjadi karena adanya dua logam yang berbeda dalam satu elektrolit sehingga logam yang lebih anodik akan terkorosi. Korosi ini dapat dicegah dengan cara memberi isolator yang cukup tebal hingga tidak ada aliran elektrolit, memasang proteksi katodik serta dilakukan penambahan anti korosi inhibitor pada cairan (Ahmad dkk., 2023).

d. *Pitting corrosion*

Korosi ini terjadi akibat adanya serangan yang terlokalisasi sehingga terbentuk lubang-lubang berukuran kecil pada permukaan logam dengan kedalaman tertentu. *Pitting corrosion* sangat berbahaya karena lubang kecil yang dihasilkan dapat memusatkan tegangan yang menyebabkan kegagalan pada

pipa. Laju pertumbuhan lubang dipengaruhi oleh beberapa faktor termasuk difusi, suhu, konduktivitas, jenis ion, nilai pH, dan potensial elektrokimia. Oleh karena itu, lubang dapat merambat dalam hitungan minggu, bulan atau bahkan memakan waktu yang cukup lama.

e. *Erosion corrosion*

Korosi jenis ini terjadi akibat keausan pada material sehingga memicu terbentuknya bagian-bagian yang tajam serta kasar, bagian-bagian tersebutlah yang mudah terkorosi. Selain itu, laju fluida yang sangat tinggi juga dapat menjadi pengaruh terjadinya korosi dengan mengikis film pelindung pada material logam. Korosi ini terjadi di lingkungan korosif ketika proses erosi mempercepat kehilangan logam dengan menghilangkan film pelindung. Korosi erosi umumnya terbentuk pada pipa atau propeller. Hal ini dapat dicegah dengan cara pemilihan material yang seragam, melakukan pelapisan menggunakan zat yang lebih agresif, serta dapat juga dilakukan penambahan inhibitor.

f. *Uniform corrosion*

Uniform corrosion merupakan bentuk korosi dengan serangan elektrokimia atau kimia yang terjadi dengan intensitas yang merata di seluruh permukaan yang terbuka dan sering meninggalkan kerak atau endapan. Logam akan menjadi lebih tipis dan akhirnya mengalami kegagalan. Misalnya, sepotong baja ringan yang terkena atmosfer atau selambar atap besi akan menunjukkan tingkat karat yang kurang lebih sama di seluruh permukaan luarnya.

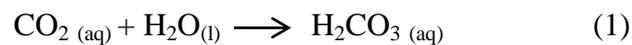
g. *Intergranular corrosion*

Struktur baja setelah didinginkan dari keadaan cair berbentuk kristal dan satu sama lain dibatasi oleh batas butir. Korosi intergranular menginvasi bagian batas butir ataupun daerah yang bersebelahan dengan butir mineral tersebut sedangkan pada bagian butir material itu sendiri hanya mengalami sedikit serangan korosi menyebabkan penipisan pada bagian zat paduan pada daerah batas butir (Saputra dkk., 2022).

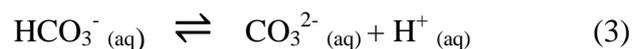
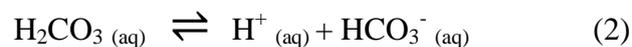
2.2.4. Korosi CO₂

Dalam industri pengolahan gas alam, gas CO₂ merupakan gas yang paling banyak terkandung di dalamnya yang berasal dari produksi maupun dari hasil pengolahan. (Suryaningsih dkk., 2015). Kehadiran gas CO₂ bersamaan dengan air akan memberikan efek korosif terhadap material yang dilaluinya. Material baja karbon biasanya digunakan pada pipa produksi minyak dan gas alam dengan kadar gas CO₂ sampai dengan 40% akan mengalami laju korosi yang sangat tinggi. Gas ini dapat menyebabkan kerusakan berbahaya dan fatal bagi infrastruktur pipa produksi dan pengolahan gas alam (Rispiandi dan Saripudin, 2021)

Korosi karbon dioksida (CO₂) merupakan tipe korosi yang ditandai dengan terbentuknya asam karbonat H₂CO₃ yang selanjutnya akan bereaksi dengan baja. Adapun bentuk reaksinya adalah sebagai berikut:



Asam karbonat yang terbentuk akan terdisosiasi menjadi *bicarbonate* dan ion karbonat melalui 2 tahap, yang setiap tahapnya menghasilkan ion hidrogen:



Reaksi antara CO₂ dengan air yang membentuk asam karbonat merupakan reaksi sintesis. Adanya asam karbonat akan menurunkan pH dan menghasilkan ion hidrogen sebagai penerima elektron. Hidrogen yang mempunyai satu proton pada intinya, berukuran sangat kecil dan dapat berdifusi ke dalam struktur kristal baja, sehingga menurunkan keuletan dari baja tersebut serta dapat menyebabkan terjadinya patah getas. Selain itu, ion-ion hidrogen tersebut dapat membentuk molekul menjadi gas hidrogen, yang dapat menimbulkan internal voids dan pelepasan permukaan baja. Korosi CO₂ dapat dipengaruhi oleh temperatur, tekanan, konsentrasi, aliran fluida dan lain-lain (Sari dan Dwiwati, 2015).

Laju korosi pada korosi CO₂ 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. Korosi CO₂ dapat dikategorikan sebagai korosi yang di akibatkan oleh asam lemah, dimana baja terkorosi akibat reduksi dari H⁺ dan oksidasi dari Fe (Sudiarti, 2017).

2.2.5. Dampak Korosi

Korosi hanya bisa dikendalikan atau diperlambat lajunya sehingga memperlambat proses kerusakannya. Banyak sekali dampak yang diakibatkan oleh korosi, berikut beberapa dampak negatif yang bisa ditimbulkan oleh proses korosi diantaranya adalah:

- a. Patahnya peralatan yang berputar karena korosi, yang merugikan dari segi materil 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, pipa dan sebagainya, 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 (Putra dan Kasuma, 2018).

2.2.6. Penanganan Korosi

Menurut Ramadhan dkk., (2020), beberapa cara penanganan korosi antara lain dengan cara penambahan zat (inhibitor), pelapisan permukaan logam, dan membuat paduan logam yang cocok sehingga tahan korosi. Inhibitor korosi sendiri didefinisikan sebagai suatu zat yang apabila ditambahkan dalam jumlah sedikit ke dalam lingkungan akan menurunkan serangan korosi lingkungan terhadap logam. Umumnya inhibitor korosi berasal dari senyawa-senyawa organik dan anorganik yang mengandung gugus-gugus yang memiliki pasangan elektron bebas, seperti nitrit, kromat, fosfat, urea, fenilalanin, imidazolin, dan senyawa-senyawa amina.

Inhibitor adalah salah satu cara penanganan korosi yang sering dilakukan pada komponen yang mudah terkorosi akibat reaksi kimia alami logam yang teroksidasi oleh lingkungan yang lembab, media basah, suhu tinggi dan asam. Korosi pada baja karbon adalah hal yang sangat sering terjadi, baja karbon yang terdiri dari unsur Fe dengan C akan terurai akibat reaksi oksidasi menjadi Fe^{2+} (bentuk karat) dengan melepaskan elektron $2e^-$. Proses ini akan berlangsung secara reaksi redoks sehingga lebih cepat dan bagian yang terkorosi akan menjadi lemah sehingga mengakibatkan kegagalan struktur (Hartono dkk., 2021).

Inhibitor korosi didefinisikan sebagai zat kimia yang bila ditambahkan ke media tertentu dapat membantu mengurangi tingkat serangan pengaruh lingkungan pada bahan logam. Dalam hal tegangan rendah, baik secara terus menerus maupun secara periodik pada selang waktu tertentu mencatat bahwa mekanisme kerja inhibitor korosi terdiri dari tiga cara. Mekanisme pertama ialah inhibitor teradsorpsi pada permukaan logam dan membentuk lapisan film yang beberapa molekul inhibitor tebal. Mekanisme inhibitor kedua yaitu melalui pengaruh lingkungan (misalnya nilai pH) menyebabkan inhibitor mengendap dan kemudian juga mulai menyerap pada permukaan logam melindungi terhadap korosi. Mekanisme terakhir yaitu logam pertama kali terkorosi oleh inhibitor yang menghasilkan zat kimia dimana produk korosi dibentuk oleh peristiwa adsorpsi

lapisan pasif pada permukaan logam. Inhibitor juga berperan dalam menghilangkan komponen agresif untuk lingkungan (Sabirin dkk., 2023).

2.3. Inhibitor Korosi

2.3.1. Inhibitor Anorganik

Inhibitor Anorganik adalah inhibitor yang diperoleh dari mineral-mineral yang tidak mengandung unsur karbon dalam senyawanya. Material dasar dari inhibitor anorganik antara lain kromat, nitrit, silikat, dan pospat (Roni dkk., 2022).

Inhibitor berfungsi untuk memperlambat reaksi korosi yang bekerja dengan cara membentuk lapisan pelindung pada permukaan logam. Lapisan molekul pertama yang terbentuk mempunyai ikatan yang sangat kuat yang disebut *chemis option*. Inhibitor umumnya berbentuk cairan yang diinjeksikan pada *production line* (Nugroho, 2015).

2.3.2. Inhibitor Organik

Secara keseluruhan senyawa inhibitor adalah netral tetapi gugus nitrogen pada senyawa memiliki pasangan elektron bebas yang menyebabkan inhibitor cenderung bermuatan negatif sehingga inhibitor akan tertarik ke permukaan logam dan membentuk lapisan. Inhibitor korosi organik yaitu inhibitor korosi yang berasal dari bahan alami yang tersedia di alam. Inhibitor organik selain dapat menghambat laju korosi juga memiliki sifat non-toksik, murah, mudah didapatkan dan dapat diperbaharui (Yanuar *et al.*, 2017). Inhibitor organik adalah inhibitor yang diperoleh dari alam yang berasal dari tumbuhan, seperti akar, kulit, daun, buah dan batang tumbuhan yang mengandung unsur kimia tertentu. Contohnya seperti gugus amina dan senyawa tanin (Roni dkk., 2022).

2.3.3. Inhibitor Senyawa Nitrogen

Inhibitor bekerja dengan penyerapan ion atau molekul ke dalam permukaan logam. Inhibitor mengurangi laju korosi dengan menaikkan atau menurunkan reaksi anodik atau katodik, mengurangi laju difusi reaktan ke dalam permukaan logam atau mengurangi tahanan listrik dari permukaan logam. Penggunaan inhibitor korosi saat ini umumnya menggunakan senyawa anorganik, dikarenakan memiliki inhibisi korosi yang baik namun menimbulkan masalah bagi lingkungan bila terakumulasi dan memiliki harga yang cukup mahal. Oleh karena itu, inhibitor senyawa nitrogen dipilih karena ramah lingkungan dan memiliki harga yang murah (Mulyaningsih dkk., 2019).

Inhibitor yang berasal dari bahan alam umumnya berupa senyawa yang mengandung atom N, O, P, S dan atom-atom lainnya yang memiliki pasangan elektron bebas. Unsur-unsur yang mengandung pasangan elektron bebas ini dapat berfungsi sebagai ligan yang akan membentuk senyawa kompleks dengan logam. Kandungan tersebut berasal dari ekstrak bahan alam seperti alkaloid, flavonoid, saponin dan tanin juga mempunyai potensi dalam menghambat laju korosi (Wajilan dkk., 2021). Mekanisme proteksi ekstrak bahan alam terhadap baja dari serangan korosi terjadi antara logam Fe^{2+} dengan medium korosif air laut yang mengandung ion-ion klorida yang terurai dari NaCl akan bereaksi dengan Fe dan diperkirakan menghasilkan FeCl_2 . Jika ion klorida yang bereaksi semakin besar, maka FeCl_2 yang terbentuk juga akan semakin besar seperti tertulis dalam reaksi berikut:



Ion klorida akan menyerang logam besi (Fe) sehingga besi akan terkorosi menjadi:



Reaksi antara Fe^{2+} dengan inhibitor ekstrak bahan alam menghasilkan senyawa kompleks. Inhibitor ekstrak bahan alam yang mengandung nitrogen mendonorkan sepasang elektronnya pada permukaan logam *mild steel* ketika ion Fe^{2+} terdifusi ke dalam larutan elektrolit, reaksinya adalah:



Sampel baja yang diberikan inhibitor ekstrak bahan alam akan lebih tahan (terproteksi) terhadap korosi (Haryono dkk., 2010). Ekstrak bahan alam seperti minyak biji karet yang memiliki kandungan senyawa organik dapat digunakan sebagai inhibitor korosi untuk mengurangi laju korosi.

2.4. Transesterifikasi Minyak Biji Karet

2.4.1. Minyak Biji Karet

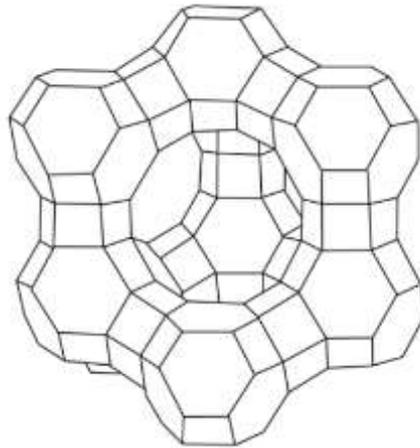
Tanaman karet merupakan tanaman perkebunan yang bernilai ekonomis tinggi. Tanaman karet menghasilkan biji karet dalam jumlah banyak. Biji karet terdapat dalam setiap ruang buah yang berkisar tiga sampai enam sesuai dengan jumlah ruang. Biji karet memiliki ukuran yang besar dan memiliki kulit yang keras serta berwarna coklat kehitaman dengan bercak-bercak berpola yang khas (Firdausi dkk., 2020). Biji karet mengandung sekitar 40-50% minyak nabati dengan komposisi asam lemak yang dominan adalah asam oleat dan asam linoleat, sementara sisanya berupa asam palmitat, asam stearat, asam arakidat dan asam lemak lainnya yang berpotensi tinggi sebagai sumber minyak nabati (Prihartantyo dkk., 2021). Biji karet mempunyai bentuk elipsoidal, dengan panjang 2,5-3 cm, yang mempunyai berat 2-4 gram/biji. Biji karet terdiri dari 40-50% kulit yang keras berwarna coklat, 50-60% minyak, 2,71% abu, 3,71% air, 22,17% protein dan 24,21% karbohidrat sehingga biji karet berpotensi digunakan sebagai sumber minyak (Roni dkk., 2020). Tabel 1 menunjukkan kandungan asam lemak dalam minyak biji karet menurut berbagai penelitian.

Tabel 1. Kandungan asam lemak minyak biji karet menurut berbagai penelitian

Kandungan asam lemak	Komposisi (%)	
	Roschat <i>et al.</i> , 2017	Gimbun <i>et al.</i> , 2012
Asam palmitat	9,1	10,29
Asam stearate	5,6	8,68
Asam oleat	24,0	20,70
Asam linoleat	46,2	58,50
Asam linolenat	14,2	0,80
Asam lemak lainnya	0,9	1,03

2.4.2. Katalis Zeolit-Y

Zeolit-Y merupakan suatu kelompok mineral yang dihasilkan dari proses hidrotermal pada batuan beku basa. Zeolit-Y mempunyai struktur kerangka tiga dimensi berbentuk kubik-oktahedral $[AlO_4]^{5-}$ dan $[SiO_4]^{4-}$ dengan pori-pori di dalamnya terisi ion-ion logam. Biasanya logam-logam alkali atau alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas. Zeolit-Y termasuk dalam zeolit sintetis yaitu suatu senyawa kimia yang mempunyai sifat fisik dan kimia yang sama dengan zeolit alam. Zeolit-Y memiliki beberapa fungsi diantaranya sebagai katalis, adsorben dan bahan pendingin kering (Rahman *et al.*, 2020). Zeolit-Y memiliki struktur permukaan pori-pori yang besar sehingga dianggap sebagai salah satu zeolit yang baik untuk digunakan dalam menghilangkan ion logam dari air (Awuah *et al.*, 2019). Zeolit-Y memiliki rasio atom Si/Al yang lebih tinggi daripada zeolit-X (biasanya dalam kisaran lebih dari 1-1,5). Oleh karena itu, kandungan silika yang lebih tinggi pada zeolit-Y menyebabkan stabilitas termal yang lebih baik. Unit 24- tetrahedracuboctahedral (sangkar sodalit) dalam jenis kerangka FAU diatur dengan cara yang sama seperti atom karbon dalam berlian. Atom-atom penyusun saling terhubung melalui prisma heksagonal (*double 6-ring*) membentuk struktur saluran berpori 3 dimensi sepanjang $[110]$ (Julbe and Drobek, 2011).



Gambar 1. Kerangka zeolit tipe faujasite (FAU) (Lutz, 2014)

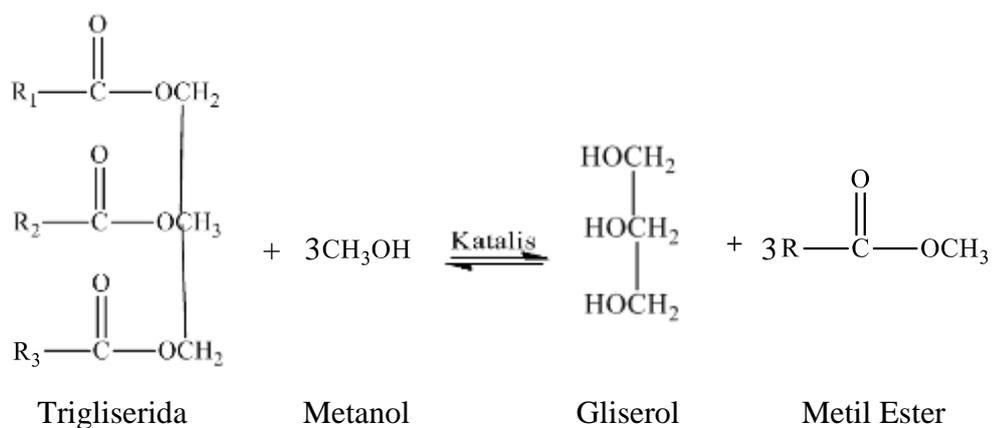
Zeolit-Y umumnya dapat disintesis dengan perpaduan antara silika dan alumina. Berbagai bahan baku dengan biaya yang murah telah dilaporkan untuk sintesis zeolit-Y seperti kaolin, perlit, sekam padi, diatomit, dan bentonit (Hamidi *et al.*, 2022), kolina klorida (He *et al.*, 2019), dan aluminium foil *food grade* (Simanjuntak *et al.*, 2021). Zeolit-Y yang digunakan pada penelitian ini disintesis dari silika sekam padi yang mengacu pada prosedur penelitian yang telah dilakukan oleh (Pangesti *et al.*, 2021).

2.4.3. Reaksi Transesterifikasi

Proses transesterifikasi adalah proses reaksi antara trigliserida yang bersifat non polar dan metanol yang bersifat polar menghasilkan metil ester yang mempunyai sifat perpaduan dari reaktannya. Karena perbedaan sifat dari reaktan, maka reaksi transesterifikasi sulit terjadi tanpa bantuan katalis. Katalis selain berfungsi mempercepat reaksi juga berfungsi sebagai pelarut yang menaikkan kelarutan reaktan walaupun reaksi masih tetap berjalan lambat. Untuk mempercepat reaksi transesterifikasi digunakan *co-solvent* yang bisa meningkatkan laju perpindahan massa pada reaktan. *Co-solvent* sangat larut pada reaktan sehingga masalah

keterbatasan perpindahan massa pada reaktan bisa diatasi. Jika reaktan mudah larut maka reaksi transesterifikasi akan semakin mudah terjadi (Daryono dan Mustiadi, 2022).

Katalis homogen atau katalis heterogen dapat digunakan untuk mengkatalisis reaksi tersebut melalui situs aktif asam atau basa pada katalis. Namun, katalis homogen lebih susah untuk dipisahkan dari produk hasil reaksi dan adanya efek samping (seperti proses saponifikasi). Oleh karena itu, katalis heterogen merupakan salah satu alternatif pengganti katalis homogen (Sari dan Fadhillah, 2023). 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 (Arita *et al.*, 2020). Secara sederhana reaksi transesterifikasi ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Reaksi transesterifikasi (Arita *et al.*, 2020)

Transesterifikasi pada penelitian ini menggunakan bahan baku berupa minyak biji karet yang mengadopsi prosedur penelitian yang telah dilakukan oleh Pandiangan *et al.*, (2017) dengan adanya katalis heterogen berupa zeolite-Y yang berbasis silika sekam padi (Pangesti *et al.*, 2021).

2.5. Sintesis Senyawa Nitrogen (Reaksi Amidasi)

2.5.1. Dietanolamina

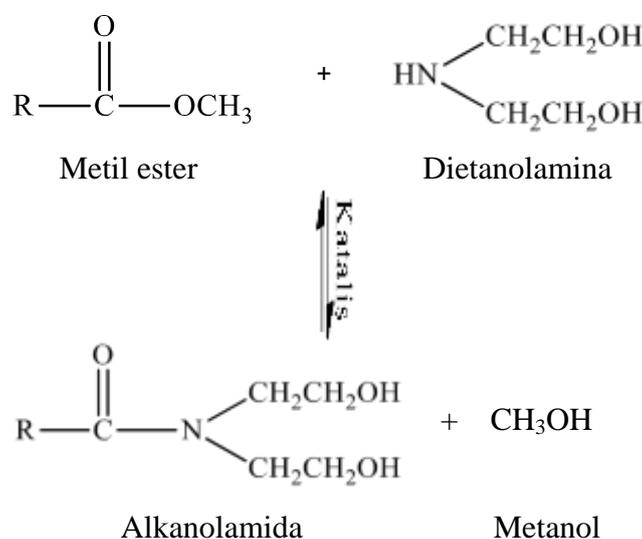
Dietanolamina atau DEA merupakan kelompok surfaktan non-ionik yang dapat diperoleh dari proses amidasi menggunakan metil ester ataupun asam lemak. Dietanolamina banyak digunakan sebagai bahan tambahan dalam membuat suatu produk, salah satunya diaplikasikan pada pembuatan sabun transparan (Meizar *et al.*, 2017). *Diethanolamine* (DEA) adalah amina sekunder yang paling sering digunakan baik di laboratorium maupun dalam industri. Dietanolamina pada umumnya termasuk dalam campuran yang melibatkan alkanolamin sekunder (Rushdi *and* Thamer, 2020).

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 (NH-) dan hidroksil (-OH) pada permukaan logam (Singh *et al.*, 2007).

2.5.2. Reaksi Amidasi Menggunakan Refluks

Menurut Maimunah dkk., (2020) amidasi merupakan pembuatan suatu senyawa amida melalui penambahan gugus amina dalam reaksi kimia dengan proses refluks. Etilendiamida dihasilkan ketika terjadi reaksi antara asam lemak atau metil ester dengan senyawa amina berupa etilendiamina. Metil ester direfluks pada kisaran suhu 80 °C-90 °C selama 4 jam dengan penambahan pereaksi etilendiamina dan katalis natrium metoksida yang dilarutkan dengan metanol

(NaOCH₃). Hasil amidasi kemudian dievaporasi untuk memisahkan hasil samping berupa metanol. Surfaktan etilendiamida yang dihasilkan berbentuk cair kental dan memiliki warna putih kekuningan. Senyawa amina hanya dapat bereaksi dengan senyawa ester pada suhu tinggi. Pada suhu 140 °C dan 150 °C penurunan bilangan ester lambat dan terjadi fluktuasi yang menandakan bahwa reaksi amidasi yang terjadi belum stabil atau dapat dikatakan juga reaktannya tidak homogen. Secara sederhana reaksi amidasi ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Reaksi amidasi (Kumar *and* Ali, 2015)

Selain suhu, penggunaan katalis pada reaksi amidasi juga perlu diperhatikan. Jika konsentrasi katalis terlalu rendah maka kemungkinan reaksi akan berlangsung lambat karena kemampuan untuk memutus ikatan pada metil ester agar bereaksi dengan dietanolamina juga berkurang. Fungsi dari katalis ini adalah untuk menurunkan energi aktivasi sehingga dapat mempercepat reaksi (Khasanah dkk., 2019).

2.6. Uji Aktivitas Sebagai Inhibitor Korosi

2.6.1. Metode *Wheel Test*

Laju korosi merupakan kecepatan penurunan kualitas suatu material terhadap waktu. Laju korosi dapat dihitung dengan metode kehilangan berat atau metode elektrokimia. Metode kehilangan berat (*wheel test*) merupakan prosedur standar yang dapat digunakan untuk menentukan laju korosi. Metode ini menghitung perbedaan antara berat logam yang hilang selama perendaman dalam medium korosif dan dalam medium korosif yang mengandung inhibitor korosi, dengan menggunakan jangka waktu hingga mendapatkan jumlah kehilangan berat akibat korosi yang terjadi. Hanya dengan alat yang sederhana metode ini mampu memberikan hasil yang cukup akurat, namun tidak dapat mendeteksi secara cepat perubahan yang terjadi saat proses korosi. Kehilangan berat dapat ditentukan menggunakan Persamaan 8 dan untuk menghitung laju korosi (CR) digunakan Persamaan 9 berikut ini (Ilim *et al.*, 2017):

$$W = W_i - W_t \quad (8)$$

$$CR = \frac{10 \cdot W \cdot 365}{A \cdot D \cdot t} \quad (9)$$

Keterangan:

W = kehilangan berat (g)

W_i = berat awal (g)

W_t = berat akhir (g)

CR = laju korosi (mm/th)

A = luas permukaan sampel (cm^2)

D = density (g cm^{-3})

t = waktu (hari)

Untuk mengetahui kemampuan proteksi dari inhibitor dalam menghambat laju korosi dapat dilakukan dengan menghitung persen proteksi inhibitor menggunakan Persamaan 10 (Ilim *et al.*, 2017):

$$\%P = \frac{(CR_o - CR_i)}{(CR_o)} \times 100\% \quad (10)$$

Keterangan:

%P = persen proteksi

CR_o = laju korosi tanpa inhibitor (blanko)

CR_i = laju korosi dengan inhibitor

2.6.2. Metode Elektrokimia

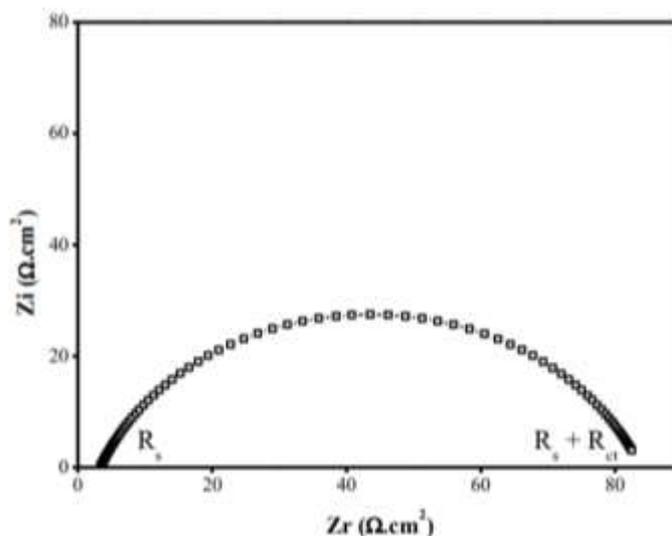
Metode elektrokimia merupakan metode yang digunakan untuk mengukur beda potensial objek hingga didapat laju korosi yang terjadi. Metode elektrokimia terdiri dari beberapa metode, dalam penelitian ini metode elektrokimia yang digunakan adalah metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) dan Tafel.

Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) adalah suatu metode untuk menganalisis respon suatu elektrode terkorosi terhadap arus AC pada amplitudo rendah (5 sampai 10 mV) dari rentang frekuensi 100 kHz hingga 10 MHz. Pada prinsipnya, EIS digunakan untuk menentukan parameter kinetika elektrokimia berkaitan dengan unsur-unsur listrik seperti Rs, Rct, dan Cdl, dimana Rs adalah tahanan larutan, Rct adalah tahanan transfer muatan, dan Cdl adalah kapasitansi lapis rangkap listrik (Magar *et al.*, 2021).

Hasil pengukuran menggunakan metode EIS menghasilkan kurva Nyquist seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 (Goni *and* Mazumder, 2019). Efisiensi penghambatan (IE) dari metode EIS dapat dihitung dengan Persamaan 11.

$$IE (\%) = \frac{R_{ct,inh} - R_{ct,o}}{R_{ct,inh}} \times 100 \quad (11)$$

di mana $R_{ct,inh}$ dan $R_{ct,0}$ adalah nilai resistansi transfer muatan dengan dan tanpa inhibitor (Zhang *et al.*, 2015).



Gambar 4. Contoh kurva Nyquist blanko (NaCl 3% jenuh CO_2)

Berdasarkan kurva Nyquist diperoleh nilai $(R_s + R_{ct})$ dan R_s . Nilai R_s merupakan titik awal dari setengah lingkaran dan $(R_s + R_{ct})$ merupakan titik akhir dari setengah lingkaran yang terbentuk dari kurva plot Nyquist. Nilai R_{ct} diperoleh dari selisih antara nilai $(R_s + R_{ct})$ dengan R_s . Jika nilai R_{ct} besar dan nilai C_{dl} menurun dengan meningkatnya konsentrasi inhibitor, maka akan menunjukkan perlindungan korosi yang lebih baik (Goni *and* Mazumder, 2019).

Tafel polarisasi merupakan metode elektrokimia untuk menentukan laju korosi berdasarkan kerapatan arus yang timbul (*current density*) dengan menghasilkan kurva polarisasi (tingkat perubahan potensial sebagai fungsi dari besaran arus yang digunakan) untuk permukaan yang laju korosinya sedang ditentukan.

Semakin tinggi kerapatan arus yang timbul, maka korosi akan semakin hebat begitu sebaliknya. Ketika potensial pada logam terpolarisasi menggunakan arus pada arah positif, maka hal ini disebut sebagai terpolarisasi secara anodik.

Apabila potensial pada permukaan logam terpolarisasi menggunakan arus pada

arah negatif, maka disebut terpolarisasi secara katodik. Pada Persamaan 12 menunjukkan perhitungan % IE dari nilai I_{corr} .

$$IE (\%) = \frac{I_{corr} - I'_{corr}}{I_{corr}} \times 100 \quad (12)$$

di mana I_{corr} dan I'_{corr} adalah rapat arus korosi dari baja ringan dengan dan tanpa inhibitor (Tsoeunyane *et al.*, 2019).

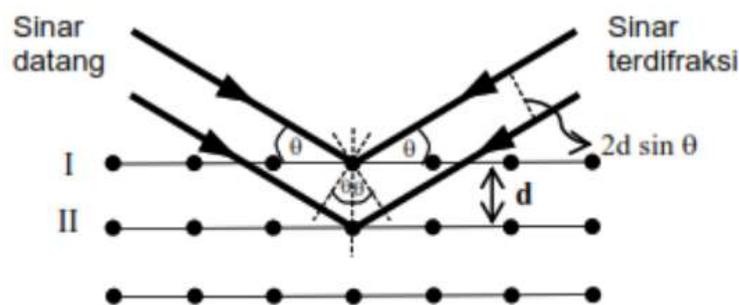
2.7. Karakterisasi Produk

Pada penelitian ini karakterisasi yang digunakan dalam sintesis zeolit-Y berbasis silika sekam padi yaitu *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Kemudian produk yang dihasilkan dari proses transesterifikasi minyak biji karet dan reaksi amidasi metil ester dikarakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) dan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS). Analisis morfologi permukaan baja lunak dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

2.7.1. *X-Ray Diffraction* (XRD)

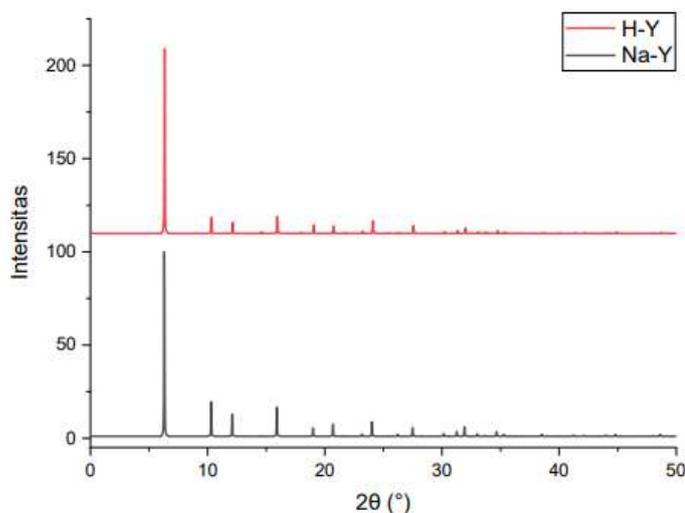
Karakterisasi dengan XRD bertujuan untuk mengetahui fase kristal dan amorf dan struktur kristal. XRD memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar-X yang akan menghasilkan komposisi mineral suatu material dalam bentuk bubuk (powder). XRD atau *X-Ray Diffraction* (Difraksi sinar-X) adalah salah satu metode yang biasanya digunakan untuk mengetahui struktur berupa kristal, perubahan fase dan derajat kristalinitas. Analisa menggunakan XRD oleh atom-atom yang tersusun di dalam kristal dapat membentuk pola yang berbeda, tergantung pada konfigurasi yang dihasilkan oleh atom-atom di dalam kristal.

XRD memiliki prinsip yang didasarkan pada difraksi sinar-X, hamburan cahaya dengan panjang gelombang λ saat melewati kisi kristal dengan sudut datang θ dan jarak antar bidang kristal yang ditandai dengan besarnya d . Metode karakterisasi menggunakan XRD dapat diperoleh data berupa sudut hamburan atau dapat disebut juga sudut Bragg serta intensitasnya. Sudut difraksi bergantung pada lebar celah dari kisi, sehingga dapat mempengaruhi pola difraksi, sedangkan intensitas cahaya difraksi bergantung pada berapa banyak kisi kristal yang memiliki orientasi yang sama, hal tersebut didasarkan pada teori difraksi (Alfarisa *et al.*, 2018). Pada persamaan interpretasi Hukum Bragg dilakukan berdasarkan asumsi bahwa permukaan dari mana sinar-X dipantulkan adalah datar. Hukum Bragg diturunkan berdasarkan karakteristik difraksi sinar-X oleh suatu zat, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Difraksi sinar-X pada jarak antar atom d dan sinar datang θ (Alfarisa *et al.*, 2018)

Zeolit hasil sintesis dapat dianalisis dengan menggunakan bantuan aplikasi IZA (*International Zeolite Association*), JCPDS, PCPDF, ataupun *Match* untuk menyamakan puncak 2θ yang muncul pada zeolit hasil sintesis dengan zeolit komersil. Berdasarkan IZA bila diamati dari hasil karakterisasi dengan XRD zeolit-Y tipe faujasite yang ditunjukkan pada Gambar 6 memiliki puncak-puncak karakteristik yang khas dengan puncak 2θ antara lain $6,183^\circ$; $10,104^\circ$; $15,600^\circ$; $18,621^\circ$; $20,288^\circ$; $23,561^\circ$; $27,673^\circ$; dan $31,285^\circ$.

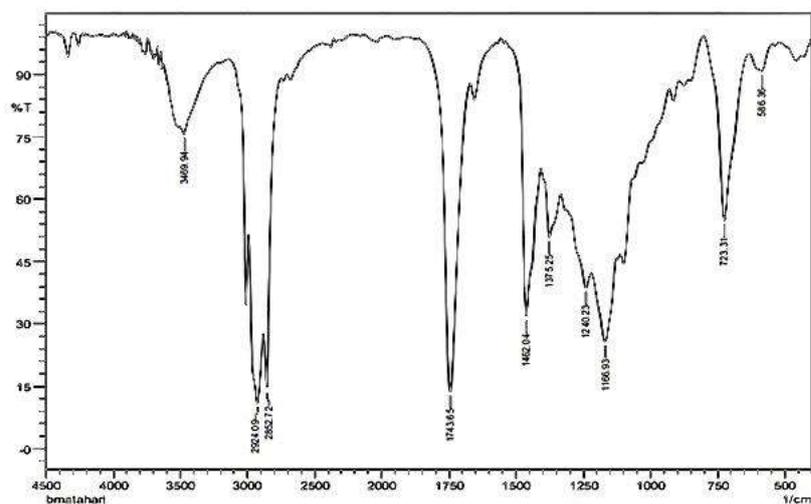


Gambar 6. Difraktogram XRD standar zeolit-Y dan H-Y (IZA, 2017)

2.7.2. *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

Fourier Transform Infrared (FTIR) adalah metode yang menggunakan spektroskopi inframerah. Dalam spektroskopi inframerah, radiasi inframerah dilewatkan melalui sampel. Sebagian radiasi akan diserap oleh sampel dan sebagian lainnya akan dilewatkan atau diteruskan. Analisis gugus fungsi menggunakan FTIR bertujuan untuk mengetahui proses fisika atau kimia yang terjadi selama pencampuran. FTIR dapat digunakan secara kuantitatif karena energi yang diserap pada panjang gelombang tertentu berbanding lurus dengan jumlah energi kinetik yang terkait, sehingga semakin tinggi konsentrasi analit, semakin banyak energi yang diserap. Spektroskopi FTIR merupakan analisis tanpa merusak sampel dan hanya membutuhkan persiapan sampel yang sederhana. Spektroskopi FTIR memiliki keuntungan yaitu preparasi sampel yang cepat dan sederhana, memungkinkan analisis langsung tanpa prosedur pemisahan. Gugus fungsi yang menyerap radiasi FTIR pada bilangan gelombang dan ikatan vibrasi kimia ditampilkan dalam spektra sidik jari karena pola spektral FTIR, khususnya daerah sidik jari, merupakan pola kompleks yang interpretasinya memerlukan bantuan metode kemometrik (Nurfirzatulloh dkk., 2023).

FTIR umumnya digunakan untuk analisis kualitatif gugus fungsi dalam sampel. Metil ester memiliki gugus fungsi yang dapat diidentifikasi dengan FTIR yang ditunjukkan pada Gambar 7.

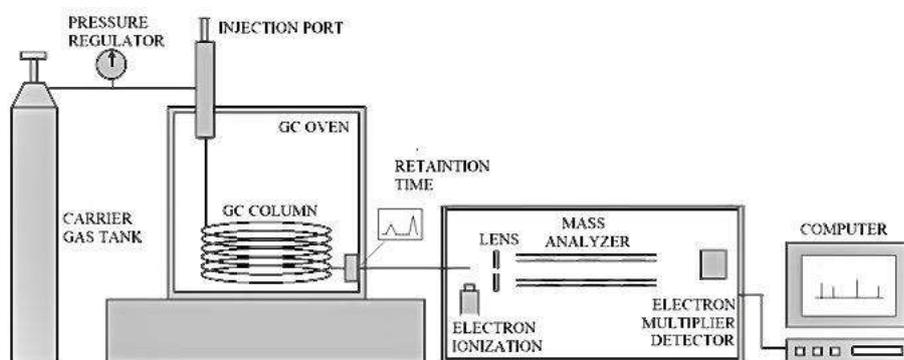


Gambar 7. Spektrum FTIR Metil Ester (Khasanah dkk., 2019)

Hasil karakterisasi spektrum FTIR metil ester di atas menunjukkan bahwa terdapat serapan pada bilangan gelombang 2924 cm^{-1} dan 2852 cm^{-1} yang merupakan vibrasi stretching gugus C-H alifatik yang diperkuat dengan adanya serapan pada bilangan gelombang 1462 cm^{-1} dan 1375 cm^{-1} yang merupakan vibrasi bonding dari gugus C-H alifatik. Kemudian pada bilangan gelombang 1743 cm^{-1} terdapat serapan yang merupakan vibrasi stretching dari gugus C=O ester yang didukung dengan vibrasi bonding C-O pada bilangan gelombang 1166 cm^{-1} . Pada bilangan gelombang 1658 cm^{-1} muncul serapan yang merupakan vibrasi stretching pada gugus C=C dan pada bilangan gelombang 723 cm^{-1} muncul serapan yang menunjukkan gugus $-(\text{CH}_2)_n-$ yang merupakan rantai dari metil ester. Berdasarkan data di atas menunjukkan bahwa senyawa yang dikarakterisasi mengandung gugus C=O ester yang merupakan karakteristik dari senyawa metil ester.

2.7.3. Gas Chromatography-Mass Spectrophotometry (GC-MS)

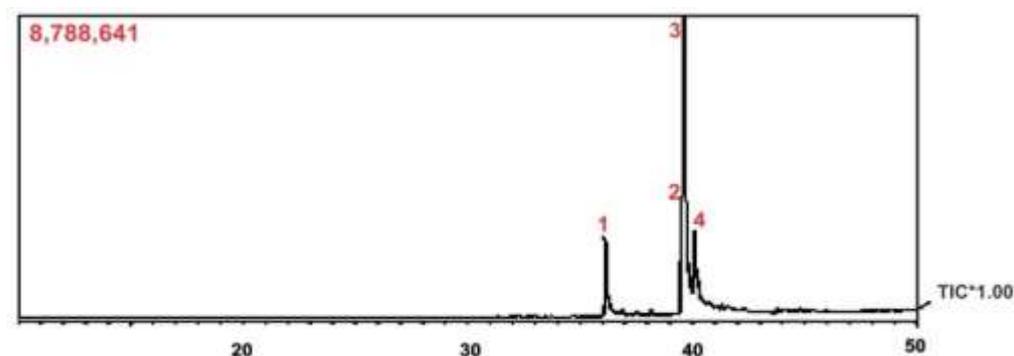
Gas Chromatography-Mass Spectrophotometry (GC-MS) adalah salah satu teknik terbaik untuk mengidentifikasi konstituen zat yang mudah menguap, rantai panjang, hidrokarbon rantai bercabang, alkohol, asam, ester, dan lain-lain. Metode ini sederhana, sensitif dan efektif dalam memisahkan komponen suatu campuran (Saragih dkk., 2020). Komponen dan skema dari GC-MS dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Komponen dan skema dari GC-MS (Kolapkar, 2018)

Prinsip kerja GC-MS yaitu ketika sampel yang berupa cairan diinjeksikan ke dalam injektor kemudian diuapkan melalui oven kolom. Sampel yang berbentuk uap kemudian dibawa oleh gas pembawa menuju kolom GC untuk proses pemisahan. Setelah pemisahan, masing-masing komponen (eluat) akan mengalir ke sumber ion dan dibombardir oleh elektron sehingga terjadi ionisasi. Fragment-fragment ion yang dihasilkan akan diarahkan ke penganalisis massa dan pada akhirnya terdeteksi oleh detektor. Detektor MS dapat mengidentifikasi senyawa menggunakan waktu retensi dari kromatogram dan menentukan jumlahnya menggunakan intensitas puncak. Data seperti waktu retensi, berat molekul, dan spektrum massa yang diperoleh dari GC-MS dapat digunakan untuk mengidentifikasi puncak yang tidak diketahui melalui pencarian perpustakaan spektral. Dengan perangkat lunak tambahan, GC-MS dapat menghitung massa yang akurat dan memperkirakan komposisi molekul tersebut (Jackie and Toyama,

2020). Kromatogram GC-MS produk transesterifikasi ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Kromatogram GC-MS produk transesterifikasi minyak biji karet (Pandiangan *et al.*, 2017)

Gambar 9 menunjukkan adanya empat komponen senyawa dalam metil ester minyak biji karet. Adapun komponen senyawa yang teridentifikasi ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Komponen senyawa produk transesterifikasi

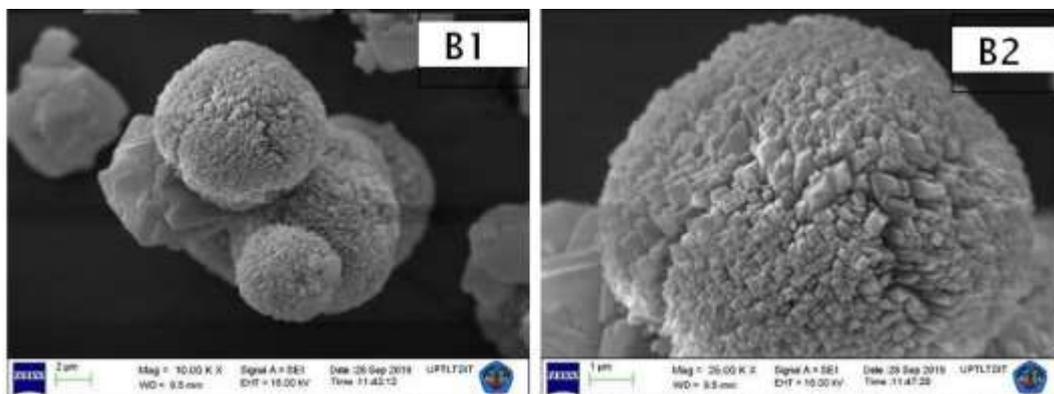
No	Nama Senyawa	Rumus Molekul	Waktu Restensi (menit)	Jumlah Relatif (%)
1	Metil Palmitat	$C_{17}H_{34}O_2$	36,1	11,83
2	Metil Linoleat	$C_{19}H_{34}O_2$	39,5	11,77
3	Metil Oleat	$C_{19}H_{36}O_2$	39,6	60,80
4	Metil Stearat	$C_{19}H_{38}O_2$	40,1	13,27

2.7.4. Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah sebuah mikroskop elektron yang di desain untuk menyelidiki permukaan dari objek solid secara langsung. SEM memiliki perbesaran 10-3000000x, *depth of field* 4-0,4 mm dan resolusi sebesar 1-10 nm. Kombinasi dari perbesaran yang tinggi, *depth of field* yang besar, resolusi yang baik, kemampuan untuk mengetahui komposisi dan informasi kristalografi (Oping dkk., 2023). Prinsip kerja alat ini adalah ketika sumber elektron dari

filamen yang terbuat dari tungsten memancarkan berkas elektron, elektron tersebut akan berinteraksi dengan bahan (*specimen*) dan menghasilkan elektron sekunder dan sinar-X karakteristik. Scanning pada permukaan bahan yang dikehendaki dapat dilakukan dengan mengatur *scanning generator* dan *scanning coils* (Abdullah and Mohammed, 2019).

Pangesti *et al.*, (2021) berhasil mensintesis zeolit-Y dari silika sekam padi dan aluminium foil *food grade* dengan metode hidrotermal. Morfologi dari sampel ditunjukkan pada Gambar 10 dengan waktu kristalisasi 48 jam.



Gambar 10. Mikrograf SEM zeolit-Y dengan waktu kristalisasi 48 jam (Pangesti *et al.*, 2021)

Gambar 10 adalah hasil analisis SEM yang menjelaskan bahwa mikrograf zeolit-Y hasil sintesis dengan waktu kristalisasi 48 jam memiliki karakteristik bentuk yang mirip yaitu lingkaran yang tersusun dari kumpulan blok kristal yang tumbuh memusat dari pusat lingkaran (Pangesti *et al.*, 2021).

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

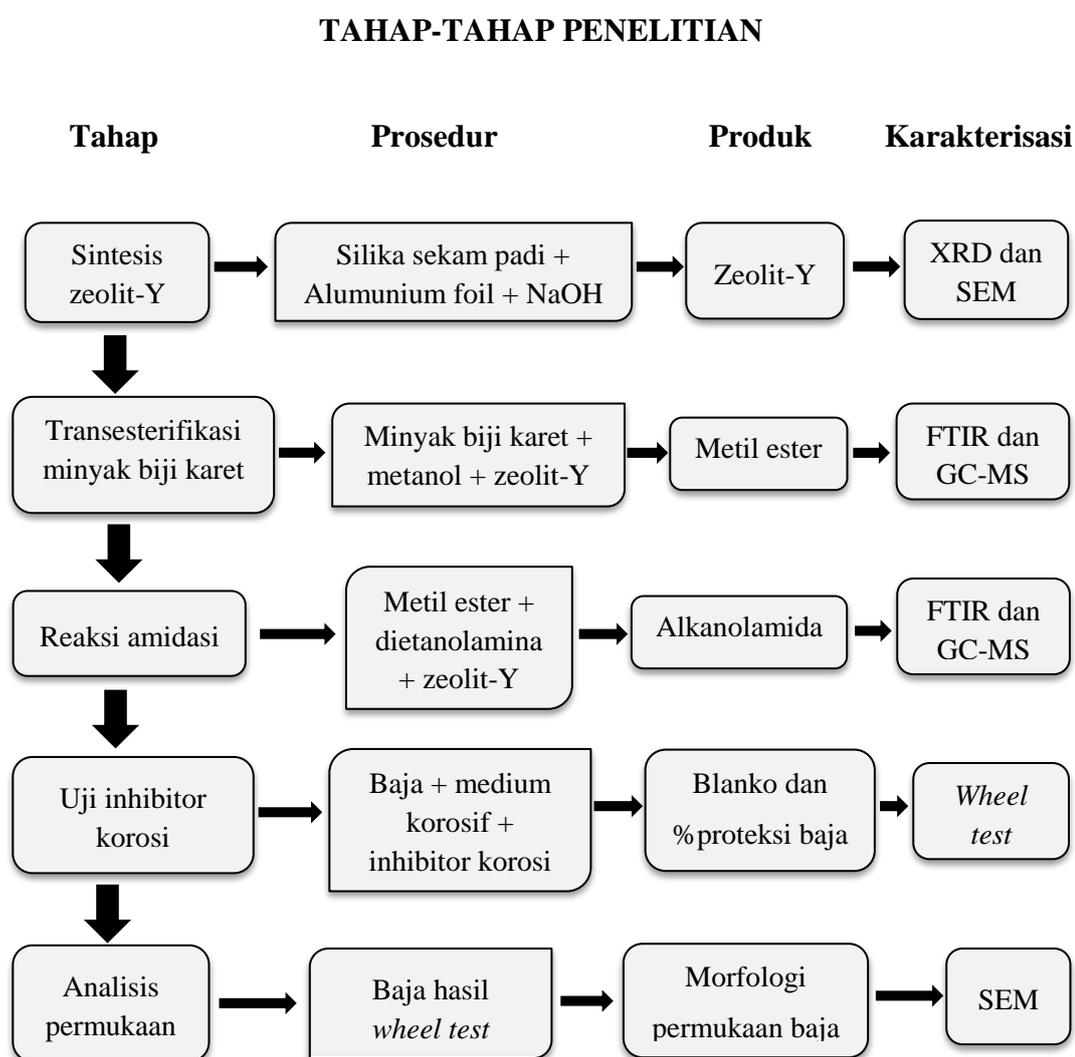
Penelitian ini telah dilakukan pada bulan Oktober 2023-April 2024 di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Karakterisasi menggunakan XRD dilaksanakan di Divisi Karakterisasi Material Departemen Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Karakterisasi menggunakan GC-MS dilakukan di Laboratorium Kimia Universitas Gadjah Mada (UGM). Analisis gugus fungsi menggunakan FTIR dan analisis morfologi permukaan menggunakan SEM akan dilaksanakan di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

3.2. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam melakukan penelitian ini adalah; *hot plate* , oven, *stirrer*, *autoclave*, labu bundar, corong pisah, *screw press*, *furnace*, alat refluks, voltalab, *water bath*, termometer, saringan mesh, mikropipet, jangka sorong, desikator, gelas kimia, spatula labu ukur, neraca analitik merk KERNABT 220-AM, *Fourier Transform Infrared* (FTIR) merk Cary 30 Agilent, *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) merk Shimazu QP 2010 SE, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) merk ZEISS EVO MA 10, dan *X-Ray Diffraction* (XRD) merk PANalytical tipe Empyream.

Bahan-bahan yang digunakan dalam melakukan penelitian ini adalah; biji karet, metanol pa, aseton, alumunium foil, NaOH pa, dietanolamina, indikator pH, akuades, baja lunak, HNO₃, NaCl, NaHCO₃, HCl, Sb₂O₃, SnCl₂, CO₂, kertas saring, amplas grit (200, 400, 600, 800, 1000, dan 1200), dan sekam padi.

3.3. Diagram Alir Percobaan



Gambar 11. Tahap-tahap kerja penelitian

3.4. Prosedur Percobaan

3.4.1. Preparasi Sekam Padi dan Ekstraksi Silika

Preparasi sekam padi dan ekstraksi silika dilakukan sesuai dengan yang telah dilakukan oleh Simanjuntak *et al.*, (2019). Sekam padi dipreparasi terlebih dahulu yaitu dengan merendam sekam padi dalam air untuk menghilangkan pengotornya dan dipisahkan antara sekam padi yang mengapung dan tenggelam. Sekam padi yang mengapung dibuang, sedangkan sekam padi yang tenggelam dikumpulkan karena mengandung silika yang tinggi. Kemudian, sekam padi yang mengandung silika dicuci kembali secara berulang dengan air mengalir untuk menghilangkan pengotor yang diperkirakan masih menempel pada permukaan sekam padi. Sekam padi yang telah bersih selanjutnya dikeringkan di bawah sinar matahari.

Sekam padi yang telah bersih sebanyak 200 g diekstraksi dalam 2000 mL larutan NaOH 1,5% dalam teflon atau gelas beaker, lalu dipanaskan sampai mendidih selama 30 menit. Hasil ekstrak kemudian disaring untuk memisahkan ampas sekam padi dengan filtrat yang mengandung silika terlarut. Selanjutnya filtrat yang mengandung silika (sol silika) ditambahkan dengan larutan HNO₃ 10% secara perlahan hingga menjadi gel dan pH netral (7,0). Gel silika yang terbentuk didiamkan selama 24 jam pada suhu ruang lalu disaring dan dicuci dengan akuades panas hingga bersih dan putih. Silika gel yang telah bersih dan bebas dari pengotor kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 80 °C selama 24 jam, dihaluskan, dan diayak dengan saringan 300 mesh.

3.4.2. Sintesis Zeolit-Y

Sintesis zeolit-Y dilakukan dengan sesuai dengan yang telah dilakukan oleh Pangesti *et al.*, (2021) dengan komposisi 4Na₂OH: Al₂O₃: 4,8SiO₂: 120H₂O yang dibuat dari campuran larutan natrium silikat dan aluminium foil *food grade*. Sintesis zeolit-Y diawali dengan menimbang NaOH pa sekitar 22,22 g, aluminium

foil sebanyak 3,75 g, dan silika sekam padi sebanyak 20 g. Selanjutnya NaOH dilarutkan dengan 240 mL akuades. Sebanyak 240 mL larutan NaOH ditambahkan silika sekam padi secara perlahan. Campuran dipanaskan dengan *hotplate stirrer* pada suhu 70 °C selama 4 jam. Setelah semua silika terlarut, larutan natrium silikat disaring dengan menggunakan kertas saring untuk memisahkan dari pengotor yang masih terdapat dalam larutan. Selanjutnya aluminium foil *food grade* yang telah dipotong kecil-kecil, ditambahkan ke dalam larutan natrium silikat dengan cara disebarakan secara merata lalu diaduk selama 6 jam dengan *hotplate stirrer* tanpa panas hingga membentuk gel homogen.

Tahap berikutnya gel dipindahkan ke dalam botol polipropilen dan dimasukkan ke dalam autoklaf lalu dilakukan penuaan (*aging*) selama 24 jam dalam keadaan tertutup untuk menumbuhkan inti kristal zeolit. Setelah itu, sampel dikristalisasi pada suhu 100 °C selama 48 jam. Setelah proses kristalisasi selesai, sampel disaring secara perlahan dengan kertas saring untuk memisahkan zeolit yang terbentuk dengan sisa filtrat yang terdapat dalam *autoclave* kemudian dicuci dengan akuades sampai mencapai pH 8. Sampel lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 80 °C selama 24 jam. Pada tahap terakhir, sampel yang sudah kering dikalsinasi pada suhu 550 °C selama 6 jam untuk mengaktifkan zeolit. Untuk membuktikan bahwa produk adalah zeolit-Y seperti yang diharapkan, zeolit-Y akan dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)* dan *Scanning Electron Microscopi (SEM)*, kemudian digunakan dalam prosedur transesterifikasi dan amidasi.

3.4.3. Preparasi Minyak Biji Karet

Biji karet yang telah dikumpulkan dipecah untuk memisahkan bagian cangkang dengan bagian dalam biji karet (kernel). Kernel kemudian dipotong kecil-kecil dan dipanaskan di bawah sinar matahari untuk menghilangkan kandungan air. Selanjutnya, kernel dioven pada suhu 80 °C selama 30 menit untuk menghilangkan kandungan air yang masih tersisa. Kernel yang telah kering

dikempa menggunakan *screw press* untuk memisahkan minyak dengan ampas. Minyak kemudian disaring untuk menghilangkan pengotor. Minyak yang diperoleh berwarna kuning kecoklatan dan kental yang selanjutnya akan digunakan untuk proses transesterifikasi.

3.4.4. Transesterifikasi Minyak Biji Karet

Transesterifikasi minyak biji karet menggunakan prosedur yang telah dilakukan oleh Yuliani, (2022) dengan mencampurkan setiap 10% katalis zeolit-Y yaitu sebanyak 2,5 gram pada 25 mL minyak biji karet dan 100 mL metanol dalam labu bundar dan diaduk dengan pengaduk magnet. Campuran tersebut direfluks dengan *hotplate stirrer* pada suhu 70 °C selama 6 jam. Hasil refluks disaring menggunakan corong pisah dan didiamkan selama 24 jam hingga terbentuk 2 fasa, fasa atas merupakan metil ester dan fasa bawah merupakan gliserol. Metil ester yang diperoleh dikarakterisasi menggunakan FTIR dan GC-MS, selanjutnya digunakan sebagai bahan baku pada reaksi amidasi.

3.4.5. Amidasi dengan Dietanolamina

Amidasi dengan dietanolamina dilakukan untuk memperoleh senyawa turunan nitrogen yang dapat digunakan sebagai inhibitor korosi. Pada penelitian ini dilakukan pencampuran antara metil ester dan dietanolamina dengan variasi nisbah yaitu; 1:1 (8 mL : 8 mL); 1,5:1 (9 mL : 6 mL); dan 2:1 (10 mL : 5 mL) dengan jumlah katalis yang digunakan sebanyak 5% dari jumlah metil ester dan dietanolamina yang digunakan. Campuran dimasukkan dalam labu bundar 300 mL dan diaduk dengan pengaduk magnet. Campuran tersebut kemudian direfluks selama 3 jam dengan suhu 160 °C. Hasil refluks disaring menggunakan corong pisah. Fase bagian atas merupakan alkanolamida dan fase bagian bawah merupakan metanol. Produk amidasi yang terbentuk dikarakterisasi menggunakan

FTIR dan GC-MS, selanjutnya diuji aktivitasnya sebagai inhibitor korosi baja lunak dalam medium yang mengandung CO₂ menggunakan metode *wheel test*.

3.4.6. Persiapan Sampel Baja Lunak

Baja lunak dipotong dengan ukuran 2x1 cm, kemudian diampas dengan kertas ampas dengan grit 200, 400, 600, 800, 1000 dan 1200. Setelah permukaan baja lunak rata selanjutnya dibersihkan dengan akuades lalu dibilas dengan etanol kemudian diukur dimensinya dan ditimbang massanya.

3.4.7. Pembuatan Larutan

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

a. Larutan medium korosif

Medium korosif yang akan digunakan dalam penelitian adalah larutan NaCl 3% yang dibuat dengan melarutkan kristal NaCl sebanyak 30 g dan 0,1 g NaHCO₃ ke dalam labu ukur 1000 mL, kemudian ditambahkan akuades sampai tanda tera dan dihomogenkan.

b. Pembuatan larutan induk inhibitor

Larutan induk inhibitor dibuat dengan melarutkan inhibitor (senyawa nitrogen) dalam pelarut metanol dengan konsentrasi 15.000 ppm.

c. Pembuatan *clarke's solution*

Clarke's solution dibuat dengan mencampurkan 2 g Sb₂O₃ dan 5 g SnCl₂ yang dilarutkan dalam 100 mL HCl pekat.

3.4.8. Pengujian Inhibitor Korosi (*Wheel Test*)

Larutan medium korosif dimasukkan ke dalam 6 botol gelas masing-masing sebanyak 100 mL. Larutan inhibitor dimasukkan ke dalam botol gelas dengan konsentrasi 150 ppm menggunakan mikropipet sambil dialiri gas CO₂ selama 45 menit. Kupon baja lunak yang telah diketahui ukuran dan massanya dimasukkan ke dalam masing-masing botol gelas. Aliran gas CO₂ dihentikan dan botol langsung ditutup dengan hati-hati dengan memastikan tidak ada oksigen yang masuk kemudian didiamkan selama 24 jam. Selanjutnya kupon dikeluarkan dari botol dan dibersihkan dengan *Clarke's solution* selama 45 detik. Setelah itu dicuci dengan akuades dan dibilas dengan metanol. Kupon yang sudah kering ditimbang kembali berat akhirnya.

3.4.9. Analisis Permukaan dengan SEM

Baja lunak hasil pengukuran dengan metode *wheel test* menggunakan medium korosif dengan penambahan dan tanpa inhibitor korosi dianalisis menggunakan SEM.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Zeolit-Y dari silika sekam padi telah berhasil disintesis ditunjukkan oleh hasil karakterisasi XRD yang memiliki pola difraksi 2θ yang sama dengan zeolit-Y standar IZA serta didukung oleh hasil karakterisasi SEM yang menunjukkan morfologi permukaan yang berbentuk kristal kubik-oktahedral.
2. Hasil analisis FTIR produk transesterifikasi menunjukkan minyak biji karet telah terkonversi menjadi metil ester didukung dengan hasil analisis GC-MS yang menunjukkan metil linoleat sebagai komposisi terbanyak yakni 29,51%.
3. Hasil analisis FTIR produk amidasi menunjukkan bahwa metil ester telah berhasil terkonversi menjadi gugus amida yang ditunjukkan adanya pita serapan pada bilangan gelombang 1617 cm^{-1} yang merupakan vibrasi gugus C=O amida dan diperkuat oleh adanya gugus C-N pada rentang bilangan gelombang 1118 cm^{-1} dan 1053 cm^{-1} .
4. Hasil analisis GC-MS produk amidasi pada nisbah 1:1 mengandung senyawa nitrogen sebesar 32,72%, namun masih didominasi oleh senyawa dietanolamina.
5. Aktivitas inhibitor korosi terbaik ditunjukkan oleh produk amidasi dengan variasi nisbah 1:1 dengan persen proteksi sebesar 95,86% dan didukung oleh analisis SEM yang menunjukkan morfologi baja lunak terlindungi dengan baik.

5.2. Saran

Beberapa hal yang disarankan pada penelitian sebelumnya antara lain:

1. Konversi metil ester pada proses transesterifikasi masih kecil sehingga perlu dilakukan percobaan dengan menggunakan katalis lain, nisbah yang digunakan, dan suhu.
2. Mengoptimalkan reaksi antara metil ester dan dietanolamina untuk menghasilkan jumlah senyawa nitrogen yang lebih tinggi, seperti melakukan percobaan dengan variasi reaktan, waktu, dan suhu reaksi.
3. Melakukan uji aktivitas laju korosi dengan metode elektrokimia seperti metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) dan Plot Tafel agar diperoleh hasil yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A., and Mohammed, A. 2019. Scanning Electron Microscopy (SEM): A Review. *International Conference on Hydraulics and Pneumatics*, 7(9), 77–85.
- Ahmad, F., Saputra, R. A., Syeptiani, S., Studi, P., Mesin, T., dan Raflesia, P. 2023. Pengaruh Pemberian Disinfektan Terhadap Laju Korosi dan Jenis Korosi yang Terjadi Pada Logam. *Jurnal Multidisiplin Raflesia*, 2(1), 55–59.
- Akbar, S. A. 2019. Pemanfaatan Ekstrak Buah *Psidium Guajava* Sebagai Green Inhibitor untuk Korosi Besi Pada Larutan Asam Sulfat. *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*, 7(1), 28–33.
- Alaqarbeh, M. 2021. Adsorption Phenomena: Definition, Mechanisms, and Adsorption Types: Short Review. *Green and Applied Chemistry*, 13(2), 43–51.
- Alfarisa, S., Rifai, D. A., dan Toruan, P. L. 2018. Studi Difraksi Sinar-X Struktur Nano Seng Oksida (ZnO). *Risalah Fisika*, 2(2), 53–57.
- Almahdali, K., Daud, K., Walanda., dan Napitupulu., N. 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), 2477–5185.
- Andira, R., Zulnazri, Z., Bahri, S., Azhari, A., dan Muarif, A. 2022. Pemanfaatan Ekstrak Daun Rambutan Sebagai Inhibitor Korosi Pada Plat Besi dalam Media Air Payau. *Chemical Engineering Journal Storage*, 2(3), 11–20.
- Arenas, C. N., Vasco, A., Betancur, M., and Martinez, J. D. 2017. Removal of Indigo Carmine (IC) from Aqueous Solution by Adsorption Through Abrasive Spherical Materials Made of Rice Husk Ash (RHA). *Journal Process Safety and Environmental Protection*, 106, 224–238.

- Arita, S., Rifqi, M., Nugoroho, T., Agustina, T.E., and Hadiyah, F. 2020. Manufacture of Biodiesel from Palm Oil Effluent with Various Sulfuric Acid Catalysts in The Esterification Process. *Jurnal Teknik Kimia*, 26(1), 1–11.
- Athar, M., and Zaidi, S. 2020. A Review of The Feedstocks, Catalysts, and Intensification Techniques for Sustainable Biodiesel Production. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(6), 104523.
- Aulia, M. N. 2021. Alkanolamida Berbasis Minyak Biji Karet (*Hevea brasiliensis*) Sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak dalam Medium yang Mengandung Karbon Dioksida (CO₂). *Skripsi*, Universitas Lampung.
- Avdeev, Y. G. 2018. Nitrogen-Containing Six-Membered Heterocyclic Compounds as Corrosion Inhibitors for Metals in Solutions of Mineral Acids –A Review. *International Journal of Corrosion and Scale Inhibition*, 7(4), 460–497.
- Batu, M. S., Kolo, M. M., dan Kono, A. 2022. Pemanfaatan Ekstrak Biji Feun Kase (*Thevetia peruviana*) sebagai Inhibitor Korosi Logam Seng dalam Media HCl. *Jurnal Riset Kimia*, 13(2), 188–197.
- Bellido, J. G., Carrelo, L. F., Velasco, M. R., Piparo, M., Zoccali, M., Mondello, L., Moldovan, M., Bouyssiere, B., Giusti, P., and Encinar, J. R. 2023. Potential of GC-Combustion-MS as a Powerful and Versatile Nitrogen-Selective Detector in Gas Chromatography. *Analytical Chemistry*, 95(31), 11761–11768.
- Brycki, B. E., Kowalezyk, I. H., Szule, A., Kaczerewska, O., and Pakiet, M. 2018. Organic Corrosion Inhibitors. *Corrosion Inhibitors, Principles and Recent Applications*, 20(1), 1–33.
- Brzeska, J., Elert, A. M., Morawska, M., Sikorska, W., Kowalczyk, M., and Rutkowska, M. 2018. Branched Polyurethanes Based on Synthetic Polyhydroxybutyrate with Tunable Structure and Properties. *Polymers*, 10(8), 1–12.
- Burhanuddin, I., Daniel, dan Erwin. 2019. Pembuatan Senyawa Metil Ester yang Diturunkan dari Minyak Biji Bintaro (*Cerbera manghas L.*) Sebagai Bahan Baku Dasar Pembuatan Surfaktan. *Jurnal Kimia Mulawarman*, 16(2), 90–94.

- Chen, G., Shah, K. J., Shi, L., and Chiang, P. C. 2017. Removal of Cd(II) and Pb(II) Ions from Aqueous Solutions by Synthetic Mineral Adsorbent: Performance and Mechanisms. *Journal Applied Surface Science*, 409(1), 296–305.
- Dabbawala, A. A., Reddy, K. S. K., Mittal, H., Wahedi, Y. A., Vaithilingam, B. V., Karanikolos, G. N., Singaravel, G., Morin, S., Berthod, M., and Alhassan, S. M. 2021. Water Vapor Adsorption on Metal-Exchanged Hierarchical Porous Zeolite-Y. *Microporous and Mesoporous Materials*, 32(6), 86-93.
- Díaz, E., Ordóñez, S., Vega, A., and Coca, J. 2005. Evaluation of Different Zeolites in Their Parent and Protonated Forms for The Catalytic Combustion of Hexane and Benzene. *Microporous and Mesoporous Materials*, 83(1-3), 292–300.
- Damayanti, N. 2021. Analisis Efektivitas Campuran Metil Ester Turunan Minyak Biji Karet (*Hevea brasiliensis*) dengan Dietanolamina Sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak dalam Medium yang Mengandung Karbon Dioksida (CO₂). *Skripsi*, Universitas Lampung.
- Daryono, E. D., dan Mustiadi, L. 2022. Pengaruh Penambahan Co-solvent Metil Ester dan Waktu Reaksi pada Proses Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Menjadi FAME (Fatty Acid Methyl Esters). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 11(1), 16–20.
- Elgaddafi, R., Ramadan, A., and Subhash, S. 2020. Corrosion of Carbon Steel in CO₂ Saturated Brine at Elevated Temperatures. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 196(2), 1–17.
- Ferreira, K. C. R., Cordeiro, R. F. B., Nunes, J. C., Orofino, H., Magalhães, M., Torres, A. G., and D'Elia, E. 2016. Corrosion Inhibition of Carbon Steel in HCl Solution by Aqueous Brown Onion Peel Extract. *International Journal of Electrochemical Science*, 11(1), 406–418.
- Firdausa, F., Marpaung, R., Artini, S. R., Diba, A. F., Ria, V. W., dan Iryani, A. W. 2020. Analisis Pengaruh Biji Karet Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, 4(1), 23.

- Gandhi, D., Bandyopadhyay, R., and Soni, B. 2021. Zeolite Y from Kaolin Clay of Kachchh, India: Synthesis, Characterization and Catalytic Application. *Journal of the Indian Chemical Society*, 98(12), 100246.
- Gimbun, J., Ali, S., Charan Kanwal, C. C. S., Shah, L. A., Ghazali, N. H. M., Cheng, C. K., and Nurdin, S. 2012. Biodiesel Production from Rubber Seed Oil Using A Limestone Based Catalyst. *Advances in Materials Physics and Chemistry*, 2(04), 138–141.
- Goni, L. K. M. O., and Mazumder, M. A. J. 2019. Green Corrosion Inhibitors. *Corrosion Inhibitors*, 3(2), 1–18.
- Hameed, R. S, A. 2011. Ranitidine Drugs as Non-Toxic Corrosion Inhibitors for Mild Steel in Hydrochloric Acid Medium. *Portugaliae Electrochimica Acta*, 29(4), 273–285.
- Hamidi, R., Tai, L., Paglia, L., Scarsella, M., Damizi, M., Filippis, P. De, Musivanda, S., and Caprariis, B. de. 2022. Hydrotreating of Oak Wood Biocrude Using Heterogeneous Hydrogen Producer Over Y Zeolite Catalyst Synthesized from Rice Husk. *Energy Conversion and Management*, 255, 115348.
- Haque, J., Srivastava, V., Verma, C., Lgaz, H., Salghic, R., and Quraishi, M. A. 2017. -Methyl-N,N,N-Trioctylammonium Chloride as A Novel and Green Corrosion Inhibitor for Mild Steel in an Acid Chloride Medium: Electrochemical, DFT and MD Studies. *New Journal of Chemistry*, 1(22), 20–32.
- Hartono, R., Hardi, W., Gunawan, I., Mesin, J. T., Teknik, F., Khairun, U., Jurnal, D., dan Mesin, T. 2021. Ekstrak Daun Jarak Sebagai Inhibitor (Penghambat) Korosi pada Baja Karbon. *Dinamika Jurnal Teknik Mesin Unkhair*. 6(1) : 4-10.
- Haryono, G., Sugiarto, B., dan Farid, H. 2010. Ekstrak Bahan Alam sebagai Inhibitor Korosi. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia*, 1–6.
- He, D., Yuan, D., Song, Z., Xu, Y., and Liu, Z. 2019. Eco-Friendly Synthesis of High Silica Zeolite Y with Choline as Green and Innocent Structure-Directing Agent. *Chinese Journal of Catalysis*, 40(1), 52–59.

- Idouhli, R., Koumya, Y., Khadiri, M., Aityoub, A., Abouelfida, A., and Benyaich, A. 2019. Inhibitory Effect of Senecio Anteuphorbium as Green Corrosion Inhibitor for S300 Steel. *International Journal of Industrial Chemistry*, 10(2), 133–143.
- Ilim, I., Afifah, A. I. N., Hidayah, L., Herliana, H., Pandiangan, K. D., and Simanjuntak, W. 2022. Study on Corrosion Inhibition Activity of Nitrogen Compounds Derived from Coconut Oil Methyl Ester. *International Journal of Corrosion and Scale Inhibition*, 11(4), 1639–1651
- Ilim, I., 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.
- Ilim, Jefferson, A., Simanjuntak, W., Jeannin, M., Syah, Y. M., Bundjali, B., and Buchari. 2016. Synthesis and Characterization of Oligomer 4-Vinylpyridine as A Corrosion Inhibitor for Mild Steel in CO₂ Saturated Brine Solution. *Indonesian Journal of Chemistry*, 16(2), 198–207.
- Ilim, Pandiangan, K. D., dan Sudrajat, S. 2007. Studi Penggunaan Tumbuhan Tembakau, Teh dan Kopi sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak dalam Air Laut Buatan yang Jenuh CO₂. *Jurnal Sains MIPA*, 13(2), 163–168.
- Ilim., I., Simanjuntak, W., Pandiangan, K. D., Febriyanti, T. D., Islami, A. P., and Hadi, S. 2024. Catalytic Upgrading of Palm Oil Derived Bio-Crude Oil for Bio-Hydrocarbon Enrichment Using Protonated Zeolite-Y as Catalyst. *AIMS Energy*, 12(3), 600–616.
- 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.
- Islami, A. P. 2018. Upgrading Bio-Crude Oil Hasil Pirolisis Minyak Kelapa Sawit Menjadi Biogasoline Menggunakan Katalis Zeolit-Y Terprotonasi Sebagai Katalis. *Skripsi*, Universitas Lampung.

- Ituen, E., Akaranta, O., James, A., and Sun, S. 2018. Green and Sustainable Local Biomaterials for Oil Field Chemicals: Griffonia Simplicifolia Extract as Steel Corrosion Inhibitor in Hydrochloric Acid. *Sustainable Materials and Technologies*, 11(1), 12–18.
- IZA. 2017. Framework Type FAU. *International Zeolite Association*.
<https://asia.iza-structure.org/IZA-SC/Framework.php?STC=FAU>.
- Jackie, L. C., and Toyama, A. 2020. Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS). *Shimadzu Corporation*, Japan.
- Julbe, A., and Drobek, M. 2011. Zeolite Membrane: Synthesis. *Encyclopedia of Membranes*, 2057–2060.
- Khasanah, N., Daniel, dan Marliana, E. 2019. Sintesis Surfaktan Dietanolamida dari Metil Ester Minyak Biji Bunga Matahari (*Helianthus annuus. L*) Melalui Reaksi Amidasi. *Jurnal Kimia Mulawarman*, 16(2), 83–89.
- Khasibudin, M. R. W., Zulfika, D. N., dan Kusbiantoro, R. 2019. Analisis Laju Korosi Baja Karbon ST 60 Terhadap Larutan Hidrogen Klorida (HCl) Dan Larutan Natrium Hidroksida (NaOH). *Journal Majamecha*, 1(2), 88–102.
- Kolapkar, S. 2018. Pyrolysis of Fiber-Plastic Waste Blends. *Tesis*, Michigan T, East Lansing.
- Krishnegowda, P. M., Venkatesha, V. T., Krishnegowda, P. K. M., and Shivayogiraju, S. B. 2013. Acalypha torta Leaf Extract as Green Corrosion Inhibitor for Mild Steel in Hydrochloric Acid Solution. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 52(2), 722–728.
- 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. *Journal Fuel*, 159, 845–853.
- Kwakye-Awuah, B., Sefa-Ntiri, B., Von-Kiti, E., Nkrumah, I., and Williams, C. 2019. Adsorptive Removal of Iron and Manganese from Groundwater Samples in Ghana by Zeolite Y Synthesized from Bauxite and Kaolin. *Journal Water*, 11(9), 1–19.

- Lusiana, W., Nadia, A., Sudiartono, S., Hariani, P. L., Setyopratiwi, A., and Wijaya, K. 2020. Synthesis and Characterization of Diethanolamide (Surfactant) from Cao/Zeolite-Catalysed Used Cooking Oil. *Journal of the Indonesian Chemical Society*, 3(2), 81.
- Lutz, W. 2014. Zeolite Y: Synthesis, Modification, and Properties A Case Revisited. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2(1), 1–20.
- Magar, H. S., Hassan, R. Y. A., and Mulchandani, A. 2021. Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS): Principles, Construction, and Biosensing Applications. *Journal Sensors*, 21(19), 1–21.
- Maimunah, S., Daniel, and Saleh, C. 2020. Sintesis Etilendiamida dari Metil Ester Minyak Biji Kopi Arabika (*Coffea arabica L.*) dengan Etilendiamin Menggunakan Katalis NaOCH₃ Melalui Reaksi Amidasi. *Jurnal Atomik*, 5(2), 99–106.
- 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.
- May, M., Khalifa, K., and Ali, B. 2019. Corrosion Inhibition of Mild Steel by Using Carbimazole/Zn⁺ System in NaCl Medium. *American Journal of Mechanical and Materials Engineering*, 3(4), 70–77.
- Mazumder, M. A. J., Al-Muallem, H. A., Faiz, M., and Ali, S. A. 2014. Design and Synthesis of A Novel Class of Inhibitors for Mild Steel Corrosion in Acidic and Carbon Dioxide-Saturated Saline Media. *Journal Corrosion Science*, 87(1), 187–198.
- Meizar, D. V., Suryani, A., dan Hambali, E. 2017. Sintesis Surfaktan Dietanolamida (DEA) Dari Metil Ester Olein Sawit Menggunakan Reaktor 25 Liter. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 27(3), 328–335.
- Mulyaningsih, N., Mujiarto, S., dan Gyani. 2019. Pengaruh Daun Jambu Sebagai Inhibitor Korosi Alami Rantai Kapal. *Journal of Mechanical Engineering*, 3(1), 36–42.

- Mulyati, B. 2019. Tanin dapat Dimanfaatkan Sebagai Inhibitor Korosi. *Jurnal Industri, Elektro, Dan Penerbangan*, 8(1), 1–4.
- Neolaka, Y. A. B., Lawa, Y., Naat, J. N., Nubatonis, Y. K., dan Riwu, A. A. P. 2019. Studi Termodinamika Adsorpsi Pb (II) Menggunakan Adsorben Magnetik GO-Fe₃O₄ yang Disintesis dari Kayu Kusambi (*Schleichera oleosa*). *Jurnal Saintek Lahan Kering*, 2(2), 49–51.
- Nianggolan, I., and Sembiring, A. 2021. Synthesis of Cationic Surfactant N, N-(2-Laurate Ethyl) Stearamidium Chloride. *Journal of Chemical Natural Resources*, 3(2), 131–142.
- Nugroho, F. 2015. Penggunaan Inhibitor untuk Meningkatkan Ketahanan Korosi Pada Baja Karbon Rendah. *Jurnal Angkasa*, 7(1), 151–158.
- Nurfirzatulloh, I., Suherti, I., Insani, M., Shafira, R. A., dan Abriyani, E. 2023. Identifikasi Gugus Fungsi Tanin Pada Beberapa Tumbuhan Dengan Instrumen Ftir. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 9(4), 201–209.
- Oping, I. S. J., Londa, T. K., dan Wenas, D. R. 2023. Karakteristik Mineral Batuan Pada Daerah Manifestasi Mata Air Panas Menggunakan SEM-EDAX dan FTIR di Desa Candirejo Kecamatan Modayag Kabupaten Bolaang Mongondow. *Jurnal Fisika dan Terapannya*, 4(1), 30–34.
- Pandiangan, K. D., Simanjuntak, W., Rilyanti, M., Jamarun, N., and Arief, S. 2017. Influence of Kinetic Variables on Rubber Seed Oil Transesterification Using Bifunctional Catalyst CaO-MgO/SiO₂. *Oriental Journal of Chemistry*, 33(6), 2891–2898.
- Pangesti, G. G., Pandiangan, K. D., Simanjuntak, W., Sascori, S., and Rilyanti, M. 2021. Synthesis of Zeolite-Y from Rice Husk Silica and Food Grade Aluminum Foil Using Modified Hydrothermal Method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1751(1), 1–8.
- Prayogi, A. 2019. Analisa Pengaruh Variasi Media Pendingin Pada Perlakuan Panas Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja Karbon Rendah. *Jurnal Polimesin*, 17(2), 29–36.

- Prihartantyo, A., Anwar, D., Siburian, E. Y., dan Valencia, S. I. 2021. Pengaruh Penggunaan Katalis Heterogen Kalium Hidroksida dengan Pendukung Karbon Aktif dan Katalis Bentonit Aktif Asam Terhadap Produksi Biodiesel dari Minyak Biji Karet. *Journal of Applied Technology and Informatics Indonesia*, 1(2), 35–42.
- Putra, I. E., dan Kasuma, N. S. 2018. Pengaruh Inhibitor Daun Gambir Terhadap Laju Korosi Baja Karbon Rendah Dalam Larutan HCl 1 %. *Jurnal Momentum*, 20(1), 25–30.
- Rahman, D. J., Gunawan, R., and Tarigan, D. 2020. Studi Perubahan Ukuran Pori Zeolit Y Berdasarkan Pengaruh Variasi Rasio Si/Al, Variasi Kation dan Penambahan Molekul Organik Menggunakan Metode Mekanika Molekuler. *Jurnal Kimia Mulawarman*, 17(1), 98–104.
- Ramadhan, A., Pratiwi, T. L., dan Mardiah, M. 2020. Pemanfaatan Tanaman sebagai Inhibitor Organik untuk Penghambatan Laju Korosi Logam Seng (Zink) dalam Larutan HCl. *Jurnal Sains Dan Terapan Kimia*, 14(1), 1–8.
- Rasouli, A., Bafkar, A., and Chaghakaboodi, B. 2020. Kinetic and Equilibrium Studies of Adsorptive Removal of Sodium-Ion Into Wheat Straw and Rice Husk Wastes. *Central Asian Journal of Environmental Science and Technology Innovation*, 6(6), 310–329.
- Rispiandi, dan Saripudin. 2021. Optimasi Penggunaan Piperazine dalam Campuran MDEA pada Proses Absorpsi Gas Alam. *Jurnal Fluida*, 14(1), 29–34.
- Roni, K. A., Elfidiah, Yuliwati, E., dan Marselia, B. 2022. Penambahan Inhibitor Ekstrak Daun Pepaya (*Carica Papaya L.*) Terhadap Pengaruh Laju Korosi Pada Baja Karbon Dalam Larutan Air Laut. *Jurnal Redoks*, 7(1), 28–35.
- Roni, K. A., Gusmiatun, dan Legiso. 2020. Pembuatan Biodiesel dari Biji Karet dengan Katalisator Buangan Proses Perengkahan Minyak Bumi Pertamina UP III. *Journal Abdimas Musi Charitas*, 4(2), 56–63.
- 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. *Journal Renewable Energy*, 101(2), 937–944.

- Royani, A. 2021. Pengaruh Suhu Terhadap Laju Korosi Baja Karbon Rendah Dalam Media Air Laut. *Jurnal Simetrik*, 10(2), 344.
- Rushdi, S., and Thamer, E. 2020. Investigation of Overall Mass Transfer Coefficient of CO₂ Absorption Into Aqueous Blended Monoethanolamine (MEA), Diethanolamine (DEA) and Triethanolamine (TEA) Measured in Bubble Column Reactor Solution. *Journal Materials Science and Engineering*, 870(1), 1–10.
- Saputra, S. A., Hakim, A. R., Hamdani, M. Z., Alamsyah, A., dan Amalia, Y. 2022. Natrium Silikat Sebagai Inhibitor Korosi Pada Pipa Penyalur Minyak Bumi Jenis Carbon Steel. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 5(2), 115–120.
- Sabirin, S., Febiawan, A. C., Gustama, A. A., Irfany, F. A., Ramadhan, Y. O., dan Wibisono, A. Y. 2023. Peran Inhibitor Korosi Pada Proses dan Hasil Produksi Baja: Studi Literatur Review. *Jurnal Teknik Mesin dan Mekatronika*, 8(1), 26–36.
- Saragih, M., Trizelia, T., Nurbailis, N., dan Yusniwati, Y. 2020. Profil GCMS Senyawa Kimia Ekstrak Metanol Isolat Cendawan Entomopatogen *Beauveria Bassiana* Dan Akar Cabai Sebagai Pemacu Pertumbuhan Cabai. *Agrotekma: Jurnal Agroteknologi dan Ilmu Pertanian*, 4(2), 106–118.
- Sari, D. A., dan Fadhilah, G., N. 2023. Produksi Biodiesel yang Berbahan Baku Kelapa Sawit Dengan Melibatkan Katalis Homogen dan Heterogen. *Pena Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 37(2), 87–94.
- Sari, Y., dan Dwiwati, S. T. 2015. Korosi H₂S dan CO₂ pada Peralatan Statik di Industri Minyak dan Gas. *Jurnal Konversi Energi Dan Manufaktur*, 2(1), 18–22.
- 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), 71–76.

- 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 Foodgrade Aluminum Foil. *Biomass and Bioenergy*, 148, 106050.
- 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.
- Sudiarti, T. 2017. Adsorpsi Senyawa 2,3-Difenil-Imidazo[1,2-a]Piridin Sebagai Inhibitor Korosi Baja Karbon Dalam Larutan Elektrolit Jenuh Karbon Dioksida. *Journal Science and Technology*, 10(2), 182–196.
- Suryaningsih, S., Alamsyah, W., Nurhilal, O., dan Ardiyati, D. P. 2015. Analisis Pengaruh Waktu Injeksi Gas CO₂ Terhadap Laju Korosi Baja Karbon Api 51 Grade B Dalam Larutan NaCl 3,5% dan H₂S. *Jurnal Material Dan Energi Indonesia*, 5(1), 12–16.
- Tsoeunyane, M. G., Makhatha, M. E., and Arotiba, O. A. 2019. Corrosion Inhibition of Mild Steel by Poly(butylene succinate)-L-histidine Extended with 1,6-diisocynatohexane Polymer Composite in 1 M HCl. *International Journal of Corrosion*, 3(1), 25–32.
- 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*, 1(2), 133–138.
- Wajilan, W., Fernandes, A., dan Wahyudianto, A. 2021. Pembuatan Ekstrak *Rhizophora mucronata* Sebagai Bahan Baku Inhibitor Korosi Skala Lab dan Skala Aplikasi. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, Dan Material*, 5(1), 11–16.
- Yan, T., Xu, L. C., Zeng, Z. X., and Pan, W. G. 2024. Mechanism And Anti-Corrosion Measures Of Carbon Dioxide Corrosion In CCUS: A Review. *Journal IScience*, 27(1), 1–21.
- Yanuar, A. P., Pratikno, H., dan Titah, H. S. 2017. Pengaruh Penambahan Inhibitor Alami terhadap Laju Korosi pada Material Pipa dalam Larutan Air Laut Buatan. *Jurnal Teknik Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 5(2), 8–13.

- Yuliani, R. 2022. Pengaruh Variabel Kinetis Terhadap Efektivitas Reaksi Transesterifikasi Minyak Biji Karet Menggunakan Katalis NiO/zeolit-Y. *Skripsi*, Universitas Lampung.
- Yustinah, Hudzaifah, Aprilia, M., dan Syamsudin. 2019. Kesetimbangan Adsorpsi Logam Berat (Pb) dengan Adsorben Tanah Diatomit Secara Batch. *Jurnal Konversi*, 9(1), 17–28.
- Zahra, F. A., Bariyah, A., dan Luki, O. N. 2019. Ekstrak Kafein Ampas Kopi Sebagai Inhibitor Korosi Baja Murni Dalam. *Sains Dan Teknologi*, 2(1), 1–9.
- Zhang, H. H., Pang, X., Zhou, M., Liu, C., Wei, L., and Gao, K. 2015. The Behavior of Pre-Corrosion Effect on the Performance of Imidazoline-Based Inhibitor in 3 wt.% NaCl Solution Saturated with CO₂. *Applied Surface Science*, 355, 63–72.