

**KONVERSI MINYAK KELAPA SAWIT MENJADI SENYAWA
NITROGEN MENGGUNAKAN ZEOLIT-P SEBAGAI KATALIS DAN UJI
AKTIVITASNYA SEBAGAI INHIBITOR KOROSI**

(Skripsi)

Oleh

AYU FORTUNE LISA HUTABARAT

2117011071



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**KONVERSI MINYAK KELAPA SAWIT MENJADI SENYAWA
NITROGEN MENGGUNAKAN ZEOLIT-P SEBAGAI KATALIS DAN UJI
AKTIVITASNYA SEBAGAI INHIBITOR KOROSI**

Oleh

Ayu Fortune Lisa Hutabarat

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar

SARJANA SAINS

Pada

Jurusan Kimia

Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Lampung



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

KONVERSI MINYAK KELAPA SAWIT MENJADI SENYAWA NITROGEN MENGGUNAKAN ZEOLIT-P SEBAGAI KATALIS DAN UJI AKTIVITASNYA SEBAGAI INHIBITOR KOROSI

Oleh

AYU FORTUNE LISA HUTABARAT

Baja lunak banyak digunakan dalam industri, khususnya sebagai pipa penyalur minyak dan gas karena sifat mekaniknya yang baik namun baja lunak rentan mengalami korosi. Korosi dapat menyebabkan kegagalan sistem dan kerugian ekonomi, sehingga dibutuhkan solusi yang ramah lingkungan dan efektif. Salah satu alternatif adalah penggunaan inhibitor korosi berbasis bahan alam. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis senyawa nitrogen dari minyak kelapa sawit melalui reaksi transesterifikasi dan amidasi menggunakan katalis heterogen, serta mengevaluasi aktivitasnya sebagai inhibitor korosi pada baja lunak.

Katalis yang digunakan pada penelitian ini yaitu zeolit-P yang disintesis dari silika dari sekam padi menggunakan metode hidrotermal dengan suhu kalsinasi 550, 600, dan 700 °C. Zeolit-P digunakan sebagai katalis pada dua tahap reaksi; transesterifikasi antara minyak kelapa sawit dan metanol pada suhu 70 °C selama 4 jam secara refluks, kemudian dilanjutkan dengan reaksi amidasi antara metil ester dan dietanolamina (1:1 mol) dalam autoklaf pada 100 °C selama 48 jam. Uji efektivitas inhibitor korosi dilakukan dengan metode *wheel test* dan analisis permukaan menggunakan SEM.

Zeolit-P terbaik diperoleh pada suhu kalsinasi 700 °C berdasarkan *X-Ray Diffraction* (XRD) dengan tujuh puncak difraksi sesuai standar IZA dan morfologi permukaan berdasarkan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) menunjukkan kristal prisma segi empat. Reaksi transesterifikasi menghasilkan konversi minyak kelapa sawit menjadi metil ester sebesar 40% dan reaksi amidasi metil ester dengan dietanolamina menghasilkan senyawa nitrogen sebesar 10%. Senyawa nitrogen hasil sintesis diuji aktivitasnya sebagai inhibitor korosi baja lunak dalam medium korosif jenuh CO₂ dengan persen proteksi 96,70%. Hasil proteksi ini didukung oleh data SEM yang menunjukkan permukaan baja lunak yang mengandung inhibitor korosi lebih baik tanpa menggunakan inhibitor korosi.

Kata kunci: zeolit-P, metil ester minyak kelapa sawit, senyawa nitrogen, inhibitor korosi, *wheel test*.

ABSTRACT

CONVERSION OF PALM OIL INTO NITROGEN COMPOUNDS USING ZEOLITE-P AS CATALYST AND EVALUATION OF ITS ACTIVITY AS A CORROSION INHIBITOR

By

AYU FORTUNE LISA HUTABARAT

Mild steel is widely used in industry, especially as oil and gas distribution pipes because of its good mechanical properties, but mild steel is susceptible to corrosion. Corrosion can cause system failure and economic losses, so that an environmentally friendly and effective solution is needed. One alternative is the use of natural material-based corrosion inhibitor. This study aims to synthesize nitrogen compounds from palm oil through transesterification and amidation reactions using heterogeneous catalysts, and to evaluate their activities as mild steel corrosion inhibitors.

The catalyst used in this study was zeolite-P synthesized from rice husk silica using a hydrothermal method with calcination temperatures of 550, 600, and 700 °C. Zeolite-P was used as catalyst in two stages of reactions; transesterification between palm oil and methanol at 70 °C for 4 hours under reflux, then continued with amidation reaction between methyl ester and diethanolamine (1:1 mol) in an autoclave at 100 °C for 48 hours. The effectiveness test of corrosion inhibitor was carried out using the wheel test method and surface analysis using Scanning Electron Microscopy (SEM).

The best Zeolite-P was obtained at a calcination temperature of 700 °C based on X-Ray Diffraction (XRD) with seven diffraction peaks according to IZA standards and surface morphology based on SEM showed rectangular prism crystals. The transesterification reaction produced a conversion of palm oil into methyl ester of 40% and the amidation reaction of methyl ester with diethanolamine produced a nitrogen compound of 10.07%. The best activity of the synthesized nitrogen compound was tested as a mild steel corrosion inhibitor in a CO₂-saturated corrosive medium with a protection percentage of 96.70%. The protection was supported by SEM data showing that the mild steel surface containing corrosion inhibitor was better than without using corrosion inhibitor.

Keywords: zeolite-P, palm oil methyl ester, nitrogen compounds, corrosion inhibitor, wheel test.

Judul Skripsi : KONVERSI MINYAK KELAPA SAWIT MENJADI
SENYAWA NITROGEN MENGGUNAKAN
ZEOLIT-P SEBAGAI KATALIS DAN UJI
AKTIVITASNYA SEBAGAI INHIBITOR KOROSI

Nama : Ayu Fortune Lisa Hutabarat

NPM : 2117011071

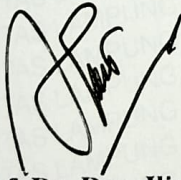
Program Studi : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

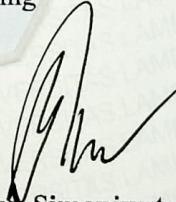


MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

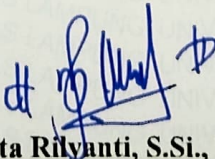


Prof. Dr. Dra. Ilim, M.S
NIP. 196505251990032002



Prof. Wasinton Simanjuntak, M.Sc. Ph.D
NIP. 195907061988111001

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung

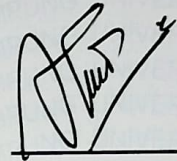


Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si
NIP. 197205302000032001

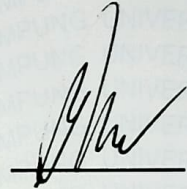
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

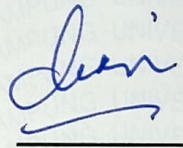
Ketua : Prof. Dr. Dra. Ilim, M.S.



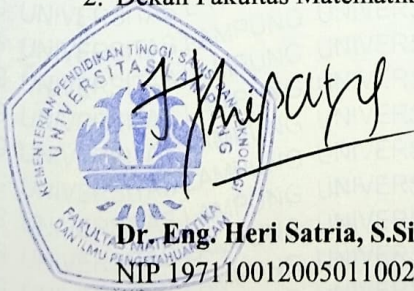
Sekretaris : Prof. Wasinton Simanjuntak, M.Sc. Ph.D.



Anggota : Dr. Dian Herasari, M.Si.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 24 Juni 2025

**SURAT PERNYATAAN
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ayu Fortune Lisa Hutabarat
NPM : 2117011071
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya yang berjudul
**“Konversi Minyak Kelapa Sawit Menjadi Senyawa Nitrogen Menggunakan
Zeolit-P Sebagai Katalis Dan Uji Aktivitasnya Sebagai Inhibitor Korosi”**
adalah benar karya saya sendiri, baik gagasan, hasil, dan analisisnya. Selanjutnya
saya juga tidak keberatan jika sebagian atau seluruhnya data didalam skripsi
tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi,
sepanjang nama saya disebutkan dan terdapat kesepakatan sebelum dilakukan
publikasi.

Bandar Lampung,
nyatakan,



Ayu Fortune Lisa Hutabarat
NPM 2117011071

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Ayu Fortune Lisa Hutabarat yang lahir di Hutabarat pada 29 November 2003 merupakan anak pertama dari lima bersaudara. Penulis lahir dari pasangan Bapak Salmon Anward Toni Hutabarat dan Ibu Lina Lumbanraja dan memiliki adek-adek bernama Mikael Boy Tamado Hutabarat, Jultriwan Parsaoran Hutabarat, Evita Theresia Hutabarat, dan Simon Aditya Hutabarat. Penulis sekarang bertempat tinggal di Desa Hutabarat, sKecamatan

Tarutung, Kabupaten Tapanuli Utara, Sumatra Utara. Penulis telah menyelesaikan pendidikan mulai dari SDN 2 Hutabarat lulus pada tahun 2015, SMPN 3 Tarutung lulus pada tahun 2018, dan SMAN 2 Tarutung lulus pada tahun 2021. Pada tahun 2021 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 anggota Biro Penerbitan (BP) pada tahun 2022. Selain mengikuti organisasi, penulis juga pernah mengikuti program magang Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) dan dikonversi menjadi Praktik Kerja Lapangan (PKL) selama 4 bulan dengan judul “Pengujian Kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada air lindi IPAS 2 di TPST Bantargebang Menggunakan Metode Titrimetri pada tahun 2023.

Pada tahun 2024 di bulan Januari penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari di Desa Cilimus, Kecamatan Teluk Pandan, Kabupaten

Pesawaran, Lampung. Pada tahun 2025 penulis berhasil menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Konversi Minyak Kelapa Sawit Menjadi Senyawa Nitrogen Menggunakan Zeolit-P Sebagai Katalis Dan Uji Aktivitasnya Sebagai Inhibitor Korosi” di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Universitas Lampung.

PERSEMBAHAN

Tuhan Yesus Kristus sumber kasih karunia dan pengharapan yang tidak pernah meninggalkanku dalam setiap langkah, yang setia menopang aku saat jatuh, menguatkan ketika aku lelah, dan menjadi terang dalam setiap gelapku. Segala kemuliaan hanya bagi-Mu.

Kupersembahkan skripsi ini kepada Bapak dan Mamak , terima kasih atas doa, kasih sayang dan pengorbanan tak tergantikan, telah menjadi tiang kekuatan dan alasan terbesar bagiku untuk terus berjuang dan tetap bertahan sampai saat ini.

Keempat adikku tersayang, yang dalam tawa dan tangis, telah menjadi semangat dalam pelipur lelah. Kalian adalah berkat yang tak ternilai dalam hidupku.

Dengan segala rasa hormat kepada Ibu Prof. Dr. Dra. Ilim, M.S., Bapak Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D., dan Ibu Dr. Dian Herasari, M.Si. Terima kasih atas kesabaran dalam membimbing dan mengarahkan dengan tulus hingga akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan. Terima kasih atas ilmu dan perhatian yang tak ternilai.

Sahabat-sahabat seperjuangan yang menemani langkah panjang penuh air mata dan tawa ini. Terima kasih atas kesabaran, dukungan, dan doa yang terus menguatkan hingga titik ini.

Serta,

**Almamater tercinta
Universitas Lampung.**

MOTTO

In The Name Of Jesus Christ

"Direndahkan dimata manusia, ditinggikan dimata Tuhan, *Prove Them Wrong*"

"Aku ditolak dengan hebat sampai jatuh, tetapi Tuhan menolong aku."
(Mazmur 118:13)

"Aku tahu, bahwa Engkau sanggup melakukan segala sesuatu, dan tidak ada rencana-Mu yang gagal."
(Ayub 42:2)

"Sebab Aku ini mengetahui rancangan-rancangan apa yang ada pada-Ku mengenai kamu, demikianlah firman Tuhan, yaitu rancangan damai sejahtera dan bukan rancangan kecelakaan, untuk memberikan kepadamu hari depan yang penuh harapan."
(Yeremia 29:11)

"Kamu tidak pernah sendirian dalam menghadapi apapun, Tuhan memperdulikanmu lebih dari yang kamu tahu. Dia tidak mengabaikanmu dan tidak membiarkanmu berjuang sendirian."

SANWANCANA

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan karunia serta kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Konversi Minyak Kelapa Sawit Menjadi Senyawa Nitrogen Menggunakan Zeolit-P Sebagai Katalis Dan Uji Aktivitasnya Sebagai Inhibitor Korosi”** semua hal yang telah dicapai dan diselesaikan tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada:

1. Bapak Salmon Anward Toni Hutabarat dan Ibu Lina Lumbanraja, selaku orang tua saya, selalu memberikan doa, kasih sayang, dan dukungan yang tak henti-hentinya dalam proses penyelesaian perkuliahan saya.
2. Mikael Boy Tamado Hutabarat, Jultriwan Parsaoran Hutabarat, Evita Theresia Hutabarat dan Simon Aditya Hutabarat, adik-adik saya, senantiasa menunjukkan kasih sayang, memberikan semangat, dan mendukung saya dalam setiap langkah perjalanan akademik saya.
3. Prof. Dr. Ilim, M.S. selaku pembimbing I atas kesediaan waktu, bimbingan, saran, motivasi, dan ilmu yang bermanfaat sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Semoga Tuhan Maha Esa senantiasa memberikan kesehatan dan rezeki atas semua yang telah Ibu berikan.
4. Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D. selaku pembimbing II pada penelitian ini atas kesabaran dalam membimbing, memberikan saran sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Semoga Tuhan Yang Maha Esa senantiasa memberikan kesehatan dan rezeki atas semua yang telah Bapak berikan.
5. Ibu Dr. Dian Herasari, M.Si. selaku pembahas atas segala kritik dan saran yang sangat membangun serta ilmu yang bermanfaat yang telah diberikan kepada penulis, sehingga skripsi ini dapat menyelesaikan dengan baik. Semoga Tuhan Yang Maha Esa senantiasa memberikan kesehatan dan rezeki atas semua yang telah Ibu berikan.
6. Ibu Prof., Dr. Tati Suhartati, M.S. dan Ibu Dr. Rinawati, Ph.D, S.Si, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik terima kasih atas bimbingan dan dukungannya selama ini kepada penulis.

7. Ibu Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
8. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Unila yang telah memberikan ilmu dan bimbingan selama penulis belajar di Jurusan Kimia. Semoga Tuhan Yang Maha Esa senantiasa memberikan kesehatan dan rezeki atas semua yang telah Bapak dan Ibu berikan.
9. Keluarga besar yang senantiasa mendoakan, membantu, mendukung, dan memberikan kasih sayang kepada penulis.
10. *Corrosion Research Group* Kak Reikia, Kak Risvania, Kak Uli dan Kak Wikka yang telah membantu dan mendukung penulis, serta kebersamaan dalam suka maupun duka. Kakak-kakak penelitian di Laboratorium Polimer, Kak Qory, Kak Nadia, Kak Gomgom, Kak Sabil, Kak, dan Mba Gege atas bantuan selama melakukan penelitian di Laboratorium.
11. Teman-teman seperjuangan penelitian "*Corrosion Research '21*" Azizah Rosihana Putri, Melissaputri, dan Bella Agustin yang selalu menemani, membantu, dan memberikan saran serta masukan selama penulis melakukan penelitian.
12. Teman-teman seperjuangan di Laboratorium Polimer, Adrian, Aditya, Tyas, Hanna, Erwanda, Nurul, Khairi, dan Desrita atas bantuan dan kebersamaannya selama meneliti bersama.
13. Sahabatku Noven Lisa Sri Wahyuni Tambunan dan Lasria Adven Pakpahan yang senantiasa memberikan semangat dan doa.
14. Sahabatku dan teman seperjuangan Haryati Priskilla Tarigan, Difa Putri Himawan, dan Nanda Putri Kusuma atas bantuan, dukungan, doa, kebahagiaan, nangis dan canda tawa sehingga penulis selalu merasa semangat dalam perkuliahan. Semoga kalian selalu sukses dan selalu dikelilingi orang-orang yang baik.
15. Adek-adekku Falencia Selva Sinaga dan Kelly Presy Christy Hutagalung terima kasih jadi adek yang menghibur dikala sedih dan menjadi teman tukar cerita, semoga kalian selalu semangat dan Tuhan senantiasa memberkati langkah perjalanan kalian, sukses selalu.
16. Teman-teman Hanna, Tyas, Aviana, Lili, Vanes, Rika, Nadira, Hasma, Ulma dan Caca selaku teman kost diasrama putri ayu, teman seperjuangan yang memberikan semangat dan dukungan selama perkuliahan.
17. Teman-teman Kimia angkatan 2021 terima kasih atas pengalaman dan kebersamaan selama perkuliahan di Jurusan Kimia.
18. Adek-adek angkatan 2022 anak bimbingan bapak ibu di Laboratorium Polimer semangat untuk penelitiannya selalu kompak satu sama lain, kalian pasti bisa semangat.
19. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung penulis dalam penyusunan penelitian ini atas segala kebaikan yang telah diberikan.
20. Sebagai penutup, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada satu sosok yang selama ini diam-diam berjuang tanpa henti melawan rasa malu, rasa kurang percaya diri, dan segala ketakutan dalam dirinya. Terima kasih kuucapkan kepada diriku sendiri, Ayu Fortune Lisa Hutabarat. Anak sulung berusia 21 tahun yang dikenal keras kepala dan cerewet. Terima kasih telah bertahan sejauh ini dan terus melangkah meski banyak rintangan yang datang silih berganti. Terima kasih telah berani menjadi

dirimu sendiri, meski tak jarang diremehkan. Aku bangga dengan setiap langkah kecil yang telah kamu ambil, meskipun tak semua harapan berjalan seperti yang diinginkan. Jangan pernah lelah untuk terus berusaha. Hargai dan rayakan setiap bagian dari dirimu. Aku berdoa agar setiap langkah kecilmu selalu dikuatkan, dikelilingi oleh orang-orang yang baik, tulus, dan menginspirasi, serta semoga satu per satu mimpimu menjadi kenyataan.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat berbagai kekurangan dalam skripsi ini. Oleh karena itu, penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya, dan berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat, baik bagi mahasiswa kimia maupun pembaca secara umum.

Bandar Lampung
Penulis

Ayu Fortune Lisa Hutabarat

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	5
1.3. Manfaat Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Baja Lunak	6
2.1.1. Baja karbon	6
2.1.2. Baja Paduan	7
2.2. Korosi.....	7
2.2.1. Pengertian Korosi.....	7
2.2.2. Korosi CO ₂	8
2.2.3. Dampak Korosi	10
2.3. Inhibitor Korosi.....	10
2.3.1. Inhibitor Anorganik	11
2.3.2. Inhibitor Organik	11
2.3.3. Inhibitor Senyawa Nitrogen	12
2.4. Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit	12
2.4.1. Minyak Kelapa Sawit.....	13
2.4.2. Katalis Zeolit-P	14
2.5. Sintesis Senyawa Nitrogen.....	16
2.5.1. Alkanolamida	16
2.5.2. Reaksi Amidasi	17
2.6. Uji Aktivitas Inhibitor Korosi dengan Metode Kehilangan Berat (<i>Wheel Test</i>).....	18
2.7. Karakterisasi produk	19
2.7.1. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	19

2.7.2. <i>Gas Chromatography – Mass Spectrometry (GC-MS)</i>	20
2.7.3. <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	21
III. METODE PENELITIAN	23
3.1. Waktu dan Tempat	23
3.2. Alat dan Bahan	23
3.3. Diagram Alir Penelitian	24
3.4. Prosedur Penelitian	25
3.4.1. Preparasi Sekam Padi dan Ekstraksi Silika	25
3.4.2. Sintesis Zeolit-P	26
3.4.3. Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit	26
3.4.4. Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Nitrogen (Reaksi Amidasi) ..	27
3.4.5. Persiapan Sampel Baja Lunak	27
3.4.6. Persiapan Medium Korosif	28
3.4.7. Penentuan Laju Korosi (<i>Weight Loss Method</i>)	28
3.4.8. Analisis SEM	29
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1. Lingkup Penelitian	30
4.2. Preparasi Sekam Padi dan Ekstraksi Silika	30
4.3. Sintesis Zeolit-P	32
4.4. Karakterisasi Zeolit-P	33
4.4.1. XRD	33
4.4.2. SEM	35
4.5. Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit	36
4.6. Karakterisasi Produk Metil Ester	37
4.7. Sintesis Senyawa Nitrogen (Reaksi Amidasi)	38
4.8. Karakterisasi Produk Senyawa Nitrogen	39
4.9. Uji Aktivitas Sebagai Inhibitor Korosi	41
4.10. Analisis Permukaan Menggunakan SEM	42
V. KESIMPULAN DAN SARAN	44
5.1. Kesimpulan	44
5.2. Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	46
LAMPIRAN	54

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komposisi minyak kelapa sawit	14
2. Data puncak 2 θ standar IZA zeolit-P dengan zeolit-P sintetik variasi suhu kalsinasi 550, 600 dan 700 °C	35
3. Komponen senyawa produk metil ester minyak kelapa sawit	37
4. Komponen senyawa produk amidasi metil ester dan zeolit-P	40
5. Data hasil rata-rata metode <i>wheel test</i> menggunakan variasi larutan Inhibitor	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Reaksi transesterifikasi.	13
2. Jenis kerangka kerja zeolit-P dan gambar SEM.....	15
3. Molekul surfaktan	17
4. Struktur dietanolamina	17
5. Difraktogram standar IZA dari zeolit-P (Basis data struktur zeolit).....	20
6. Skema alat GC-MS	21
7. Gambar SEM dari sampel zeolit-P	22
8. Diagram alir penelitian.....	24
9. Proses preparasi dan ekstraksi silika sekam padi	31
10. Sintesis zeolit-P.....	33
11. Perbandingan difraktogram zeolit-P hasil sintesis dan zeolit-P standar IZA dengan variasi suhu kalsinasi	34
12. Morfologi permukaan hasil sintesis zeolit-P dengan perbesaran	35
13. Hasil transesterifikasi minyak kelapa sawit	36
14. Kromatogram sampel metil ester minyak kelapa sawit.	37
15. Hasil akhir produk amidasi minyak kelapa sawit menggunakan katalis.....	38
16. Kromatogram GC produk amidasi.	39

17. Mikrograf sampel baja lunak pada perbesaran 15.000x.....	43
--	----

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam berbagai sektor industri, baja lunak merupakan salah satu material logam yang paling banyak digunakan karena keunggulan sifat mekaniknya, ketersediaannya yang melimpah, serta biaya produksinya yang relatif rendah. Baja lunak terdiri dari campuran logam dengan komponen utama besi (Fe) dan karbon (C) (Nasution, 2018). Kandungan karbon dalam baja lunak berkisar antara 0,16% hingga 0,29% (Tarage *and* Van Harling, 2020). Baja lunak sering digunakan sebagai material pipa penyalur minyak dan gas bumi sebagai sarana utama untuk mengangkut minyak dan gas dari sumber produksi hingga titik konsumsi. Namun, pipa penyalur berisiko mengalami kerusakan akibat berbagai faktor, termasuk korosi (Pramono dkk., 2020).

Korosi dapat terjadi karena pengaruh lingkungan geografis di sekitar pipa yang beragam dari satu wilayah ke wilayah lainnya. Lingkungan memiliki peran utama sebagai penyebab terjadinya korosi (Ramdan dan Rahayu, 2023). Menurut Sianipar dkk. (2024) korosi terjadi ketika material logam berinteraksi dengan lingkungannya. Proses korosi ini dipicu oleh dua jenis reaksi, yaitu oksidasi dan reduksi. Oksidasi berlangsung saat material anodik melepaskan ion elektron, sedangkan reduksi terjadi ketika material katodik menangkap ion elektron. Menurut Sudali dan Iswanto. (2022) korosi dapat dibedakan berdasarkan tipe lingkungan korosifnya, seperti korosi oksigen (O_2), korosi gas hidrogen sulfida (H_2S), korosi asam sulfat, dan korosi gas karbon dioksida (CO_2).

Kontak antara pipa dengan minyak dan gas yang mengandung gas CO₂ dapat menyebabkan terjadinya korosi. Umumnya proses korosi tidak dapat dihentikan sama sekali karena merupakan suatu proses alami yang terjadi saat logam kontak dengan lingkungannya (Suryaningsi dkk., 2015). Kerugian akibat korosi meliputi; keamanan dan keselamatan, industri, ekonomi, kerusakan lingkungan, dan sosial. Berhubung besarnya dampak korosi, pengendalian korosi dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain; pelapisan, proteksi katodik dan anodik, dan penambahan inhibitor korosi.

Inhibitor korosi didefinisikan sebagai zat kimia yang ditambahkan dalam jumlah sedikit pada lingkungan korosif yang dapat menurunkan laju korosi. Berdasarkan bahan pembuatannya inhibitor korosi dibedakan menjadi inhibitor berbahan anorganik dan organik (Yasi dkk., 2023). Inhibitor anorganik diperoleh dari mineral-mineral yang tidak mengandung unsur karbon dalam komposisinya. Beberapa material dasar yang termasuk dalam inhibitor anorganik meliputi kromat, nitrit, silikat, dan fosfat (Elfidiyah *et al.*, 2019). Kelemahan inhibitor anorganik adalah biaya yang relatif mahal dan tidak ramah lingkungan. Oleh sebab itu, inhibitor organik banyak digunakan karena biaya yang relatif murah, mudah didapatkan, dan ramah lingkungan. Inhibitor organik yang digunakan umumnya mengandung unsur nitrogen (N), oksigen (O), fosforus (P), sulfur (S) serta atom-atom dengan pasangan elektron bebas (Mooy dkk., 2023).

Inhibitor korosi yang mengandung senyawa nitrogen mampu melindungi bahan logam dari berbagai lingkungan korosif. Senyawa nitrogen memiliki pasangan elektron bebas (cenderung bermuatan negatif) sehingga tertarik ke permukaan logam dan membentuk lapisan (Yanuar dkk., 2016), dan dapat teradsorpsi pada permukaan logam (Fahrurrozie dkk., 2010). Inhibitor korosi berbahan senyawa organik yang mengandung nitrogen untuk baja lunak dalam medium yang mengandung gas CO₂ sudah pernah dimanfaatkan sebelumnya seperti turunan vinilpiridin (Ilim *et al.*, 2017; Ilim *et al.*, 2016), imidazolin (Yang, 2021), asam amino (Zhang *et al.*, 2021) dan alkanolamida (Ilim *et al.*, 2022).

Alkanolamida merupakan senyawa yang dihasilkan dari asam lemak dan hasil reaksi antara alkanolamina primer dan sekunder dengan asam lemak, metil ester, atau trigliserida (Amalia, 2012). Alkanolamida bisa berfungsi sebagai senyawa penghambat korosi yang disintesis melalui reaksi antara asam lemak bebas dan alkohol untuk menghasilkan metil ester, kemudian diikuti dengan reaksi amidasi antara ester asam lemak dan salah satu jenis alkanolamina dengan bantuan katalis (Ilim *et al.*, 2022). Sintesis senyawa nitrogen dari ester asam lemak dan dietanolamin dengan penambahan katalis dianggap metode yang paling sederhana karena tidak memerlukan suhu dan tekanan yang terlalu tinggi (Herlambang, 2018). Senyawa alkanolamida umumnya dapat disintesis dari minyak nabati seperti minyak kelapa, minyak biji karet, minyak kelapa sawit dan lain-lain.

Minyak kelapa sawit salah satu jenis minyak nabati yang diperoleh melalui proses ekstraksi dari buah kelapa sawit. Komponen utama minyak ini adalah trigliserida, yang terdiri dari gliserol dan asam lemak jenuh. Menurut Montoya *et al.* (2014) minyak kelapa sawit terdiri dari sekitar 50% asam lemak jenuh, termasuk 44% asam palmitat, 5% asam stearat, serta sejumlah kecil asam miristat. Asam lemak tak jenuh menyumbang sekitar 40%, dengan sebagian besar berupa asam oleat, sedangkan 10% sisanya adalah asam linoleat tak jenuh ganda dan asam linolenat. Menurut Fiyansah dkk. (2021) minyak kelapa sawit dapat dirubah menjadi metil ester melalui proses transesterifikasi.

Transesterifikasi merupakan reaksi antara trigliserida yang bersifat nonpolar dengan metanol yang bersifat polar, menghasilkan metil ester yang memiliki karakteristik gabungan dari kedua reaktan. Namun, karena perbedaan sifat keduanya, reaksi ini sulit berlangsung tanpa adanya katalis (Daryono dan Mustiadi, 2022). Dalam proses ini, katalis memiliki peran penting dalam meningkatkan kecepatan reaksi. Salah satu jenis katalis yang dikenal memiliki aktivitas baik adalah zeolit. Menurut Silalahi dkk. (2011) zeolit merupakan material silikat kristalin dengan struktur yang teratur dan kapasitas pori yang besar sehingga dapat digunakan sebagai katalis dalam berbagai reaksi kimia. Salah satu jenis zeolit sebagai katalis yang baik yaitu zeolit-P ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

5SiO₂.5H₂O) (Latosińska, 2019). Namun, zeolit-P belum pernah digunakan dalam proses reaksi transesterifikasi, reaksi amidasi dan *wheel test*.

Pada penelitian sebelumnya Hidayah (2023) melakukan reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit dan reaksi amidasi metil ester dengan dietanolamina menggunakan katalis zeolit-A hasil sintesis dari ekstrak silika sekam padi dan reaktor autoklaf. Senyawa nitrogen yang dihasilkan pada suhu 100 °C dan waktu reaksi 48 jam sebesar 63,7%, dapat memproteksi korosi baja lunak dalam medium korosi yang mengandung CO₂ sebesar 96,85%. Penelitian yang dilakukan oleh Asari (2024) mengenai konversi metil ester minyak biji karet menjadi senyawa nitrogen yang dihasilkan sebesar 32,72% berdasarkan metode refluks dengan bantuan katalis zeolit-Y, dan Enrik (2024) konversi metil ester dari minyak biji karet menggunakan autoklaf pada suhu 100 °C selama 96 jam dengan katalis zeolit-X diperoleh senyawa nitrogen sebesar 55,05%.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, maka penelitian ini dilakukan sintesis katalis zeolit-P yang diharapkan memiliki aktivitas yang lebih baik dalam reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit dan reaksi amidasi untuk menghasilkan senyawa nitrogen. Pada penelitian ini minyak kelapa sawit digunakan sebagai bahan baku untuk memperoleh alkanolamida melalui reaksi transesterifikasi dan dilanjutkan reaksi amidasi dengan menggunakan katalis zeolit-P berbasis silika sekam padi dan aluminium foil *food grade*. Zeolit-P disintesis dengan metode hidrotermal menggunakan reaktor *autoclave* seperti yang dilakukan oleh Pandiangan *et al.* (2017). Zeolit-P yang sudah dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Kemudian dilakukan transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan katalis zeolit-P serta melakukan reaksi amidasi dengan mereaksikan metil ester dari minyak kelapa sawit, dietanolamina, dan katalis zeolit-P. Senyawa alkanolamida yang diperoleh dikarakterisasi menggunakan *Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS).

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan zeolit-P dari silika sekam padi dan mengkaraktisasinya menggunakan XRD dan SEM.
2. Mengkonversi minyak kelapa sawit menjadi metil ester (reaksi transesterifikasi) menggunakan katalis zeolit-P dan mengkaraktisasi menggunakan GC-MS.
3. Mensintesis senyawa nitrogen (reaksi amidasi) dari metil ester dan dietalonamin menggunakan zeolit-P dan mengkaraktisasi menggunakan GC-MS.
4. Menguji aktivitas senyawa nitrogen sebagai inhibitor korosi baja lunak dalam medium korosif yang mengandung gas CO₂ dengan *Wheel test*.
5. Mendapatkan morfologi permukaan baja lunak dengan dan atau tanpa inhibitor korosi hasil sintesis menggunakan SEM.

1.3. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Mampu mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya alam yaitu minyak kelapa sawit dan sekam padi.
2. Mengetahui potensi dan pengaruh dari senyawa nitrogen hasil konversi metil ester minyak kelapa sawit sebagai inhibitor korosi baja lunak.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Baja Lunak

Baja merupakan logam campuran dari beberapa komposisi logam namun kandungan terbesar dari campuran tersebut adalah kandungan besi (Fe) dan Karbon (C). Kandungan karbon (C) yang terdapat pada baja menentukan tingkatan dari baja itu sendiri, kandungan karbon (C) yang terkandung didalam baja berkisaran 0,2% sampai 2,1% dari berat baja itu sendiri (Saidah dkk., 2024). Menurut komposisi kimianya baja dapat dibagi menjadi dua kelompok besar yaitu baja karbon dan baja paduan: (Kirono dkk.,2011).

2.1.1. Baja karbon

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon. Sifat dari baja karbon tergantung dari seberapa besar karbon yang dikandungnya, oleh karena itu baja karbon dibagi menjadi tiga macam berdasarkan kadar karbon yang dikandungnya, yaitu:

- Baja karbon rendah (*Low Carbon Steel*), mengandung karbon kurang dari 0,3%.
- Baja karbon sedang (*Medium Carbon Steel*), mengandung karbon antara 0,3-0,40%.
- Baja karbon tinggi (*High Carbon Steel*), mengandung karbon antara 0,40-0,8% (Widodo, 2009).

2.1.2. Baja Paduan

Baja paduan adalah baja yang dibentuk sesuai dengan tujuan yang diinginkan untuk meningkatkan sifat-sifat mekanik ataupun sifat dasar pada baja tersebut yang disesuaikan dengan unsur dasar pada baja tersebut. Pada baja paduan ini terbagi menjadi 2 jenis, yakni baja paduan rendah, baja paduan tinggi.

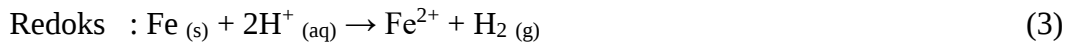
Pada penelitian ini, baja lunak termasuk kedalam jenis baja karbon rendah yang mengandung 0,3% karbon. Baja karbon rendah ini memiliki sifat pengerjaan yang baik seperti sifat keuletan, sifat mampu tempa, kelunakan dan mampu mesin yang baik. Sehingga dengan keadaan tersebut baja karbon rendah sangat baik sekali untuk disambung dengan proses pengelasan.

2.2. Korosi

2.2.1. Pengertian Korosi

Korosi merupakan suatu peristiwa kerusakan atau terjadi penurunan mutu suatu logam terhadap reaksi elektrokimia dengan lingkungannya (Andira *et al.*, 2022). Korosi menjadi suatu masalah penting yang harus diperhatikan karena memiliki dampak yang signifikan (Sitompul dkk., 2024). Dalam banyak hal korosi tidak dapat dihindari hampir semua material apabila berinteraksi dengan lingkungannya secara perlahan tapi pasti akan mengalami pengurangan mutu bahan. Sebagian besar korosi banyak menyerang peralatan bahan-bahan yang berunsur dasar besi (Fe) (Mulyati, 2019). Korosi merupakan peristiwa degradasi kualitas logam yang dapat diakibatkan oleh suhu maupun tingkat keasaman. Korosi sangat mudah terjadi pada logam. Logam yang telah mengalami korosi menjadi menurun kualitasnya (Ahmad *et al.*, 2023). Efek dari korosi ini dapat berupa perubahan warna logam ataupun lubang pada logam. Umumnya reaksi korosi yang terjadi merupakan reaksi dari elektrokimia (Hoang, 2019).

Prinsip reaksi elektrokimia yang terjadi pada proses korosi yaitu melibatkan dua reaksi setengah sel yaitu reaksi oksidasi pada anoda dan reaksi reduksi pada katoda. Adapun reaksi yang terjadi jika logam ditempatkan dalam asam kuat yaitu sebagai berikut:



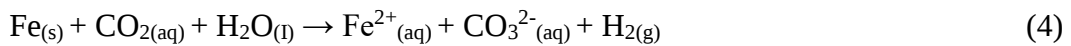
Besi berubah menjadi ion Fe^{2+} dengan melepaskan dua elektron (proses oksidasi), sementara ion hidrogen menerima elektron tersebut dan berubah menjadi gas hidrogen (proses reduksi). Dalam reaksi redoks ini, elektron yang bermuatan negatif mengalir dari anoda ke katoda, sedangkan ion hidrogen yang bermuatan positif bergerak menuju katoda. Hal ini menunjukkan bahwa semakin cepat logam terlarut (laju korosi), semakin besar arus yang mengalir dan semakin banyak produk korosi yang terbentuk.

Kasus korosi sering ditemukan di industri minyak dan gas. Korosi ini dapat terjadi dalam berbagai bentuk dan diklasifikasikan berdasarkan penyebab kerusakan logam. Secara umum, korosi dibedakan menjadi korosi oksigen (O_2), korosi gas hidrogen sulfida (H_2S), korosi asam sulfat, dan korosi gas karbon dioksida (CO_2). Korosi CO_2 dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti tekanan, konsentrasi gas CO_2 , laju aliran fluida di dalam pipa, dan lain sebagainya (Sari *et al.*, 2015). Gas CO_2 yang terlarut dalam air atau larutan menciptakan lingkungan yang korosif. Lingkungan ini bersifat asam, yang mempercepat laju korosi material. Gas CO_2 yang terlarut dalam air akan terhidrasi dan membentuk senyawa asam karbonat (Suryaningsih dkk, 2015).

2.2.2. Korosi CO_2

Karbon dioksida dapat mengakibatkan terjadinya korosi yang menyebabkan

terbentuknya deep pitting. Tanpa adanya air, CO₂ tidak korosif. Akan tetapi jika ada air, maka CO₂ akan larut dan membentuk asam karbonat. Asam karbonat akan menyebabkan menurunnya pH dan bersifat sangat korosif pada baja (Sari dan Dwiwati, 2015). Asam karbonat merupakan asam lemah, jadi dapat dikatakan bahwa korosi CO₂ merupakan korosi akibat asam lemah. Reaksi korosi yang terjadi akan menghasilkan FeCO₃ sebagai produk korosi (Suryaningsih dkk, 2015). Proses terbentuknya besi karbonat dapat dilihat dari persamaan berikut:



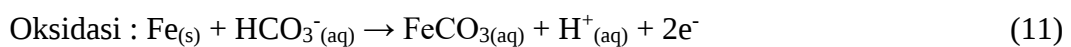
Gas CO₂ adalah gas yang stabil dan tidak bersifat korosif. Namun, setelah larut dalam air dan mengalami reaksi hidrasi, gas ini akan berubah menjadi asam karbonat (H₂CO₃), yang merupakan senyawa kimia yang lebih reaktif. Mekanisme pelarutan gas CO₂ dalam air menghasilkan pembentukan asam karbonat dengan persamaan reaksi berikut (Ilim *et al.*, 2017):



Korosi CO₂ pada dasarnya adalah jenis korosi yang disebabkan oleh asam karbonat. Gas CO₂ bersifat korosif karena keberadaan air yang menyebabkan terbentuknya asam karbonat. Asam karbonat tersebut akan terdisosiasi menjadi ion bikarbonat dan ion karbonat melalui dua tahap, di mana setiap tahap akan menghasilkan ion hidrogen, sesuai dengan persamaan berikut:



Dengan demikian reaksi korosi yang terjadi adalah sebagai berikut.



2.2.3. Dampak Korosi

Korosi adalah proses penurunan kualitas material logam yang disebabkan oleh interaksi antara logam dan lingkungan sekitarnya. Jenis kegagalan ini sering menjadi pertimbangan utama dalam biaya pemeliharaan proses produksi di berbagai industri (Priyotomo, 2020). Salah satunya industri minyak bumi dan gas, proses produksi minyak bumi melibatkan minyak mentah (*crude oil*) yang mengandung air dalam jumlah yang sangat besar, bahkan hingga 90 %. Selain air, minyak mentah juga mengandung komponen lain seperti pasir, garam mineral, aspal, dan CO₂, yang terbawa bersama minyak akibat adanya emulsi dan pengadukan. Selain itu, keberadaan gas CO₂ dan H₂S juga menjadi masalah penting karena dapat menyebabkan korosi dan kerusakan pada sistem perpipaan. Komponen-komponen tersebut, khususnya air dalam jumlah besar, dapat memicu pembentukan emulsi yang menambah tantangan dalam proses produksi minyak bumi (Hadi dan Jumarlis, 2013). Dampak akibat korosi cukup besar meliputi biaya tambahan produksi, perawatan, perbaikan sampai menurunnya efisiensi peralatan yang mengakibatkan pembengkakan biaya dan kemerosotan perekonomian negara. Meminimalisir dampak dari korosi yang terjadi dapat dilakukan dengan penggunaan inhibitor korosi, bertujuan untuk mengendalikan laju korosi secara tepat agar mengurangi kerugian yang terjadi akibat korosi (Juanda dkk, 2022).

2.3. Inhibitor Korosi

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 (Hartono *et al.*, 2021). Inhibitor adalah metode pengendalian korosi dengan menambahkan zat kimia dalam jumlah kecil ke lingkungan tertentu, yang berfungsi menurunkan laju korosi dengan cara mengubah lingkungan menjadi tidak korosif. Inhibitor bersifat reversibel, artinya zat ini dapat terlepas dari permukaan logam akibat adanya arus larutan. Oleh karena itu, konsentrasi minimum inhibitor harus dipertahankan

untuk menjaga lapisan pelindung tipis tersebut. Ada dua jenis inhibitor pada korosi logam, yaitu anorganik dan organik (Fahdillah dkk., 2024).

2.3.1. Inhibitor Anorganik

Inhibitor anorganik merupakan inhibitor yang berasal dari mineral-mineral yang tidak mengandung unsur karbon dalam senyawanya. Bahan dasar dari inhibitor anorganik meliputi kromat, nitrit, silikat, dan pospat. Inhibitor ini berperan sebagai inhibitor anodik karena memiliki gugus aktif berupa anion negatif yang berfungsi untuk mengurangi korosi. Senyawa-senyawa tersebut sangat berguna dalam aplikasi pelapisan antikorosi, namun kelemahan utamanya adalah sifatnya yang toksik (Sari dkk., 2013).

2.3.2. Inhibitor Organik

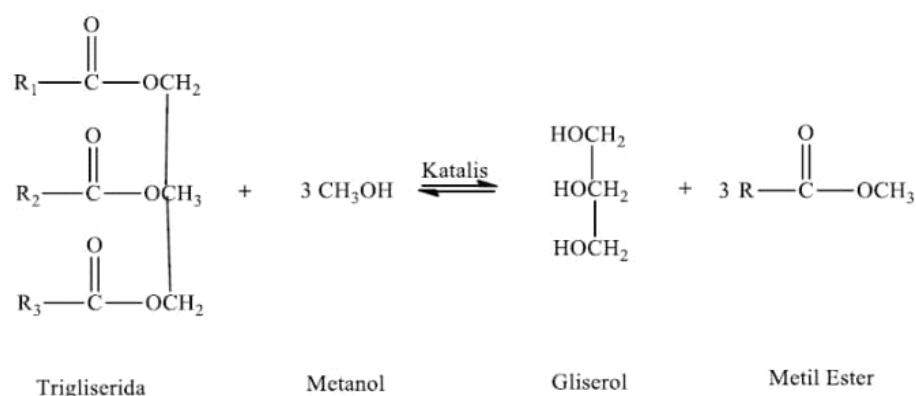
Inhibitor organik atau alami bekerja dengan membentuk senyawa kompleks yang menempel (melalui adsorpsi) pada permukaan logam, membentuk lapisan pelindung yang bersifat hidrofobik dan mampu menghambat reaksi logam dengan lingkungannya. Reaksi ini bisa berupa reaksi anodik, katodik, atau keduanya. Inhibitor organik juga mampu menetralkan dan menyerap zat-zat korosif. Inhibitor organik terbagi menjadi dua jenis, yaitu inhibitor organik sintesis yang berasal dari bahan bakar fosil, dan inhibitor organik alami yang berasal dari ekstrak tumbuhan. Salah satu komponen dari ekstrak tumbuhan tersebut dapat digunakan sebagai inhibitor korosi (Turnip dkk., 2015). Senyawa ekstrak bahan alam yang dijadikan sebagai inhibitor umumnya mengandung atom N, O, P, S dan atom-atom yang mengandung pasangan elektron bebas yang menyebabkan inhibitor cenderung bermuatan negatif, sehingga inhibitor akan tertarik ke permukaan logam dan membentuk lapisan (Meng *et al.*, 2019).

2.3.3. Inhibitor Senyawa Nitrogen

Senyawa nitrogen adalah salah satu senyawa organik yang dapat dijadikan sebagai inhibitor korosi karena mengandung unsur N yang memiliki pasangan elektron bebas, dan dapat terserap dalam permukaan logam yang membentuk film tipis yang melindungi logam dari medium korosif, sehingga dapat menghambat laju korosi. Senyawa nitrogen dapat diperoleh dengan mereaksikan metil ester asam lemak dengan alkanolamina yang sering disebut dengan reaksi amidasi. Amidasi merupakan reaksi pembentukan senyawa amida (Kumar and Ali, 2015). Menurut Kirk dan Othmer (1986) ketika asam lemak rantai panjang seperti asam laurat dan asam stearat digabungkan dengan alkanolamina dan dipanaskan pada suhu 140-160 °C dengan atau tanpa katalis akan menghasilkan reaksi amidasi. Sebelum melakukan reaksi amidasi dalam memperoleh senyawa nitrogen, maka perlu dilakukan transesterifikasi untuk menghasilkan metil ester asam lemak, kemudian metil ester yang dihasilkan akan dilanjutkan dengan reaksi amidasi untuk memperoleh senyawa nitrogen.

2.4. Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit

Transesterifikasi merupakan suatu reaksi kimia yang menggantikan gugus gliserin (gliserol) dalam molekul minyak nabati (trigliserida) dengan molekul monoalkohol seperti metanol. Reaksi ini terjadi dengan mencampur minyak nabati dengan larutan NaOH dalam metanol dan akan menghasilkan produk biodiesel (metil ester) dan gliserin sebagai produk sampingnya. Gliserin juga bernilai ekonomi cukup tinggi dan sangat luas digunakan sebagai bahan dasar pokok industri, seperti sabun dan kosmetik (Andalia dan Pratiwi, 2024). Reaksi transesterifikasi secara sederhana dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Reaksi transesterifikasi.

Reaksi transesterifikasi pada umumnya berlangsung lambat, sehingga dibutuhkan katalis yang berperan untuk mempercepat reaksi dan meningkatkan jumlah produk. Berdasarkan wujudnya jenis katalis dibagi menjadi dua, yaitu katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis basa homogen seperti natrium hidroksida (NaOH) merupakan katalis yang paling umum digunakan dalam proses pembuatan biodiesel karena dapat digunakan pada suhu dan tekanan operasi yang relatif rendah serta memiliki kemampuan katalisator yang tinggi (Prayanto *et al.*, 2016). Namun menurut (Zhang, 2006) katalis homogen lebih susah untuk dipisahkan dari produk hasil reaksi dan menghasilkan limbah yang beracun. Beda halnya dengan katalis heterogen yang memiliki kemampuan untuk meningkatkan efisiensi dan aktivitas reaksi transesterifikasi karena katalis heterogen lebih ramah lingkungan dan dapat didaur ulang. Jenis katalis heterogen yang telah banyak dikembangkan adalah zeolit sintesis.

2.4.1. Minyak Kelapa Sawit

Minyak kelapa sawit adalah salah satu jenis minyak nabati yang sering digunakan untuk konsumsi. Komponen utama dalam minyak kelapa sawit adalah trigliserida, yang terbentuk dari asam lemak dan gliserol (Dwiantoko, 2020). Minyak kelapa sawit mengandung lemak sawit, asam lemak bebas, dan air, di mana komponen

lemak serta asam lemak bebas ini akan diubah menjadi metil ester. Proses utama untuk menghasilkan metil ester adalah reaksi transesterifikasi yang mengonversi trigliserida. Namun, keberadaan asam lemak bebas dalam minyak sawit dapat menghambat reaksi transesterifikasi, sehingga asam lemak bebas tersebut perlu dihilangkan untuk memperlancar konversi trigliserida (Pasae, 2020). Minyak kelapa sawit dalam pengaplikasiannya biasanya digunakan untuk kebutuhan bahan pangan (contohnya minyak goreng, margarin, dan pengganti lemak kakao), industri kimia (contohnya asam lemak, surfaktan, dan gliserol), kosmetik, dan pakan ternak. Komposisi minyak sawit dapat dilihat pada Tabel 1.

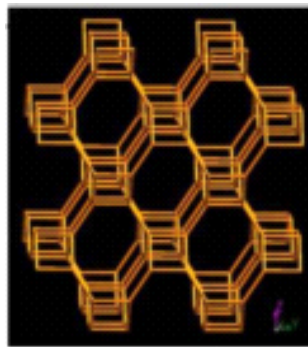
Tabel 1. Komposisi minyak kelapa sawit.

Kandungan	Komposisi (%)
Trigliserida	95,62
Asam lemak bebas	4,00
Air	0,20
Fosfatida	0,07
Aldehid	0,07
Karoten	0,03

2.4.2. Katalis Zeolit-P

Zeolit merupakan mineral aluminosilikat yang memiliki struktur kerangka dengan rongga-rongga (seperti pori-pori, saluran, dan sangkar) yang dapat diisi oleh ion logam dan molekul air. Zeolit terbagi menjadi dua jenis, yaitu alami dan sintetis (Król, 2020). Zeolit adalah kristal aluminosilikat terhidrasi yang terdiri dari unit tetrahedral TO_4 ($T = Si$ atau Al) yang saling terhubung oleh atom oksigen, membentuk rongga dan saluran antar kristal dengan dimensi atom yang teratur. Berkat kapasitas adsorpsi dan pertukaran kation yang tinggi, luas permukaan spesifik yang besar, melimpahnya mikropori, serta stabilitas termal, mekanik, dan kimia yang sangat baik, zeolit dimanfaatkan sebagai adsorben, katalis, penukar ion, pemisah cairan dan gas, serta sering digunakan sebagai membran. Salah satu

zeolit sintetis yang paling menarik adalah zeolit P. Zeolit ini bermanfaat untuk pemisahan gas, penghilangan limbah beracun dan radioaktif, serta logam berat dan amonium dari air limbah. Selain itu, zeolit P juga digunakan dalam pembuatan deterjen ramah lingkungan dan sebagai katalis dalam produksi biomassa. Menurut *International Zeolite Association (IZA)*, struktur zeolit P memiliki topologi kerangka yang sama dengan gismondine, dengan saluran berukuran 0,31 nm x 0,44 nm pada arah [100] dan 0,26 nm x 0,49 nm pada arah [010] (Latosińska, 2019). Zeolit tipe P memiliki karakteristik unik yang termasuk dalam keluarga gismondine (Khaleque *et al.*, 2020) seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Jenis kerangka kerja zeolit-P dan gambar SEM (Khaleque *et al.*, 2020).

Zeolit-NaP memiliki pori-pori yang lebih kecil dibandingkan dengan jenis zeolit FAU, LTA, dan MF1, sehingga sering digunakan untuk memisahkan molekul gas berukuran kecil. Selain itu, zeolit ini banyak dimanfaatkan untuk menghilangkan racun dan limbah radioaktif seperti Cs, Sr, Ba, Pb, U, serta logam berat lainnya, menghilangkan amonium dari air limbah, mengekstraksi natrium dari air laut, dan sebagai bahan dalam pembuatan deterjen ramah lingkungan. Secara umum, zeolit dapat disintesis dari berbagai bahan baku, baik yang alami maupun sintetis (Król, 2020). Namun, banyak bahan baku yang tidak cocok untuk mensintesis zeolit dari segi ekonomi, oleh karena itu pencarian bahan baku yang lebih murah masih menjadi tantangan. Dalam hal ini, konversi zeolit alam menjadi zeolit sintetis dianggap sebagai metode yang lebih dapat diandalkan.

Berbagai metode telah dikembangkan dan diterapkan untuk pembuatan zeolit sintetis, termasuk zeolit-P. Beberapa metode tersebut adalah metode hidrotermal, metode fusi alkali, metode gelombang mikro, metode ultrasonikasi (Taha, 2023) dan transformasi zeolit alam (Shindo *et al.*, 2011). Setiap metode memiliki kelebihan dan keterbatasan tersendiri, antara lain:

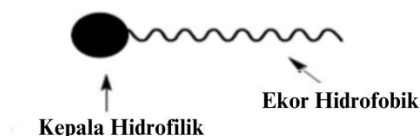
- a) Metode hidrotermal, yang menawarkan keuntungan seperti reaktivitas tinggi, polusi dan konsumsi energi rendah, serta kualitas kristal yang baik, namun terbatas oleh biaya autoklaf yang mahal dan risiko korosi bubur
- b) Metode fusi alkali, yang efektif untuk bahan baku bermutu rendah dan menghasilkan zeolit anhidrat berkualitas tinggi, namun memiliki konsumsi energi dan biaya yang tinggi
- c) Sintesis menggunakan gelombang mikro, yang memungkinkan reaksi lebih cepat, pemanasan terfokus, dan suhu tinggi, tetapi sulit dikendalikan dan menyebabkan penguapan air
- d) Metode energi ultrasonik, yang sederhana dengan reaksi cepat, tidak memerlukan fasilitas yang rumit, menghasilkan tingkat pertumbuhan kristal yang tinggi, distribusi ukuran partikel dan morfologi yang seragam, serta memberikan kontrol yang baik dalam proses nukleasi (Khaleque *et al.*, 2020).

2.5. Sintesis Senyawa Nitrogen

2.5.1. Alkanolamida

Alkanolamida merupakan senyawa amida yang banyak digunakan dalam industri kimia, kosmetik, maupun otomotif. Senyawa ini memiliki sifat “deterjensi” karena memiliki molekul *amphiphilic*. *Amphiphilic* adalah suatu molekul yang sekaligus memiliki gugus hidrofilik dan gugus hidrofobik dimana bagian polar yang suka akan air (hidrofilik) dan bagian nonpolar yang suka akan minyak/lemak (hidrofobik). Karena sifatnya, alkanolamida dapat berperan sebagai surfaktan (Lubis *et al.*, 2018). Molekul surfaktan merupakan zat aktif permukaan dengan dua sifat yang berbeda. Bagian kepala bersifat polar dan bagian rantai alkil bersifat non-polar. Molekul surfaktan pada bagian kepala disebut bagian hidrofilik

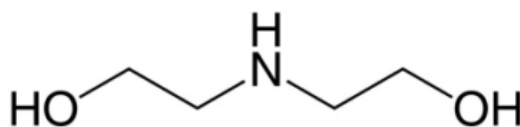
dan bagian ekor disebut hidrofobik seperti pada Gambar 3. Surfaktan menyebabkan penurunan tegangan permukaan yang signifikan atau mengurangi tegangan permukaan antara dua cairan. Dengan menambah sejumlah kecil surfaktan, akan menyebabkan berkurangnya tegangan permukaan dan keadaan antarmuka akan berubah (Ashari dkk., 2017).



Gambar 3. Molekul surfaktan (Ashari dkk., 2017).

2.5.2. Reaksi Amidasi

Reaksi amidasi merupakan reaksi yang masih jarang digunakan. Reaksi amidasi terjadi dengan mereaksikan asam lemak, metil ester atau trigliserida dengan alkanolamina atau dietanolamina. Struktur dietanolamina dapat dilihat pada Gambar 4. Bahan baku yang sering digunakan adalah metil ester, tetapi penggunaan metil ester perlu dipertimbangkan dikarenakan dapat menimbulkan busa yang berlebih dalam penggunaannya (Lubis, 2018). Dietanolamina berfungsi sebagai penyedia gugus amina yang akan menggantikan gugus metoksi pada metil ester sehingga terbentuk dietanolamida dengan hasil samping metanol (Nadhief, 2023).



Gambar 4. Struktur dietanolamina (Albert, 2013).

2.6. Uji Aktivitas Inhibitor Korosi dengan Metode Kehilangan Berat (*Wheel Test*)

Metode kehilangan berat atau metode *Weight Loss Method (Wheel Test)* merupakan metode penentuan laju korosi dengan cara menghitung kehilangan berat yang terjadi pada logam sebelum dan setelah direndam pada larutan korosif selama selang waktu tertentu. Metode *whell test* digunakan untuk mengetahui kehilangan berat yang terjadi pada permukaan baja dapat dilihat pada persamaan 14 dan laju korosi dapat dilihat pada persamaan 15, untuk mengetahui kemampuan proteksi dari inhibitor dalam menghambat laju korosi dapat dilakukan dengan menghitung persen proteksi inhibitor menggunakan persamaan 16 (Ilim *et al.*, 2017).

$$W = W_i - W_t \quad (14)$$

$$CR = \frac{10 \times W \times 365}{A \times D \times t} \quad (15)$$

Keterangan:

W = Kehilangan berat (g)
 CR = Laju korosi (mm/th)
 W_i = Berat awal (g)
 W_t = Berat akhir (g)
 A = Luas permukaan sampel (cm²)
 D = Density (g/cm³)
 t = Waktu paparan (hari)

$$\%P = \frac{(CR_o - CR_i)}{CR_o} \times 100\% \quad (16)$$

Keterangan:

%P = Persen proteksi
 CR_o = Lajukorosi tanpa inhibitor (blanko)
 CR_i = Laju korosi dengan inhibitor

2.7. Karakterisasi produk

2.7.1. X-Ray Diffraction (XRD)

Spektroskopi difraksi sinar-X (*X-ray diffraction/XRD*) digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Difraksi sinar-X terjadi pada hamburan elastis foton-foton sinar-X oleh atom dalam sebuah kisi periodik. Hamburan monokromatis sinar-X dalam fasa tersebut memberikan interferensi yang konstruktif (Sudradjat *et al.*, 2014). Dasar dari penggunaan difraksi sinar-X untuk mempelajari kisi kristal adalah berdasarkan persamaan Bragg dapat dilihat pada Persamaan:

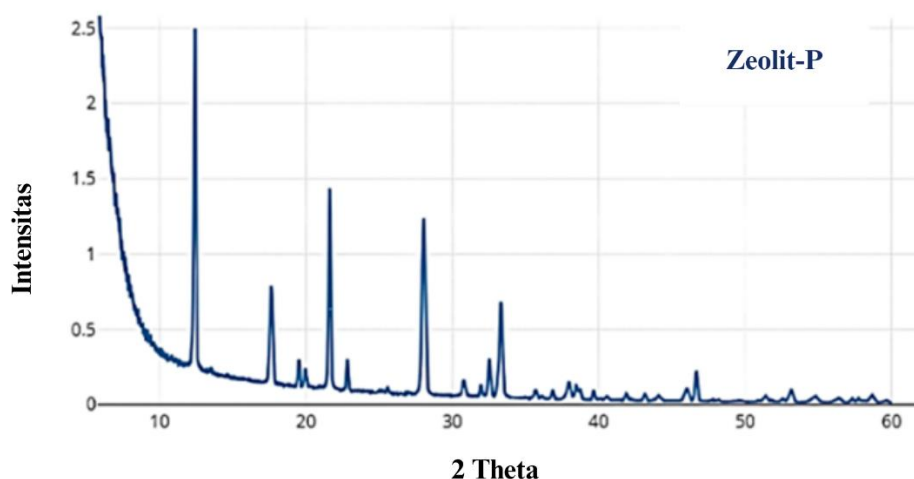
$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (17)$$

Dengan λ adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan, d adalah jarak antara dua bidang kisi, θ adalah sudut antara sinar datang dengan bidang normal, dan n adalah bilangan bulat yang disebut sebagai orde pembiasan.

Difraksi sinar-X (XRD) adalah salah satu metode karakterisasi material yang paling penting dan membantu mengidentifikasi fase kristal atau struktur material kristal padat seperti tingkat kristal dan komposisi fase. XRD menggunakan sinar-X sebagai sumber cahaya dalam teknik karakterisasinya. Sinar-X merupakan bagian dari gelombang radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang berkisar antara 10^{-10} m hingga 10^{-8} m ($1-100 \text{ \AA}$), yang terletak di antara panjang gelombang sinar gamma (γ) dan sinar ultraviolet. Namun, hanya $0,3-0,25 \text{ \AA}$ yang digunakan sebagai sumber cahaya untuk XRD.

Karakterisasi menggunakan XRD banyak digunakan untuk padatan kristal karena padatan kristal memiliki atom-atom penyusun dengan susunan yang teratur sehingga membentuk bidang-bidang dengan jarak antar bidang tertentu dan setiap atom dapat memantulkan sinar X. Padatan amorf memiliki atom-atom penyusun yang tersusun secara acak sehingga tidak akan menimbulkan pola difraksi yang khas karena strukturnya yang tidak teratur. Hasil karakterisasi dengan XRD ini digambarkan dengan difraktogram yang menampilkan plot sudut 2θ dengan

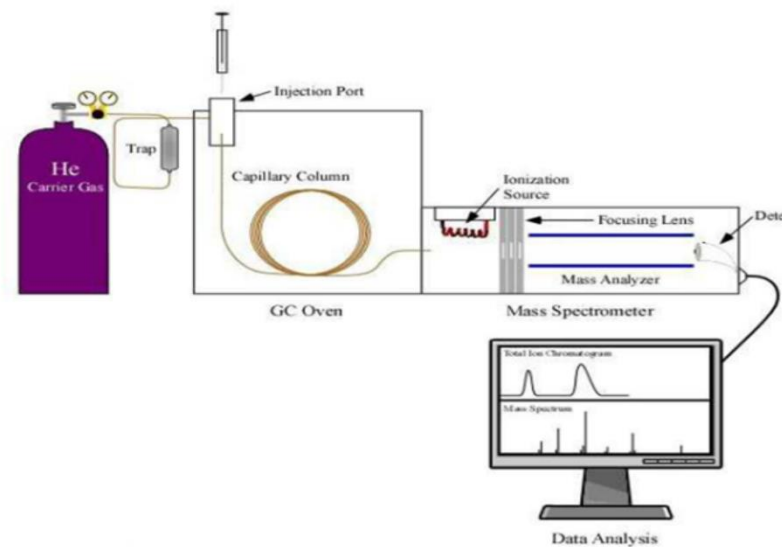
intensitas. Data XRD kemudian dianalisis dengan menggunakan perangkat lunak Match!3 untuk membandingkan difraktogram zeolit dengan standar zeolit-P dari *International Zeolite Association (IZA)*. Pada Gambar 5 di bawah ini adalah difraktogram zeolit-P standar.



Gambar 5. Difraktogram standar IZA dari zeolit-P (Basis data struktur zeolit).

2.7.2. Gas Chromatography – Mass Spectrometry (GC-MS)

GC-MS merupakan suatu gabungan dari instrumen GC dan MS. Kedua alat dihubungkan dengan satu interfase seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. GC berfungsi sebagai alat pemisah berbagai komponen campuran dalam sampel dan MS berfungsi mendeteksi masing-masing molekul komponen yang telah dipisahkan pada sistem kromatografi gas. GC-MS dapat digunakan untuk analisis kualitatif dan kuantitatif. Analisis kromatogram GC-MS memberikan informasi jumlah komponen senyawa yang terpisah. Luas puncak kromatogram merepresentasikan konsentrasi (%) senyawa relatif terhadap cuplikan yang menguap pada kondisi pengoperasian GC-MS.



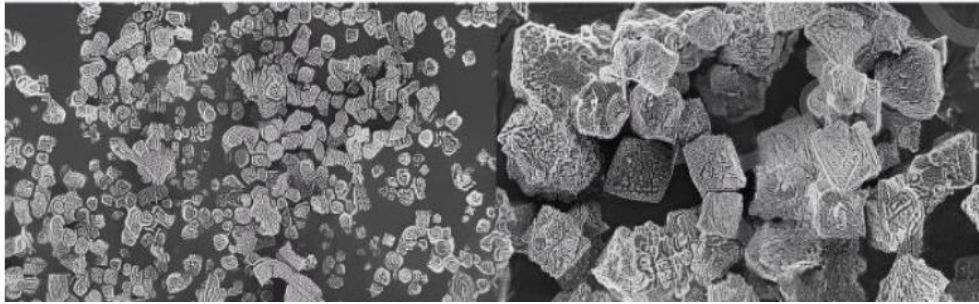
Gambar 6. Skema alat GC-MS (Wu *et al.*, 2012).

2.7.3. Scanning Electron Microscopy (SEM)

SEM adalah alat seperti mikroskop yang digunakan untuk melihat objek dengan menggunakan elektron sebagai pengganti cahaya. Prinsip kerja SEM adalah elektron ditembakkan dari katoda filamen ke arah sampel. Ketika terjadi interaksi antara elektron dan sampel, elektron kehilangan sejumlah energi yang menghasilkan refleksi dan emisi elektron. Hasil refleksi dan emisi elektron akan dideteksi oleh detektor yang dapat divisualisasikan sebagai gambar morfologi kristal (Sharma *et al.*, 2018).

Prinsip kerja SEM adalah sebagai berikut Sumber elektron mampu memancarkan elektron yang dipercepat oleh tegangan yang diberikan. Lensa magnetik menyatukan aliran elektron menjadi sinar terfokus, yang kemudian mengenai permukaan sampel pada titik yang halus dan tepat. Berkas elektron kemudian memindai permukaan spesimen dalam bentuk raster persegi panjang. Pengguna dapat meningkatkan pembesaran dengan mengurangi ukuran area yang dipindai pada spesimen. Detektor mengumpulkan elektron yang dihamburkan dan sekunder (SE). Sinyal yang sesuai diukur dan nilainya dipetakan sebagai variasi

kecerahan pada tampilan gambar. Elektron sekunder lebih sering digunakan sebagai sinyal pembacaan. Mereka menyoroti topografi permukaan sampel yaitu area terang yang mewakili tepi sementara area gelap pada cahaya mikroskop (Thermo, 2019). Gambar 7 merupakan contoh mikrograf SEM zeolit P memiliki karakteristik berbentuk prisma segi empat (Liu *et al.*, 2021).



Gambar 7. Gambar SEM dari sampel zeolit-P (Liu *et al.*, 2021).

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober 2024 hingga Maret 2025. Lokasi penelitian bertempat di Laboratorium Kimia Anorganik-Fisik dan Laboratorium Kimia Polimer, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Karakterisasi zeolit-P menggunakan XRD dilaksanakan di Laboratorium Instrumen Kimia, Universitas Negeri Padang (UNP). Karakterisasi untuk mengidentifikasi senyawa kimia menggunakan GC-MS produk transesterifikasi dan amidasi dilaksanakan di Laboratorium Instrumentasi FMIPA Terpadu Universitas Islam Indonesia (UII). Analisis morfologi permukaan katalis zeolit-P dan baja lunak menggunakan SEM akan dilaksanakan di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) FMIPA Universitas Lampung.

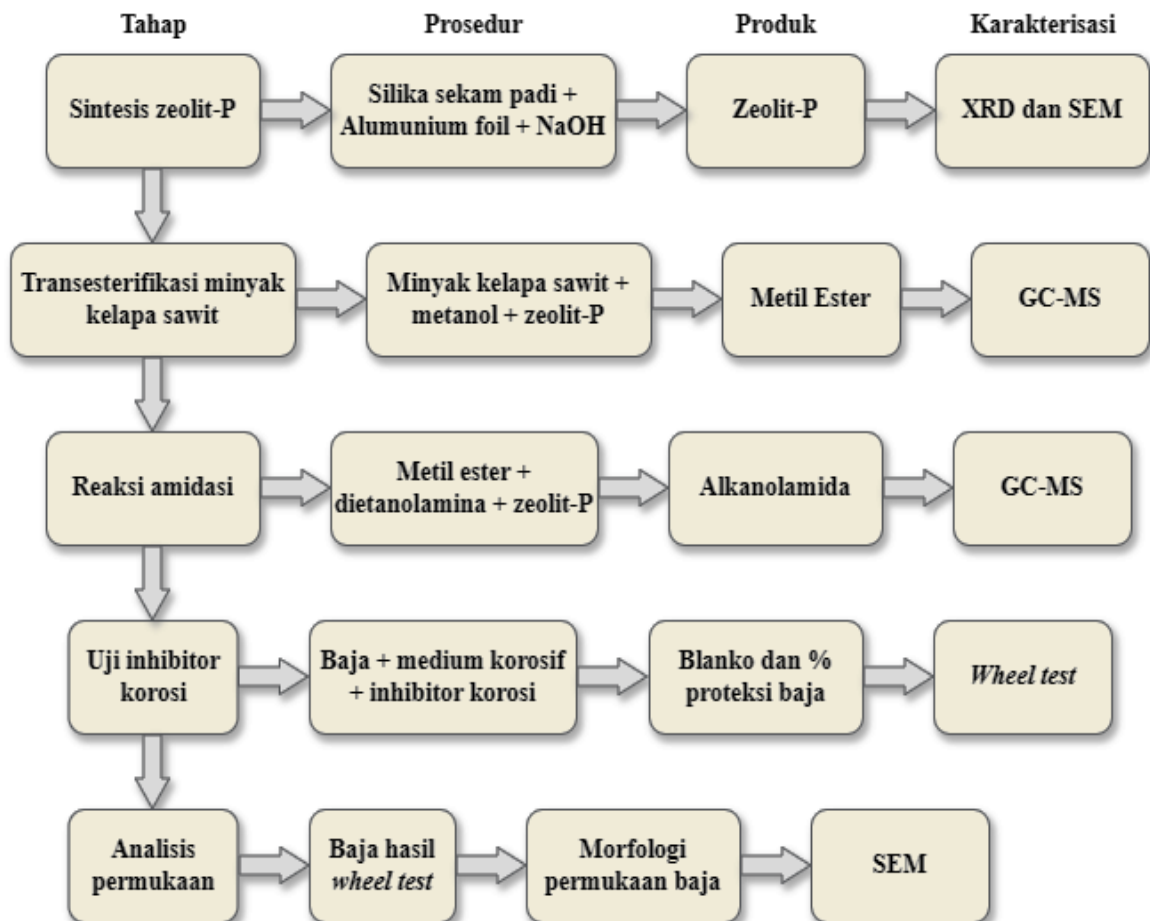
3.2. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah; autoklaf, neraca analitik, labu bundar, corong pisah, *water bath*, saringan mesh ukuran 300 nm, cawan krus, jangka sorong, desikator, termometer, gelas kimia, spatula, labu ukur, Erlenmeyer, gelas ukur, oven, *furnance*, *hotplate*, *magnetic stirrer*, alat refluks, mikro pipet, *Gas Chromatography-MassSpectrometry* (GC-MS) tipe Shimadzu QP 2010 SE, *X-Ray Diffraction* (XRD) PANalytical tipe X'Pert Pro 3040/60, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) tipe ZEISS EVO MA 10.

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah; sekam padi, minyak kelapa sawit, alumunium foil *food grade*, akuades, dietanolamina, NaOH, HNO₃, Sb₂O₃, SnCl₂, HCl pekat, NaCl, NaHCO₃, gas CO₂, kertas saring, kertas silikon karbida (grade 200, 400, 600, 800, dan 1200), indikator pH, metanol, dan baja lunak (SAE/AISI Grade 1022).

3.3. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir pada penelitian ini dapat dilihat dari Gambar 8.



Gambar 8. Diagram alir penelitian.

3.4. Prosedur Penelitian

3.4.1. Preparasi Sekam Padi dan Ekstraksi Silika

Proses preparasi dan ekstraksi silika dari sekam padi dilakukan dengan mengacu pada metode yang dikembangkan oleh Simanjuntak *et al.* (2019). Preparasi dimulai dengan merendam sekam padi dalam air untuk menghilangkan kotoran yang menempel. Pada tahap ini, sekam padi dipisahkan berdasarkan massa jenisnya, dimana sekam yang mengapung dibuang karena kandungan silikanya rendah, sedangkan sekam yang tenggelam dikumpulkan. Sekam padi yang telah dipisahkan kemudian dicuci ulang menggunakan air mengalir secara berulang untuk memastikan semua kotoran yang menempel pada permukaan hilang. Setelah itu, sekam padi yang telah bersih dikeringkan di bawah sinar matahari hingga kering sempurna.

Sekam padi sebanyak 2000 g diekstraksi ke dalam 20 L larutan NaOH 1,5% dalam gelas kimia, kemudian dipanaskan hingga mendidih sambil diaduk dan ditunggu selama 30 menit. Hasil ekstraksi sekam padi didiamkan pada suhu ruang selama 24 jam untuk memaksimalkan proses ekstraksi. Selanjutnya dilakukan proses filtrasi untuk memisahkan filtrat dan residu sekam padi. Larutan HNO₃ 10% secara bertahap ditambahkan ke dalam filtrat yang dihasilkan sampai pH larutan mencapai 7-8 dan terbentuk silika gel. Untuk memaksimalkan proses penuaan, silika gel dibiarkan pada suhu ruang selama 24 jam. Silika gel tersebut kemudian dicuci dengan air hingga bewarna putih dan bersih. Silika gel yang telah bersih dikeringkan dalam oven pada suhu 100 °C, kemudian digerus dan diayak dengan saringan 300 nm hingga berbentuk bubuk berwarna putih. Silika sekam padi hasil ekstraksi digunakan untuk mensintesis zeolit-P.

3.4.2. Sintesis Zeolit-P

Pembuatan katalis zeolit-P diawali dengan pembuatan larutan NaOH terlebih dahulu dengan cara melarutkan 16 g NaOH (pa) di dalam 250 mL akuades. Kemudian, larutan NaOH sebanyak 150 mL dicampurkan dengan silika yang sudah diayak sebanyak 30 g dan di-*stirrer* dengan menggunakan *hotplate stirrer* pada suhu 70 °C selama 3 jam lalu disaring menggunakan kertas saring menghasilkan natrium silikat. Melarutkan 10,8 g aluminium foil dalam 100 mL larutan NaOH di-*stirrer* selama 3 jam dengan menggunakan *hotplate stirrer* menghasilkan natrium aluminat. Setelah natrium aluminat larut kemudian ditambahkan natrium silikat dan ditambahkan 20 mL akuades di-*stirrer* selama 3 jam dan di-*aging* selama 24 jam. Setelah itu, dilakukan kristalisasi dalam oven selama 72 jam dengan suhu 100 °C. Diperoleh prekursor zeolit-P dengan bentuk gel yang kemudian gel tersebut dicuci kembali setelah didinginkan hingga pH menjadi 7-8 dengan akuades. Dikeringkan kembali di dalam oven dengan suhu 100 °C selama 24 jam. Setelah dikeringkan dilakukan penghalusan dengan mortar dan disaring kembali dengan mesh ukuran 300 nm. Dilakukan variasi kalsinasi pada suhu 550, 600 dan 700 °C masing-masing selama 6 jam. Kemudian diperoleh sampel zeolit-P. Untuk membuktikan hasil yang diperoleh itu sesuai dengan yang diinginkan, maka zeolit-P perlu dilakukan karakterisasi dengan XRD dan SEM.

3.4.3. Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit

Transesterifikasi minyak kelapa sawit dilakukan dengan nisbah minyak kelapa sawit dan reaktan 1:4. Sebanyak 25 mL minyak kelapa sawit dicampur dengan 100 mL metanol dan kemudian ditambahkan katalis zeolit-P sebanyak 10% dari berat minyak dalam labu bundar 250 mL. Campuran direfluks secara terus-menerus menggunakan *hotplate stirrer* pada suhu 70 °C selama 4 jam. Hasil refluks didinginkan hingga mencapai suhu ruang, lalu disaring dengan kertas saring ke dalam corong pisah dengan tujuan memisahkan katalis dengan produk

yang dihasilkan. Filtrat kemudian didiamkan selama 24 jam agar terjadi pemisahan antara metil ester dengan minyak yang tersisa. Metil ester yang diperoleh kemudian di-*stirrer* selama 6 jam untuk memisahkan metanol yang tersisa dari produk yang dihasilkan. Metil ester yang dihasilkan dikarakterisasi dan digunakan sebagai bahan baku pembuatan senyawa nitrogen dalam reaksi amidasi. Kemudian metil ester yang diperoleh dikarakterisasi dengan GC-MS.

3.4.4. Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Nitrogen (Reaksi Amidasi)

Metil ester dari hasil transesterifikasi minyak kelapa sawit dicampurkan dengan dietanolamin (DEA) dengan perbandingan 1:1, kemudian dimasukkan ke dalam autoklaf dan ditambahkan katalis zeolit-P dengan pengadukan selama 1 jam. Campuran tersebut kemudian dioven pada suhu 100 °C selama 48 jam. Setelah itu, campuran didinginkan hingga suhu ruang, kemudian disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan katalis dari produk yang dihasilkan. Selanjutnya, dibiarkan selama 24 jam untuk memisahkan senyawa nitrogen yang dihasilkan dari metil ester yang tersisa. Senyawa nitrogen yang terbentuk dikarakterisasi menggunakan GC-MS, selanjutnya diuji aktivitasnya sebagai inhibitor baja lunak dalam medium yang mengandung CO₂ menggunakan metode *wheel test*.

3.4.5. Persiapan Sampel Baja Lunak

Kupon baja lunak yang digunakan untuk metode *wheel test* dengan ukuran 2x1 cm, kemudian diampelas dengan kertas amplas dengan ukuran grit 200, 400, 600, 800, 1000, dan 1200 secara berurutan. Setelah permukaan baja lunak rata selanjutnya dibersihkan dengan akuades lalu dibilas dengan metanol kemudian diukur dimensinya dan ditimbang massanya.

3.4.6. Persiapan Medium Korosif

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

1. Larutan Medium Korosif

Medium korosif yang digunakan adalah larutan air garam 3 % (b/v) yang dibuat dengan cara melarutkan 30 g NaCl dan 0,1 g NaHCO₃ dalam labu ukur 1000 mL. Kemudian ditambahkan akuades hingga tanda tera dan dihomogenkan. Media korosif ini kemudian dijenuhkan dengan gas CO₂ *food grade* pada tekanan atmosfer dengan kecepatan sekitar 150-200 mL/menit.

2. Pembuatan Larutan inhibitor

Larutan inhibitor dengan konsentrasi 15.000 ppm disiapkan dengan cara melarutkan inhibitor (senyawa nitrogen) sebanyak 0,15 g dalam 10 mL metanol.

3. Pembuatan *Clarke's solution*

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

3.4.7. Penentuan Laju Korosi (*Weight Loss Method*)

Larutan korosif dimasukkan ke dalam botol duran 250 mL sebanyak 175 mL. Larutan inhibitor dengan konsentrasi 15.000 ppm dimasukkan ke dalam botol gelas menggunakan mikropipet dan dialiri gas CO₂ selama 45 menit. Baja lunak yang sudah diubah menjadi bentuk kupon dan yang sudah diketahui dimensi dan massanya dimasukkan ke dalam botol. Aliran gas CO₂ dihentikan, botol ditutup dengan hati-hati tanpa kontaminasi oksigen, lalu didiamkan selama 24 jam. Setelah itu, botol dibuka, kupon dikeluarkan, dicelupkan dalam *Clarke's solution* selama 45 detik, dicuci dengan akuades, dan dibilas dengan metanol. Kupon baja lunak yang sudah kering ditimbang dengan neraca analitik. Untuk mengetahui kehilangan berat yang terjadi pada permukaan baja dapat dilihat pada persamaan 14 dan laju korosi dapat dilihat pada persamaan 15, untuk mengetahui

kemampuan proteksi dari inhibitor dalam menghambat laju korosi dapat dilakukan dengan menghitung persen proteksi inhibitor menggunakan persamaan 16.

3.4.8. Analisis SEM

Prosedur ini dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan sampel baja lunak menggunakan SEM guna mengamati tingkat korosi yang terjadi serta efektivitas penggunaan inhibitor korosi. Tiga jenis perlakuan diberikan pada sampel baja lunak, yaitu baja tanpa perlakuan sebagai kontrol, baja yang direndam dalam medium korosif tanpa inhibitor (blanko), dan baja yang direndam dalam medium korosif yang ditambahkan 1,75 mL larutan inhibitor dengan konsentrasi 15.000 ppm. Setelah proses perendaman, semua sampel dibilas menggunakan akuades dan metanol tanpa menggunakan *Clarke's solution*. Perlakuan ini memungkinkan perbandingan morfologi permukaan antar sampel, sehingga korosi dan efek inhibitor dapat diamati dengan jelas.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

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

1. Zeolit-P dari silika sekam padi berhasil disintesis menggunakan metode hidrotermal dengan suhu kalsinasi 700 °C dan analisis XRD sesuai dengan difraktogram standar IZA zeolit-P, serta hasil analisis SEM mikrograf permukaan zeolit-P berbentuk kristal prisma segiempat.
2. Minyak kelapa sawit berhasil dikonversi menjadi senyawa metil ester melalui reaksi transesterifikasi dengan persen konversi sebesar 40%.
3. Hasil analisis GC-MS pada produk amidasi mengandung senyawa nitrogen sebesar 10,07%.
4. Uji aktivitas produk amidasi sebagai inhibitor korosi dari reaksi metil ester dan dietanolamina menggunakan katalis zeolit-P memiliki persen proteksi sebesar 96,70%. Sedangkan produk amidasi dari hasil reaksi minyak kelapa sawit dan dietanolamina dengan bantuan katalis zeolit-P memiliki persen proteksi sebesar 72,53%.
5. Hasil SEM menunjukkan bahwa produk amidasi dari reaksi metil ester dan dietanolamina dengan katalis zeolit-P efektif menghambat laju korosi pada baja lunak dalam larutan NaCl 3% jenuh CO₂ ditunjukkan oleh permukaan baja yang tampak lebih halus.

5.2. Saran

Beberapa hal yang disarankan pada penelitian berikutnya antara lain:

1. Mengoptimalkan reaksi antara metil ester dan dietanolamina untuk menghasilkan jumlah senyawa nitrogen yang lebih tinggi, seperti melakukan variasi reaktan, waktu pengadukan, dan suhu reaksi.
2. 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

- Ahmad, F., Saputra, R. A., dan Syeptiani, S. 2023. Pengaruh Pemberian Disinfektan Terhadap Laju Korosi dan Jenis Korosi Yang Terjadi Pada Logam, *Jurnal Multidisiplin Raflesia*: 2(1), hal. 55–59.
- Afifah, A. I. N. 2022. Conversion of Coconut Oil Derived Methyl Esters Into Nitrogen Compounds as Green Corrosion Inhibitor. University of Lampung.
- Albert, T. 2013. Some Chemicals Present in Industrial and Consumer Products , Food and Drinking-Water. United States: International Agency for Research on Cancer, 101.
- 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.
- Amalia, S. 2012. Sintesis Senyawa Risinoleil Dietanolamida Melalui Reaksi Amidasi Asam Risinoleat Dengan Dietanolamina, *Sainstis*, hal. 1–10.
- Andalia, W. dan Pratiwi, I. 2024. Kinerja Katalis Naoh dan KOH ditinjau dari Kualitas Produk Biodiesel yang dihasilkan dari Minyak Goreng Bekas: 7(2), hal. 66–73.
- Andira, R., Zulnazri., Bahri, S., Azhari., and Muarif, A. 2022. Pemanfaatan Ekstrak Daun Rambutan Sebagai Inhibitor Korosi Pada Plat Besi dalam Media Air Payau, *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*. 2(3), hal. 11-20.
- Ashari, M., Annisa, N. dan Masyithah, Z. 2017. Sintesis Palmitoil dan Lauroil Etanolamida Menggunakan Pelarut Campuran: Pengaruh Temperatur dan Waktu Reaksi, *Jurnal Teknik Kimia USU*. 6(4), hal. 29–33.
- Asari, U. 2024. Konversi Metil Ester Dari Minyak Biji Karet (*Hevea brasiliensis*) Menggunakan Katalis Zeolit-Y dengan Reaktor Autoclave Menjadi Senyawa Nitrogen dan Uji Aktivitas Sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak.

Universitas *Skripsi*. Lampung.

- Daryono, E. D dan Mustiad, 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), hal. 16–20.
- Elfidiah, Kharismadewi, D., and Yuliwati, E. 2019. Wuluh starfruit (*Averrhoa bilimbi* linn.) leaves extract as green corrosion inhibitor in reinforced steel, *Journal of Physics: Conference Series*. 1444 (2020), hal.1-7.
- Enrik, R. 2024. Konversi Metil Ester Dari Minyak Biji Karet (*Hevea brasiliensis*) Menggunakan Katalis Zeolit-X dengan Reaktor Autoclave Menjadi Senyawa Nitrogen Dan Uji Aktivitas Sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak. *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Fahdillah, N., Adhani, L. dan Nuraliyah, A. 2024. Pengaruh suhu , waktu perendaman , dan inhibitor alami terhadap laju korosi pada pipa tembaga di lingkungan asam HCL 0,1 N, *DYNAMES*. 1(1), hal. 1–14.
- Fahrurrozie, A., Sunarya, Y., dan Mudzakir, A. 2010. Efisiensi Inhibisi Cairan Ionik Turunan Imidazolin Sebagai Inhibitor Korosi Baja Karbon Dalam Larutan Elektrolit Jenuh Karbon Dioksida, *Jurnal Sains dan Teknologi Kimia*. 1(2), hal. 100–112.
- Faranida, Q. H. 2024. Transformation Of Lampung Natural Zeolite Into Zeolite-P As Catalyst For Coconut Oil Pyrolysis. *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Fiyansah, T, O., Fadarina dan Aznury, M. 2021. Kinetika Reaksi Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Menjadi Metil Ester dengan Katalis CaO/ Abu Terbang Batubara. *Jurnal Kinetika*, 12(03), hal. 38–43.
- Hadi, S. dan Jumarlis, D. 2013. Pengaruh Lingkungan Minyak Mentah Terhadap Laju Korosi Pada Pipa Baja Karbon Dan Pipa Galvanis, *Jurnal Teknik Mesin*. 3(2), hal. 66–69.
- Hartono, R., Hardi, W., Gunawan, I. 2021. Ekstrak Daun Jarak Sebagai Inhibitor (Penghambat) Korosi pada Baja Karbon, *Dinamika Jurnal Teknik Mesin Unkhair*. 6(1), hal. 4-10.
- Herliana, H. 2022. Konvensi Metil Ester Asam Lemak Minyak Kelapa Menjadi Senyawa Amida Menggunakan Dietanolamina Dan Uji Aplikasinya Sebagai Inhibitor Korosi, *Tesis*. Universitas Lampung.

- Hidayah, L. 2023. Konversi Minyak Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* J.) Menjadisenyawa Nitrogen Dan Uji Aktivitasnya Sebagai Green Inhibitor Korosi Baja Lunak, *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Hindo, T. S., Nagai, Y., Ikeuchi, T., and Ozawa, T. 2011. Synthesis of MCM-41 with Zeolite-P from Natural Clinoptilolite for Silica-alumina Source Under Hydrothermal Conditions in Alkaline Media. 18(1), hal. 1–6.
- Hoang, N. 2019. Image Processing-Based Detection of Pipe Corrosion Using Texture Analysis and Metaheuristic-Optimized Machine Learning Approach, 2019, hal. 1-12.
- 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 Enviromental Science*. 8(7), hal. 2381–2390.
- Ilim, I., Afifah, A. I. N., Hidayah, L., Herliana, L., 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), hal. 1639–1651.
- Ilim, I., Hidayah, L., Yuliyanda, D., Pandiangan, K. D., and Simanjuntak, W. 2024. Sodium Methoxide Catalyzed Preparation of Nitrogen Compounds from Palm Oil Methyl Esters as Corrosion Inhibitor. *Science and Technology Indonesia*, 9(1), hal. 114-119.
- Ilim, I., Jefferson, A., Simanjuntak, W., and Jeannin, M. 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), hal. 198–207.
- Inhibitor Ekstrak Daun Teh (*Camelia Sinensis*), *Jurnal Fisika Unand*. 2(3), hal. 204–211.
- Jamil, M. A. R., Touchy, A. S., Poly, S. S., Rashed, M. N., Siddiki, S. M. A. H., Toyao, T., Maeno, Z., and Shimizu, K. 2020. High-silica HB zeolite catalyzed methanolysis of triglycerides to form fatty acid methyl esters (FAMES), *Fuel Processing Technology*, 197(September 2019), hal. 106204.
- Juanda, M., Pratiwi, N. L., Astuti, D. H., dan Sani. 2022. Study of NaNO_2 Inhibitors as Corrosion Control Rate of Stainless Steel in NaCl 5 %, *Environment*: 16(2), hal. 80-86.
- Khaleque, A., Alam, M., Hoque, M., Mondal, S., Bin, J., Xu, B., Johir, M. A. H.,

- Krishna, A., Zhou, J. L., Boshir, M., and Ali, M. 2020. Zeolite synthesis from low-cost materials and environmental applications: *A review. Environmental Advances*. 2(8):1-25.
- Khoeroni, A. M. 2021. Alkanolamida Berbasis Minyak Kelapa Sawit Sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak dalam Medium Korosif yang Mengandung Karbon Dioksida (CO₂), *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung.
- Kirono, S., dan Amri, A. 2016. Pengaruh Tempering pada Baja St 37 yang Mengalami Karburasi dengan Bahan Padat Terhadap Sifat Mekanis dan. (C), hal. 1–10.
- Kirk, R. and Othmer, D.F. 1986. *Encyclopedia of Chemical Technology* Interscience Publisher a Division of John Wiley & Son. 1(4).
- Król, M. 2020. Natural vs. Synthetic Zeolites. *Crystals*: 10(622), hal.1–8.
- Kumar, D., and Ali, A. 2015. Direct Synthesis of Fatty Acid Alkanolamides and Fatty Acid Alkyl Esters From High Free Fatty Acid Containing Triglycerides as Lubricity Improvers Using Heterogeneous Catalyst. *Fuel*, 159, 845–853.
- Latosińska, J. 2019. Synthesis of zeolite P from sewage sludge ash. *E3S Web of Conferences, Energy and Fuels*. 108(8), hal.1-6.
- Liu, W., Aldahri, T., Xu, C., Li, C., and Rohani, S. 2021. Synthesis of sole gismondine-type zeolite from blast furnace slag during CO₂ mineralization process. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(1), 1-35.
- Lubis, F. S. 2018. Karakteristik Senyawa Alkanolamida dari Minyak Jarak Castor dan Dietanolamine dengan Katalis KOH, *Jurnal Konversi*. 7(2), hal. 31–36.
- Meng, X., Guo, X., Zhong, Y., Pei, Y., Chen, N., and Xie, Q. 2019. Synthesis of a high-quality NaP zeolite from epidesmine by a hydrothermal method. *Bulletin of Materials Science. Indian Academy of Sciences*, hal. 2-8.
- Montoya, C., Cochard, B., Flori, A., Cros, D., Lopes, R., Cuellar, T., Espeout, S., Syaputra, I., Villeneuve, P., Pina, M., Ritter, E., Leroy, T., and Billotte, N. 2014. Genetic Architecture of Palm Oil Fatty Acid Composition in Cultivated Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq) Compared's to Its Wild Relative *E. oleifera* (H. B. K.) Corte, *Journal.pone*. 9(5), hal. 1-13.
- Mooy, M., Manubulu, C. C., dan Usboko, G. P. 2023. Dampak Penggunaan Puntung Rokok pada Kuat Tekan Beton Sebagai Bahan Desalinasi Pasir Laut, *Jurnal Teknik Sipil*. 12(2), hal. 193–200.

- Mulyati, B. 2019. Tanin dapat dimanfaatkan sebagai Inhibitor Korosi. Universitas Nurtanio Bandung, hal.1-4.
- Mutiara, N. 2024. Pirolisis Minyak Kelapa Sawit Menggunakan Zeolit-P Hasil Transformasi Zeolit Alam Lampung. Universitas Lampung. Bandar Lampung. Skripsi.
- Nadhief, M. A. 2023. Optimasi Waktu Konversi Metil Ester dari Minyak Kelapa (*Cocos nucifera* L.) Menjadi Senyawa Nitrogen Menggunakan Autoclave dan Aplikasinya Sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak. *Skripsi* ; Universitas Lampung.
- Nasution, M. 2018. Karakteristik Baja Karbon Terkorosi. *Buletin Utama Teknik*. 14(1): hal. 68-76.
- Novembre, D., Gimeno, D. dan Vecchio, A. Del. 2021. Synthesis and characterization of Na - P1 (GIS) zeolite using a kaolinitic rock, *Scientific Reports*, hal. 1–11.
- Novembre, D., Pasculli, A., Pace, C., Gimeno, D., and Di Sabatino, B. 2010. Synthesis of sodalite from natural kaolinite: A way to simulate the loss in weight of chlorine during the synthesis process by an analytical and mathematical modeling. *Rendiconti Online Societa Geologica Italiana*, 11(2), 548-549.
- Pandiangan, K. D., Simanjuntak, W., Rilyanti, M., Jamarun, N., and Arief, S. 2017. Influence of Kinetic Variables on Rubber Seed Oil Trans-Esterification Using Bifunctional Catalyst Cao-MgO/SiO₂. *Oriental Journal of Chemistry*. 33(6), 2891–2898.
- Phenolphthalein, T. dan Priyotomo, G. 2020. Deteksi proses korosi pada baja dengan menggunakan lapisan akrilik termodifikasi phenolphthalein. *Jurnal Teknik Mesin*. 3(2), hal. 55–62.
- Pramono, B. O., Suryana, L. A. dan Pachira, E. 2020. Identifikasi Bahaya dan Analisis Risiko Pada Jaringan Pipa Minyak dan Gas Metode Sistem Informasi Geografis, Informasi Geospasial untuk Inovasi Percepatan Pembangunan Berkelanjutan, hal. 297–307.
- Prayanto, D. S., Salahudin, M., Qadariyah, L., dan Mahfud. 2016. Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa dengan Katalis NaOH Menggunakan Gelombang Mikro (Microwave) Secara Kontinyu. *Jurnal Teknik ITS*. 5(1), hal. 1–6.

- Putri, D. O., Mardawati, E., dan Putri, S. H. 2019. Perbandingan Metode Degumming CPO (*Crude Palm Oil*) Terhadap Karakteristik Lesitin yang Dihasilkan, *Jurnal Industri Pertanian*. 01(03), hal. 88–94.
- Ramdan, F. dan Rahayu, G. H. N. N. 2023. Analisis Risiko Kerusakan Material Pipa Penyangga Jembatan Jalur Pengeboran Minyak dengan Metode Risk Based Maintenance, *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya*: 9(1), hal. 86–94.
- Rezani, A. 2022. Pengolahan Lanjut Bio-Crude Oil Hasil Pirolisis Minyak Kelapa Sawit dengan Metode Catalytic Upgrading Menggunakan Zeolit-X Terprotonasi (H-X) Sebagai Katalis, *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Sari, D., Handani, S. dan Yetri, Y. 2013. Pengendalian Laju Korosi Baja St-37 dalam Medium Asam Klorida dan Natrium Klorida Menggunakan Inhibitor Ekstrak Daun Teh (*Camelia Sinensis*), *Jurnal Fisika Unand*. 2(3), hal. 204–211.
- 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), hal. 18–22.
- Saidah, A., Umasangadji, F., Ridwan, M. E., dan Rachman, A. 2024. Pengaruh Sudut Penyemprotan dan Penggunaan Arus Terhadap Sifat Mekanis Material Baja Karbon AISI 1045, *Jurnal Kajian Teknik Mesin*. 6(1), hal. 17–24.
- Sharma, S. K. 2018. *Handbook of Materials Characterization*., hal.1-612.
- Shindo, T., Nagai, Y., Ikeuchi, T., and Ozawa, S. 2011. Synthesis of MCM-41 with zeolite-P from natural clinoptilolite for silica-alumina source under hydrothermal conditions in alkaline media. *International Journal of the Society of Material Engineering for Resources*. 18(1):21–6.
- Sianipar, D., Suprihanto, A., dan Haryadi, G. D. 2024. Pengaruh Kekasaran Stainless Steel Tipe 304 yang Digunakan untuk Kawat Ortodontik Terhadap Laju Korosi pada Larutan Saliva, *Jurnal Teknik Mesin*. 12(2), hal.25–36.
- Silalahi, I. H., Sianipar, A., dan Sayekti, E. 2011. Modifikasii Zeolit Alam Menjadi Material Katalis Perekahan. *Jurnal Kimia Mulawarman*. 8(2):89-93.
- 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), hal.

71–76.

- Sitompul, M. A., Budiyanto, L., Kristiyanti, M., Prasetyo, H., Putri, I. A., dan Trismianto, D. P. 2024. Kajian Mengenai Pengaruh Laju Korosi terhadap Kekuatan Material pada Plat Baja Lambung Kapal, Seminar Nasional Transportasi dan Keselamatan. 1(1), hal. 150-155.
- Sudali, D. A. dan Iswanto, P. T. 2022. Studi komparasi pengaruh penggunaan variasi konsentrasi inhibitor amine oxide terhadap laju korosi pipa baja API 5L grade B di lingkungan fluida drain line, Jurnal Teknik Mesin Indonesia. 17(2), hal. 102–106.
- Sudradjat, A., dan Bayuseno, A. P. 2014. Analisis Korosi dan Kerak Pipa Nickel Alloy N06025 pada *Waste Heat Boiler*, Jurnal Teknik Mesin. 2(1), hal. 40–45.
- Suryaningsih, S., Alamsyah, W., Nurhilal, O., dan Permana, D. A. 2015. Analisis Pengaruh Waktu Injeksi Gas CO₂ Terhadap Laju Korosi Baja Karbon Api 5L Grade B dalam Larutan NaCl 3,5% dan H₂S, Jurnal Material dan Energi Indonesia. 05(01), hal. 12–16.
- Taha, P. O. 2023. Fabrication and characterization of zeolite and its application in heavy metal capture. Research Project. Salahaddin University-Erbil.
- Tarage, F. P. O. dan Harling, V. N. 2020. Analisis Perbandingan Kecepatan Dan Hasil Pemotongan Baja Lunak Jenis St-37 Dengan Menggunakan Pisau Pahat Hss dan Caribida, *Soscied*. 3(1), hal. 14–19.
- Thermo Fisher. 2019. Scanning Electron Microscopy Working Principle Table of contents.<https://assets.thermofisher.com/TFSAssets/MSD/ReferenceMaterials/WP0016-scanning-electron-microscopyworking-principle.pdf>. Accessed August 26th 2023.
- Turnip, L. B., Handani, S. dan Mulyadi, S. 2015. Pengaruh Penambahan inhibitor Ekstrak Kulit Buah Manggis Terhadap Penurunan Laju Korosi Baja ST-37, Jurnal Fisika Unand. 4(2), hal. 144–149.
- Ummah, S., Prasetyo, A., dan Barroroh, H. 2010. Kajian Penambahan Abu Sekam Padi Dari Berbagai Suhu Pengabuan Terhadap Plastisitas Kaolin, *ALCHEMY*. 1(2), hal. 53-103.
- Verdoliva, V., Saviano, M., and De Luca, S. 2019. Zeolites as Acid/Basic Solid Catalysts: Recent Synthetic Developments, *catalysts*. 9, hal.1-21.
- Widodo, B. 2009. Analisis Perlakuan Panas Normalising Pada Pengelasan Argon Terhadap Sifat Mekanik Hasil Lasan Baja Karbon Rendah . Jurnal

Teknologi Technoscientia. 19(19), hal. 30-41.

Yang, H. 2021. Role of Organic and Eco-Friendly Inhibitors on the Corrosion Mitigation of Steel in Acidic Environments, *Molecules*, hal. 1-20.

Yanuar, A. P., Pratikno, H., dan Titah, H. S. 2016. Pengaruh Penambahan Inhibitor Alami terhadap Laju Korosi pada Material Pipa dalam Larutan Air Laut Buatan, *Jurnal Teknik ITS*. 5(2), hal. 8–13.

Yasi, R. M., Mukhtar, A., Qiram, I., dan Rubiono, G. 2023. Studi Analisis Laju Korosi Pada Permukaan Material Paku Komersil Dalam Media Agar-agar, *Jurnal Crystal: Publikasi Penelitian Kimia dan Terapannya*. 5(1), hal. 71–76.

Zhang, Q. H., Hou, B. S., Li, Y. Y., Lei, Y., Wang, X., Liu, H. F., and Zhang, G. A. 2021. Two amino acid derivatives as high efficient green inhibitors for the corrosion of carbon steel in CO₂ -saturated formation water, *Corrosion Science*.189(March), hal. 1-14.