

**KONVERSI MINYAK KELAPA SAWIT MENJADI SENYAWA
NITROGEN MENGGUNAKAN ZEOLIT-Y TERPROTONASI SEBAGAI
KATALIS DAN UJI AKTIVITAS INHIBITOR KOROSI**

(Skripsi)

Oleh

**MELISSAPUTRI
2117011089**



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

ABSTRAK

KONVERSI MINYAK KELAPA SAWIT MENJADI SENYAWA NITROGEN MENGGUNAKAN ZEOLIT-Y TERPROTONASI SEBAGAI KATALIS DAN UJI AKTIVITAS INHIBITOR KOROSI

Oleh

MELISSAPUTRI

Korosi pada baja lunak merupakan masalah di industri, khususnya industri minyak bumi dan gas karena dapat menyebabkan kerusakan material dan kerugian ekonomi, sehingga perlu diatasi menggunakan inhibitor korosi yang ramah lingkungan dan efisien. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis inhibitor korosi berbasis minyak kelapa sawit melalui reaksi dua tahap yaitu transesterifikasi dan amidasi menggunakan katalis zeolit-Y dan zeolit-Y terprotonasi (H-Y) serta uji aktivitas sebagai inhibitor korosi pada baja lunak dalam medium korosif jenuh CO₂.

Zeolit-Y disintesis dari silika sekam padi melalui metode hidrotermal dan dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Hasil XRD menunjukkan bahwa zeolit-Y yang terbentuk sesuai dengan standar IZA dan hasil SEM menunjukkan bentuk kristal kubik oktahedral. Zeolit-Y diprotonasi menggunakan larutan NH₄NO₃ 3,5 M melalui metode *ion exchange* untuk menghasilkan zeolit H-Y dan dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) menghasilkan konversi Na menjadi H sebesar 65,50%. Reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit dan metanol menggunakan kedua katalis menghasilkan metil ester dengan konversi tertinggi sebesar 32% (H-Y). Metil ester yang diperoleh direaksikan dengan dietanolamina menggunakan katalis yang sama dan selanjutnya dianalisis menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) menghasilkan senyawa nitrogen sebesar 99,10% (H-Y).

Senyawa nitrogen yang diperoleh diuji aktivitasnya sebagai inhibitor korosi baja lunak dalam larutan NaCl 3% yang jenuh CO₂ menggunakan metode *wheel test* menunjukkan persen proteksi sebesar 98,17%. Hasil ini didukung oleh data SEM yang menunjukkan morfologi permukaan baja lunak dengan adanya inhibitor korosi terlindungi dengan baik dibandingkan dengan tanpa inhibitor korosi.

Kata kunci: inhibitor korosi, senyawa nitrogen, minyak kelapa sawit, zeolit-Y terprotonasi.

ABSTRACT

CONVERSION OF PALM OIL TO NITROGEN COMPOUND USING PROTONATED ZEOLITE-Y AS A CATALYST AND CORROSION INHIBITOR ACTIVITY

By

MELISSAPUTRI

Corrosion of mild steel is a problem in industry, especially the oil and gas industry because it can cause material damage and economic losses, so it needs to be overcome using environmentally friendly and efficient corrosion inhibitors. This study aims to synthesize palm oil-based corrosion inhibitors through two stage reactions, namely transesterification and amidation using two catalysts namely zeolite-Y and protonated zeolite-Y (H-Y) as well as test activity as corrosion inhibitor on mild steel in a CO₂ saturated corrosive medium. Zeolite-Y was synthesized from rice husk silica through hydrothermal method and characterized using X-Ray Diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscopy (SEM). The XRD result showed that the formed zeolite-Y complies with the IZA standard and the SEM result showed an cubic octahedral crystal form. Zeolite-Y was protonated using 3.5 M NH₄NO₃ solution by ion exchange method to produce zeolite H-Y and characterized using X-Ray Fluorescence (XRF) resulting in a conversion of Na to H of 65.50%. The transesterification reaction of palm oil and methanol using both catalysts produced methyl ester with the highest conversion of 32% by using zeolite H-Y. The obtained methyl ester was reacted with diethanolamine using the same catalyst and then analyzed using Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) to produce a nitrogen compound of 99.10% (H-Y). The obtained nitrogen compounds were tested for their activities of mild steel corrosion inhibitors in a 3% NaCl solution saturated with CO₂ using the wheel test method, showing the best percentage of protection was 98.17%. This result was supported by SEM data which showed that the surface morphology of mild steel with the presence of corrosion inhibitor was well protected compared to without corrosion inhibitor.

Keywords: corrosion inhibitor, nitrogen compounds, palm oil, protonated zeolite-Y.

**KONVERSI MINYAK KELAPA SAWIT MENJADI SENYAWA
NITROGEN MENGGUNAKAN ZEOLIT-Y TERPROTONASI SEBAGAI
KATALIS DAN UJI AKTIVITAS INHIBITOR KOROSI**

Oleh

MELISSAPUTRI

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**

Judul : KONVERSI MINYAK KELAPA SAWIT MENJADI
SENYAWA NITROGEN MENGGUNAKAN ZEOLIT-Y
TERPROTONASI SEBAGAI KATALIS DAN UJI
AKTIVITAS INHIBITOR KOROSI

Nama : Melissaputri

NPM : 2117011089

Program Studi : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



1. Komisi Pembimbing

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

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

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. Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si.

Penguji
Bukan Pembimbing : Prof. Ir. Suharso, S.Si., Ph.D.

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

**LEMBAR PERNYATAAN
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama	: Melissaputri
Nomor Pokok Mahasiswa	: 2117011089
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-Y Terprotonasi Sebagai Katalis dan Uji Aktivitas 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, 24 Juni 2025

Yang menyatakan,



Melissaputri
NPM. 2117011089

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Melissaputri, lahir pada tanggal 31 Mei 2003 di Waluyojati, Pringsewu, Lampung. Penulis merupakan anak ketiga dari 3 bersaudara dari pasangan Bapak M. Ahli Sodakoh dan Ibu Umiyah.

Penulis menyelesaikan pendidikan di PAUD Latifah pada tahun 2008 dan tahun 2009 melanjutkan pendidikan dasar di SDN 2 Waluyojati hingga tahun 2015. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMPN 1 Pringsewu hingga lulus pada tahun 2018. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di SMAN 1 Pringsewu dan lulus tahun 2021. Pada tahun yang sama, penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif berorganisasi mulai sebagai Kader Muda Himaki pada tahun 2021. Pada tahun 2023 penulis aktif di Himaki sebagai Anggota Biro Kesekretariatan. Penulis mengikuti Kegiatan Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) Pengabdian Masyarakat selama 40 hari di Desa Rejomulyo, Karang Anyar, Lampung Selatan dan dikonversi menjadi Kuliah Kerja Nyata pada tahun 2024.

Pada tahun 2024 bulan Juni-Agustus penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Laboratorium Polimer dan Anorganik-Fisik. Penulis juga pernah menjadi Asisten Praktikum Kimia Fisik I dan Kimia Fisik II pada tahun 2024. Penulis menyelesaikan penelitian pada bulan Maret 2025 yang dilakukan di Laboratorium Polimer dan Anorganik-Fisik yang berjudul "*Konversi Minyak*

*Kelapa Sawit Menjadi Senyawa Nitrogen Menggunakan Zeolit-Y Terprotonasi
Sebagai Katalis dan Uji Aktivitas Inhibitor Korosi".*

MOTTO

“Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kemampuannya”
(QS. Al-Baqarah: 286)

“However difficult life may seem, there is always something you can do and succeed at”
(Stephen Hawking)

“Sesulit apa pun jalan hidup, pasti selalu ada jalan jika tetap berusaha dan percaya”
(Anonim)

“Nothing is impossible”



Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, karunia, hidayah, serta petunjuk-Nya. Kupersembahkan karya ini sebagai bentuk cinta dan tanggung jawabku kepada:

Kedua Orang Tua Tercinta,
Ayahanda (Alm) M.Ahli Sodakoh dan Ibunda Umiyah yang telah membimbingku dari kecil hingga menyelesaikan studi sarjana ini, yang telah memberikan semangat, dukungan, dan selalu mendoakanku tanpa henti.

Keluarga Tersayang,
Lenawati, Agus Asngari, Mulyono, Aina Anggraeni, Oryyza Rana At'silla, Arsyah Maulana Alvarendra, dan Arsellio Raffif Afarezal yang selalu mendoakan dan memberiku semangat.

Pembimbing Penelitianku, Prof. Dr. Dra. Ilim, M.S. dan Prof. Dr. Kamisah Delilawati Pandiangan, S.Si., M.Si. yang selalu sabar dalam membimbingku.

Bapak/Ibu Dosen Jurusan Kimia, yang telah membimbing, memberi ilmu, dan motivasi kepada penulis selama menjalankan studi ini.

Para Sahabat, yang telah memberikan motivasi dan semangat.

**Almamater Tercinta
Universitas Lampung**

SANWACANA

Segala puji bagi Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Konversi Minyak Kelapa Sawit Menjadi Senyawa Nitrogen Menggunakan Zeolit-Y Terprotonasi Sebagai Katalis dan Uji Aktivitas Inhibitor Korosi**”. Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada baginda Rasulullah Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga dan para sahabat serta umatnya di akhir zaman. Semoga di yaumul akhir kelak mendapatkan syafa’atnya. Aamiin.

Penulis menyadari bahwa dalam proses pengerjaan dan penulisan skripsi ini tidak terlepas dari kesulitan dan rintangan yang penulis hadapi. Namun itu semua dapat terlewati berkat rahmat dan ridho Allah SWT serta bantuan, pengarahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, pada kesempatan ini sebagai wujud rasa hormat, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Dra. Ilim, M.S. selaku dosen Pembimbing Pertama penelitian atas segala bimbingan, bantuan, nasehat, kesabaran, saran, dan segala kebaikan yang telah diberikan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
2. Prof. Dr. Kamisah Delilawati Pandiangan, M.Si. selaku dosen Pembimbing Kedua penelitian atas segala bimbingan, masukan, dan saran sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
3. Prof. Ir. Suharso, Ph.D. selaku Pembahas/Penguji penelitian atas segala saran, kritik, inspirasi, dan memberikan masukan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
4. Bapak Dr. Sonny Widiarto, S.Si., M.Sc. selaku Pembimbing Akademik atas segala saran dan bantuan selama menjalani masa-masa perkuliahan hingga selesai.

5. Ibu Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
6. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung atas seluruh dedikasi dan ilmu yang diberikan kepada penulis selama perkuliahan.
7. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan FMIPA Unila beserta jajaran FMIPA lainnya.
8. Superhero dan cinta pertamaku, ayahanda (Alm) M. Ahli Sodakoh yang sepanjang hidupnya selalu menuruti segala keinginan ku, mendukung keputusan yang akan diambil, memberikan kasih dan sayang yang luar biasa, memberikan nasihat, menjadi sandaran saat penulis ragu, dan selalu mengusahakan yang terbaik untuk anaknya. Terima kasih untuk segalanya pak, gelar sarjana ini kupersembahkan untuk bapak. Semoga tenang disana ya pak.
9. Surgaku, Ibunda Umiyah seorang ibu yang sangat sabar dan lembut hatinya. Beliau telah banting tulang untuk membiayai kuliahku sejak ayah tiada. Terima kasih atas dukungan, nasihat bijak yang selalu menguatkan, mendengarkan keluh kesah, dan doa yang selalu dipanjatkan menjadi sumber kekuatan yang tak pernah habis bagiku. Semoga Allah membalas dengan Jannah-Nya. *Aamiin Allahumma Aamiin.*
10. Kakakku tercinta Lena Wati, Agus Asngari, Mulyono, dan Aina Anggaraeni yang tidak hanya menjadi saudara, tetapi juga sahabat, motivator, dan tempatku berbagi dalam suka maupun duka. Terima kasih atas semangat yang telah diberikan, perhatian yang tak pernah lelah, serta dukungan yang selalu hadir bahkan tanpa diminta.
11. Keponakan tersayang, Oryyyza Rana At'silla, Arsyia Maulana Alvarendra, dan Arsellio Raffif Alfarezel yang telah menjadi penghibur setiap tingkah laku dan celoteh yang ditunjukkan di saat penulis merasa lelah maupun jenuh.
12. Lisa Wulandari, sahabat terbaik sekaligus *support system* yang selalu hadir dalam setiap fase perjalananku. Terima kasih atas kebersamaan, semangat, serta waktu yang telah diberikan selama proses ini. Terima kasih juga telah menjadi pendengar yang baik, tempat berbagi cerita dan keluh kesah, serta selalu memberikan nasihat dan dukungan yang tulus.

13. Saudaraku, terima kasih untuk segala nasihat dan semangat yang telah diberikan disaat keluarga kami ditinggalkan oleh ayahanda tercinta.
14. *Corrosion Group 21*, Azizah Rosihana Tiara Putri, Bella Agustin, dan Ayu Fortune Lisa Hutabarat, penulis ucapkan terima kasih atas kebersamaan, kerja sama, serta dukungan yang diberikan selama proses penelitian hingga penyelesaian skripsi ini. Terima kasih atas kerja keras yang telah terjalin dalam tim, sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan lancar.
15. *KIW 21* Adryan Daffa Dzulficar, Aditya Anugrah Sahyani, Tyas Nurfitriya, Hanna Lutfia Maghfiroh, Erwanda Lili Utari, Desrita Pratiwi, Khairi Febri Hayad, dan Nurul Natsha Berliani selaku teman penelitian penulis yang telah membantu dan memberikan hiburan dengan tingkah lucu yang ditunjukkan.
16. Sahabat seperjuangan, Aulia Reyzifa Husin Putri, Nina Nurulita, dan Azzahra Qurota Aini yang senantiasa menemani penulis sepanjang proses penyelesaian studi.
17. Kak Rekia Enrik yang dengan kesabaran dan kesediaannya telah memberi arahan, pengalaman, serta ilmu kepada penulis dalam memahami penelitian ini hingga dapat diselesaikan dengan baik.
18. Kak Uli, Kak Risvania, Kak Gom, Kak Sabil, Kak Qori, dan Kak Maulana, penulis sampaikan terima kasih telah memberikan ilmu dan pengalaman kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.
19. Adik-adik MBKM M.Rizal Fernando, Raharjo, Maula Rayyanie, Pinkan Aling, Ester Wanitri, Giovani Ramadhan, Garneta Heppy, dan Muthiara Wamiga serta adik-adik Polimer 22 lainnya telah bekerja sama mengerjakan penelitian MBKM, sukses, dan semangat selalu.
20. *Corrosion Group 22*, Risa Dwi Maretha, Naghmah Syifa, Annisa Aulia, Kenita Hupeza, dan Zafira Anargya, Rizky Putra Pradana, Fahrez Isnanta, yang akan menjadi penerus dalam bidang ini. Selalu semangat dan tunjukkan hasil terbaik kalian.
21. Teman-teman seperjuangan Kimia angkatan 2021, khususnya kelas A. Terima kasih atas kebersamaan dan kesempatan yang telah diberikan kepada penulis selama masa studi ini.

22. Teman-teman Himaki 2023 khususnya Biro Kesekretariatan yang telah memberikan penulis pengalaman serta pembelajaran berharga yang telah penulis peroleh selama menjalani kepengurusan bersama.
23. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terima kasih telah memberikan bantuan, dukungan, dan pengalaman kepada penulis.

Demikian yang dapat penulis sampaikan, penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini belum sempurna dan masih terdapat kekurangan serta kesalahan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca agar karya ini dapat diperbaiki dan dikembangkan lebih baik. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis maupun bagi pembaca.

Bandar Lampung, 16 Juni 2025

Penulis

Melissaputri

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	4
1.3 Manfaat Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Baja	6
2.2 Korosi.....	7
2.2.1 Pengertian Korosi.....	7
2.2.2 Jenis-Jenis Korosi.....	8
2.2.3 Korosi CO ₂	9
2.3 Inhibitor Korosi.....	10
2.4 Proses Transesterifikasi.....	11
2.4.1 Minyak Kelapa Sawit.....	11
2.4.2 Transesterifikasi	12
2.4.3 Metil Ester Minyak Kelapa Sawit	13
2.5 Amidasi	13
2.6 Zeolit-Y.....	14
2.7 Sekam Padi	16
2.8 Uji Aktivitas Inhibitor Korosi	19
2.8.1 Metode <i>Wheel Test</i>	19
2.9 Karakterisasi Produk.....	20
2.9.1 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	20
2.9.2 <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	21
2.9.3 <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS).....	22
2.9.4 <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF).....	23

III. METODE PENELITIAN	26
3.1 Waktu dan Tempat.....	26
3.2 Alat dan Bahan.....	26
3.3 Diagram Alir Percobaan.....	27
3.4 Prosedur Kerja	28
3.4.1 Preparasi Sekam Padi dan Ekstraksi Silika	28
3.4.2 Sintesis Katalis Zeolit-Y	28
3.4.3 Protonasi Katalis Zeolit-Y dengan Metode <i>Ion Exchange</i>	29
3.4.4 Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit.....	30
3.4.5 Reaksi Amidasi.....	30
3.4.6 Persiapan Sampel Baja Lunak.....	31
3.4.7 Persiapan Larutan.....	31
3.4.8 Penentuan Laju Korosi (<i>Wheel Test</i>).....	32
3.4.9 Analisis SEM	32
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1 Lingkup Penelitian	33
4.2 Preparasi Sekam Padi dan Ekstraksi Silika.....	33
4.3 Sintesis Zeolit-Y	35
4.4 Karakterisasi Zeolit-Y.....	36
4.4.1 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	36
4.4.2 <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	37
4.5 Protonasi Katalis Zeolit-Y dengan Metode <i>Ion Exchange</i>	38
4.6 Karakterisasi Zeolit-Y Terprotonasi (H-Y)	39
4.7 Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit	40
4.8 Karakterisasi Produk Metil Ester	42
4.9 Amidasi dengan Dietanolamina	43
4.10 Karakterisasi Produk Amidasi	44
4.11 Penentuan Laju Korosi (Uji Aktivitas).....	49
4.12 Analisis Permukaan Menggunakan SEM.....	50
V. KESIMPULAN DAN SARAN	53
5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN	64

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Perbandingan karakterisasi XRF silika sekam padi dengan silika komersial... 18	
2. Data difraksi standar IZA dan zeolit-Y hasil sintesis..... 37	
3. Data XRF komposisi zeolit-Y hasil sintesis dan zeolit terprotonasi..... 39	
4. Komposisi proses transesterifikasi..... 41	
5. Komponen senyawa MS produk metil ester..... 42	
6. Komponen senyawa produk amidasi minyak kelapa sawit dan dietanolamina menggunakan katalis zeolit-Y..... 45	
7. Komponen senyawa produk amidasi dari minyak kelapa sawit dan dietanolamina menggunakan katalis zeolit H-Y..... 46	
8. Komponen senyawa produk amidasi metil ester dietanolamina menggunakan katalis zeolit-Y..... 47	
9. Komponen senyawa produk amidasi metil ester dan dietanolamina menggunakan katalis zeolit H-Y..... 48	
10. Data hasil rata-rata uji <i>wheel test</i> produk amidasi. 50	

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Gugus N, S, O dan π sebagai inhibitor korosi organik	11
2. Reaksi transesterifikasi.....	13
3. Reaksi amidasi	14
4. Kerangka zeolit-Y	15
5. Pola difraksi XRD silika sekam padi	17
6. Morfologi silika sekam padi setelah disintering	17
7. Ilustrasi difraksi sinar-X.....	20
8. Difaktogram XRD standar zeolit-Y dan H-Y.	21
9. Morfologi zeolit-Y	22
10. Skema alat GC-MS	23
11. Diagram alir penelitian.....	27
12. Proses ekstraksi silika sekam padi.	34
13. Tahapan sintesis zeolit-Y.....	35
14. Perbandingan difaktogram zeolit-Y hasil sintesis dan standar IZA.	36
15. Mikrograf hasil sintesis zeolit-Y	38
16. Hasil zeolit-Y terprotonasi (H-Y)	39
17. Hasil transesterifikasi minyak kelapa sawit	41
18. Kromatogram GC produk metil ester.	42
19. Produk amidasi dengan variasi bahan dan katalis	43

20. Kromatogram GC produk amidasi dari minyak kelapa sawit dan dietanolamina menggunakan katalis zeolit-Y.....	45
21. Kromatogram GC produk amidasi dari minyak kelapa sawit dan dietanolamina menggunakan katalis zeolit H-Y.....	46
22. Kromatogram GC produk amidasi dari metil ester dan dietanolamina menggunakan katalis zeolit-Y.	47
23. Kromatogram GC produk amidasi metil ester dan dietanolamina menggunakan katalis zeolit H-Y.	48
24. Mikrograf sampel baja lunak pada perbesaran 15.000x.....	51

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Material berbahan dasar baja berkembang sangat pesat di berbagai bidang industri. Baja merupakan salah satu jenis logam paduan dengan besi (Fe) sebagai unsur dasar dan karbon (C) sebagai unsur paduan utama. Secara umum baja dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis salah satunya baja lunak (Gunawan, 2023). Baja lunak menjadi jenis baja yang sering digunakan dalam infrastruktur untuk industri minyak bumi dan gas karena harga yang relatif murah, namun memiliki kekurangan dalam hal ketahanan terhadap korosi (Emmanuel, 2024). Korosi dikenal sebagai proses degradasi logam yang terjadi akibat serangan kimia atau elektrokimia di mana logam bereaksi dengan lingkungannya (Ichsanudin dkk., 2023).

Lingkungan yang mempengaruhi korosi yaitu kelembaban, suhu, keasaman (pH), keberadaan garam, dan gas agresif (seperti oksigen, klorin, atau karbon dioksida). Gas agresif berupa karbon dioksida dalam cairan akan memicu reaksi elektrokimia pada permukaan baja, yang menyebabkan terbentuknya asam karbonat (Da Silva de Sa *et al.*, 2022). Reaksi ini mengakibatkan degradasi material melalui proses yang dikenal sebagai korosi CO₂. Korosi CO₂ dapat menyebabkan kebocoran pipa pada industri minyak bumi dan gas sehingga memberikan dampak buruk pada bidang ekonomi, keselamatan, dan lingkungan (Elgaddafi *et al.*, 2021). Kerugian ekonomi akibat korosi pada pipa minyak bumi

dan gas mencapai 7 miliar dolar, tetapi biaya tersebut dapat dikurangi dengan berbagai metode agar meminimalisir terjadinya korosi (Norsworthy, 2014; Belarbi *et al.*, 2017). Beberapa metode yang dapat digunakan untuk meminimalisir terjadinya korosi CO₂ diantaranya menggunakan *coating*, proteksi secara katodik dan anodik, serta menggunakan zat aditif atau inhibitor (Ilim dkk., 2007). Salah satu metode yang paling efektif yaitu penambahan inhibitor korosi karena mudah diaplikasikan dan biayanya relatif murah (Putri dan Akbar, 2021).

Inhibitor korosi merupakan senyawa kimia yang apabila ditambahkan dalam jumlah sedikit ke dalam lingkungan korosif dapat mengurangi laju korosi material yang bersentuhan dengan lingkungan korosif (Reyes-Dorantes *et al.*, 2017). Inhibitor korosi dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu inhibitor korosi anorganik dan inhibitor korosi organik. Inhibitor korosi anorganik dapat diperoleh dari mineral-mineral yang tidak mengandung unsur karbon dalam senyawanya (Roni dkk., 2022). Material dasar dari inhibitor anorganik antara lain kromat, nitrit, silikat, dan fosfat, namun inhibitor anorganik ini memiliki kelemahan yaitu; bersifat toksik, harga relatif mahal, dan tidak ramah lingkungan (Hastuti *et al.*, 2023). Inhibitor korosi organik diperoleh dari tumbuh-tumbuhan seperti tumbuhan serai yang dilakukan oleh Ismail *et al.* (2021) dan sintesis senyawa organik seperti senyawa (E)-5-{[4-dimetilamino) benzilidena] amino}-1,3,4-tiadiazol-2(3H)-tione (DATT) yang dilakukan oleh Plotnikova *et al.* (2023). Pada inhibitor korosi organik umumnya mengandung heteroatom seperti, nitrogen (N), oksigen (O), sulfur (S) atau fosfor (P) dengan pasangan elektron bebas dan elektron- π yang dapat berinteraksi dengan orbital bebas pada logam yang mendukung proses adsorpsi (Al-Amiery *et al.*, 2023). Inhibitor korosi organik bersifat aman, mudah didapatkan, biaya murah, ramah lingkungan serta bersifat *biodegradable* (Indrayani, 2016). Oleh karena itu, inhibitor korosi organik digunakan sebagai alternatif yang lebih baik dibandingkan inhibitor anorganik. Pada penelitian ini, inhibitor organik yang digunakan mengandung unsur nitrogen (N).

Senyawa nitrogen merupakan salah satu senyawa yang dapat dimanfaatkan sebagai inhibitor korosi karena senyawa tersebut dapat diserap permukaan logam dengan memblokir situs aktif korosi dan adanya rantai hidrokarbon membentuk

lapisan film hidrofobik pada permukaan (Gawali and Usmani, 2020). Senyawa nitrogen dapat diperoleh dengan berbagai cara antara lain, mereaksikan metil ester asam lemak dan dietanolamin dengan penambahan katalis atau reaksi langsung antara asam lemak bebas dan dietanolamin tanpa adanya katalis (Manurung *et al.*, 2013). Metil ester merupakan senyawa ester alkil yang berasal dari minyak nabati dengan alkohol yang dihasilkan melalui proses esterifikasi dan transesterifikasi.

Proses transesterifikasi merupakan proses reaksi antara trigliserida yang terdapat dalam minyak nabati atau lemak hewani yang menghasilkan metil ester dengan bantuan katalis (Daryono dkk., 2022). Salah satu bahan baku yang dapat digunakan adalah minyak kelapa sawit. Minyak kelapa sawit mempunyai komposisi asam lemak jenuh dan tak jenuh dengan proporsi yang seimbang. Komposisi asam lemak minyak kelapa sawit terdiri dari asam palmitat (C_{17}) sebesar 56,55%, asam oleat (C_{19}) 27,59% dan asam laurat (C_{13}), miristat (C_{15}), dan stearat (C_{19}) masing-masing 0,93, 2,87, dan 2,7% (Zulkifli dan Estiasih, 2014). Berdasarkan kandungan minyak yang tinggi dalam minyak kelapa sawit tersebut, dilaporkan bahwa minyak kelapa sawit telah digunakan pada penelitian sebelumnya seperti pada proses transesterifikasi oleh (Ruhaiya dkk., 2020; Qu *et al.*, 2021). Proses transesterifikasi dari minyak kelapa sawit akan diubah menjadi senyawa nitrogen melalui reaksi amidasi menggunakan dietanolamin.

Pada penelitian sebelumnya, Hidayah (2023) melaporkan bahwa produk amidasi berbasis minyak kelapa sawit dihasilkan sebesar 63,7% menggunakan metode refluks dengan penambahan katalis natrium metoksida, sedangkan produk amidasi menggunakan metode hidrotermal sebesar 17,96% dengan penambahan katalis zeolit-A. Penelitian yang dilakukan oleh Enrik (2024) konversi metil ester dari minyak biji karet menggunakan autoklaf pada suhu 100 °C selama 96 jam dengan katalis zeolit-X diperoleh produk amidasi sebesar 55,05%, sedangkan penelitian Asari (2024) mengenai konversi metil ester minyak biji karet menjadi produk amidasi yang dihasilkan sebesar 32,72% berdasarkan metode refluks dengan bantuan katalis zeolit-Y. Berdasarkan berbagai penelitian tersebut, dapat diketahui bahwa penggunaan katalis yang berbeda memberikan hasil produk amidasi yang juga berbeda. Oleh karena itu, perlu dilakukan penggunaan katalis yang berbeda

yaitu dengan metode pertukaran ion seperti yang dilakukan oleh Islami (2022) bahwa katalis zeolit-Y terprotonasi berhasil mengkonversi *Bio Crude Oil* (BCO) hasil pirolisis minyak kelapa sawit menjadi *biogasoline* dengan presentase sebesar 55,26%. Namun, katalis zeolit-Y terprotonasi belum pernah dilakukan dalam reaksi transesterifikasi untuk menghasilkan metil ester dan reaksi amidasi untuk senyawa nitrogen. Maka pada penelitian ini digunakan katalis zeolit-Y terprotonasi untuk mengetahui aktivitas katalik dalam reaksi amidasi.

Berdasarkan paparan di atas, maka dalam penelitian ini dilakukan sintesis zeolit-Y berbasis sekam padi, kemudian dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Zeolit-Y yang dihasilkan selanjutnya diprotonasi menggunakan larutan amonium nitrat untuk menghasilkan zeolit-Y terprotonasi (H-Y) seperti yang telah dilakukan penelitian sebelumnya oleh (Islami, 2022). Zeolit-Y terprotonasi (H-Y) yang terbentuk, lalu dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF). Zeolit-Y terprotonasi (H-Y) digunakan untuk reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit dan reaksi amidasi metil ester yang terbentuk dengan dietanolamina. Hasil reaksi transesterifikasi dan amidasi dikarakterisasi menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS). Produk amidasi berbasis minyak kelapa sawit diuji analisisnya sebagai *green inhibitor corrosion* baja lunak dalam medium korosif yang jenuh CO₂ menggunakan metode kehilangan berat (*wheel test*) dan analisis permukaan menggunakan SEM.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mensintesis zeolit-Y terprotonasi (H-Y) berbasis silika sekam padi melalui metode pertukaran ion menggunakan larutan amonium nitrat (NH₄NO₃) dan mengkarakterisasinya menggunakan XRD, SEM, dan XRF.
2. Memperoleh metil ester hasil transesterifikasi minyak kelapa sawit menggunakan katalis zeolit-Y dan zeolit H-Y serta mengkarakterisasinya menggunakan GC-MS.

3. Memperoleh senyawa nitrogen hasil reaksi amidasi metil ester minyak kelapa sawit dengan dietanolamina menggunakan katalis zeolit-Y dan zeolit H-Y serta mengkaraktisasinya menggunakan GC-MS.
4. Menguji aktivitas senyawa nitrogen sebagai inhibitor korosi baja lunak dalam medium korosif gas CO₂ yang jenuh menggunakan metode *wheel test* dan analisis permukaan baja dengan dan tanpa inhibitor menggunakan SEM.

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Mampu memanfaatkan limbah sekam padi sebagai sumber silika dalam pembuatan katalis zeolit-Y.
2. Mampu memanfaatkan sumber daya alam dan meningkatkan nilai ekonomi minyak kelapa sawit dan sekam padi.
3. Mengetahui pengaruh dari senyawa nitrogen hasil konversi metil ester minyak kelapa sawit sebagai inhibitor korosi baja lunak yang murah dan ramah lingkungan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja

Mild steel atau dikenal dengan baja lunak merupakan material yang memiliki banyak fungsi serta keunggulan, maka logam jenis ini dijadikan bahan dasar berbagai barang-barang dalam kehidupan sehari-hari seperti komponen mobil, dapur, rumah sakit, dan komponen lainnya. *Mild steel* merupakan logam yang memiliki kandungan karbon lebih rendah dari baja yaitu sekitar 0,05% hingga 0,25% dari berat totalnya. Sementara baja umumnya memiliki kandungan karbon antara 0,30% hingga 2,0% (Arifin dkk., 2017). Menurut Arifin dkk., (2017) berikut ini adalah sifat material *mild steel*:

1. Tekstur *mild steel* lebih lunak dibandingkan baja karena kandungan karbon yang lebih rendah daripada baja.
2. *Mild steel* mudah dibentuk, proses manufakturnya juga lebih mudah dibanding baja umumnya, misalnya pengelasan.
3. Material *mild steel* sukar dikeraskan baik melalui pemanasan maupun pendinginan material karena memiliki kandungan karbon yang rendah.
4. *Mild steel* bersifat magnetik karena memiliki kandungan besi dan feritnya yang tinggi.
5. *Mild steel* rentan berkarat namun dalam industri dilakukan proses pengecatan pada benda berbahan dasar *mild steel* sehingga lebih tahan karat.

2.2 Korosi

2.2.1 Pengertian Korosi

Korosi adalah proses alami yang terjadi pada logam akibat reaksi redoks antara logam dan zat-zat di sekitarnya. Korosi terjadi ketika logam bersentuhan langsung dengan air atau udara (oksigen). Logam yang mengalami korosi akan menjadi rapuh, sehingga kekuatannya berkurang (Tarigan dkk., 2023). Korosi logam dalam larutan *aqueous* didapatkan dengan melibatkan reaksi perpindahan muatan. Suatu perubahan dalam potensial elektrokimia atau aktivitas elektron sangat mempengaruhi laju korosi logam dalam lingkungannya. Oleh karena itu, logam dalam larutan *aqueous* dikatakan berlangsung secara elektrokimia. Korosi dapat terjadi jika mengandung empat elemen, antara lain yaitu anoda, katoda, *metallic pathway*, dan larutan elektrolit. Adapun reaksi korosi yang terjadi, yaitu:



Elektron yang dibebaskan dalam oksidasi akan mengalir ke bagian lain untuk mereduksi oksigen



Ion besi (II) yang terbentuk pada anoda akan teroksidasi membentuk besi (III) yang kemudian membentuk senyawa oksida terhidrasi $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ yang disebut karat. Faktor-faktor yang mempengaruhi korosi dapat dibagi menjadi 2 bidang, yaitu material itu sendiri dan lingkungan. Faktor material meliputi kemurnian logam, struktur material, teknik pencampuran material, bentuk kristal, dan lain sebagainya. Faktor lingkungan meliputi polusi udara, suhu, kelembaban dan adanya bahan kimia korosif (Sofian dkk., 2022).

2.2.2 Jenis-Jenis Korosi

Sebagian besar logam terjadi secara alami sebagai oksida, karbonat, atau bijih sulfida yang stabil. Secara umum, jenis korosi dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Korosi seragam

Korosi seragam adalah korosi yang terjadi pada permukaan logam akibat reaksi kimia air dan udara lembab dengan nilai pH rendah, menyebabkan logam menjadi lebih tipis karena diregangkan. Korosi ini bisa dicegah yaitu material yang tepat (Ichsanudin dkk., 2023).

2. Korosi sumuran

Korosi sumuran adalah korosi yang terjadi akibat perbedaan potensial antara material penyusunnya sehingga logam mengalami lubang pada permukaan logam dan merusak film pelindung logam (Sofian dkk., 2022).

4. Korosi retak

Korosi retak adalah korosi dalam bentuk retakan yang menyentuh permukaan logam dan berusaha menembusnya yang disebabkan karena struktur logam yang terdegradasi akibat lingkungan korosif yang dikombinasikan dengan tegangan tarik (Ichsanudin dkk., 2023).

5. Korosi erosi

Korosi erosi adalah korosi yang disebabkan oleh pembentukan film pelindung dihambat oleh aliran cairan yang tinggi (Ahmad dkk., 2023). Logam yang mengalami korosi erosi ini akan menimbulkan bagian-bagian yang kasar dan tajam.

6. Korosi galvanik

Korosi galvanik adalah korosi yang diakibatkan oleh hubungan antara dua logam dan perbedaan potensial di antara keduanya (Wibowo dan Ghofur, 2021).

7. Korosi celah

Korosi ini terjadi antara sambungan, sambungan pangkuan, baut atau paku keling yang disebabkan oleh endapan kotoran atau produk karat (Wibowo dan Ghofur, 2021).

2.2.3 Korosi CO₂

Korosi karbon dioksida atau korosi manis (CO₂) adalah jenis korosi umum yang terjadi pada permukaan internal pipa minyak dan gas. Jenis korosi ini juga dapat terjadi bersamaan dengan hidrogen sulfida (H₂S) dan asam organik yang bersifat korosif. Korosi CO₂ adalah reaksi elektrokimia yang terjadi antara baja karbon dan CO₂ dalam cairan. Mekanisme terjadinya korosi manis pada permukaan baja terjadi melalui tiga tahap utama, tahap pertama adalah hidrasi gas karbon dioksida, tahap kedua adalah reduksi katodik yang melibatkan *non-scaling* dan *scaling*, tahap langkah ketiga adalah oksidasi anodik. Reaksi anodik melarutkan besi dan reaksi katodik menghasilkan gas hidrogen. Reaksi tersebut menghasilkan senyawa FeCO₃. Reaksi anodik dan katodik utama terjadi pada permukaan baja (Alamri, 2020).

Korosi manis disebabkan oleh adanya karbon dioksida (CO₂) yang terlarut dalam air membentuk asam karbonat (H₂CO₃). Korosi meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi CO₂, tekanan sistem, dan suhu. Korosi ini biasanya lambat, terlokalisasi dan mengakibatkan serangan pitting. Lubang sangat sulit dideteksi karena ukurannya yang kecil dan produk korosi yang menutupinya. Dalam industri produksi dan pengolahan minyak dan gas, inhibitor korosi selalu dijadikan solusi pencegahan terhadap korosi internal (Ibraheem *et al.*, 2012).

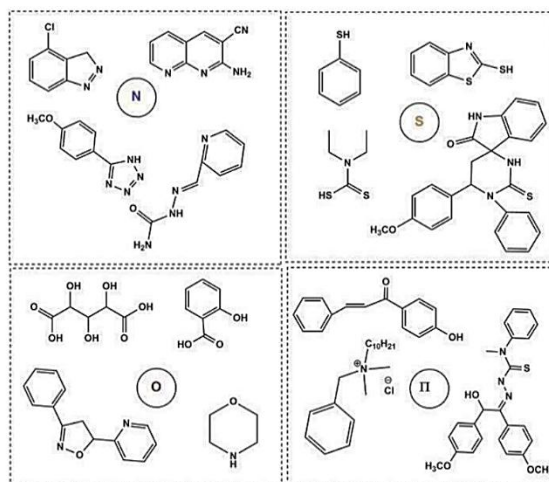
2.3 Inhibitor Korosi

Inhibitor adalah senyawa kimia yang apabila ditambahkan kedalam lingkungan dalam jumlah sedikit dapat menghambat laju korosi. Penggunaan inhibitor hingga saat ini masih menjadi solusi terbaik untuk melindungi korosi internal pada logam. Inhibitor merupakan metoda perlindungan yang fleksibel, yaitu mampu memberikan perlindungan dari lingkungan yang kurang agresif sampai pada lingkungan yang tingkat korosifitasnya sangat tinggi, mudah diaplikasikan misalnya hanya dilakukan penetesan, dan tingkat keefektifan biayanya paling tinggi karena lapisan yang terbentuk sangat tipis sehingga dalam jumlah kecil mampu memberikan perlindungan yang luas (Mulyati, 2019).

Inhibitor korosi dapat dibagi menjadi dua, yaitu inhibitor dari senyawa anorganik dan inhibitor dari senyawa organik. Inhibitor anorganik adalah suatu senyawa yang dapat menginhibisi material logam baik secara anodik maupun katodik karena memiliki gugus aktif. Inhibitor ini terdiri dari beberapa senyawa anorganik antara lain; fosfat, kromat, dikromat, silikat, borat molibdat, dan senyawa lainnya. Senyawa-senyawa tersebut sangat berguna dalam melindungi material logam dari korosi, namun inhibitor anorganik memiliki kelemahan yaitu bersifat toksik dan merusak lingkungan (Stiadi dkk., 2019). Kerusakan lingkungan akibat inhibitor anorganik mendorong para peneliti untuk beralih pada inhibitor organik karena sifatnya yang ramah lingkungan. Inhibitor organik adalah suatu senyawa kimia guna menghambat laju korosi logam yang berasal dari bahan alami yang tersedia di alam. Keefektifan inhibitor organik, bergantung pada susunan kimia, susunan molekul, dan afinitasnya terhadap permukaan logam atau paduan logam. Pada umumnya inhibitor organik dapat menginhibisi seluruh permukaan logam atau paduan logam yang terpapar dalam lingkungan korosif bila konsentrasinya memadai. Inhibitor organik merupakan inhibitor yang bersifat non-toksik, murah, sudah tersedia di alam, dan tidak merusak lingkungan. Inhibitor organik diperoleh dengan mengekstrak beberapa bahan yang ada di alam.

Kebanyakan inhibitor yang efektif yang digunakan dalam industri adalah senyawa-senyawa organik yang mengandung heteroatom seperti oksigen (O),

nitrogen (N), belerang (S), dan ikatan rangkap di dalam molekul-molekulnya yang memfasilitasi adsorpsi pada permukaan logam atau paduan logam. Gugus-gugus yang digunakan sebagai inhibitor korosi organik tertera pada Gambar 1.



Gambar 1. Gugus N, S, O dan π sebagai inhibitor korosi organik (Brycki, 2018).

2.4 Proses Transesterifikasi

2.4.1 Minyak Kelapa Sawit

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan komoditas perkebunan yang memegang peranan penting bagi perekonomian Indonesia sebagai salah satu penyumbang devisa non-migas yang cukup besar (Ulvi dan Harmawan, 2022). Tanaman ini merupakan sumber yang baik minyak nabati dan setiap buah sawit mengandung 30-35% minyak. Pada umumnya minyak sawit mengandung lebih banyak asam-asam palmitat, oleat, dan linoleat. Komponen penyusun minyak sawit terdiri dari trigliserida dan non trigliserida. Minyak yang diekstraksi dari buah dan bijinya sebagai minyak sawit atau *Crude Palm Oil* (CPO) dari mesokarp luar dan inti sawit minyak dari endosperma (Urugo *et al.*, 2021).

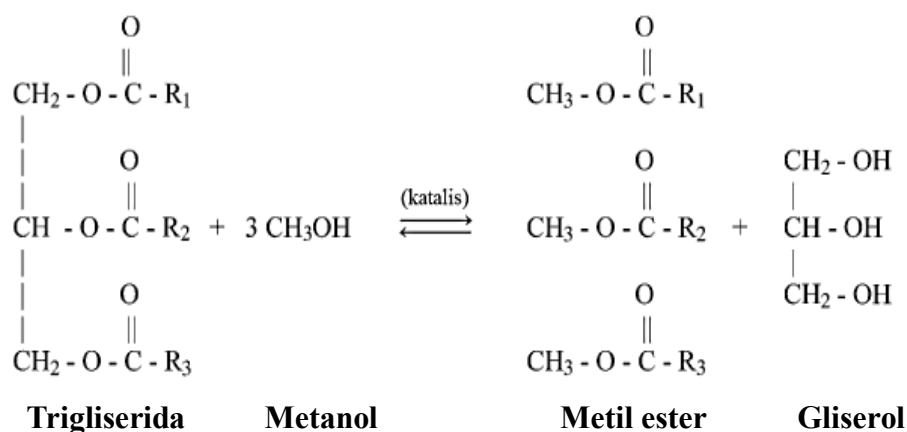
Penggunaan minyak berkualitas rendah, atau kandungan asam lemak bebas (FFA) yang tinggi, tidak cocok digunakan dalam bidang makanan. Alternatif yang

mungkin adalah produksi inhibitor korosi (Porcayo-Calderon *et al.*, 2017). Oleh karena itu, penggunaan minyak sawit sebagai sumber asam lemak untuk memperoleh metil ester dapat dimanfaatkan untuk sintesis inhibitor korosi yang ramah lingkungan.

2.4.2 Transesterifikasi

Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi kimia yang melibatkan trigliserida dan alkohol sebagai reaktan, serta penambahan katalis untuk meningkatkan laju reaksi dengan hasil berupa ester dan gliserol. Reaksi transesterifikasi bersifat *reversible* dan reaksi ini hampir sama dengan reaksi hidrolisis tetapi menggunakan alkohol (Kumar *et al.*, 2019). Reaksi transesterifikasi dimulai saat asam lemak, alkohol, dan katalis dicampur dan diaduk dalam bejana reaksi baik dalam labu kecil skala laboratorium atau skala yang lebih besar. Reaksi transesterifikasi dipengaruhi oleh beberapa parameter antara lain jenis bahan baku dan alkohol, rasio molar minyak terhadap alkohol, suhu reaksi, jenis katalis, dan konsentrasi serta intensitas pengadukannya (Haryanto *et al.*, 2015)

Jenis katalis yang digunakan untuk proses transesterifikasi adalah katalis basa berupa NaOH, sedangkan katalis asam berupa HCl, H₂SO₄, dan HNO₃. Reaksi transesterifikasi menggunakan katalis asam membutuhkan waktu yang lama selama melakukan proses dan suhu yang relatif tinggi, ketika dibandingkan dengan transesterifikasi yang menggunakan katalis basa karena laju reaksinya yang rendah (Pandiangan and Simanjuntak, 2013).



Gambar 2. Reaksi transesterifikasi (Chandrika *et al.*, 2023).

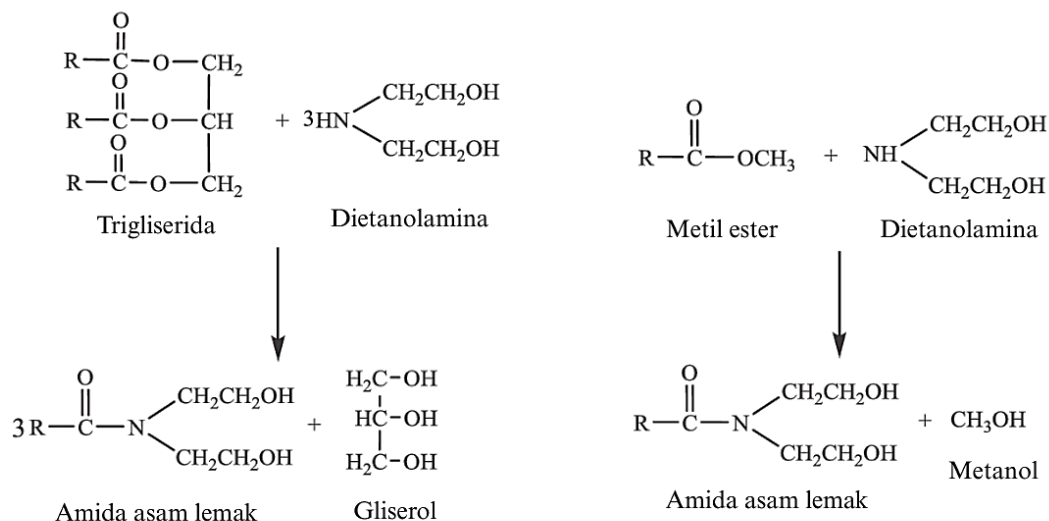
2.4.3 Metil Ester Minyak Kelapa Sawit

Biodiesel adalah senyawa ester alkil dari minyak nabati dengan alkohol yang dihasilkan melalui proses transesterifikasi/esterifikasi dan mempunyai sifat fisika mendekati minyak solar. Sintesis biodiesel telah banyak dilakukan dengan memakai berbagai macam minyak nabati, salah satunya adalah minyak kelapa sawit (Sandra dkk., 2021). Biodiesel (*methyl ester*) terbentuk melalui reaksi antara senyawa ester dari *Crude Palm Oil* (CPO) dengan senyawa alkohol (metanol) sehingga terbentuk senyawa ester baru (*methyl ester*) (Arita dkk., 2008). Pembuatan biodiesel biasanya menggunakan suhu optimal sebesar 65°C dengan kecepatan pengadukan yaitu 150 rpm (Daryono dkk., 2022).

2.5 Amidasi

Amidasi merupakan reaksi pembentukan senyawa dari asam lemak atau metil ester dengan suatu senyawa amina. Salah satu proses yang digunakan untuk menghasilkan surfaktan adalah proses amidasi dari mereaksikan asam lemak (*fatty acid*) atau metil ester dengan dietanolamina. Reaksi tersebut menggunakan katalis yang berfungsi untuk mempercepat waktu reaksi. Dengan suhu yang sama, reaksi

dapat berlangsung lebih cepat. Katalis berperan penting dalam meningkatkan efisiensi proses dan produk yang dihasilkan, seperti NaOH, KOH, dan NaOCH₃ (Lubis, 2018). Reaksi amidasi menghasilkan produk berupa senyawa amida yang ditunjukkan pada Gambar 3.

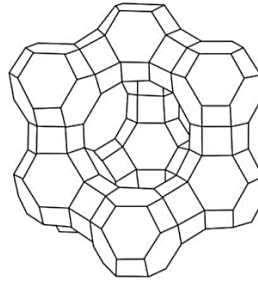


Gambar 3. Reaksi amidasi dari; a) asam lemak dan b) metil ester
(Kumar and Ali, 2015).

2.6 Zeolit-Y

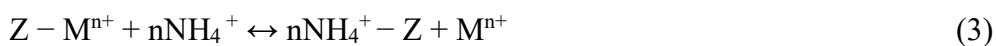
Zeolit-Y merupakan salah satu jenis zeolit sintesis yang termasuk dalam keluarga molekul aluminosilikat dengan tipe kerangka faujasite (FAU). Zeolit-Y yaitu zeolit yang memiliki rasio Si/Al = 1-3. Zeolit-Y mempunyai stabilitas dan selektivitas adsorpsi yang tinggi terhadap air dan molekul-molekul polar. Sintesis zeolit-Y yang telah dilakukan adalah sintesis dan karakterisasi zeolit-Y dengan surfaktan non ionik menghasilkan zeolit-Y dengan luas permukaan yang tinggi yaitu 646,85 m²/g (Nurlaela dkk, 2011). Unit 24- tetrahedracuboctahedral (sangkar sodalite) 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] (Islami, 2022). Supercage zeolit tipe FAU yang dilihat pada [111] ditampilkan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Kerangka zeolit-Y (Lutz, 2014).

Zeolit-Y umumnya disintesis dengan metode hidrotermal, kristalisasi gel aluminosilikat pada suhu rendah (70-300 °C, biasanya 100 °C) dan tekanan (*autogenous*) dalam kondisi alkali. Reaksi yang terjadi umumnya mulai dari natrium aluminat dan natrium silikat, zeolit-Y diperoleh dalam bentuk Na^+ dan penggantian kation Na^+ oleh proton diperlukan untuk aplikasi dalam katalisis asam. Penggantian kation Na^+ menjadi bentuk H^+ tidak dapat dilakukan dengan pertukaran ion langsung, karena kebanyakan struktur FAU tidak stabil dalam media asam. Protonasi ini dapat dilakukan secara tidak langsung melalui pertukaran amonium yang menghasilkan NH_4^+ -Y, diikuti dengan kalsinasi untuk mendekomposisi kation NH_4^+ menjadi amonia dan proton sehingga menghasilkan H-Y. Zeolit-Y telah dikonversi menjadi zeolit-Y terprotonasi (H-Y) dengan metode pertukaran ion menggunakan larutan amonium klorida, amonium asetat (Warner *et al.*, 2017), dan amonium nitrat. Berikut ini Persamaan (3) reaksi yang terjadi antara ion amonium dan zeolit pada metode pertukaran ion:



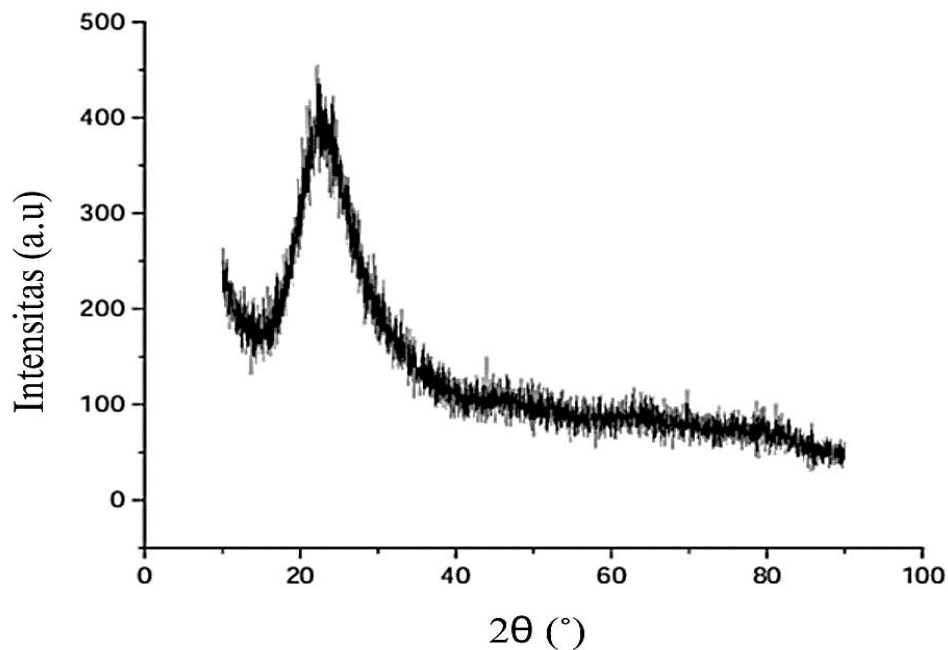
Z dan M masing-masing mewakili zeolit dan kation ikatan di zeolit dan n adalah jumlah muatan ion. Zeolit-Y yang dipertukarkan dengan berbagai logam (Fe, Co, Ni, Cu, dan Zn) diaplikasikan untuk adsorpsi H_2S , COS, CO_2 dan CH_4 dari aliran gas alam (Watanabe *et al.*, 2005).

2.7 Sekam Padi

Sekam padi adalah limbah dari proses penggilingan padi yang termasuk dalam jenis biomassa. Limbah ini dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan seperti bahan baku industri, pakan ternak, dan energi atau bahan bakar. Dari proses penggilingan padi biasanya diperoleh sekam padi sekitar 20-30% bobot awal gabah (Hamidi *et al.*, 2021). Abu sekam padi mengandung silika sebesar 87%-97% (Handayani *et al.*, 2015). Kandungan silika yang tinggi pada sekam padi maka dapat dimanfaatkan menjadi bahan baku pembuatan aluminosilikat. Silika telah diaplikasikan sebagai komponen ramah lingkungan, industri semen, material komposit, keramik, dan pembuatan katalis (Simanjuntak *et al.*, 2021).

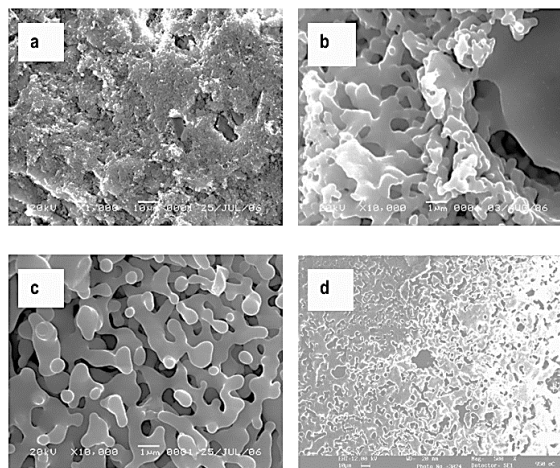
Silika dapat diperoleh dari sekam padi dengan beberapa metode seperti presipitasi (Pandiangan *et al.*, 2017), pembakaran dalam furnace (Steven *et al.*, 2021), sintering (Karo-Karo dan Sembiring, 2009), refluks (Elsandika dkk., 2025), dan ekstraksi alkali (Sembiring *et al.*, 2017). Ekstraksi silika umumnya dilakukan dengan metode sol-gel yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan metode pembakaran pada suhu tinggi yang menyebabkan pencemaran udara karena menghasilkan emisi CO₂. Metode sol-gel pada dasarnya terdiri dari dua tahap yang melibatkan ekstraksi kimiawi silika dengan larutan alkali seperti NaOH atau KOH dan penetralan sol silika (filtrat) dengan diasamkan menggunakan asam mineral kuat seperti HCl, HNO₃, atau H₂SO₄ untuk mengubah silika dari sol menjadi gel (Simanjuntak *et al.*, 2016).

Pada penelitian Elsandika dkk. (2025) telah berhasil dilakukan sintesis silika sekam padi dengan metode refluks dengan NaOH dan pengendapan menggunakan HCl. Silika yang didapatkan memiliki kemurnian sebesar 96,7%. Hasil yang didapat dikarakterisasi menggunakan XRD yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pola difraksi XRD silika sekam padi (Elsandika dkk., 2025)

Gambar 5 menunjukkan bahwa silika yang dianalisis memiliki struktur amorf yang ditunjukkan oleh puncak yang melebar pada $2\theta = 22^\circ$. Hal ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Karo-Karo dan Sembiring (2009) bahwa sintesis silika sekam padi dengan metode sintering terbentuk fasa amorf, yang terjadi pada suhu sintering 750°C dengan puncak tertinggi sebesar $2\theta = 22,8^\circ$. Hal ini dapat dilihat pada hasil karakterisasi SEM yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Morfologi silika sekam padi setelah disintering (a) 750°C , (b) 900°C , (c) 1000°C , dan (d) 1100°C (Karo-karo dan Sembiring, 2009).

Gambar 6 menunjukkan bahwa semakin besar suhu sintering maka semakin kecil pori-pori silika dan semakin tinggi homogenitasnya. Sifat silika lainnya juga didukung dari hasil karakterisasi XRF yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 menunjukkan bahwa perlakuan asam atau alkali yang sesuai dapat meningkatkan kandungan SiO_2 . Serbuk silika yang dihasilkan memiliki kemurnian 96,7 % yang artinya lebih tinggi daripada kemurnian silika komersial. Silika komersial umumnya diproduksi dari bahan baku kimia sintesis yang mahal dan proses produksi yang tidak ramah lingkungan. Oleh karena itu, upaya untuk mencari bahan baku alternatif yang ramah lingkungan salah satunya dari sekam padi (Azilah dkk., 2024).

Tabel 1. Perbandingan karakterisasi XRF silika sekam padi dengan silika komersial.

Senyawa	Serbuk silika dari sekam padi (%) (Elsansika dkk., 2025)	Silika komersial (%) (Setyawan <i>et al.</i> , 2021)
SiO_2	96,70	95,37
K_2O	0,50	0,01
CaO	1,75	0,02
MnO_2	0,12	0,00
Fe_2O_3	0,33	0,06
NiO	0,01	-
CuO	0,03	-
ZnO	0,52	-
Eu_2O_3	0,03	-
Cl	-	0,07
Al_2O_3	-	0,63
ZrO_2	-	0,04
MgO	-	0,06
Na_2O	-	2,47

2.8 Uji Aktivitas Inhibitor Korosi

2.8.1 Metode *Wheel Test*

Metode *wheel test* atau kehilangan berat merupakan prosedur standar yang dapat digunakan untuk menentukan laju korosi. Prinsip dari metode ini adalah dengan menghitung banyaknya material yang hilang atau kehilangan berat setelah dilakukan pengujian, menghitung massa logam yang telah dibersihkan dari oksida dan massa tersebut dinyatakan sebagai massa awal, lalu direndam pada suatu lingkungan yang korosif seperti pada air laut selama waktu tertentu. Setelah itu, dilakukan penghitungan massa kembali dari suatu logam setelah dibersihkan logam tersebut dari hasil korosi yang terbentuk dan massa tersebut dinyatakan sebagai massa akhir. Data logam yang dihitung seperti luas permukaan yang terendam, berat awal dan akhir, waktu perendaman, dan massa jenis logam yang diuji maka dihasilkan suatu laju korosi. Perhitungan metode *wheel test* untuk penurunan berat (W) menggunakan Persamaan 4, perhitungan laju korosi (CR) menggunakan Persamaan 5, dan efisiensi penghambatan ($\%P$) menggunakan Persamaan 6 (Ilim *et al.*, 2017).

$$W = W_{(i)} - W_{(t)} \quad (4)$$

$$CR = \frac{10 \cdot W \cdot 365}{A \cdot D \cdot t} \quad (5)$$

$$\%P = \frac{(CR_o - CR_i)}{CR_o} \times 100\% \quad (6)$$

Keterangan:

W = kehilangan berat (g)

CR = laju korosi (mm Y^{-1} = milimeter per tahun)

$W_{(i)}$ = berat awal (g)

A = luas area kupon (cm^2)

$W_{(t)}$ = berat akhir (g)

D = kepadatan logam ($7,86 \text{ g.cm}^{-3}$) untuk baja

t = waktu (hari)

$\%P$ = persen proteksi

CR_o = laju korosi tanpa inhibitor

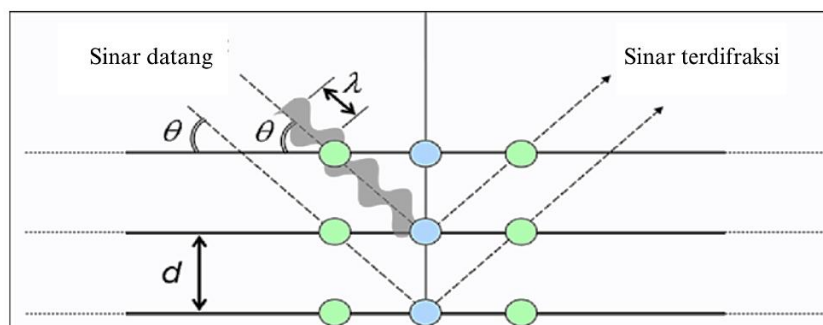
CR_i = laju korosi dengan inhibitor.

2.9 Karakterisasi Produk

2.9.1 *X-Ray Diffraction* (XRD)

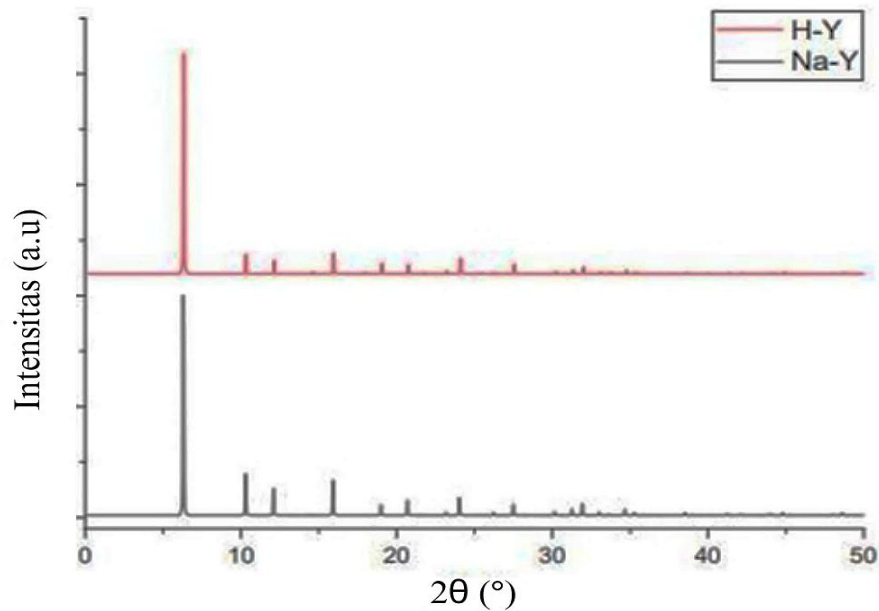
XRD adalah teknik yang tidak merusak dan digunakan untuk mengidentifikasi bahan kristalin. XRD memberikan informasi tentang struktur, fase, orientasi kristal (tekstur), dan parameter struktural lainnya, seperti ukuran butiran rata, kristalinitas, ketegangan, dan cacat kristal. Prinsip XRD yaitu didasarkan pada difraksi sinar-X, hamburan cahaya dengan panjang gelombang (λ) saat melewati kisi kristal dengan sudut datang (θ) dan jarak antar bidang kristal sebesar (d) (Alfarisa dkk., 2018).

Prinsip dasar XRD adalah mendifraksi cahaya melalui celah kristal. Difraksi cahaya oleh kisi-kisi atau kristal ini terjadi ketika panjang gelombang difraksi setara dengan jarak antar atom, sekitar 1 Å. Radiasi yang digunakan meliputi radiasi sinar-X, elektron, dan neutron. Sinar-X adalah foton energi tinggi dengan panjang gelombang 0,5-2,5 Å. Saat sinar-X berinteraksi dengan sampel, sebagian diabsorpsi, ditransmisikan, dan dihamburkan. XRD akan mendeteksi hamburan terdifraksi. Berkas sinar-X yang dihamburkan dapat saling menghilangkan (interferensi destruktif) atau saling menguatkan (interferensi konstruktif). Berkas sinar-X yang saling menguatkan tersebut disebut sebagai berkas difraksi (Islami, 2022). Ilustrasi sinar-X dalam XRD ada pada Gambar 7.



Gambar 7. Ilustrasi difraksi sinar-X (Kumar, 2018).

Zeolit yang telah disintesis dianalisis menggunakan bantuan perangkat lunak Origin dan Match untuk menyamakan puncak 2θ yang muncul pada zeolit hasil sintesis dengan zeolit komersil. Zeolit-Y tipe *faujasite* dikonfirmasi dengan data standar yang terdapat dalam sistem kepustakaan *International Zeolit Association* (IZA) dapat dilihat pada Gambar 8.

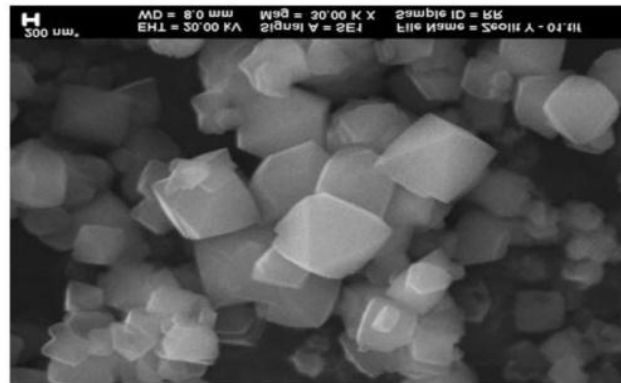


Gambar 8. Difaktogram XRD standar zeolit-Y dan H-Y (IZA, 2017).

2.9.2 Scanning Electron Microscopy (SEM)

SEM adalah alat pembesaran yang memanfaatkan sinar elektron yang terfokus untuk mendapatkan informasi. Pengujian SEM pada dasarnya merupakan pemeriksaan dan analisa morfologi. Gambar morfologi diperoleh dari penangkapan elektron sekunder yang dipancarkan oleh spesimen. Sinyal elektron sekunder yang dihasilkan ditangkap oleh detektor dan diteruskan ke monitor. Pada monitor akan diperoleh gambar yang khas yang menggambarkan struktur permukaan spesimen. Selanjutnya gambar di monitor dapat dipotret dengan menggunakan film hitam putih (Kardiman dkk., 2018).

SEM memiliki perbesaran 10-3.000.000 kali, kedalaman bidang 4-0,4 mm dan resolusi sebesar 1-10 μm . Mikroskop elektron menggunakan prinsip-prinsip dasar yang sama dengan mikroskop cahaya, tetapi memfokuskan berkas elektron yang energetik dari pada foton, untuk memperbesar objek. Komponen dari SEM sendiri antara lain; sumber elektron, senapan termionik, senapan emisi, lensa elektromagnetik dan elektrostatik, ruang vakum, ruang sampel, komputer, detektor (satu atau lebih), detektor elektron sekunder (SED), pendeteksi *backscatter*, *detector backscatter difraksi* (EBSD), dan *X-ray detector* (EDX) (Choudhary *et al.*, 2017). Penggunaan SEM pada karakterisasi zeolit-Y berfungsi untuk mengetahui mikrostruktur dengan menunjukkan secara jelas morfologi permukaan. Morfologi zeolit-Y menunjukkan bentuk kristal oktahedral dari setiap partikel. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Wijiyanti *et al.*, 2020) menunjukkan bahwa zeolit-Y berhasil disintesis dengan ukuran partikel rata-rata sebesar 1129 nm, hal ini dapat dilihat pada Gambar 9.

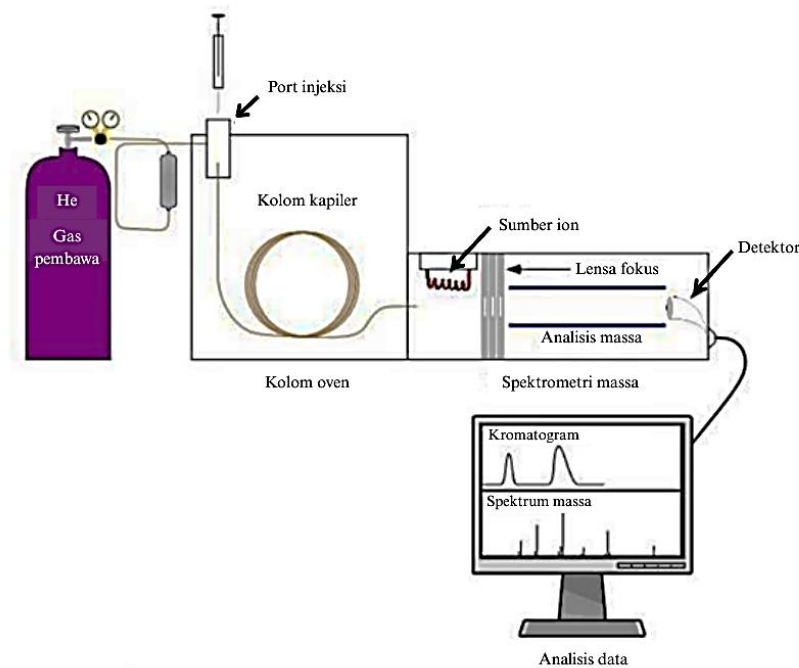


Gambar 9. Morfologi zeolit-Y (Wijiyanti *et al.*, 2020).

2.9.3 Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)

Spektrofotometer GC-MS merupakan metode yang dinamis untuk pemisahan dan deteksi senyawa-senyawa yang mudah menguap dalam suatu campuran (Sipahelut, 2019). Teknik GC dapat memisahkan komponen suatu campuran berdasarkan perbedaan kecepatan perpindahan suatu campuran komponen dalam fase diam yang dibawa oleh fase gerak. Perbedaan kecepatan perpindahan suatu

campuran disebabkan oleh interaksi antara senyawa-senyawa kimia dalam campuran dengan fase diam dan fase geraknya, sehingga GC dapat mengidentifikasi senyawa dalam campuran gas dan menentukan konsentrasinya. GC-MS dapat digunakan untuk analisis kualitatif dan kuantitatif. Analisis kromatogram GC-MS memberikan informasi jumlah komponen senyawa yang terpisah, dapat ditunjukkan pada Gambar 10. Luas puncak kromatogram merepresentasikan konsentrasi (%) senyawa relatif terhadap cuplikan yang menguap pada kondisi pengoperasian GC-MS (Aulia, 2021). Skema GC-MS dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Skema alat GC-MS (Wu *et al.*, 2012).

Fungsi GC-MS pada penelitian ini digunakan untuk mengevaluasi pembentukan senyawa nitrogen.

2.9.4 *X-Ray Fluorescence* (XRF)

XRF merupakan teknik analisis non destruktif yang cepat dan akurat yang digunakan untuk mengidentifikasi, mendeteksi, serta menentukan konsentrasi

unsur yang ada pada suatu material baik padatan, bubuk ataupun cairan. Beberapa keunggulan analisis dengan XRF yaitu persiapan sampel yang sederhana, tidak perlu menempatkan sampel di ruang vakum seperti dengan sistem spektroskopi dispersif energi, dan banyak unsur yang dapat diidentifikasi sekaligus (Ardebili *et al.*, 2018). Metode XRF secara luas digunakan untuk menentukan komposisi unsur suatu material karena cepat dan tidak merusak sampel. XRF dapat dihasilkan tidak hanya oleh sinar-X tetapi juga sumber eksitasi primer yang lain seperti partikel alfa, proton atau sumber elektron dengan energi yang tinggi (Putri dkk., 2023).

Secara umum, spektrometer XRF mengukur panjang gelombang suatu komponen dalam material secara individu dari emisi fluoresensi yang dihasilkan sampel saat diradiasi dengan sinar-X. Ketika sampel yang dianalisis diradiasi oleh sinar-X atau sinar gamma yang memiliki tingkat energi tinggi, akan menyebabkan elektron pada kulit atom bagian dalam tereksitasi. Akibatnya atom berada pada keadaan yang tidak stabil, sehingga kekosongan elektron tersebut akan diisi oleh elektron bagian luar dengan melepaskan energi yang spesifik untuk setiap unsur. Proses pengisian posisi elektron pada kulit valensi yang lebih rendah dinamakan deeksitasi. Proses deeksitasi ini akan disertai dengan pemancaran cahaya dengan energi yang lebih kecil daripada energi yang menyebabkan tereksitasinya elektron. Energi yang dipancarkan ini dinamakan radiasi fluoresensi. Perbedaan energi dari dua kulit tersebut muncul sebagai foton sinar-X yang dipancarkan oleh atom. Spektrum sinar-X selama proses tersebut menunjukkan puncak yang karakteristik dari tingkat energi masing-masing spesies atom dan berfungsi sebagai sidik jari spektroskopi untuk setiap unsur yang ada dalam sampel. Hasil XRF berupa spektrum yang menyatakan hubungan energi eksitasi dan intensitas sinar-X. Energi eksitasi menunjukkan unsur penyusun sampel dan intensitas menunjukkan kuantitas dari unsur tersebut (Simon, 2018)

Febriyanti (2022) melakukan karakterisasi zeolit sintesis berupa zeolit-Y terprotonasi berbasis silika sekam padi dengan menggunakan XRF untuk mengetahui komposisi unsur yang terdapat pada katalis dari hasil *ion exchange* zeolit induk dengan larutan amonium nitrat dengan melihat penurunan kadar

natrium pada sampel. Hasil yang didapat kadar Na pada zeolit-Y sebesar 1,154%, setelah diprotonasi dengan larutan amonium nitrat 3,5 M kandungan Na pada zeolit H-Y mengalami penurunan menjadi 0,116%. Hal ini menunjukkan bahwa ion H^+ berhasil menggantikan keberadaan ion Na^+ pada sampel zeolit-Y.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober 2024 hingga Maret 2025 di Laboratorium Kimia Anorganik-Fisik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Karakterisasi zeolit-Y menggunakan XRD dan analisis komposisi zeolit H-Y menggunakan XRF 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-Y dan baja lunak menggunakan SEM dilaksanakan di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) FMIPA Universitas Lampung. Pengujian aktivitas inhibitor korosi menggunakan metode *wheel test* dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik-Fisik Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

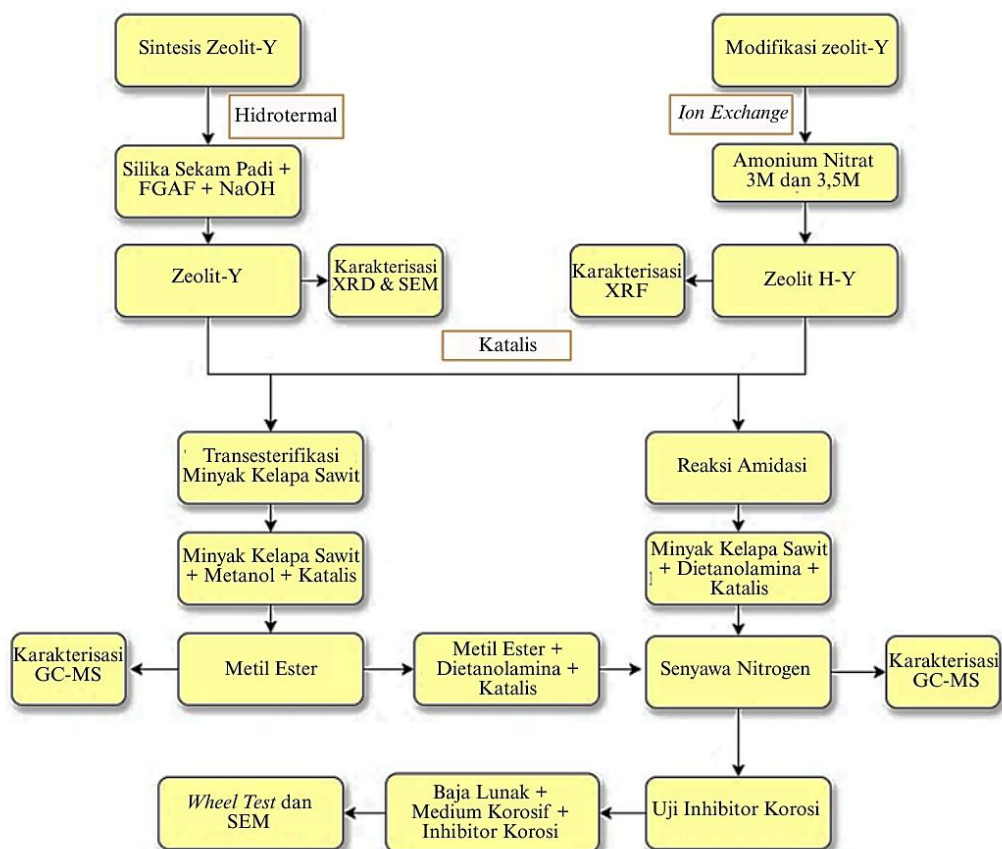
Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah; termometer, autoklaf, neraca analitik, oven, furnace, Erlenmeyer, *hotplate*, *magnetic stirrer*, alat refluks, mikro pipet, labu bundar, corong pisah, *waterbath*, saringan mesh ukuran 300 nm, cawan krus, jangka sorong, desikator, gelas kimia, spatula, labu ukur, gelas ukur, *Scanning Electron Microscope* (SEM) ZEISS EVO® MA 10, *X-Ray Diffraction* (XRD) PANalytical tipe X'Pert Pro 3040/60, *X-Ray Fluorescence* (XRF)

PANalytical Epsilon 3^{XLE}, dan *Gas Chromatography-Mass Spectroscopy* (GC-MS) tipe shimadzu QP 2010 SE.

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah; minyak kelapa sawit, sekam padi, alumunium foil *food grade*, kertas saring, indikator pH, metanol, akuades, dietanolamina, NaOH, HNO₃, Sb₂O₃, SnCl₂, HCl pekat, NaCl, NaHCO₃, gas CO₂, NH₄NO₃, baja lunak (SAE/AISI Grade 1022), kertas silikon karbida (grade 200, 400, 600, 800, 1000, dan 1200).

3.3 Diagram Alir Percobaan

Diagram alir percobaan ini dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Diagram alir penelitian.

3.4 Prosedur Kerja

3.4.1 Preparasi Sekam Padi dan Ekstraksi Silika

Ekstraksi silika sekam padi mengacu metode yang telah dilakukan oleh Simanjuntak *et al.* (2019). Langkah awal dalam ekstraksi silika 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 2000 g diekstraksi dalam 20 L 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 (7-8). 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 mesh 300 nm. Silika yang dihasilkan selanjutnya digunakan dalam sintesis zeolit-Y.

3.4.2 Sintesis Katalis Zeolit-Y

Sintesis zeolit-Y dilakukan sesuai dengan yang telah dilakukan oleh Pangesti *et al.* (2021). Sintesis zeolit-Y diawali dengan membuat larutan NaOH dengan cara melarutkan NaOH sebanyak 22,22 g dalam 240 mL akuades. Larutan NaOH

yang telah diperoleh ditambahkan silika sekam padi sebanyak 20 g 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. Sebanyak 3,75 g 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 *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 autoklaf 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 telah kering dikalsinasi pada suhu 550 °C selama 6 jam untuk mengaktifkan zeolit. Untuk membuktikan bahwa produk adalah zeolit-Y seperti yang diharapkan, zeolit-Y dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), kemudian digunakan dalam prosedur transesterifikasi dan amidasi.

3.4.3 Protonasi Katalis Zeolit-Y dengan Metode *Ion Exchange*

Protonasi zeolit-Y yang dilakukan menggunakan metode *ion exchange* dengan cara mencampurkan zeolit-Y yang telah dikalsinasi ke dalam larutan NH_4NO_3 dengan variasi konsentrasi 3 dan 3,5 M. Campuran tersebut dipanaskan dengan *hotplate stirrer* pada suhu 80 °C selama 6 jam dengan rasio zeolit/larutan sebesar 2 g/20 mL untuk memperoleh zeolit NH_4^+ -Y. Filtrat NH_4^+ -Y dicuci menggunakan akuades hingga pH netral, disaring, dan dikeringkan ke dalam oven pada suhu 80 °C serta dikalsinasi pada suhu 550 °C selama 6 jam agar diperoleh zeolit H-Y.

Zeolit H-Y yang terbentuk kemudian dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui persentase konversi dari Na menjadi H⁺.

3.4.4 Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit

Reaksi transesterifikasi dilakukan untuk mengubah minyak kelapa sawit menjadi senyawa metil ester. Transesterifikasi dilakukan dengan nisbah reaktan 1:4 yaitu 25 mL minyak kelapa sawit dicampur dengan 100 mL metanol lalu ditambahkan variasi katalis berupa zeolit-Y dan zeolit H-Y sebanyak 10% berat minyak dalam labu bundar 250 mL. Campuran tersebut direfluks pada suhu 70 °C selama 4 jam menggunakan *hotplate stirrer*. Hasil refluks didinginkan, lalu disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan katalis dengan produk. Filtrat didiamkan selama 24 jam agar metil ester terpisah dari minyak. Kemudian metil ester di-*stirrer* untuk menghilangkan metanol. Metil ester yang dihasilkan digunakan sebagai bahan baku pembuatan senyawa nitrogen dalam reaksi amidasi dengan penambahan senyawa dietanolamina (DEA) dengan perbandingan yang telah ditentukan.

3.4.5 Reaksi Amidasi

Reaksi amidasi dilakukan untuk memperoleh senyawa nitrogen yang digunakan sebagai inhibitor korosi. Reaksi amidasi dilakukan dengan mencampurkan antara metil ester yang diperoleh dan dietanolamin (DEA) dalam perbandingan 1:1 (8 mL : 8 mL) dengan menambahkan variasi katalis zeolit-Y dan zeolit H-Y sebesar 5% dari total kedua bahan tersebut. Campuran tersebut di-*stirrer* selama 1 jam, lalu dimasukkan ke dalam autoklaf dan dioven pada suhu 100 °C selama 48 jam. Hasil campuran didinginkan hingga suhu ruang, kemudian disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan katalis dari produk yang dihasilkan. Produk didiamkan selama 24 jam untuk memisahkan senyawa nitrogen yang dihasilkan dari metil ester yang tersisa. Perlakuan sama dilakukan pada reaksi amidasi antara

minyak kelapa sawit dan variasi katalis zeolit-Y dan zeolit H-Y. Senyawa yang diperoleh dikarakterisasi menggunakan GC-MS dan dilakukan uji aktivitasnya sebagai inhibitor korosi baja lunak.

3.4.6 Persiapan Sampel Baja Lunak

Baja lunak dipotong dengan ukuran 2x1 cm, kemudian baja lunak yang telah dipotong atau kupon baja diampas dengan kertas silikon karbida (grade 200, 400, 600, 800, 1000, dan 1200). Setelah permukaan baja lunak rata selanjutnya dibersihkan dengan akuades lalu dibilas dengan metanol kemudian diukur dimensinya dan ditimbang massanya.

3.4.7 Persiapan Larutan

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

a. Larutan medium korosif

Medium korosif yang digunakan dalam penelitian adalah larutan NaCl 3% yang dibuat dengan cara melarutkan 30 g NaCl dan 0,1 g NaHCO₃ dalam labu ukur 1000 mL, lalu ditambahkan akuades hingga tanda tera dan dihomogenkan. Larutan medium korosif kemudian dijenuhkan dengan gas CO₂ *food grade* pada tekanan atmosfer dengan kecepatan sekitar 150-200 mL/menit.

b. Larutan inhibitor

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

c. Pembuatan *Clarke's solution*

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

3.4.8 Penentuan Laju Korosi (*Wheel Test*)

Larutan medium korosif sebanyak 175 mL dimasukkan ke dalam botol duran 250 mL dan ditambahkan larutan inhibitor dengan konsentrasi 15.000 ppm sebanyak 1,75 mL ke dalam botol duran menggunakan mikropipet dan dialiri gas CO₂ selama 45 menit. Kupon baja lunak yang sudah diketahui massa dan dimensi dimasukkan ke dalam botol. Aliran gas CO₂ dihentikan dan botol ditutup dengan hati-hati agar tidak ada oksigen yang masuk kemudian didiamkan selama 24 jam. Setelah itu, kupon baja dikeluarkan dari botol duran dan dicelupkan dalam *Clarke's solution* selama 5 detik untuk membersihkan spesimen korosi, dicuci dengan akuades, dan dibilas dengan metanol. Kupon baja yang sudah kering ditimbang kembali berat akhirnya.

3.4.9 Analisis SEM

Analisis permukaan sampel baja lunak menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dilakukan untuk mengamati morfologi permukaan baja, sehingga dapat diketahui tingkat korosi yang terjadi serta efektivitas inhibitor korosi yang digunakan. Terdapat tiga jenis sampel baja yang dianalisis, yaitu baja lunak tanpa perendaman dalam larutan korosif, baja lunak yang direndam dalam medium korosif tanpa penambahan inhibitor (blanko), dan baja lunak yang direndam dalam medium korosif dengan penambahan larutan inhibitor sebanyak 1,75 mL dengan konsentrasi 15.000 ppm selama 24 jam. Setelah proses perendaman, semua sampel dibilas menggunakan akuades dan metanol, tanpa menggunakan larutan *Clarke's solution*.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Zeolit-Y berbasis silika sekam padi telah berhasil disintesis ditunjukkan oleh hasil karakterisasi XRD yang dibandingkan dengan standar IZA serta hasil SEM yang menunjukkan morfologi permukaan yang berbentuk kristal kubik-oktahedral.
2. Protonasi zeolit-Y telah berhasil dilakukan ditunjukkan oleh hasil XRF yang dibuktikan dengan konversi Na menjadi H^+ sebesar 65,50%.
3. Konversi minyak kelapa sawit yang diubah menjadi metil ester dengan bantuan katalis zeolit H-Y melalui reaksi transesterifikasi menghasilkan metil ester sebanyak 32%.
4. Hasil analisis GC-MS produk amidasi pada variasi metil ester dengan katalis zeolit H-Y mengandung senyawa nitrogen sebesar 99,10%.
5. Hasil uji *wheel test* pada uji aktivitas senyawa inhibitor korosi ditunjukkan oleh produk amidasi metil ester dan katalis zeolit H-Y dengan persen proteksi sebesar 98,17% dengan hasil analisis SEM yang menunjukkan morfologi baja lunak yang terlindungi.

5.2 Saran

Beberapa hal yang disarankan pada penelitian selanjutnya antara lain:

1. Reaksi antara metil ester dan dietanolamina perlu dioptimalkan guna meningkatkan produksi senyawa nitrogen, seperti variasi reaktan, katalis, suhu, dan waktu.
2. Melakukan uji aktivitas laju korosi dengan metode elektrokimia seperti *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) dan Tafel agar hasil lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, F., Saputra, R. A., dan Syeptiani. 2023. Pengaruh Pemberian Disinfektan Terhadap Laju Korosi dan Jenis Korosi Yang Terjadi Pada Logam. *Jurnal Multidisiplin Raflesia*. 2(1).1-5.
- Al-Amiery, A. A., Isahak, W. N. R. W., and Al-Azzawi, W. K. 2023. Corrosion Inhibitors: Natural and Synthetic Organic Inhibitors. *Lubricants*. 11. 1-29.
- Alamri, A. H. 2020. Localized Corrosion And Mitigation Approach of Steel Materials Used In Oil and Gas Pipelines-An Overview. *Engineering Failure Analysis*. 116(104735), 1-17.
- Alfarisa, S., Ahmad Rifai, D., dan Lumban Toruan, P. 2018. Studi Difraksi Sinar-X Struktur Nano Seng Oksida (ZnO). *Jurnal Risalah Fisika*. 2(2). 53-57.
- Ardebili, H., Zhang, J., and Pecht, M.G. 2018. *Defect and Failure Analysis Techniques for Encapsulated Microelectronics*. In Encapsulation Technologies for Electronic Applications. William Andrew.
- Anand Kumar, S. A., Sakthinathan, G., Vignesh, R., Rajesh Banu, J., and Al-Muhtaseb, A. H. 2019. Optimized Transesterification Reaction for Efficient Biodiesel Production Using Indian Oil Sardine Fish as Feedstock. *Fuel*. 253.921–929.
- Arifin, J., Purwanto, H., dan Syafa'at, I. 2017. Pengaruh Jenis Elektroda Terhadap Sifat Mekanik Hasil Pengelasan SMAW Baja ASTM A37. *Jurnal Momentum UNWAHAS*. 13(1). 27-31.
- Arita, S., Dara, M. B., dan Irawan, J. 2008. Pembuatan Metil Ester Asam Lemak dari CPO Off Grade dengan Metode Esterifikasi-Transesterifikasi. *Jurnal Teknik Kimia*. 15(2), 34–43.
- Asari,U. 2024. 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*. Universitas Lampung.

- 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.
- Azilah, A. B., Liana, A. F. D., Salam, N. E., Ermiyati, E., dan Hasnah, H. 2024. Uji Efektivitas Silika Gel dari Sekam Padi dan Ampas Kopi Sebagai Adsorben. In *Prosiding Seminar Nasional Pembangunan dan Pendidikan Vokasi Pertanian*. 5 (1). 748-755.
- Belarbi, Z., Singer, M., Young, D., Fareles, F., Vu, T. N., and Nesic, S. 2017. Thiols as Volatile Corrosion Inhibitors for Top of the Line Corrosion. *NACE Corrosion Conference*. 1-14.
- 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.
- Chandrika, A. D., Yerizam, M., and Meidinariasty, A. 2023. Effect of Alkaline Catalyst Concentrations and Weight Ratios of Oil to Methanol on the Biodiesel Production from Waste Cooking Oil. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 12(3). 245-254.
- Choudhary, O. P., Kalita, P. C., Doley, P. J., and Kalita, A. 2017. Scanning Electron Microscope: Advantages And Disadvantages In Imaging Components. *Life Sciences Leaflets*. 1-7.
- Da Silva de Sá, J., Ma, W., Owen, J., Hua, Y., Neville, A., Ponciano Gomes, J. A., and Barker, R. 2022. Effect of Flow Rate on the Corrosion Behavior of API 5L X80 Steel in Water-Saturated Supercritical CO₂ Environments. *Corrosion*. 78(1). 58-67.
- Daryono, E. D., Fassa, F., dan Rahman, A. 2022. Penggunaan Metanol Sisa Reaksi Sebagai Reaktan Pada Proses Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Menjadi Biodiesel. *Jurnal Teknologi*. 14(2). 155-162.
- Elgaddafi, R., Ahmed, R., and Shah, S. 2021. Corrosion of Carbon Steel In CO₂ Saturated Brine at Elevated Temperatures. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 196 (107638). 1-16.

- Elsandika, G., Dirgantara, M., Beladona, S. U. M., dan Pasaribu, M. H. 2025. Sintesis dan Karakterisasi Silika Sekam Padi sebagai Material *Self-Cleaning*. *Jurnal Fisika Unand*. 14(2). 124-130.
- Emmanuel, J. K. 2024. Corrosion Protection of Mild Steel In Corrosive Media, A Shift from Synthetic to Natural Corrosion Inhibitors: A Review. *Bulletin of the National Research Centre*. 48(1). 1-22.
- 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.
- Gawali, I. T., and Usmani, G. A. 2020. Novel Non-ionic Gemini Surfactants from Fatty Acid and Diethanolamine: Synthesis, Surface-Active Properties and Anticorrosion Study. *Chemistry Africa*. 3(1). 75–88.
- Gunawan, A. P. 2023. Inhibisi Korosi Baja dengan Campuran Ekstrak Kulit Kayu Akasia (*Acacia Mangium Willd*) dan Kalium Iodida (KI) Dalam Larutan Asam Sulfat. *Skripsi*. Universitas Jambi.
- Hamidi, R., Khoshbin, R., and Karimzadeh, R. 2021. A New Approach For Synthesis of Well-Crystallized Y Zeolite From Bentonite and Rice Husk Ash Used In Ni-Mo/Al₂O₃-Y Hybrid Nanocatalyst For Hydrocracking of Heavy Oil. *Advanced Powder Technology*. 32(2). 524-534.
- Handayani, P. A., Nurjanah, E., dan Rengga, W. D. P. 2015. Pemanfaatan Limbah Sekam Padi Menjadi Silika Gel. *Jurnal bahan alam terbarukan*. 3(2).55-59.
- Haryanto, A., Silviana, U., Triyono, S., dan Prabawa, S. 2015. Produksi Biodiesel dari Transesterifikasi Minyak Jelantah Dengan Bantuan Gelombang Mikro: Pengaruh Intensitas Daya dan Waktu Reaksi Terhadap Rendemen dan Karakteristik Biodiesel. *Jurnal Agritcultural Technology*. 35(2). 234-240.
- Hastuti, K., Wandana, A., Yulianto, D., Dedikarni, Rahman, J., and Anwar, I. 2023. Comparison of the Efficiency of Organic and Inorganic Inhibitors in Reduce the Corrosion Rate of Radiator Materials. *Journal Renewable Energy & Mechanics*. 6(2). 1-7.
- Hidayah,L.2023. Konversi Minyak Kelapa Sawit (*Elaeis Giuneensis J.*) Menjadi Senyawa Nitrogen dan Uji Aktivitasnya Sebagai Green Inhibitor Korosi Baja Lunak. *Tesis*.Universitas Lampung.

- Ibraheem, M. A., Fouda, A. E. A.E.S., Rashad, M. T., and Sabbahy, F.N. 2012. Sweet Corrosion Inhibition on API 5L-B Pipeline Steel. *ISRN Metallurgy*. 1–15.
- Ichsanudin, M., Prabowo, I., dan Nasirudin, M. 2023. Analisis Korosi pada Filter Feed Pump Studi Kasus pada Waste Water Treatment Plant. *Journal of Metallurgical Engineering and Processing Technology*. 3(2). 94-106.
- 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, Pandiangan, K.D., dan Sudrajat. 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., 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). 198–207.
- 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). 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.
- 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.
- Ismail, N., Ghazali, M. S. M., Zulkifli, M. F. R.Z, Umoren, S. A., Kamal, C., Haque, J., and Wan, W. M. N. 2021. Employing Cymbopogon Citratus (Lemongrass) As Eco-Friendly Corrosion Inhibitor For Mild Steel In Seawater. *Journal of Sustainability Science and Management*. 16(3). 71–82.
- Islami,A.P. 2022. Upgrading *Bio-Crude Oil* Hasil Pirolisis Minyak Kelapa Sawit Menjadi *Biogasoline* Menggunakan Zeolit-Y Terprotonasi Sebagai Katalis. *Skripsi*. Universitas Lampung.

- IZA. 2017. Framework Type FAU. International Zeolite Association.
<https://Asia.Iza-Structure.Org/IZA-SC/Framework.Php?STC=FAU>.
- 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. ichi. 2020. High-Silica HB Zeolite Catalyzed Methanolysis of Triglycerides to Form Fatty Acid Methyl Esters (Fames). *Fuel Processing Technology*. 197. 106204.
- Kardiman, K., Marno., dan Sumarjo, J. 2018. Analisis Sifat Mekanik Terhadap Bentuk Morfologi Papan Komposit Sekam Padi Sebagai Material Alternatif Pengganti Serat Kaca. *Jurnal Riset Sains Dan Teknologi*. 2(1). 21-26.
- Karo-Karo, P., dan Sembiring, S. 2017. Sintesis dan Karakterisasi Fasa *Crystoballite* Berbasis Silika Sekam Padi dengan Metode Sintering (Solid State). *Jiems (Journal of Industrial Engineering and Management Systems)*. 2(2).
- Kumar, A.A. 2018. Development of Porous Titanosilicate-Based Hybrid Nanocomposites For Photocatalytic Applications Under UV and Solar Light Irradiation Doctor of philosophy. *Thesis*. National Institute of Technology Warangal.
- 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 Heterogenous Catalyst. *Fuel*. 159: 845–853.
- Lubis, F. S. 2018. Karakteristik Senyawa Alkanolamida dari Minyak Jarak Castor dan Dietanolamine dengan Katalis KOH. *Jurnal Konversi Universitas Muhammadiyah Jakarta*. 7(2). 31-36
- Lutz, W. 2014. Zeolite Y: Synthesis, Modification, and Properties-A Case Revisited. *Advances in Materials Science and Engineering*. 1-20.
- Manurung, R., Sinaga, R. A., and Simatupang, R. T. 2013. Kinetics of Amidation for The Synthesis of Diethanolamide from Methyl Ester and Diethanolamine by Using Sulphuric Acid Catalyst. *International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology*. 2(9). 4205-4210.
- Mulyati, B. 2019. Tanin dapat Dimanfaatkan Sebagai Inhibitor Korosi. *Jurnal Industri, Elektro, dan Penerbangan*: 8(1). 1-4.
- Na, K. 2021. Synthesis and Application of Zeolite Catalysts. *Catalysts*. 11(6). 685.

- 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.
- Nurlaela, A., Sriatun., dan Pardoyo. 2011. Pengaruh Penambahan Surfaktan pada Sintesis Zeolit Y Menggunakan *Tetraethyl Orthosilicate* (TEOS) sebagai Sumber Silika. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 14(2). 32–36.
- Norsworthy, R. 2014. *Underground Pipeline Corrosion* 1st edition. Rosen. Amerika.
- Pandiangan, K. D., and Simanjuntak, W. 2013. Transesterification of Coconut Oil Using Dimethyl Carbonate and $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ Heterogeneous Catalyst. *Indonesian Journal of Chemistry*. 13(1). 47–52.
- Pandiangan, K. D., Arief, S., Jamarun, N., and Simanjuntak, W. 2017. Synthesis of Zeolite-X From Rice Husk Silica and Aluminum Metal as A Catalyst For Transesterification of Palm Oil. *Journal of Materials and Environmental Science*. 8(5). 1797-1802.
- 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.
- Plotnikova, M.D., Shein, A.B., Scherban, M.G., Vasyanin, A.N., and Rubtsov, A.E. 2023. Experimental and Theoretical Investigation Of (E)-5-{[4-(Dimethylamino) Benzylidene] Amino}-1,3,4-Thiadiazole-2(3H)- Thione (DATT) As an Acid Corrosion Inhibitor of Mild Steel. *International Journal Corrosion Scale Inhibitor*. 12(4). 1365-1391.
- Porcayo-Calderon, J., Rivera-Muñoz, E. M., Peza-Ledesma, C., Casales-Diaz, M., Martínez De La Escalera, L. M., Canto, J., and Martinez-Gomez, L. 2017. Sustainable Development of Palm Oil: Synthesis and Electrochemical Performance of Corrosion Inhibitors. *Journal of Electrochemical Science and Technology*. 8(2). 33-145.
- Putri, D. K., dan Akbar, A. 2021. Potensi Ekstrak Daun Pepaya sebagai Inhibitor Korosi dalam Media Asam Klorida pada Baja ST37. *Journal of Research on Chemistry and Engineering*: 2(2). 48-53.

- Putri, N. S., Rahim, A., Patiung, O., dan Afasedanja, M. M. T. 2023. Pengujian X-Ray Fluorescence Terhadap Kandungan Mineral Logam Pada Endapan Sedimen di Sungai Amamapare Kabupaten Mimika, Papua Tengah. *Jurnal Teknik AMATA*. 4(1). 6-10.
- Qu, T., Niu, S., Zhang, X., Han, K., and Lu, C. 2021. Preparation Of Calcium Modified Zn-Ce/Al₂O₃ Heterogeneous Catalyst For Biodiesel Production Through Transesterification of Palm Oil With Methanol Optimized by Response Surface Methodology. *Fuel*. 284 (118986).1-13.
- Ruhaiya, F., Nisa, H. C., Hafidh, M., dan Kurniasih, E. 2020. Jurnal Review: Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Pada Produksi Biodiesel Dengan Katalis Heterogen CaO. *Jurnal Teknik Dan Teknologi*. 15(30). 23-29.
- Reyes-Dorantes, E., Zuñiga-Díaz, J., Quinto-Hernandez, A., Porcayo-Calderon, J., Gonzalez-Rodriguez, J. G., and Martinez-Gomez, L. 2017. Fatty Amides from Crude Rice Bran Oil as Green Corrosion Inhibitors. *Journal of Chemistry*. 1-15.
- Roni, K. A., Elfidiah, E., 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.
- Sandra, S., Susilo, B., dan Aulia, N. I. 2021. Sintesis Minyak Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis*) Menjadi Biodiesel Menggunakan Metil Asetat dengan Metode Interesterifikasi. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian Dan Biosistem*. 9(1). 1-10.
- Sembiring, S., Simanjuntak, W., Situmeang, R., Riyanto, A., and Karo-Karo, P. 2017. Effect of Alumina Addition on The Phase Transformation and Crystallisation Properties of Refractory Cordierite Prepared From Amorphous Rice Husk Silica. *Journal of Asian Ceramic Societies*. 5(2). 186-192.
- Simanjuntak, W., Sembiring, S., Pandiangan, K. D., Syani, F., and Situmeang, R. T. M. 2016. The Use of Liquid Smoke as A Substitute For Nitric Acid For Extraction of Amorphous Silica From Rice Husk Through Sol-Gel Route. *Oriental Journal*.
- Simanjuntak, A., Simanjuntak, W., Pandiangan, K. D., and Sembiring, Z. 2019. The Effect of Sugarcane Bagasse to Rubber Seed Oil Ratios on the Chemical Composition of Liquid Fuels Produced by Zeolite-Y Catalyzed Pyrolysis. *Journal of Physics: Conference Series*. 1338(1).

- Simanjuntak, W., Pandiangan, K. D., Sembiring, Z., Simanjuntak, A., and Hadi, S. 2021. The Effect of Crystallization Time on Structure, Microstructure, and Catalytic Activity of Zeolite-A Synthesized From Rice Husk Silica and Food-Grade Aluminum Foil. *Biomass and Bioenergy*. 148. 106050.
- Simon, A. H. 2018. *Sputter Processing In Handbook of Thin Film Deposition: Fourth Edition*. Elsevier.
- Sipahelut, S. G. 2019. Perbandingan Komponen Aktif Minyak Atsiri dari Daging Buah Pala Kering Cabinet Dryer Melalui Metode Distilasi Air dan Air-Uap. *Jurnal Teknologi Pertanian*. 8(1). 8-13.
- Sofian, M., Akmal R, M., Naura, D.S., Ayu, V., Hidayat, W., Fauzan, M., dan Putra, A.Y.W. 2022. Perlindungan Korosi Di Perkapalan. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*. 22(2). 50-56.
- Stiadi, Y., Arief, S., Aziz, H., Efdi, M., dan Emriadi, E. 2019. Inhibisi Korosi Baja Ringan Menggunakan Bahan Alami dalam Medium Asam Klorida: Review. *Jurnal Riset Kimia*. 10(1). 51–65.
- Tarigan, E., Sebayang, A., Tarigan, L., Hassan, F.F., and Annasril. 2023. Analisa Perbandingan Kekuatan Tarik Material Baja Hardox Steel 450 dengan Mild Steel pada Pengelasan SMAW. *Jurnal Pendidikan Tambusa*. 7(2). 3708–3715.
- Ulvi, S. I., dan Harmawan, T. 2022. Analisis Kandungan Minyak dan Lemak pada Limbah Outlet Pabrik Kelapa Sawit di Aceh Tamiang Quimica : Jurnal Kimia Sains dan Terapan. *Jurnal Kimia Sains Dan Terapan*. 4(1).15–19.
- Urugo, M. M., Teka, T. A., Teshome, P. G., and Tringo, T. T. 2021. Palm Oil Processing and Controversies Over Its Health Effect: Overview of Positive and Negative Consequences. *Journal of Oleo Science*.70(12).1693-1706.
- Uzwatania, F., Ginantaka, A., dan Hasanah, D. N. 2020. Formulasi Sabun Mandi Transparan Halal Ekstrak Rosella dengan Dietanolamida sebagai Surfaktan. *Jurnal Agroindustri Halal*. 6(1). 66-76.
- Verma, C., Ebenso, E. E., Bahadur, I., and Quraishi, M. A. 2018. An Overview on Plant Extracts as Environmental Sustainable and Green Corrosion Inhibitors For Metals and Alloys In Aggressive Corrosive Media. *Journal of molecular liquids*. 266. 577-590.

- Warner, T. E., Galsgaard Klokke, M., and Nielsen, U. G. 2017. Synthesis and Characterization of Zeolite Na-Y and Its Conversion to the Solid Acid Zeolite H-Y. *Journal of Chemical Education*. 94(6).781-785.
- Wibowo, D. A., dan Ghofur, A. 2021. Pengaruh Kadar Salinitas Air Terhadap Laju Korosi Baja ST 60. *Rotary*. 3(2).145-158.
- Wijiyanti, R., Wardhani, A. R. K., Roslan, R. A., Gunawan, T., Karim, Z. A., Ismail, A. F., and Widiastuti, N. 2020. Enhanced Gas Separation Performance of Polysulfone Membrane by Incorporation of Zeolite-Templated Carbon. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*. 16(2).128-134.
- Wu, S., Lv, G., and Lou, R. 2012. *Applications of Chromatography Hyphenated Techniques In The Field of Lignin Pyrolysis*. In *Applications of Gas Chromatography*. IntechOpen.
- Wongwanichkangwan, I., Limtrakul, S., Vatanatham, T., and Ramachandran, P. A. 2021. Amidation Reaction System: Kinetic Studies and Improvement By Product Removal. *ACS omega*. 6(45). 30451-30464.
- Zulkifli, M., dan Estiasih, T. 2018. Sabun dari Distilat Asam Lemak Minyak Sawit. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*. 2(4). 170–177.