

**OPTIMASI WAKTU REAKSI AMIDASI METIL ESTER MINYAK
KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis*) MENJADI SENYAWA NITROGEN
DAN UJI AKTIVITASNYA SEBAGAI INHIBITOR KOROSI BAJA
LUNAK**

(Skripsi)

Oleh

**RIFDAH KAMILAH
NPM 1917011010**



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

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF THE REACTION TIME OF THE AMIDATION OF METHYL ESTER OF PALM OIL (*Elaeis guineensis*) INTO A NITROGEN COMPOUND AND TESTING ITS ACTIVITY AS A MILD STEEL CORROSION INHIBITOR

By

RIFDAH KAMILAH

This research has been conducted to optimize the amidation reaction into methyl ester-based nitrogen compounds from palm oil with diethanolamine using zeolite-A catalyst. Methyl ester is obtained through the transesterification process of palm oil with methanol and zeolite-A catalyst which was refluxed at a temperature of 70 °C for 6 hours. Nitrogen compounds obtained through the amidation reaction of methyl ester and diethanolamine (1:1) using zeolite-A catalyst by preparing 12 samples that were reacted in an autoclave, then heated in an oven at a temperature of 100 °C for 24, 48, 72, and 96 hours with a variation of stirring 30, 60 minutes and without stirring. The amidation products obtained were characterized using FTIR and GC-MS and then used as a corrosion inhibitor of mild steel in CO₂ saturated 3% NaCl solution using Wheel Test method. Amidation products containing nitrogen compounds with the highest percentage obtained at the reaction time of 96 hours with a stirring time of 30 minutes of 47.03% and the lowest percentage of nitrogen compounds in the lower layer with a reaction time of 24 hours and without stirring of 0.39%. Corrosion activity test obtained the highest percentage of protection of 95.17% with a reaction time of 96 hours at 30 minutes stirring. Based on the results obtained in this study shows that nitrogen compounds derived from palm oil has the potential as a green corrosion inhibitor.

Keywords: Palm oil methyl ester, zeolite-A, nitrogen compounds, corrosion inhibitors, and wheel test.

ABSTRAK

OPTIMASI WAKTU REAKSI AMIDASI METIL ESTER MINYAK KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis*) MENJADI SENYAWA NITROGEN DAN UJI AKTIVITASNYA SEBAGAI INHIBITOR KOROSI BAJA LUNAK

Oleh

RIFDAH KAMILAH

Penelitian ini telah dilakukan untuk mengoptimalkan reaksi amidasi menjadi senyawa nitrogen berbasis metil ester dari minyak kelapa sawit dengan dietanolamina menggunakan bantuan katalis zeolit-A. Metil ester diperoleh melalui proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan metanol dan katalis zeolit-A yang direfluks pada suhu 70 °C selama 6 jam. Senyawa nitrogen diperoleh melalui reaksi amidasi dari metil ester dan dietanolamina (1:1) menggunakan katalis zeolit-A dengan menyiapkan 12 sampel yang direaksikan dalam *autoclave*, kemudian dipanaskan dalam oven pada suhu 100 °C selama 24, 48,72, dan 96 jam dengan variasi pengadukan 30, 60 menit dan tanpa pengadukan. Produk amidasi yang diperoleh dikarakterisasi menggunakan FTIR dan GC-MS selanjutnya digunakan sebagai inhibitor korosi baja lunak dalam larutan NaCl 3% jenuh CO₂ menggunakan metode *Wheel Test*. Produk amidasi yang mengandung senyawa nitrogen dengan persentase tertinggi diperoleh pada waktu reaksi 96 jam dengan waktu pengadukan 30 menit sebesar 47,03% dan persentase terendah senyawa nitrogen pada lapisan bawah dengan waktu reaksi 24 jam dan tanpa pengadukan sebesar 0,39%. Uji aktivitas korosi mendapatkan hasil persentase proteksi tertinggi sebesar 95,17% dengan waktu reaksi 96 jam pada pengadukan 30 menit. Berdasarkan hasil yang diperoleh dalam penelitian ini menunjukkan bahwa senyawa nitrogen yang berasal dari minyak kelapa sawit berpotensi sebagai *green corrosion inhibitor*.

Kata kunci: Metil ester minyak kelapa sawit, zeolit-A, senyawa nitrogen, inhibitor korosi, dan *wheel test*.

**OPTIMASI WAKTU REAKSI AMIDASI METIL ESTER MINYAK
KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis*) MENJADI SENYAWA NITROGEN
DAN UJI AKTIVITASNYA SEBAGAI INHIBITOR KOROSI BAJA
LUNAK**

Oleh

RIFDAH KAMILAH

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS

Pada

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



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

Judul Skripsi : **OPTIMASI WAKTU REAKSI AMIDASI METIL ESTER MINYAK KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis*) MENJADI SENYAWA NITROGEN DAN UJI AKTIVITASNYA SEBAGAI INHIBITOR KOROSI BAJA LUNAK**

Nama Mahasiswa : **Rifdah Kamilah**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1917011010

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Dr. Ilim, M.S.
NIP. 196505251990032002



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

2. a.n. Ketua Jurusan Kimia FMIPA
Sekretaris,



a

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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Ilim, M.S.



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



Anggota : Dr. Mita Rilyanti, M.Si.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si, M.Si.
NIP. 19711001 200501 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 14 Juni 2024

**SURAT PERNYATAAN
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Rifdah Kamilah
Nomor Pokok Mahasiswa : 1917011010
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi yang berjudul **“Optimasi Waktu Reaksi Amidasi Metil Ester Minyak Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis*) Menjadi Senyawa Nitrogen dan Uji Aktivitasnya sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak”** adalah benar karya sendiri, baik gagasan, hasil, maupun analisisnya. Selanjutnya saya tidak keberatan apabila sebagian atau seluruh data di dalam skripsi ini digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan.

Bandar Lampung, 14 Juni 2024
Menyatakan,



Rifdah Kamilah
NPM. 1917011010

RIWAYAT HIDUP



Rifdah Kamilah lahir di Jatibaru, pada 03 September 2001. Penulis merupakan anak kedua dari Bapak Hartono dan Ibu Mugiatusun. Penulis memiliki satu kakak laki-laki, Taufiqul Hakim, satu adik perempuan, Nabilah Raya Ashidqiyah.

Penulis telah menyelesaikan pendidikan mulai dari Taman Kanak-kanak di TK Al-Azhar 10 Jatibaru, pada tahun 2007, pendidikan sekolah dasar di SDN 2 Sedang pada tahun 2013, pendidikan sekolah menengah pertama di SMP N 1 Tanjung Bintang pada tahun 2016, dan pendidikan sekolah menengah atas di SMAN 1 Tanjung Bintang pada tahun 2019. Pada tahun 2019 penulis diterima sebagai mahasiswi di Universitas Lampung, program S-1 Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama masa perkuliahan penulis pernah menjadi asisten praktikum Kimia Dasar I untuk mahasiswa Kimia pada tahun ajaran 2022/2023 dan menjadi anggota peneliti pada penelitian Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) pada tahun 2022. Selain itu, penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi. Organisasi yang pernah penulis ikuti adalah Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) FMIPA Unila mulai sebagai kader muda pada tahun 2019, anggota Biro Kesekretariatan Himaki FMIPA Unila periode 2020 dan 2021. Penulis pernah mengikuti kegiatan Karya Wisata Ilmiah (KWI) yang diselenggarakan oleh BEM FMIPA Unila pada tahun 2019 di desa Tambah Dadi, Lampung Timur dan melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di desa Wai Sidomukti, Ketapang, Lampung Selatan pada tahun 2022. Pada tahun yang sama penulis menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) dengan judul “Elektroplating Nikel Krom” di Laboratorium Badan Riset

dan Inovasi Nasional (BRIN) yang berlokasi di Jalan Ir. Sutami KM 15, Desa Rejomulyo, Tanjung Bintang Lampung Selatan. Tahun 2024 penulis berhasil menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Optimasi Waktu Reaksi Amidasi Minyak Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis*) Menjadi Senyawa Nitrogen dan Uji Aktivitasnya sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak” di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Universitas Lampung.

MOTTO

“Jagalah Sholatmu, karena saat Kau kehilangan Sholat, maka Kau akan kehilangan segalanya”

(Umar Bin Khattab)

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(Q.S. Al-Baqarah: 286)

“Karena sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan, sesungguhnya Bersama kesulitan itu ada kemudahan”

(Q.S. Al Insyirah: 5-6)

“Dan bersabarlah kamu, sesungguhnya janji Allah adalah benar”

(Q.S. Ar Rum: 60)

“Angin tidak berhembus untuk menggoyangkan pepohonan, melainkan menguji kekuatan akarnya”

(Ali bin Abi Thalib)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

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

*Kedua orang tuaku tercinta,
Orang tuaku tercinta, Ibu Mujiatun dan Bapak Hartono yang telah mencurahkan kasih sayang, keringat, cinta, dan doa untuk kehidupan dan keberhasilanku.*

Kakak dan adik yang aku sayangi Taufiqul Hakim dan Nabilah Raya Ashidqiyah yang senantiasa mendukungku dan memberiku semangat.

Ibu Dr. Ilim, M.S., Prof. Dr. Kamisah Delilawati Pandiangan, M.Si., Dr. Zipora Sembiring, M.S. dan Dr. Mita Rilyanti, M.Si. terima kasih telah membimbing saya

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

Teman-teman yang berjuang bersamaku, yang selalu sabar menemaniku, dan memberiku semangat

*Almamaterku Tercinta
Universitas Lampung*

SANWACANA

Puji syukur saya ucapkan kehadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya. sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Optimasi Waktu Reaksi Amidasi Metil Ester Minyak Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis*) Menjadi Senyawa Nitrogen dan Uji Aktivasnya sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak”** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada program studi Kimia FMIPA Universitas Lampung. Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada 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 bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, pada kesempatan ini sebagai wujud rasa hormat, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua, kakak, dan adik yang selalu mendukung baik materil maupun moral, kasih sayang, semangat, nasihat, serta mendoakan penulis.
2. Ibu Dr. Ilim, M.S. selaku Dosen Pembimbing I atas segala kebaikan, bimbingan, arahan, masukan dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi.
3. Ibu Prof. Kamisah Delilawati Pandiangan, M.Si. selaku Dosen Pembimbing II, atas kebaikan, bimbingan, arahan, masukan dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi.
4. Ibu Dr. Zipora Sembiring, M.S. dan Ibu Dr. Mita Rilyanti, M.Si. selaku Dosen Pembahas, atas saran, arahan, dan masukan sehingga menjadikan skripsi ini menjadi lebih baik lagi

5. Bapak Mulyono, Ph.D. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung dan selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan nasihat sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
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 Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
8. Segenap staff administrasi dan laboran Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
9. Mba Laila Hidayah, M.Si. yang membimbing, membantu, memberi semangat, dan motivasi kepada penulis dalam mengerjakan penelitian.
10. Teman-teman seperjuangan penelitian Devy Yuliyanda, Maulana Arya Nadhief, dan Muhammad Fadhil Ramadito untuk bantuan, kerja sama, dukungan, dan kebersamaan dalam penelitian.
11. Tim peneliti korosi, Mba Laila, Kak Sahrul, Kak Alya, Kak Zira, dan Kak Nabila yang telah memberikan dukungan setra bantuannya.
12. Sahabat SMA Eka Yulianti, Reva Muhalifah, dan Devy Yuliyanda atas dukungan, doa, dan semangat yang tiada hentinya.
13. Sahabat terbaik penulis “MADESU (Masa Depan Sukses)”. Virginia, Zahra, Happy, Shilvia, Muni, Devy, dan Yohana yang memberikan warna selama masa perkuliahan ini, selalu menemani dalam keadaan suka dan duka, memberikan semangat, dukungan, doa, serta tak henti-hentinya menasihati penulis selama 4 tahun berkuliah.
14. Teman-teman penelitian di Laboratorium Polimer Devy, Arya, Dito, Zahra, Eki, Quntum, Selvia, Erika, Thio, Rangga, Mba Diska, dan Mba Laila.
15. Teman-teman kosan : Alinil, Mba Ana, Virginia dan Uni Valen yang telah memberikan tempat tinggal dan semangat kepada penulis.
16. Teman-teman Kimia 2019 terutama Kelas A atas segala kenangan selama kuliah.
17. Hirotada Radifan dan Nadia Omara yang selalu menghibur penulisan saat dalam masa sulit.

18. Seluruh pihak yang terkait yang tidak dapat dituliskan satu per satu baik secara langsung maupun tidak langsung, terima kasih atas dukungan serta bimbingan dalam penyusunan skripsi ini.

Dengan kerendahan hati penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kesalahahan dan kekurangan. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan informasi, wawasan, dan ilmu yang bermanfaat di masa depan.

Bandar Lampung, 20 Juni 2024
Penulis

Rifdah Kamilah

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	ii
DAFTAR GAMBAR	v
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	3
1.2. Tujuan Penelitian.....	3
1.3. Manfaat Penelitian.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Korosi	5
2.2. Baja Lunak	6
2.3. Korosi CO ₂	6
2.4. Inhibitor Korosi	7
2.5. Senyawa Nitrogen	8
2.6. Transesterifikasi	8
2.7. Minyak Kelapa Sawit	10
2.8. Katalis.....	12
2.9. Reaksi Amidasi.....	13
2.10. Uji Aktivitas	14
2.10.1. Metode Kehilangan Berat (<i>Wheel Test</i>).....	14
2.11. Karakterisasi	15
2.11.1. <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	15
2.11.2. <i>Spektroskopi Fourier Transform Infra Red (FTIR)</i>	17
2.11.3. <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)</i>	18
2.11.4. <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	19
III. METODE PENELITIAN	20
3.1. Waktu dan Tempat	20

3.2. Alat dan Bahan.....	20
3.3. Prosedur Penelitian	21
3.3.1. Preparasi Sekam Padi dan Ekstraksi Silika.....	21
3.3.2. Sintesis Zeolit-A	22
3.3.3. Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit	22
3.3.4. Amidasi dengan Dietanolamina	22
3.3.5. Persiapan Sampel Baja Lunak	23
3.3.6. Pembuatan Larutan	23
3.3.7. Penentuan Laju Korosi dengan Metode Kehilangan Berat (<i>Wheel Test</i>)	24
3.3.8. Analisis SEM	24
3.3.9. Diagram Alir	24
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	26
4.1. Ekstraksi Silika Sekam Padi	26
4.2. Sintesis dan Karakterisasi Zeolit-A.....	27
4.3. Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit dan Karakterisasi Metil Ester ..	30
4.4. Amidasi Metil Ester dan Karakterisasi Senyawa Nitrogen.....	33
4.5. Penentuan Laju Korosi.....	60
4.6. Analisis Permukaan	62
V. KESIMPULAN DAN SARAN	65
5.1. Kesimpulan.....	65
5.2. Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN.....	72

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komposisi asam lemak minyak kelapa sawit.....	11
2. Data standar 2θ zeolit-A IZA dan hasil sintesis zeolit-A.....	29
3. Serapan gugus fungsi metil ester minyak kelapa sawit.....	31
4. Identifikasi senyawa hasil transesterifikasi minyak kelapa sawit.....	33
5. Identifikasi spektrum FTIR produk amidasi minyak kelapa sawit	35
6. Identifikasi senyawa Lapisan Atas (P-1FA)	39
7. Struktur senyawa nitrogen Lapisan Atas (P-1FA)	40
8. Identifikasi senyawa Lapisan Bawah (P-1FB).....	41
9. Struktur senyawa nitrogen Lapisan Bawah (P-1FB).....	42
10. Identifikasi senyawa P-1Y	43
11. Struktur senyawa nitrogen P-1Y	43
12. Identifikasi senyawa P-1Z.....	44
13. Struktur senyawa nitrogen P-1Z	45
14. Identifikasi senyawa P-2Y	46
15. Struktur senyawa nitrogen P-2Y	47
16. Identifikasi senyawa P-2Z.....	48
17. Struktur senyawa nitrogen P-2Z	49

18. Identifikasi senyawa P-3X	50
19. Struktur senyawa ntirogen P-3X	51
20. Identifikasi senyawa P-3Y	52
21. Struktur senyawa ntirogen P-3Y	52
22. Identifikasi senyawa P-3Z.....	53
23. Struktur senyawa nitrogen P-3Z	54
24. Identifikasi senyawa P-4X	55
25. Struktur senyawa nitrogen P-4X	56
26. Identifikasi senyawa P-4Y	57
27. Struktur senyawa nitrogen P-4Y	57
28. Identifikasi senyawa P-4Z.....	58
29. Struktur senyawa nitrogen P-4Z	59
30. Hasil pengujian inhibitor menggunakan metode <i>wheel test</i>	60
31. Data pengukuran dimensi baja lunak dan perhitungan berat 24 jam	76
32. Data pengukuran dimensi baja lunak dan perhitungan berat 48 jam	76
33. Data pengukuran dimensi baja lunak dan perhitungan berat 72 jam	77
34. Data pengukuran dimensi baja lunak dan perhitungan berat 96 jam	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Mekanisme korosi pada baja.....	8
2. Proses transesterifikasi.....	10
3. Reaksi amidasi.....	14
4. Difraksi sinar-X pada jarak antar atom d dan sinar datang θ	16
5. Difraktogram standar dari zeolit-A.....	16
6. Spektrum FTIR senyawa amida.....	17
7. Hasil GC-MS dietanolamida campuran.....	18
8. Mikrograf zeolit-A.....	19
9. Preparasi dan ekstraksi silika sekam padi (a) sekam padi yang sudah bersih, (b) ekstraksi silika sekam padi, (c) gel silika sebelum dicuci, (d) gel silika yang telah dicuci, (e) silika yang telah dioven, dan (f) serbuk silika.....	27
10. Sintesis zeolit-A (a) larutan natrium silikat, (b) proses melarutkan aluminium foil ke dalam larutan natrium silikat, (c) prekursor zeolit-A yang belum dikalsinasi, dan (d) zeolit-A yang telah dikalsinasi.....	27
11. Difraktogram (a) zeolit-A dan (b) standar zeolit-A (IZA).....	28
12. Mikrograf zeolit-A dengan perbesaran (a) 10.000x dan (b) 20.000x.....	29
13. Hasil transesterifikasi (a) sebelum pencucian dan (b) setelah pencucian.....	30
14. Spektrum FTIR metil ester hasil transesterifikasi minyak kelapa sawit.....	31
15. Kromatogram metil ester minyak kelapa sawit.....	32
16. Spektrum massa metil linoleat.....	33

17. Produk amidasi minyak kelapa sawit.....	34
18. Spektrum FTIR (a) metil ester, dan produk amidasi dengan waktu reaksi 24 jam serta variasi waktu pengadukan, (b) lapisan atas (tanpa pengadukan), (c) lapisan bawah (tanpa pengadukan), (d) 30 menit, dan (e) 60 menit.....	35
19. Spektrum FTIR (a) metil ester, dan produk amidasi dengan waktu reaksi 48 jam serta variasi waktu pengadukan, (b) 30 menit, dan (c) 60 menit.....	36
20. Spektrum FTIR (a) metil ester, dan produk amidasi dengan waktu reaksi 72 jam serta variasi waktu pengadukan, (b) tanpa pengadukan, (c) 30 menit, dan (d) 60 menit.....	37
21. Spektrum FTIR (a) metil ester, dan produk amidasi dengan waktu reaksi 96 jam serta variasi waktu pengadukan, (b) tanpa pengadukan, (c) 30 menit, dan (d) 60 menit.....	38
22. Kromatogram produk amidasi lapisan atas dengan waktu reaksi 24 jam dan tanpa pengadukan.....	39
23. Kromatogram produk amidasi lapisan bawah dengan waktu reaksi 24 jam dan tanpa pengadukan.....	41
24. Kromatogram produk amidasi dengan waktu reaksi 24 jam dan waktu pengadukan 30 menit.....	42
25. Kromatogram produk amidasi dengan waktu reaksi 24 jam dan waktu pengadukan 60 menit.....	44
26. Kromatogram produk amidasi dengan waktu reaksi 48 jam dan waktu pengadukan 30 menit.....	45
27. Kromatogram produk amidasi dengan waktu reaksi 48 jam dan waktu pengadukan 60 menit.....	48
28. Kromatogram produk amidasi dengan waktu reaksi 72 jam dan waktu pengadukan 0 menit.....	50
29. Kromatogram produk amidasi dengan waktu reaksi 72 jam dan waktu pengadukan 30 menit.....	51
30. Kromatogram produk amidasi dengan waktu reaksi 72 jam dan waktu pengadukan 60 menit.....	53
31. Kromatogram produk amidasi dengan waktu reaksi 96 jam dan tanpa pengadukan.....	55

32. Kromatogram produk amidasi dengan waktu reaksi 96 jam dan waktu pengadukan 30 menit 56
33. Kromatogram produk amidasi dengan waktu reaksi 96 jam dan waktu pengadukan 60 menit 58
34. Hasil analisis SEM permukaan baja lunak dengan perbesaran 20.000x (a) tanpa perlakuan, (b) setelah direndam dalam larutan NaCl 3%, (c) penambahan inhibitor P-1Y (d) penambahan inhibitor P-2Y, (e) penambahan inhibitor P3-Y, dan (f) penambahan inhibitor P-4Y. 63
35. Spektrum massa senyawa nitrogen a) tripropilamina, b) N-(3-Butenil)-Dipropilamina, c) N, N-Dibutilbutan-1-amina, d) asam kaprilat monoetanol amida 79
36. Spektrum massa senyawa nitrogen a) 1,9- Diaminononana, b) N-(2-Hidroksietil)etilendiamina, c) N,N-bis(2-Hidroksietil)-glisin, d) N-Butil-1-butanamina 79
37. Spektrum massa senyawa nitrogen a) N-Etil-4-metil-4-dekanamina, b) 3-Asetamido-3-etilheptana, c) N,N-Dibutiletanolamina, d) 4-Metilpiperazin-1-amina 80
38. Spektrum massa senyawa nitrogen a) *Ethyl 6-hydroxyindole-2-carboxylate*, b) N-Metilglukamin, c) N-(2-hidroksietil)-lauramida, d) N-(2-Hidroksietil)dekanamida 80
39. Spektrum massa senyawa nitrogen a) N-(3-Butenil)-Dipropilamina, b) N-Asetil-L-leusin 81

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Baja lunak atau *mild steel* merupakan paduan besi yang banyak digunakan dalam sektor industri minyak dan gas karena memiliki karakteristik yang ideal sebagai bahan konstruksi dan biaya yang relatif murah, tetapi baja jenis ini rentan terhadap korosi. Minyak dan gas alam yang diperoleh mengandung air dan gas korosif seperti hidrogen sulfida (H_2S) dan gas karbon dioksida (CO_2) yang dapat mengakibatkan terjadinya korosi pada pipa (Wang *et al.*, 2018).

Korosi atau pengkaratan merupakan kerusakan yang terjadi pada material logam yang disebabkan oleh reaksi kimia antara material logam tersebut dengan lingkungannya (Ilim dkk., 2007). Proses tersebut akan merusak logam dengan cara mengikis logam tersebut sehingga dapat menurunkan sifat-sifat mekanisnya (Yanuar dkk., 2016). Korosi pada material logam sering terjadi dan tidak dapat dihentikan selama material logam tersebut berada di lingkungan korosif.

Berbagai metode telah dilakukan untuk mencegah terjadinya korosi seperti metode elektrokimia, metode pelapisan (*coating*), dan penggunaan inhibitor korosi (Ilim *et al.*, 2017). Penggunaan inhibitor korosi merupakan salah satu cara yang paling baik karena prosesnya yang sederhana dan ekonomis.

Inhibitor korosi didefinisikan sebagai suatu senyawa kimia yang apabila ditambahkan ke dalam suatu lingkungan dapat mengurangi laju korosi yang terjadi pada lingkungan tersebut terhadap material logam yang ada di dalamnya. Berdasarkan bahan dasar pembuatannya inhibitor terbagi menjadi dua jenis yaitu inhibitor anorganik dan inhibitor organik. Inhibitor anorganik merupakan

inhibitor yang bersifat toksik sehingga dapat membahayakan lingkungan. Oleh karena itu, inhibitor organik banyak digunakan sebagai inhibitor korosi karena memiliki sifat non-toksik, ekonomis, dan mudah didapatkan. Inhibitor organik terbuat dari bahan dasar alami yang mengandung atom nitrogen (N), oksigen (O), fosfor (P), sulfur (S), dan atom-atom yang mempunyai pasangan elektron bebas (Yanuar dkk., 2016).

Bahan yang dapat digunakan sebagai inhibitor korosi organik yaitu minyak kelapa sawit. Minyak kelapa sawit mengandung asam lemak jenuh dan tak jenuh yang seimbang. Komposisi asam lemak yang utama yaitu asam palmitat 40,5%; asam oleat 43,5%; asam linoleat 9,3%; dan asam stearat 5,2%. Untuk kandungan asam lemak jenuh sebesar 46,6% sedangkan asam lemak tak jenuh sebesar 53,4% (Montoya *et al.*, 2014). Minyak kelapa sawit dapat diolah menjadi surfaktan atau alkanolamida yang diperoleh melalui reaksi amidasi dengan cara menambahkan metil ester dari minyak kelapa sawit yang direaksikan dengan dietanolamina sehingga akan membentuk senyawa alkanolamida. Alkanolamida mengandung atom nitrogen yang dapat digunakan sebagai inhibitor korosi. Alkanolamida banyak digunakan sebagai surfaktan karena senyawa ini memiliki dua gugus sekaligus, diantaranya gugus lipofilik (non-polar) dan gugus hidrofilik (polar) yang dapat digunakan untuk mencampurkan suatu senyawa yang memiliki perbedaan kepolaran seperti minyak dan air (Khasanah dkk., 2020).

Pada penelitian Khoeroni (2021), dilaporkan bahwa sintesis alkanolamida dilakukan dengan perbandingan 1:2 (5 mL metil ester dan 10 mL dietanolamina) dengan penambahan 5% katalis zeolit-A menggunakan metode refluks selama 3 jam pada suhu 160 °C. Hasil yang diperoleh dari sintesis alkanolamida tersebut belum mendapatkan kondisi yang optimum karena produk yang diharapkan yaitu alkanolamida masih sangat sedikit dengan relatif jumlah sebesar 1,73% dan persentase tertinggi yaitu dietanolamida sebesar 84,12%. Sedangkan untuk uji aktivasi produk amidasi sebagai inhibitor dilakukan dengan metode *wheel test* menghasilkan efisiensi inhibitorynya sebesar 79,14%.

Pada penelitian ini dilakukan variasi waktu reaksi amidasi dan variasi pengadukan dengan tujuan memperoleh hasil yang optimum untuk konversi metil ester minyak kelapa sawit menjadi senyawa nitrogen dengan bantuan katalis zeolit-A yang disintesis dari silika sekam padi. Zeolit-A hasil sintesis digunakan untuk reaksi transesterifikasi dan reaksi amidasi serta dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)* dan *Scanning Electron Microscopy (SEM)*. Kemudian hasil transesterifikasi minyak kelapa sawit dan reaksi amidasi dengan dietanolamina dikarakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)* dan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)*. Produk amidasi yang diperoleh diuji aktivitasnya sebagai inhibitor korosi dengan metode *wheel test* serta analisis permukaan baja lunak menggunakan *Scanning Electron Microscopy (SEM)*.

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mendapatkan hasil sintesis katalis zeolit-A dari silika sekam padi dan karakterisasinya menggunakan XRD dan SEM.
2. Mendapatkan metil ester dari minyak kelapa sawit menggunakan katalis zeolit-A melalui proses transesterifikasi.
3. Mendapatkan senyawa nitrogen hasil konversi metil ester minyak kelapa sawit melalui reaksi amidasi dan karakterisasinya menggunakan FTIR dan GC-MS
4. Memperoleh data optimum hasil konversi metil ester minyak kelapa sawit menjadi senyawa nitrogen dari variasi waktu dan variasi pengadukan.
5. Memperoleh data optimum dari uji aktivitas senyawa nitrogen sebagai inhibitor korosi pada baja lunak menggunakan metode *wheel test*.

1.3. Manfaat Penelitian

Selanjutnya hasil penelitian yang diperoleh diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu menambah pengetahuan pemanfaatan sekam padi menjadi silika sebagai katalis zeolit-A dan memanfaatkan minyak kelapa sawit sebagai sumber senyawa nitrogen yang digunakan untuk alternatif senyawa inhibitor organik.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Korosi

Korosi (karat) merupakan kerusakan yang terjadi pada material logam yang disebabkan oleh reaksi kimia antara material logam tersebut dengan lingkungannya (Ilim dkk., 2007). Proses korosi pada material dapat menyebabkan turunnya kualitas material logam tersebut. Korosi pada material logam sering terjadi dan tidak dapat dihindari. Korosi atau karat adalah proses yang terjadi secara alami dan tidak dapat dihentikan selama material logam tersebut berada di lingkungan korosif. Proses tersebut akan merusak logam dengan cara mengikis logam tersebut sehingga dapat menurunkan sifat-sifat mekanisnya. Reaksi korosi yang sering terjadi adalah reaksi elektrokimia (Yanuar dkk., 2016).

Penyebab terjadinya korosi pada logam yaitu meningkatnya suhu yang dapat mempercepat laju korosi sehingga apabila suhu tinggi maka energi kinetik partikel akan semakin cepat dan dapat meningkat hingga melebihi energi aktivasi. Kecepatan pengadukan dapat mempengaruhi interaksi antara zat pereaksi dan logam akan semakin besar, ketika ion-ion logam tersebut semakin banyak yang dilepas akibatnya logam tersebut akan menjadi rapuh. Konsentrasi bahan korosif dapat berkaitan dengan keasaman atau kebasaan suatu larutan logam, pada lingkungan yang asam korosi akan semakin cepat begitupun larutan basa juga dapat terkena korosi. Larutan elektrolit adalah salah satu penyebab terjadinya korosi dalam lingkungan air, untuk menghambatan proses korosi tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan metode pelapisan atau *coating* (Miranda, 2020).

2.2. Baja Lunak

Baja merupakan logam paduan dengan unsur dasar besi dan unsur karbon sebagai panduan utama. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0,2% - 2,1% berat sesuai dengan tingkatannya. Unsur karbon dalam baja memiliki fungsi sebagai unsur penguat dengan mencegah dislokasi bergeser pada kisi kristal atom besi. Selain itu baja juga mengandung unsur lain seperti sulfur, fosfor, silikon, mangan, krom, vanadium, dan sebagainya (Arifin dkk., 2017). Menurut Nanulaitta dan Lillipaly (2012) berdasarkan kandungan unsur karbon, baja terbagi menjadi tiga macam yaitu:

1. Baja karbon rendah merupakan logam dengan campuran baja karbon kurang dari 0,3%. Baja karbon ini tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk unsur martensit.
2. Baja karbon sedang merupakan logam dengan kandungan karbon 0,3% - 0,6%. Baja karbon ini memungkinkan untuk dikeraskan sebagian dengan pemanasan atau *heat treatment* yang sesuai. Baja karbon sedang memiliki kekerasan yang lebih keras serta lebih kuat dibandingkan dengan baja karbon rendah.
3. Baja karbon tinggi merupakan logam dengan kandungan karbon 0,6 - 1,5% dan memiliki kekerasan yang tinggi namun keuletannya lebih rendah dan penguatan dengan perlakuan panas pada baja karbon tinggi tidak dapat memberikan hasil yang optimal karena terlalu banyak martensit sehingga membuat baja menjadi getas.

Penelitian ini menggunakan baja lunak (*mild steel*) yang termasuk dalam baja karbon rendah yang digunakan untuk menguji kemampuan inhibitor korosi pada permukaan baja.

2.3. Korosi CO₂

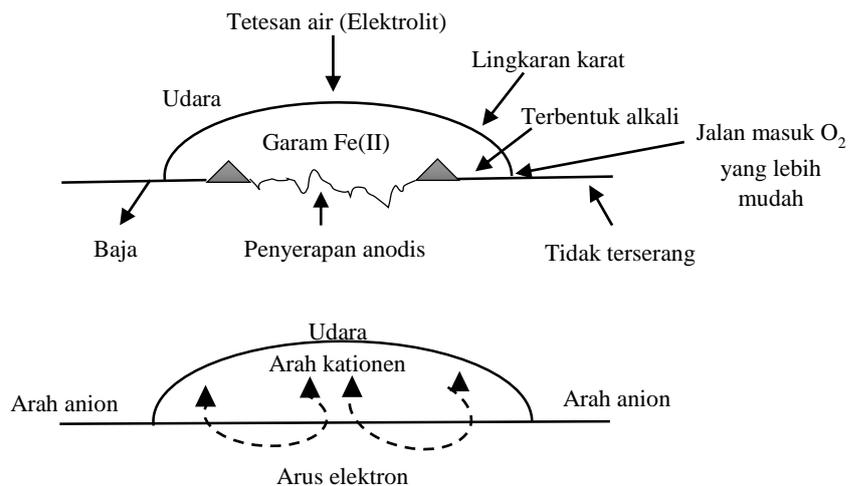
Ditinjau dari ekonomi, pada industri minyak dan gas kerusakan yang sering terjadi disebabkan karena adanya korosi CO₂ yang terjadi pada material baja karbon rendah serta paduan rendah. Pada industri pengolahan gas alam, gas CO₂ adalah

gas yang banyak terkandung di dalamnya, baik yang berasal dari sumur produksi maupun dari hasil pengolahan. Kandungan gas CO₂ dalam gas alam tidak terlalu berbahaya bagi material penyalur. Tetapi, dengan adanya interaksi gas CO₂ dengan fasa liquid dapat mengakibatkan terjadinya korosi internal di material atau disebut sebagai korosi CO₂. Korosi CO₂ merupakan suatu permasalahan yang banyak dijumpai di industri pengolahan gas alam terutama pada proses eksplorasi dan penyaluran gas alam yang menggunakan pipa baja karbon pada lingkungan gas alam yaitu terjadinya kebocoran akibat pengaruh adanya gas karbon dioksida yang terlarut pada media air yang bersifat korosif (Suryaningsih dkk., 2015).

Korosi karbon dioksida (CO₂) biasanya terjadi ditandai dengan terbentuknya asam karbonat (H₂CO₃) kemudian akan bereaksi dengan baja (Sari dan Dwiwati, 2015). Asam karbonat (H₂CO₃) adalah asam lemah, dengan kata lain bahwa korosi karbon dioksida adalah korosi yang terjadi karena adanya asam lemah. Reaksi korosi tersebut akan menghasilkan produk korosi berupa FeCO₃. Produk tersebut akan mengendap pada bagian atas material sehingga dapat mencegah terjadinya korosi lanjutan karena material akan dihalangi oleh lapisan tersebut untuk kontak dengan lingkungan (Suyaningsih dkk., 2015). Berikut reaksi pembentukan korosi berupa FeCO₃ yang dapat dilihat pada Persamaan 4, 5, dan 6:

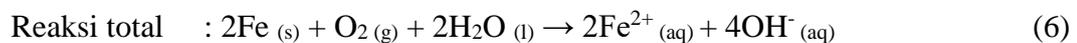
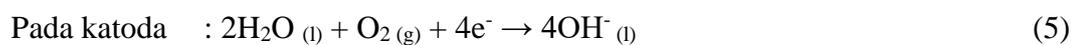
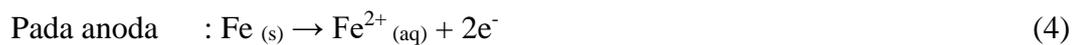


Proses terbentuknya korosi dapat dijelaskan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Mekanisme korosi pada baja (Nugroho, 2015).

Reaksi-reaksi elektrokimiawi terjadi dalam lingkungan netral dapat dilihat pada Persamaan 4, 5, dan 6:



Sejumlah inhibitor dapat menghambat korosi melalui cara adsorpsi untuk membentuk suatu lapisan tipis yang tidak nampak dengan ketebalan beberapa molekul saja, ada pula yang karena pengaruh lingkungan membentuk endapan yang nampak dan melindungi logam dari serangan yang mengkorosi logamnya dan menghasilkan produk yang membentuk lapisan pasif, dan ada pula yang menghilangkan konstituen yang agresif (Nugroho, 2015).

2.4. Inhibitor Korosi

Inhibitor korosi adalah suatu zat kimia yang apabila ditambahkan ke dalam suatu lingkungan, dapat menurunkan laju korosi yang terjadi pada lingkungan tersebut terhadap suatu logam didalamnya. Menurut bahan dasar pembuatannya inhibitor korosi dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu inhibitor yang terbuat dari bahan anorganik dan organik. Inhibitor korosi organik yaitu inhibitor korosi yang

berasal dari bahan alami yang tersedia di alam. Inhibitor organik selain dapat menghambat laju korosi. Inhibitor alami memiliki sifat non-toksik, murah, mudah didapatkan dan dapat diperbaharui (Yanuar dkk., 2016). Inhibitor organik pada umumnya berasal dari ekstrak bahan alami yang mengandung atom N, O, P, S dan atom-atom yang mempunyai pasangan elektron bebas. Inhibitor anorganik yang saat ini biasa digunakan adalah sodium nitrit, kromat, fosfat, dan garam seng (Nugroho, 2015).

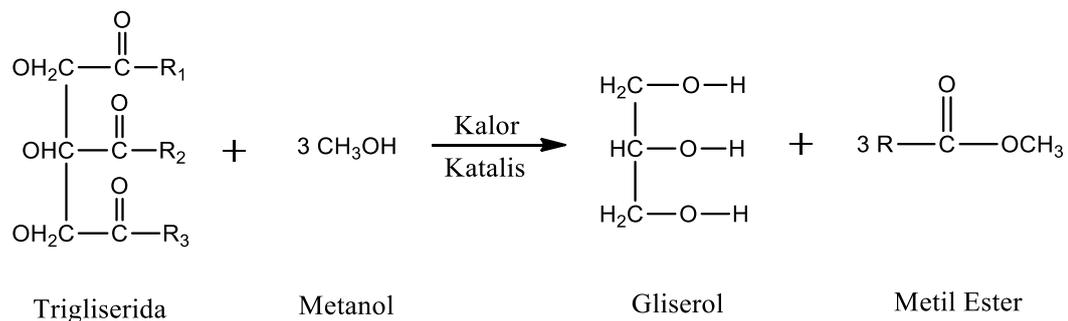
Berdasarkan mekanisme proteksinya, ada tiga jenis inhibitor korosi. Pertama, inhibitor yang bekerja dengan cara mempolarisasi potensial korosi pada daerah anodik disebut inhibitor anodik. Inhibitor anodik memproteksi dengan membentuk film pada permukaan logam untuk mengurangi laju korosi. Contoh inhibitor anodik adalah kromat, nitrat, molibdat, dan tungstat. Kedua, inhibitor katodik yaitu inhibitor yang bekerja dengan cara mempolarisasi potensial korosi ke daerah katodik. Inhibitor ini membatasi spesimen korosif melalui proses difusi. Ketiga adalah inhibitor korosi yang bekerja dengan menggabungkan mekanisme anodik dan katodik. Inhibitor korosi juga dapat diklasifikasikan berdasarkan bahan kimia atau alami dan organik atau anorganik. Umumnya inhibitor anorganik memiliki mekanisme polarisasi katodik dan anodik. Sementara inhibitor organik bekerja dengan mekanisme penyerapan untuk membentuk film pada permukaan logam (Asmara *et al.*, 2018)

2.5. Senyawa Nitrogen

Senyawa nitrogen merupakan senyawa organik alami yang dapat digunakan sebagai inhibitor korosi karena memiliki sifat yang tidak teroksidasi, anti korosi, dan stabilitas termal yang tinggi. Senyawa nitrogen dapat diperoleh melalui reaksi amidasi menggunakan metode hidrotermal yang dilakukan dengan mereaksi metil ester minyak kelapa sawit dengan dietanolamina serta bantuan katalis zeolit-A. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Ilim *et al.* (2022) diketahui bahwa senyawa nitrogen yang diperoleh dari reaksi amidasi sebesar 53,54%.

2.6. Transesterifikasi

Proses transesterifikasi merupakan suatu proses atau suatu reaksi kimia yang terjadi karena adanya penggantian dari gugus gliserol (gliserin) dalam suatu gugus trigliserida (minyak nabati) dengan molekul monoalkohol (metanol). Reaksi tersebut terjadi karena pencampuran minyak nabati dengan larutan NaOH ke dalam metanol, sehingga akan menghasilkan produk berupa metil ester atau biodiesel dan produk sampingnya berupa gliserin (Andalia dan Pratiwi, 2018). Pada proses transesterifikasi metanol akan mudah bereaksi dengan asam lemak bebas dibandingkan dengan asam lemak di dalam trigliserida, sehingga penambahan katalis perlu dilakukan untuk mempercepat reaksi pembentukan (Hutami dan Ayu, 2017). Katalis yang sering digunakan dalam proses transesterifikasi yaitu alkali, enzim, atau katalis basa berupa KOH dan NaOH, serta katalis asam berupa HCl dan H₂SO₄ (Andalia dan Pratiwi, 2018). Proses terjadinya reaksi transesterifikasi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Proses transesterifikasi (Andalia dan Pratiwi, 2018)

Proses reaksi transesterifikasi berlangsung dengan sangat lambat, maka perlu ditambahkan katalis yang digunakan untuk mempercepat reaksi sehingga dapat menghasilkan produk yang baik.

2.7. Minyak Kelapa Sawit

Kelapa sawit (*Elaeis guinensis*) dari famili palmae merupakan salah satu sumber minyak nabati. Potensi kelapa sawit di Indonesia sangat besar, penyebaran perkebunan kelapa sawit di Indonesia saat ini sudah berkembang di 22

provinsi. Tanaman kelapa sawit memiliki banyak kegunaan. Hasil tanaman ini dapat digunakan pada industri pangan dan non pangan (Dianto dkk., 2017). Minyak kelapa sawit mengandung senyawa antioksidan seperti betakaroten, tokoferol dan tokotrienol. Minyak kelapa sawit memiliki tiga asam lemak yang dominan yaitu asam palmitat, asam oleat, dan asam linoleat. Komposisi minyak kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi asam lemak minyak kelapa sawit (Taufik dan Seftiono., 2018).

Asam Lemak	Rumus Molekul	Komposisi (%)
Kaprilat	$C_8H_{16}O_2$	0,02
Laurat	$C_{12}H_{24}O_2$	0,17
Miristat	$C_{14}H_{28}O_2$	0,92
Palmitat	$C_{16}H_{32}O_2$	37,71
Stearat	$C_{18}H_{36}O_2$	3,76
Arakidat	$C_{20}H_{40}O_2$	0,31
Palmitoleat	$C_{16}H_{30}O_2$	0,14
Oleat	$C_{18}H_{34}O_2$	42,56
Linoleat	$C_{18}H_{32}O_2$	13,59
α -Linolenat	$C_{18}H_{30}O_2$	0,27

Asam lemak jenuh hanya memiliki ikatan tunggal diantara atom-atom karbon penyusunnya, sedangkan asam lemak tak jenuh mempunyai paling sedikit satu ikatan rangkap diantara atom-atom karbon penyusunnya. Asam lemak jenuh bersifat lebih stabil (Almatsier, 2001). Selain kaya akan tokoferol, minyak kelapa sawit memiliki jumlah asam lemak tak jenuh dan asam lemak jenuh yang seimbang. Lemak dengan kandungan asam lemak jenuh yang tinggi lebih sulit membentuk emulsi daripada lemak yang mengandung asam lemak dengan satu atau dua ikatan rangkap dengan jumlah atom karbon yang sama. Lemak yang mengandung asam lemak jenuh dengan rantai yang lebih pendek akan lebih mudah membentuk emulsi daripada lemak dengan asam lemak jenuh rantai panjang (Widhiastuti, 2011).

Minyak kelapa sawit tersusun dari unsur-unsur C, H, dan O. Minyak kelapa sawit mengandung asam lemak dalam jumlah cukup banyak dan asam lemak tersebut berikatan dengan gliserol membentuk trigliserida. Menurut Morad *et al.* (2006) komponen trigliserida dalam minyak kelapa sawit kasar mencapai 95%. Rantai

asam lemak yang terdapat pada trigliserida minyak kelapa sawit dapat bervariasi jumlah atom karbon dan strukturnya (adanya ikatan rangkap seperti ketidakjenuhan). Variasi struktur dan jumlah karbon pada rantai asam lemak menggambarkan sifat fisik dan kimia minyak kelapa sawit. Menurut Winarno (1999) trigliserida minyak kelapa sawit seperti trigliserida alami pada umumnya, mengandung asam lemak jenuh pada posisi 1 dan/atau 3 serta asam lemak tidak jenuh pada posisi 2, namun ada juga beberapa trigliserida yang ketiga asam lemak penyusunnya asam lemak jenuh (Silvana dan Vera, 2018).

2.8. Katalis

Katalis merupakan suatu zat yang dapat digunakan untuk mempercepat reaksi, menghasilkan produk tertentu, dan meminimalisir hasil produk samping (Mardwita dkk., 2021). Katalis terbagi menjadi dua yaitu katalis homogen dan heterogen, kedua katalis tersebut dapat digunakan untuk mengkatalis reaksi melalui situs aktif asam maupun basa pada katalis. Katalis homogen lebih sulit untuk dipisahkan dari produk hasil reaksi dibandingkan dengan katalis heterogen dan katalis homogen tidak dapat digunakan secara berulang-ulang. Sehingga katalis heterogen dapat menjadi alternatif pengganti katalis homogen, selain itu katalis heterogen pada saat ini telah banyak digunakan dalam reaksi transesterifikasi seperti zeolit dan alumina (Zhang *et al.*, 2006).

Zeolit adalah suatu kristal alumina silikat yang mengandung alkali tanah yang berbentuk tiga dimensi, yang memiliki sifat asam dan merupakan mineral berpori. Zeolit memiliki rumus molekul empiris yaitu $M_2n(Al_2O_3 \cdot ySiO_2) \cdot wH_2O$ dimana M merupakan kation alkali tanah atau alkali, n merupakan valensi logam alkali dan x, y merupakan bilangan tertentu. Satu zeolit memiliki 3 komponen antara lain kation yang dapat dipertukarkan, kerangka alumina silikat dan kandungan air (Atikah, 2017). Kristal zeolit terdiri dari SiO_2 dan $[AlO_4]^-$ yang masing-masing strukturnya berbentuk tetrahedral yang kemudian akan bergabung membentuk kerangka dengan terhubung satu sama lain dengan atom pengikatnya yaitu atom O (Molar dkk., 2018). Zeolit A merupakan suatu zeolit yang berbentuk sintetik

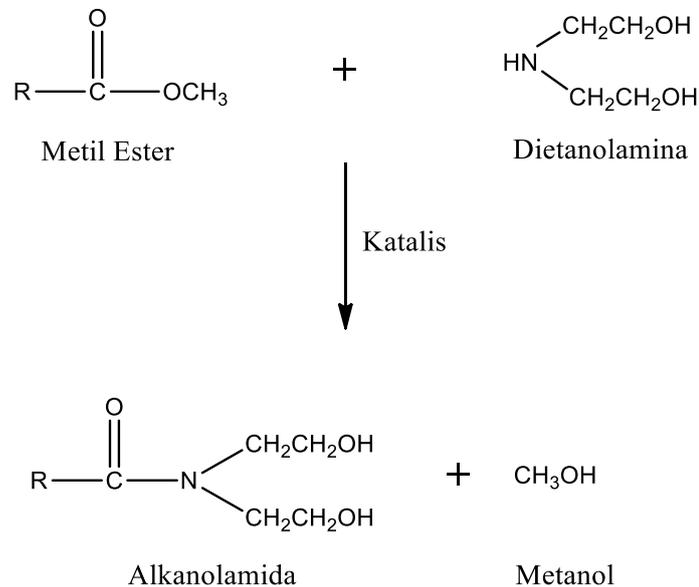
yang digunakan sebagai katalis serta adsorben di dalam bidang industri. Zeolit ini umumnya dapat disintesis dengan kondisi hidrotermal yang berbahan dasar gel reaktif di dalam media alkali pada suhu 80-200°C (Wuntu dan Tangkuman, 2008).

Dalam proses pembentukannya sintesis zeolit-A dilakukan pada suhu optimum sebesar 100 °C. Zeolit alam yang disintesis dengan bahan kimia memiliki harga yang relatif murah dibandingkan dengan zeolit-A. Bahan baku pembuatan sintesis zeolit-A yaitu silika dan alumina, yang dapat diperoleh dengan memanfaatkan limbah yang ada industri dan bahan alam seperti limbah tebu, sekam padi, abu batu bara maupun zeolit alam (Wang *et al.*, 2008). Sintesis zeolit-A dari sekam padi dapat dilakukan dengan cara mencampurkan silika sekam padi dengan logam aluminium yang kemudian dikalsinasi sehingga diperoleh katalis (Simanjuntak *et al.*, 2019).

2.9. Reaksi Amidasi

Amidasi merupakan turunan dari asam karboksilat dan sekaligus senyawa organik yang memiliki nitrogen trivalen yang mengikat gugus. Alkanolamida merupakan senyawa amida yang dapat menurunkan tegangan permukaan (surfaktan) yang memiliki suatu gugus hidrofilik dan gugus hidrofobik. Reaksi amidasi yaitu suatu reaksi yang dihasilkan dari alkanolamina dengan asam lemak minyak nabati atau metil ester. Ketika asam lemak rantai panjang seperti asam laurat dan asam stearat dicampurkan dengan alkanolamina dan dipanaskan dengan suhu 140-160 °C, dengan atau tanpa adanya katalis maka akan menghasilkan reaksi amidasi (Ariningsih dkk., 2016). Katalis dalam reaksi amidasi berfungsi untuk menurunkan energi aktivasi sehingga dapat mempercepat reaksi, maka konsentrasi katalis perlu diperhatikan apabila konsentrasi katalis terlalu rendah maka reaksi yang terjadi akan berlangsung secara lambat, hal tersebut dapat terjadi dikarenakan kemampuan katalis dalam memutuskan ikatan pada metil ester yang akan bereaksi dengan dietanolamina juga akan berkurang. Penelitian ini dilakukan reaksi amidasi dengan mereaksikan metil ester dari minyak kelapa

sawit dengan menambahkan alkanolamina sekunder berupa dietanolamina dengan bantuan katalis seperti zeolit-A. Reaksi amidasi dapat dilihat pada Gambar 3.



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

2.10. Uji Aktivitas

2.10.1. Metode Kehilangan Berat (*Wheel Test*)

Laju korosi merupakan kecepatan penurunan kualitas suatu material terhadap waktu. Laju korosi dapat dihitung dengan metode kehilangan berat atau metode elektrokimia. Metode kehilangan berat merupakan metode yang digunakan untuk menghitung banyaknya material yang hilang setelah dilakukannya proses pencelupan. Dalam metode ini semakin besar laju korosi suatu material maka akan semakin cepat material tersebut mengalami korosi. Kehilangan berat dapat ditentukan menggunakan Persamaan 7 dan untuk menghitung laju korosi dapat ditentukan menggunakan Persamaan 8 .

$$W = W_2 - W_1 \quad (7)$$

$$\text{CR (mm/th)} = \frac{10 \times W \times 365}{A \times D \times t} \quad (8)$$

Dimana W adalah berat yang hilang (g), W_1 adalah berat awal, W_2 adalah berat akhir, CR adalah laju korosi (mm/th), A adalah luas penampang (cm^2), D adalah densitas (gcm^{-3}), dan t adalah waktu (hari). Efisiensi inhibisi suatu inhibitor dalam menghambat laju korosi dapat ditentukan menggunakan Persamaan 9.

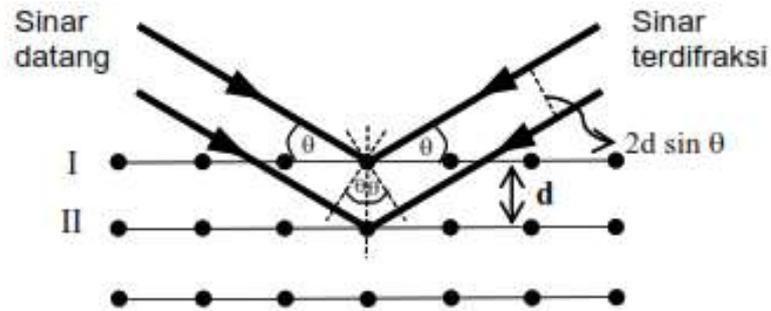
$$\%P = \frac{CR_0 - CR_i}{CR_0} \times 100\% \quad (9)$$

Dimana $\%P$ adalah persen proteksi, CR_0 adalah laju korosi tanpa inhibitor, dan CR_i adalah laju korosi dengan inhibitor (Tampubolon dkk., 2020).

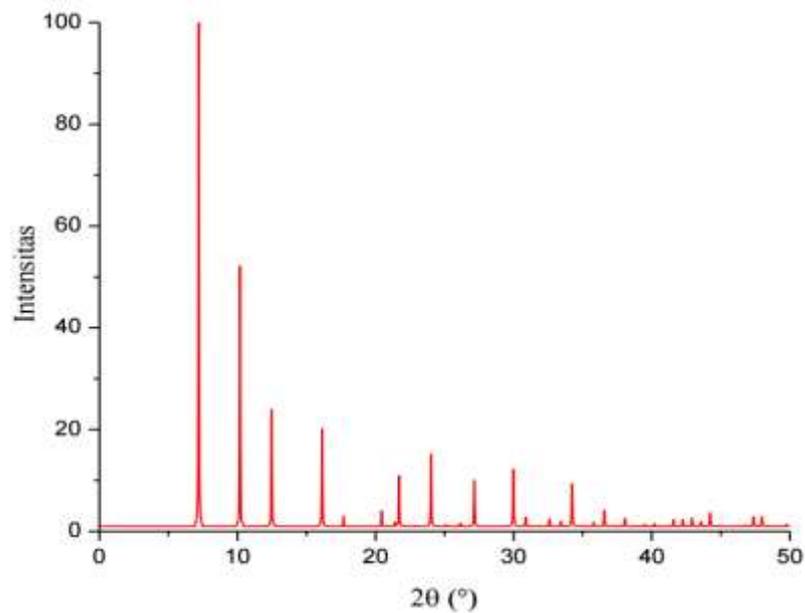
2.11. Karakterisasi

2.11.1. X-Ray Diffraction (XRD)

X-Ray Diffraction adalah salah satu metode yang biasanya digunakan untuk mengetahui struktur berupa kristal, perubahan fase dan derajat kristalinitas. Analisis menggunakan XRD oleh atom-atom yang tersusun di dalam kristal dapat membentuk pola yang berbeda, tergantung pada konfigurasi yang dihasilkan oleh atom-atom di dalam kristal. XRD memiliki prinsip yang didasarkan pada difraksi sinar-X, hamburan cahaya dengan panjang gelombang λ saat melewati kisi kristal dengan sudut datang θ dan jarak antar bidang kristal yang ditandai dengan besarnya d . Metode karakterisasi menggunakan XRD dapat diperoleh data berupa sudut hamburan atau dapat disebut juga sudut Bragg serta intensitasnya. Sudut difraksi bergantung pada lebar celah dari kisi, sehingga dapat mempengaruhi pola difraksi, sedangkan intensitas cahaya difraksi bergantung pada berapa banyak kisi kristal yang memiliki orientasi yang sama, hal tersebut didasarkan pada teori difraksi (Alfarisa dkk., 2018). Proses XRD dan difraktogram zeolit-A dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Difraksi sinar-X pada jarak antar atom d dan sinar datang θ (Alfarisa dkk., 2018).



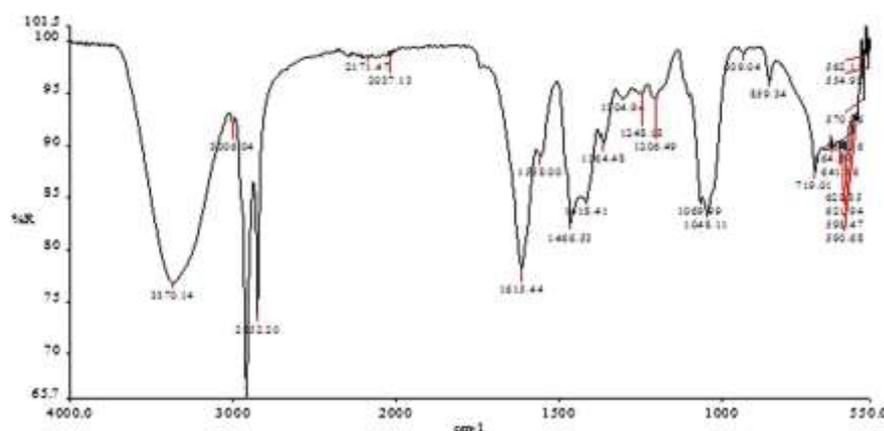
Gambar 5. Difraktogram standar dari zeolit-A (*Structure Commission of the International Zeolite Association, 2017*).

Gambar 5 menunjukkan bahwa hasil karakterisasi XRD zeolit-A mempunyai puncak-puncak yang karakteristik pada 2θ yaitu $7,194^\circ$; $10,181^\circ$; $12,477^\circ$; $16,129^\circ$; dan $24,020^\circ$.

2.11.2. Spektroskopi *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

Spektroskopi *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) adalah metode instrumentasi yang sederhana, teknik analisis yang cepat, tepat dan ramah lingkungan yang memiliki keunggulan untuk membedakan spektrum antara dua sampel.

Keuntungan dari teknik analisis spektroskopi FTIR adalah metode analisis yang cepat dikarenakan dapat dilakukan secara langsung pada sampel tanpa adanya pemisahan (Chadijah dkk., 2019). Metode FTIR dapat didefinisikan juga sebagai metode yang bebas reagen, tanpa menggunakan radioaktif dan dapat mengukur kadar hormon secara kualitatif maupun kuantitatif. FTIR memiliki prinsip dapat mengenali suatu gugus fungsi dalam suatu senyawa dari absorbansi inframerah yang dilakukan terhadap senyawa tersebut. Penyerapan pola absorbansi oleh senyawa akan berbeda-beda, oleh karena itu senyawa tersebut dapat dibedakan serta dikuantifikasikan (Sjahfirdi dkk., 2015). Hasil analisis senyawa alkanolamida dengan menggunakan FTIR yang dapat dilihat pada Gambar 6.

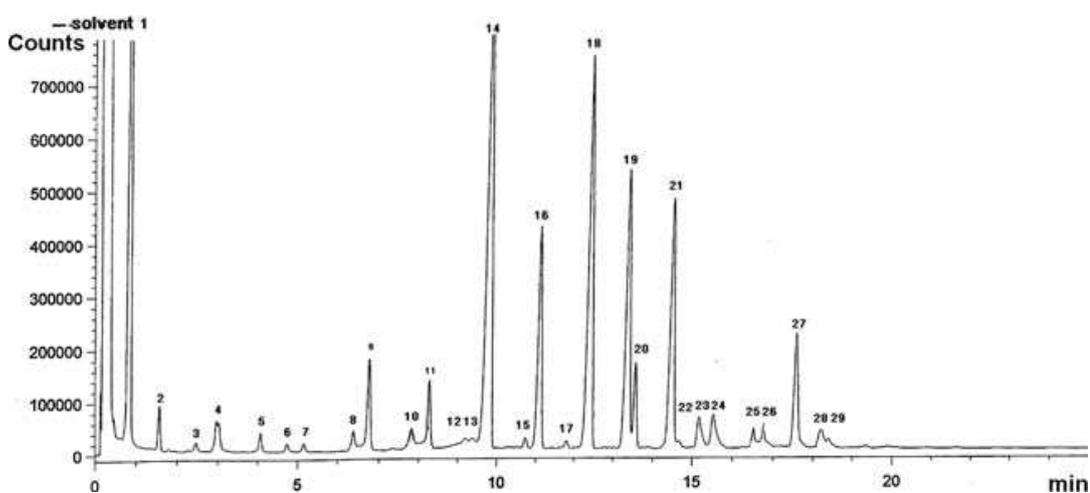


Gambar 6. Spektrum FTIR senyawa amida (Surya *et al.*, 2013).

Gambar 6 menunjukkan adanya bilangan gelombang dari gugus fungsi amida yaitu pita yang paling besar berada di bilangan gelombang 3370 cm^{-1} adalah bentangan O–H dari etanol, C–H membentang di atas dan di bawah 3000 cm^{-1} menunjukkan bagian jenuh dan tak jenuh yang berada di dalam molekul. Pada 1364 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus metil (CH_3) yang terikat pada atom karbon. Pada 719 cm^{-1} berarti ada lebih dari 4 atom metilen (CH_2) dalam molekul. Peregangan C=O adalah pada 1615 cm^{-1} , dan peregangan amida C–N pada 1248 cm^{-1} (Surya *et al.*, 2013).

2.11.3. Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)

Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) merupakan metode analisis kimia penggabungan antara pemisahan fisik menggunakan kromatografi gas dan deteksi massa molekul dengan spektrometri massa. GC-MS memiliki keunggulan yaitu spesifisitas dan sensitivitas dalam pengukuran yang diperoleh sangat tinggi dibandingkan dengan metode kimia lainnya. Kromatografi gas dapat dipadukan dengan spektroskopi massa, yang berfungsi sebagai pemisah senyawa dari sampelnya (Chadijah dkk., 2019). Kromatografi gas digunakan untuk mencari senyawa yang mudah menguap pada keadaan vakum tinggi dan tekanan yang rendah jika dalam keadaan dipanaskan. Sedangkan spektrometri massa digunakan untuk menentukan massa molekul, rumus molekul, dan dapat menghasilkan molekul yang bermuatan (Hotmian dkk., 2021). Hasil GC-MS dari dietanolamida campuran dapat dilihat pada Gambar 7.

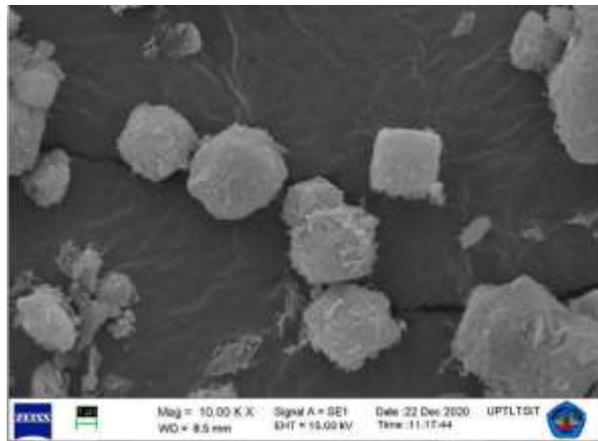


Gambar 7. Hasil GC-MS dietanolamida campuran (Lee *et al.*, 2007)

Gambar 7 menunjukkan bahwa dietanolamida yang diperoleh sebesar 64,30% dengan produk samping gliserol sebesar 21,76%, asam lemak sebesar 2,23%, monogliserida 0,85%, digliserida sebesar 5,85%, senyawa yang tidak diketahui sebesar 4,22%, dan dietanolamida berlebih sebesar 0,79% (Lee *et al.*, 2007).

2.11.4. Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah jenis mikroskop elektron yang dapat menghasilkan resolusi tinggi dari gambaran permukaan suatu material. SEM memiliki prinsip kerja yaitu memanfaatkan hamburan elektron yang timbul pada permukaan objek dan mengambil gambar dengan cara mendeteksi elektron yang timbul. Analisis dengan SEM digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan pada suatu sampel (Septiano dkk., 2021). Analisis SEM zeolit-A yang memiliki karakteristik berupa struktur kristal yang berbentuk kubus dengan parameter kisi sebesar $12,32 \text{ \AA}$ yang dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Mikrograf zeolit-A (Simanjuntak *et al.*, 2021).

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini telah dilakukan pada Oktober 2022 – Mei 2023 di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Universitas Lampung. Karakterisasi zeolit-A menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dilaksanakan di Laboratorium Kimia, Institut Teknologi Sepuluh November (ITS). Karakterisasi untuk mengidentifikasi senyawa kimia menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) produk transesterifikasi dan amidasi dilaksanakan di Laboratorium Kimia Organik FMIPA Universitas Gadjah Mada (UGM). Analisis gugus fungsi menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) produk transesterifikasi dan amidasi dan analisis morfologi permukaan katalis zeolit-A dan baja lunak menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dilaksanakan di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) FMIPA Universitas Lampung. Pengujian aktivitas inhibitor korosi menggunakan metode *Weight Loss (Wheel Test)* dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Universitas Lampung.

3.2. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam melakukan penelitian ini adalah; *Fourier Transform Infrared* (FTIR) merk Cary 630 Agilent, *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) merk QP 2010, *X-Ray Diffraction* (XRD) merk PANalytical tipe Empyrean, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) merk Zeiss

Evo® MA 10, *hot plate stirrer*, oven, *autoclave*, *furnace*, labu bundar, corong pisah, termometer, saringan mesh, mikropipet, jangka sorong, neraca analitik, gelas kimia, spatula, labu ukur, alat refluks, dan *water bath*.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah; minyak kelapa kelapa sawit, NaOH, HNO₃, NaCl, NaHCO₃, SnCl₂, Sb₂O₃, HCl pekat, metanol, aseton, dietanolamin, CO₂, baja lunak, aluminium foil, indikator pH, akuades, kertas saring, sekam padi, dan amplas grit (200, 400, 600, 800, 1000, dan 1200).

3.3. Prosedur Penelitian

3.3.1. Preparasi Sekam Padi dan Ekstraksi Silika

Preparasi sekam padi dan ekstraksi silika dilakukan sesuai dengan yang telah dilakukan oleh Pandiangan *et al.* (2017). Sekam padi dipreparasi dengan cara terlebih dahulu diayak, direndam dengan air, sekam padi yang mengapung dibuang dan sekam padi yang tenggelam dikumpulkan lalu diulangi sampai air rendaman bersih kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari.

Metode ekstraksi silika sekam padi yang digunakan adalah metode sol gel. Sekam padi yang telah dipreparasi kemudian ditimbang sebanyak 50 g kemudian dipanaskan dengan NaOH 1,5% sebanyak 500 mL selama 30 menit setelah mendidih, didinginkan pada suhu kamar, dan kemudian didiamkan selama 24 jam. Filtrat yang telah didapat dari hasil ekstraksi sekam padi digelkan dengan menambahkan larutan HNO₃ 10% secara perlahan hingga keadaan pH nya sekitar 7-8. Kemudian didiamkan selama 24 jam. Gel silika yang terbentuk dicuci menggunakan air panas dan disaring. Hasil silika yang diperoleh kemudian di oven dengan suhu 100 °C hingga kering, kemudian dihaluskan dan diayak menggunakan saringan mesh 200 nm hingga terbentuk serbuk berwarna putih.

3.3.2. Sintesis Zeolit-A

Sintesis zeolit-A dilakukan sesuai dengan yang telah dilakukan oleh Pandiangan *et al.* (2017). Sebanyak 20 g NaOH dilarutkan ke dalam 250 mL akuades dan ditambahkan 30 g silika kemudian *distirrer* selama 3 jam pada suhu 70°C dan disaring menggunakan kertas saring. Kemudian filtrat yang diperoleh didiamkan selama 24 jam. Na-silikat yang telah terbentuk ditambahkan dengan 13,5 g potongan alumunium foil, *distirrer* selama 3 jam, dan didiamkan selama 24 jam, kemudian dimasukkan ke dalam *autoclave* dan dioven pada suhu 100 °C selama 96 jam lalu dicuci dengan akuades hingga pH 7-8 dan dikeringkan pada suhu 100 °C untuk digunakan sebagai prekursor zeolit-A. Bubuk prekursor zeolit-A yang diperoleh di kalsinasi dalam *furnace* selama 6 jam pada suhu 550 °C. Kemudian dikarakterisasi dengan XRD dan SEM untuk membuktikan bahwa zeolit-A yang diperoleh sudah sesuai dengan yang diharapkan, sehingga dapat digunakan dalam prosedur transesterifikasi dan amidasi.

3.3.3. Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit

Transesterifikasi minyak kelapa sawit dilakukan dengan menggunakan metode yang telah dilakukan oleh Pandiangan *et al.* (2017). Sebanyak 25 mL minyak kelapa sawit, 100 mL metanol, 2,5 g zeolit-A dimasukkan ke dalam labu bundar 250 mL dan diaduk dengan pengaduk magnet. Campuran tersebut kemudian direfluks pada suhu 70°C selama 6 jam. Hasil refluks kemudian disaring menggunakan kertas saring yang diletakkan pada corong pisah dan didiamkan semalaman untuk melihat lapisan yang terbentuk. Jika yang terbentuk 2 lapisan maka, lapisan atas merupakan metil ester dan lapisan bawah merupakan gliserol. Metil ester yang diperoleh kemudian dikarakterisasi dengan FTIR dan GC-MS yang digunakan untuk prosedur selanjutnya.

3.3.4. Amidasi dengan Dietanolamina

Metil ester yang diperoleh sebelumnya dicampurkan dengan dietanolamin dengan rasio metil ester dan dietanolamina 1:1, lalu dimasukkan dalam *autoclave* dengan

menambahkan katalis zeolit-A dan dioven pada suhu 100°C dengan variasi waktu 24, 48, 72, dan 96 jam dan variasi pengadukan yaitu tanpa pengadukan, pengadukan 30 menit, dan pengadukan 60 menit. Hasil campuran lalu didinginkan hingga mencapai suhu ruang, lalu disaring dengan kertas saring ke dalam corong pisah untuk memisahkan katalis dari produk yang dihasilkan, dan didiamkan 24 jam untuk memisahkan antara senyawa nitrogen yang dihasilkan dengan metil ester yang tersisa. Senyawa yang diperoleh dikarakterisasi dengan FTIR dan GC-MS, selanjutnya akan digunakan sebagai senyawa inhibitor korosi.

3.3.5. Persiapan Sampel Baja Lunak

Baja lunak dipotong dengan ukuran 2×1 cm, kemudian diampas dengan kertas ampas dengan grit 60, 80, 100, 220, 400, 600, 800, 1000, dan 1200. Setelah permukaan baja lunak rata selanjutnya dibersihkan dengan akuades lalu dibilas dengan etanol kemudian diukur dimensinya dan ditimbang massanya.

3.3.6. Pembuatan Larutan

a. Pembuatan Medium Korosif

Medium korosif yang digunakan yaitu air garam 3% (w/v) yang dibuat dengan melarutkan 30 g kristal NaCl dan 0,1 g NaHCO_3 dalam labu takar 1000 mL, kemudian ditambahkan akuades hingga tanda tera dan dihomogenkan. Larutan tersebut kemudian dijenuhkan dengan gas CO_2 pada tekanan atmosfer dengan kecepatan 150-200 mL/menit. Larutan inhibitor dengan konsentrasi 15.000 ppm dibuat dengan melarutkan inhibitor (senyawa nitrogen) dalam metanol.

b Pembuatan Larutan *Clarke's*

Larutan *Clarke's* dibuat dengan melarutkan 5 g SnCl_2 dan 2 g Sb_2O_3 dalam 100 mL HCl pekat (Ilim *et al.*, 2021).

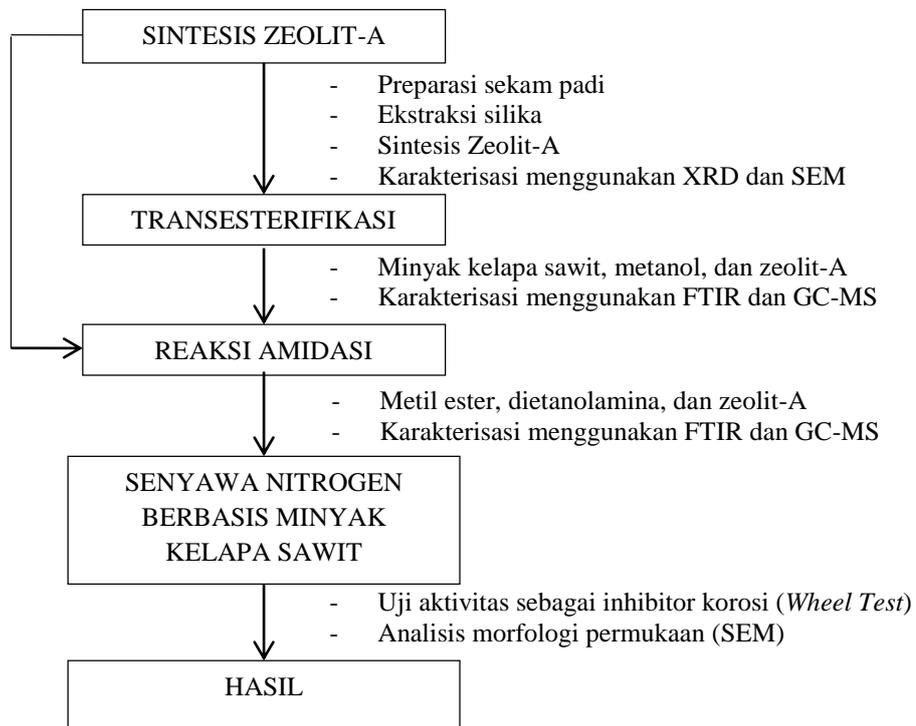
3.3.7. Penentuan Laju Korosi dengan Metode Kehilangan Berat (*Wheel Test*)

Penentuan laju korosi dengan metode kehilangan massa dilakukan dengan cara dimasukkan larutan NaCl 3% sebanyak 175 mL ke dalam botol duran 250 mL kemudian dialiri gas CO₂ selama 45 menit dan ditambahkan larutan inhibitor sebanyak 1,75 mL dengan konsentrasi 150 ppm ke dalam botol menggunakan mikropipet. Baja lunak yang telah diketahui ukurannya dimasukkan ke dalam botol. Aliran gas CO₂ dihentikan dan botol langsung ditutup dengan hati-hati dengan memastikan tidak ada kontaminan oksigen kemudian botol-botol ditempatkan pada suhu ruang selama 24 jam. Kemudian kupon dikeluarkan dan dibersihkan dengan *Clarke's solution* selama 45 detik. Setelah itu dicuci dengan akuades dan dibilas dengan metanol. Kupon yang telah kering ditimbang dengan neraca analitik

3.3.8. Analisis SEM

Baja lunak hasil pengukuran menggunakan metode *Wheel test* dengan medium korosi dan tanpa medium korosif dianalisis morfologi permukaannya dengan menggunakan SEM

3.3.9. Diagram Alir



V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

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

1. Zeolit-A dari silika sekam padi telah berhasil disintesis ditunjukkan oleh hasil karakterisasi XRD yang memiliki pola difraksi 2θ yang sama dengan zeolit-A standar IZA dan memiliki fasa kristalin. Hasil karakterisasi SEM menunjukkan morfologi zeolit-A berbentuk kubus yang merupakan ciri khas dari zeolit-A.
2. Zeolit-A hasil sintesis memiliki aktivitas yang baik sebagai katalis dalam reaksi transesterifikasi maupun reaksi amidasi, hal ini ditunjukkan oleh hasil FTIR yang ditandai dengan adanya gugus C=O ester pada bilangan gelombang 1744 cm^{-1} dan didukung dengan hasil karakterisasi GC-MS yang menunjukkan metil linoleat dan palmitat sebagai komposisi senyawa terbanyak yaitu sebesar 45,21% dan 36,33%.
3. Hasil karakterisasi FTIR produk amidasi menunjukkan bahwa metil ester telah berhasil terkonversi menjadi senyawa amida (nitrogen). Hal ini ditunjukkan dengan adanya pita serapan pada bilangan gelombang 1655 cm^{-1} dan 1617 cm^{-1} yang merupakan gugus C=O amida, serta didukung dengan bilangan gelombang 1118 cm^{-1} dan 1046 cm^{-1} yang merupakan gugus C-N.
4. Hasil karakterisasi GC-MS produk amidasi yang mengandung senyawa nitrogen tertinggi atau optimum diperoleh pada waktu reaksi 96 jam dengan pengadukan 30 menit (P-4Y) sebesar 47,03%.
5. Uji aktivitas senyawa nitrogen yang terbaik yaitu pada waktu reaksi 96 jam dengan waktu pengadukan 30 menit (P-4Y) diperoleh persentase proteksi

sebesar 95,17% dengan menggunakan metode *wheel test* dan didukung dengan hasil karakterisasi SEM pada P-1Y yang menunjukkan morfologi permukaan baja lunak tersebut terlindungi dengan baik.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan saran untuk penelitian selanjutnya yaitu melakukan uji aktivitas laju korosi dengan metode lainnya, seperti metode elektrokimia yaitu metode *Electrochemical Impedance spectroscopy* (EIS) dan Plot Tafel agar mendapat hasil yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfarisa, S., Rifai, D. A., dan Toruan, P. L. 2018. Studi Difraksi Sinar-X Struktur Nano Seng Oksida (ZnO) X-ray Diffraction Study on ZnO Nanostructures. *Risalah Fisika*. 2(2): 53–57.
- Almatsier, S. 2001. *Prinsip Dasar Ilmu Gizi*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Andalia, W., dan Pratiwi, I. 2018. Kinerja Katalis NaOH dan KOH ditinjau dari Kualitas Produk Biodiesel yang dihasilkan dari Minyak Goreng Bekas. *Jurnal Tekno Global*. 7(2): 66-73.
- Anwar, R., Aisyah, L. S., Lestari, F. P., Ilfani, D., Yun, Y. F., dan Prestya, P. D. 2021. Senyawa Steroid dari Cocor Bebel (*Kalanchoe tomentosa*) sebagai Antibakteri *Pseudomonas aeruginosa*. *ALCHEMY: Jurnal Penelitian Kimia*. 17(2): 202-210.
- 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): 114517.
- Ariningsih, S., Hawani, E., dan Christian, N. 2016. Pembuatan Dietanolamida dari Asam Lemak Sawit Destilat dan Minyak Kelapa untuk Sabun Transparan. *Journal of Agro-Based Industry*. 33(2): 82–89.
- Asmara, Y P., Kurniawan, T., Geter, A., Sutjipto, E., and Jafar, J. 2018. Application of Plants Extracts as Green Corrosion Inhibitors for Iteel in Concrete - A Review. *Indonesian Journal of Science and Technology*. 3(2): 158 – 170.
- Atikah, W. S. 2017. Karakterisasi Zeolit Alam Gunung Kidul Teraktivasi Sebagai Media Adsorben Pewarna Tekstil. *Arena Tekstil*. 32(1): 17–24.
- Chadijah, S., Baharuddin, M., dan Firnanelty, F. 2019. Potensi Instrumen FTIR dan GC-MS dalam Mengkarakterisasi dan Membedakan Gelatin Lemak Ayam, Itik dan Babi. *Al-Kimia*. 7(2).

- Dianto, F., Efendi, D., dan Wachjar, A. 2017. Pengelolaan Panen Kelapa Sawit (*Eleasis guineensis* Jacq) Pelantaran Agro Estate, Kota Waringin Timur, Kalimantan Tengah. *Jurnal Buletin Agrohorti*. 5(3): 410-417.
- Hotmian, E., Suoth, E., Fatimawali, F., dan Tallei, T. 2021. Analisis Gc-Ms (*Gas Chromatography - Mass Spectrometry*) Ekstrak Metanol Dari Umbi Rumput Teki (*Cyperus rotundus* L.). *Pharmacon*, 10(2): 849.
- Hutami, R., dan Ayu, D. F. 2017. Pembuatan Dan Karakterisasi Metil Ester Dari Minyak Goreng Kelapa Sawit Komersial. *Jurnal Agroindustri Halal*. 1(2): 124–131.
- Idouhli, R., Koumya, Y., Khadiri, M., Aityoub, A., Abouelfida, A., and Benyaich, A. 2019. Ihibitory Effect of Senecio Anteuphorbium as Green Corrosion Inhibitor for S300 Steel. *International Journal of Industry Chemistry*. 10(2): 133-143.
- Ilim, I., Afifah, A. I. N., Hidayah, L., Herliana, H., Pandiangan, K. D., and Simanjuntak, W. 2022. *Study on Corrosion Inhibition Activity of Nitrogen Compounds Derived from Coconut Oil Methyl Ester*. 4: 1639–1651.
- Ilim, I., Bahri, S., Simanjuntak, W., Syah, Y. M., Bundjali, B., and Buchari, B. 2017. Performance of Oligomer 4-Vinylpiperidine as a Carbon Dioxide Corrosion Inhibitor of Mild Steel. *Journal of Materials and Environmental Science*. 8(7), 2381–2390.
- Ilim., Pandiangan., K. D., dan Sudrajat. 2007. Studi Penggunaan Tumbuhan Tembakau, Teh dan Kopi sebagai Inhibitor Korosi Baja Ringan dalam Air Laut Buatan yang Jenuh CO₂. *Jurnal Sains MIPA*. 13(2): 163-168.
- IZA. 2017. Framework Type LTA. *International Zeolite Association*. <https://asia.iza-structure.org/IZA-SC/framework.php?STC=LTA>.
- Khasanah, N., Daniel., dan Marlina, E. 2020. Sintesis Surfaktan Dietanolamida dari Metil Ester Minyak Biji Bunga Matahari (*Helianthus annuus*. L) melalui Reaksi Amidasi. *Jurnal Kimia Mulawarman*. 17(2): 74-79.
- Khoeroni, A. M. 2021. Alkanolamida Berbasis Minyak Sawit sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak dalam Medium Korosif yang Mengandung Karbon Dioksida (CO₂). *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Kirana, N. N. 2020. Sintesis Inhibitor Korosi Melalui Reaksi Aminolisis Terhadap Palm Kernel Oil (PKO) dan Uji Performanya Pada Baja. *Skripsi*. Universitas Pertamina.
- 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.

- Lee, C. S., Ooi, T. L., Chuah, C. H., and Ahmad, S. 2007. Synthesis of Palm Oil-Based Diethanolamides. *JAACS, Journal of the American Oil Chemists' Society*. 84(10): 945–952.
- Mardwita, M., Yusmartini, E. S., dan Rivaldo, M. C. 2021. Pengaruh Jumlah Logam dalam Katalis Co/Al₂O₃. *Distilasi*. 6(1): 32-35.
- Miranda. 2020. Analisis Laju Korosi pada Logam melalui Proses Dipcoating Larutan Elektrolit. *Jurnal Hadron*. 2(1): 29-33.
- Molar, R., Al, S., Andarini, N., Lutfia, Z., Haryati, T., Kimia, J., Matematika, F., Pengetahuan, I., dan Universitas Jember, A. 2018. Sintesis Zeolit A dari Abu Terbang (Fly Ash) Batubara Variasi Synthesis of Zeolite A From Coal Fly Ash with Variation of Si/Al Molar Ratio. *Jurnal Ilmu Dasar*. 19(2): 105.
- 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 to its Wild Relative *E. oleifera* (H.B.K) Cortés. *Plos One*. 9(5): 1-13.
- Morad, N. A., Aziz, M., and Rohani. 2006. *Process Design in Degumming and Bleaching of Palm Oil Centre of Lipids Engeneering and Apllied Research (CLEAR)*. Universiti Teknologi Malaysia. Malaysia.
- Nanulaitta, N. J. M., dan Lillipaly, E. R. M. A. P. 2012. Analisis Sifat Kekerasan Baja St-42 dengan Pengaruh Besarnya Butiran Media Katalisator (Tulang Sapi (CaCO₃)) Melalui Proses Pengarbonan Padat (*Pack Carburizin*). *Jurnal Teknologi*. 9(1): 985-994.
- Nugroho, F. 2015. Penggunaan Inhibitor untuk Meningkatkan Ketahanan Korosi pada Baja Karbon Rendah. *Jurnal Angkasa*. 7(1): 151-158.
- Oktaviani, R., Hindryawati, N., dan Panggabean, A. S. 2019. Modifikasi dan Karakterisasi Zeolit Alam Tasikmalaya dengan Fe₂O₃. *Jurnal Atomik*. 4(1): 30-35.
- Pandiangan, K. D., Arief, S., Jamarun, N., and Simanjuntak, W. 2017. Synthesis and Characterisation of Zeolite-X from Rice Husk Silica and Aluminium Metal as a Catalys for Transesterification of Palm Oil. *Journal of Materials and Environmetal Science*. 8(5): 1797-1802.
- Pandiangan, K. D., Damayanti, P., Riyanti, F., dan Simanjuntak, W. 2020. Uji Aktivitas Katalitik ZSM-5 yang Disintesis dari Silika Sekam Padi dan Al(OH)₃ pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit. *Analit:Analytical and Environmental Chemistry*. 5(01): 53–64.

- Sari, Y., dan Dwiwati, S. T. 2015. Korosi H₂S dan CO₂ pada Peralatan Statik di Industri Minyak dan Gas. *Jurnal Konversi Energi Dan Manufaktur*. 2(1): 18–22.
- Septiano, A. F., Susilo, dan Setyaningsih, N. E. 2021. Analisis citra hasil Scanning Electron Microscopy Energy Dispersive X-Ray (SEM EDX) Komposit Resin Timbal dengan Metode Contrast to Noise Ratio (CNR). *Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences*. 44(2): 81–85.
- Silvana, D., dan Vera, T. 2018. Profil Asam Lemak Minyak Sawit setelah Proses Penggorengan Ikan. *Jurnal Media Teknologi Hasil Perikanan*. 6(1): 30-32.
- Simanjuntak, W., Pandiangan, K. D., Sembiring, Z., and Simanjuntak, A. 2019. Liquid Fuel Production by Zeolite-A Catalyzed Pyrolysis of Mixed Cassava Solid Waste and Rubber Seed Oil. *Oriental Journal of Chemistry*. 35(1): 71-76.
- Simanjuntak, W., Pandiangan, K. D., Sembiring, Z., Simanjuntak, A., and Hadi, S. 2021. The Effect of Crystallization Time on Structure, Microstructure, and Aluminium Foil. *Biomass and Bioenergy*. 148: 106050.
- Sjahfirdi, L., Aldi, N., Maheshwari, H., dan Astuti, P. 2015. Aplikasi Fourier Transform Infrared (FTIR) dan Pengamatan Pembengkakan Genital pada Spesies Primata, Lutung Jawa (*Trachypithecus auratus*) untuk Mendeteksi Masa Subur. *Jurnal Kedokteran Hewan - Indonesian Journal of Veterinary Sciences*. 9(2).
- Surya, I., Ismail, H., and Azura, A. R. 2013. Alkanolamide as an Accelerator, Filler-Dispersant and a Plasticizer in Silica-Filled Natural Rubber Compounds. *Polymer Testing*. 32(8): 1313–1321.
- 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): 12–16.
- Tampubolon, M., Gultom, R. G., Siagian, L., Lumbangaol, P., dan Manurung, C. 2020. Laju Korosi Pada Baja Karbon Sedang Akibat Proses Pencelupan Pada Larutan Asam Sulfat (H₂SO₄) dan Asam Klorida (HCl) dengan Waktu Bervariasi. *Sprocket Journal of Mechanical Engineering*. 2(1), 13–21.
- Taufik, M., dan Seftiono, H. 2018. Karakteristik Fisik dan Kimia Minyak Goreng Sawit Hasil Proses Penggorengan dengan Metode *Deep-Fat Frying*. *Jurnal Teknologi*. 10(2): 123-129.
- Trivana, L., Sugiarti, S., dan Rohaeti, E. 2015. Sintesis dan Karakterisasi Natrium Silikat (Na₂SiO₃) dari Sekam Padi. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*. 7(2): 66-75.

- Wang, C. L. J., Wang, L., and Sun, X. 2008. Influence of NaOH Concentrations on Synthesis of Pure-From Zeolite A From Fly Ash Using Two-Stage Method. *Journal of Hazardous Materials*. 155: 58-64.
- Wang, Y., Zuo, Y., and Tang, Y. 2018. Inhibition Effect and Mechanism of Sodium Oleate on Passivation and Pitting Corrosion of Steel in Simulated Concrete Pore Solution. *Construction and Building Materials*. 167, 197–204.
- Widhiastuti, Y. 2011. Pemanfaatan *Red Palm Oils* (RPO) sebagai Sumber Provitamin A pada Produk Sosis Keong Tutut (*Ballamanya javanica van den bush*). *Skripsi*. Institut Pertanian Bogor.
- Winarno, F. G. 1999. *Minyak Goreng dalam Menu Masyarakat*. Pusat Pengembangan Teknologi Pangan Intitut Pertanian Bogor. Bogor.
- Wuntu, A. D., dan Tangkuman, H. D. 2008. Derajat Kristalisasi sebagai Fungsi Waktu Ageing dan Waktu Kristalisasi pada Sintesis Zeolit A dengan Radiasi Gelombang Mikro. *Chem. Prog.* 1(1): 19–25.
- 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): 8–13.
- Zhang, F., Wang, J., Yuan, C., and Ren, X. 2006. Catalytic Performance of Heteropoly Compounds Supported on Dealuminated Ultra Stable Y Zeolite for Liquid Phase Esterification. *Science in China, Series B: Chemistry*. 49(2):140–147.
- Zuwanna, I., Riza, M., and Aprilia, S. 2021. The Impact of Solvent Concentration on the Characteristic of Silica from Rice Husk Ash Using Sol Gel Method. *Materials and Science and Engineering*. 1087: 1 – 7.