

**OPTIMASI WAKTU KONVERSI METIL ESTER DARI MINYAK  
KELAPA (*Cocos nucifera* L.) MENJADI SENYAWA NITROGEN  
MENGUNAKAN *AUTOCLAVE* DAN APLIKASINYA SEBAGAI  
INHIBITOR KOROSI BAJA LUNAK**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**MAULANA ARYA NADHIEF  
1917011074**



**JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

## ABSTRACT

### TIME OPTIMIZATION OF METHYL ESTER CONVERSION FROM COCONUT OIL (*Cocos nucifera* L.) INTO NITROGEN COMPOUNDS USING AUTOCLAVE AND ITS APPLICATION AS A MILD STEEL CORROSION INHIBITOR

By

MAULANA ARYA NADHIEF

This research was conducted as an effort to optimize the amidation reaction of methyl esters derived from coconut oil into nitrogen compounds by reacting methyl esters with diethanolamine. Methyl esters were obtained using coconut oil refluxed with methanol at 70 °C for 4 hours using zeolite-A as catalyst. Nitrogen compounds were obtained by preparing nine samples by conducting experiments in an autoclave, then heated in an oven at 100 °C for 48, 72, and 96 hours with variations in stirring time for 0, 30, and 60 minutes. The resulting products were then analyzed using FTIR and GC-MS, then used as a mild steel corrosion inhibitor in CO<sub>2</sub>-saturated brine solution using the Wheel Test method. The inhibition activity of the samples was evaluated in terms of percentage protection and surface morphology of the sample using SEM method. The experimental results obtained revealed that the experiments conducted at 48 hours with 30 minutes mixing and for 48 hours with 60 minutes mixing produced nitrogen compounds with percentage 13.60% and 24.31%. The results of corrosion testing experiments revealed that the samples exhibit corrosion inhibition activity, with the highest protection of 91,87% was provided by the sample prepared at 100 °C for 48 hours with 30 minutes mixing. Without ignoring the need for further research, the results obtained in this study suggest that the nitrogen compounds derived from coconut oil possess promising potential as a green corrosion inhibitor.

**Keywords:** Coconut oil methyl ester, zeolite-A, nitrogen compounds, corrosion inhibitor, and wheel test

## ABSTRAK

### OPTIMASI WAKTU KONVERSI METIL ESTER DARI MINYAK KELAPA (*Cocos nucifera* L.) MENJADI SENYAWA NITROGEN MENGUNAKAN *AUTOCLAVE* DAN APLIKASINYA SEBAGAI INHIBITOR KOROSI BAJA LUNAK

Oleh

**MAULANA ARYA NADHIEF**

Penelitian ini dilakukan sebagai upaya mengoptimalkan reaksi amidasi metil ester yang berasal dari minyak kelapa menjadi senyawa nitrogen dengan cara mereaksikan metil ester dengan dietanolamina. Metil ester diperoleh dengan menggunakan minyak kelapa yang direfluks dengan metanol pada suhu 70 °C selama 4 jam dengan bantuan katalis zeolit-A. Senyawa nitrogen diperoleh dengan menyiapkan sembilan sampel dengan melakukan percobaan di dalam autoklaf, kemudian dipanaskan dalam oven pada suhu 100 °C selama 48, 72, dan 96 jam dengan variasi waktu pengadukan selama 0, 30, dan 60 menit. Produk yang dihasilkan kemudian dianalisis menggunakan FTIR dan GC-MS, kemudian digunakan sebagai inhibitor korosi baja lunak dalam larutan *brine* jenuh CO<sub>2</sub> dengan metode *Wheel Test*. Aktivitas penghambatan sampel dievaluasi dalam bentuk persentase perlindungan dan morfologi permukaan sampel menggunakan metode SEM. Hasil percobaan yang diperoleh mengungkapkan bahwa percobaan yang dilakukan pada waktu 48 jam dengan waktu pengadukan 30 menit dan selama 48 jam dengan waktu pengadukan 60 menit menghasilkan senyawa nitrogen dengan persentase 13,60% dan 25,31%. Hasil percobaan pengujian korosi menunjukkan bahwa sampel menunjukkan aktivitas penghambatan korosi, dengan perlindungan tertinggi sebesar 91,87% diberikan oleh sampel yang disiapkan pada suhu 100 °C selama 48 jam dengan waktu pengadukan 30 menit. Tanpa mengabaikan kebutuhan penelitian lebih lanjut, hasil yang diperoleh dalam penelitian ini menunjukkan bahwa senyawa nitrogen yang berasal dari minyak kelapa memiliki potensi yang menjanjikan sebagai *green corrosion inhibitor*.

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

**OPTIMASI WAKTU KONVERSI METIL ESTER DARI MINYAK  
KELAPA (*Cocos nucifera* L.) MENJADI SENYAWA NITROGEN  
MENGUNAKAN *AUTOCLAVE* DAN APLIKASINYA SEBAGAI  
INHIBITOR KOROSI BAJA LUNAK**

**Oleh**

**Maulana Arya Nadhief**

**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  
2023**

Judul : **OPTIMASI WAKTU KONVERSI METIL ESTER DARI  
MINYAK KELAPA (*Cocos nucifera* L.) MENJADI  
SENYAWA NITROGEN MENGGUNAKAN *AUTOCLAVE*  
DAN APLIKASINYA SEBAGAI INHIBITOR KOROSI  
BAJA LUNAK**

Nama : **Maulana Arya Nadhief**

NPM : 1917011074

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing



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



**Prof. Wasinton S., M.Sc., Ph.D**  
NIP. 195907061988111001

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA



**Mulyono, Ph. D.**  
NIP. 197406112000031002

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

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



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



**Penguji  
Bukan Pembimbing : Syaiful Bahri, M.Si.**



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



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

**Tanggal Ujian Skripsi : 27 Juli 2023**

## LEMBAR PERNYATAAN

### KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Maulana Arya Nadhief  
Nomor Pokok Mahasiswa : 1917011074  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya dan sesungguhnya, bahwa skripsi saya yang berjudul “Optimasi Waktu Konversi Metil Ester Dari Minyak Kelapa (*Cocos Nucifera* L.) Menjadi Senyawa Nitrogen Menggunakan *Autoclave* Dan Aplikasinya Sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak” adalah benar karya sendiri dan saya tidak keberatan jika sebagian atau seluruh data dalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan sebelum dilakukan publikasi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sadar dan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung, Agustus 2023

Yang menyatakan



Maulana Arya Nadhief  
NPM. 1917011074

## **RIWAYAT HIDUP**

Penulis bernama lengkap Maulana Arya Nadhief, lahir di Serang pada tanggal 26 Februari 2001 merupakan anak sulung dari tiga bersaudara. Penulis lahir dari pasangan suami istri Bapak Mohamad Nasir dan Ibu Iftah Faujaniah, penulis memiliki dua orang adik perempuan bernama Najwa Nurul Yasmine dan Ratu Asyiqoh . Penulis sekarang bertempat tinggal di Residence Harmoni 2, Kecamatan Kasemen, Kota Serang, Banten.

Penulis telah menyelesaikan pendidikan mulai dari TK Husnul Huda pada tahun 2007, SDN 4 Serang lulus pada tahun 2013, SMP Negeri 1 Serang lulus pada tahun 2016, SMA Negeri 2 Serang pada tahun 2019. Pada tahun yang sama penulis diterima sebagai mahasiswa di Jurusan S1 Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selain fokus belajar di perkuliahan, penulis juga aktif dalam berorganisasi. Organisasi yang pernah diikuti adalah Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) FMIPA Unila sebagai anggota Biro Kesekretariatan pada tahun 2020 dan sebagai Ketua Biro Kesekretariatan pada tahun 2021. Selain mengikuti organisasi, penulis juga pernah menjadi anggota program Pembinaan Mahasiswa Wirausaha pada tahun 2021 dan 2022 serta menjadi anggota peneliti pada penelitian Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) pada tahun 2022. Penulis juga pernah menjadi asisten praktikum Kimia Fisik 1 untuk mahasiswa kimia FMIPA Unila

# MOTTO

"Berbuat baiklah kepada semua makhluk, karena Allah mencintai hamba-Nya yang penuh kasih sayang."

**Nabi Muhammad SAW**

"Mimpilah yang besar dan berani mengambil resiko untuk meraihnya."

**Walt Disney**

"Jadilah yang terbaik dari dirimu, tanpa harus membandingkan dirimu dengan orang lain."

# بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Atas izin Allah SWT yang telah memberikan Rahmat dan Hidayah Nya  
serta rasa syukur yang luar biasa.

Ku persembahkan karya sederhanaku ini sebagai wujud cinta, bakti,  
dan sayang ku kepada:

Ibuku, Ibuku, Ibuku

Ibu Iftah Faujaniah wanita kuat dan sabar serta penuh kasih sayang  
Bapak Mohamad Nasir bapak pekerja keras serta bertanggung jawab  
Najwa Nurul Yasmine dan Ratu Asyiqoh adik-adik berbakti kepada orangtua  
Semua keberuntungan berasal dari doa-doa dan semangat  
dari kalian bapak, ibu dan adik-adiku.

Pembimbing Penelitianku,

Ibu Dr. Ilim, M.S. dan Bapak Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D.

Diriku yang terbaik

Teruntuk diriku, terimakasih sudah kuat selama ini.

Serta kepada orang-orang yang telah membantu dan mendukungku selama ini,  
Terimakasih. Aku bersyukur.

## SANWACANA

Dengan mengucap rasa syukur Alhamdulillah atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat serta karunia-Nya dan tak lupa iringan shalawat senantiasa kita sanjung agungkan kepada Rasulullah Muhammad SAW yang semoga kita mendapatkan syafaatnya di yaumul akhir kelak. Sehingga dalam pengerjaan, penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan judul **“Optimasi Waktu Konversi Metil Ester Dari Minyak Kelapa (*Cocos nucifera* L.) Menjadi Senyawa Nitrogen Menggunakan *Autoclave* dan Aplikasinya Sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak”** dengan baik.

Penulis menyadari laporan ini dapat tersusun dan diselesaikan dengan adanya bantuan, motivasi, dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya kepada kita semua.
2. Kedua orang tua, Ayah Mohamad Nasir dan Ibu Iftah Faujaniah yang senantiasa mendoakan, memberikan kasih sayang yang melimpah, membimbing, mendukung, serta menjadi penyemangat utama bagi penulis.
3. Kedua adik, Najwa Nurul Yasmine dan Ratu Asyiqoh yang selalu memberikan dukungan penulis dalam keadaan yang kurang baik.
4. Ibu Dr. Dra. Ilim, M.S., selaku Dosen Pembimbing I dan sosok orangtua yang ada di lingkungan perkuliahan, terimakasih atas bimbingan, saran, motivasi, dan bentuk dukungan lainnya yang diberikan.
5. Bapak Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D., selaku Dosen Pembimbing II yang sudah banyak memberikan masukan kepada penulis dalam penyusunan skripsi. Semoga diberikan kesehatan dan kemudahan.

6. Bapak Syaiful Bahri, M.Si., selaku Dosen Pembahas, terimakasih atas masukkan, saran, dan nasehat sehingga penulis mampu menyelesaikan penulisan skripsi dari pembuatan proposal hingga laporan akhir.
7. Ibu Prof. Buhani, M.Si. selaku dosen pembimbing akademik atas segala bimbingan, arahan, dan saran sejak awal masa studi.
8. Bapak Mulyono, Ph.D., selaku ketua jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung yang menyetujui laporan kerja praktik ini.
9. Bapak dan Ibu Dosen di Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung yang tidak dapat disebutkan satu per-satu yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu, pengalaman, dan motivasi kepada penulis selama perkuliahan. Semoga tetap diberikan kesehatan dan kemudahan dalam kehidupan.
10. Marcella Audrey, sebagai *partner* terbaik yang selalu ada dalam kondisi apapun. Terimakasih banyak, semoga kita selalu diberikan kemudahan dan kebersamaan hingga waktu yang tak terhingga.
11. Rekan penelitian saya Muhammad Fadhil Ramadito, Devy Yuliyanda, dan Rifdah Kamilah. Terimakasih atas dukungan, bantuan, pengalaman suka dan duka yang tak terlupakan selama ini.
12. *Corrosion Research Group* Mba Elin, Mba Laila, Mba Alya, Mba Nabila, Mba Zira, dan Ka Sahrul. Terimakasih atas dukungan serta bantuan. *Cheers* untuk momen kebersamaan lainnya di tempat lain.
13. Teman-teman “Bismillah”, Melati Danty Imelda Adray, Nurul Ulfa Safitri, Muhammad Fadhil Ramadito, Farich Andre Anas, dan Annur Valita Sindiani, sebagai teman terdekat penulis di Jurusan Kimia yang selalu memberikan bantuan, dukungan, nasihat dan hiburan bagi penulis.
14. Abdillah Wira Dienussalim, Adiya Raihan, Ahmad Isro, Akmalludin, Bayu Anggara Krisna, Dwiky Ihwan Ma’ruf, Farich Andre Anas, Febri Yulianto, Franky Gomgom, M. Yusuf, Mohammad Rizky Arpan Zein, Muhammad Fadhil Ramadito, Niko Hilal Fazri, Nugraha Bramanthio, Rangga Nanda Putra, Sultan Gusti Ramadhan, Syangap Sitompul, Unggul Sulistio, Wailhaq Sahara, Zulfahmi Adli Putra, Ka Irpan, Ka Yan, dan Bang Gowo selaku

warga Kontrakan Anak Soleh yang selalu memberikan hiburan dan dukungan bagi penulis.

15. Dimas Aji Alamsyah dan Fachri Ramadan selaku teman SMA N 2 Serang yang selalu memberikan dukungan dalam segala bentuk agar penulis dapat menyelesaikan laporan ini.
16. Zahra Luthfiyyah, Erika Noviana, Selvia Anggraini Hasan, Nugraha Bramanthio, Rangga Nanda Putra, Muhammad Fadhil Ramadito, Mohammad Rizky Arpan Zein, Quntum Ramadhina, dan Diska Indah Alista selaku teman seperjuangan MBKM Kimia Fisik yang memberikan dukungan penuh untuk dapat menyelesaikan skripsi ini.
17. Teman-teman angkatan 2019, terimakasih karena selalu menemani dalam keadaan apapun itu. Semoga kita selalu diberi keberkahan dalam setiap langkah.
18. Teman-teman Himaki 2020 dan 2021, khususnya Biro Kesekretariatan 2020 dan 2021 yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, terimakasih karena telah kebersamai selama berorganisasi.
19. Kakak tingkat 2018, 2017, 2016, dan 2015, serta adik tingkat 2020, 2021, 2022 yang tidak bisa disebutkan satu persatu. Terimakasih atas arahan serta hiburan selama ini.
20. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per-satu yang telah memberikan dukungan, doa, nasihan, dan bimbingan dalam penulisan laporan ini.

Demikian yang dapat penulis sampaikan, masih terdapat banyak kekurangan serta kesalahan dalam penyusunan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini mampu dijadikan sebagai referensi yang bermanfaat. Semoga Allah SWT. selalu memberikan rezeki serta karunianya.

Bandar Lampung, Agustus 2023  
Penulis

**Maulana Arya Nadhief**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b> .....	i
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	iii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	iv
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan Penelitian .....	4
1.3. Manfaat Penelitian .....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1. <i>Mild Steel</i> .....	5
2.2. Korosi.....	5
2.2.1. Macam- Macam Korosi .....	6
2.2.2. Kontrol Korosi .....	8
2.3. Korosi CO <sub>2</sub> .....	8
2.4. Inhibitor Korosi.....	9
2.4.1. Inhibitor Organik .....	10
2.4.2. Inhibitor Anorganik .....	10
2.5. Minyak Kelapa.....	11
2.5.1. Metil Ester Minyak Kelapa.....	11
2.5.2. Senyawa Nitrogen.....	12
2.6. Transesterifikasi.....	12
2.7. Amidasi .....	13
2.8. Zeolit-A.....	14
2.9. Karakterisasi Produk.....	15
2.9.1. <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	15
2.9.2 <i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i> .....	17
2.9.3 <i>Fourier Transform Infrared (FTIR)</i> .....	18
2.9.4 <i>Gas Chromatography – Mass Spectrometry (GC-MS)</i> .....	19
2.10 Pengukuran Laju Korosi .....	20
2.10.1. <i>Weight Loss</i> .....	21
2.10.2. Pengukuran <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i> ...	21
2.10.3. Pengukuran Metode Tafel dengan <i>Potentiodynamic Polarization (PDP)</i> .....	23

<b>III. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	25
3.1. Tempat dan Waktu Pelaksanaan .....	25
3.2. Alat dan Bahan.....	25
3.3. Prosedur Penelitian .....	26
3.3.1. Preparasi Sekam Padi.....	26
3.3.2. Ekstraksi Silika Sekam Padi .....	26
3.3.3. Sintesis Katalis Zeolit-A.....	27
3.3.4. Transesterifikasi.....	27
3.3.5. Reaksi Amidasi .....	28
3.3.6. Preparasi bahan .....	29
3.3.7. Preparasi Larutan .....	29
3.3.8. Pengukuran Laju Korosi ( <i>Weight Loss Method</i> ).....	29
3.3.9. Analisis Permukaan dengan SEM.....	30
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	31
4.1. Pengantar .....	31
4.2. Ekstraksi Silika Sekam Padi .....	31
4.3. Preparasi dan Karakterisasi Zeolit-A .....	32
4.4. Reaksi Transesterifikasi dan Karakterisasi Produk .....	34
4.5. Reaksi Antara Metil Ester dengan Dietanolamina dan Karakterisasi Produk.....	35
4.5.1. Karakterisasi dengan Menggunakan FTIR .....	35
4.5.2 Karakterisasi dengan GC-MS .....	38
4.6. Uji Aktivitas Inhibitor Korosi Menggunakan Metode <i>Wheel test</i> .....	42
4.7. Analisis Permukaan Menggunakan SEM .....	43
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	45
5.1. Kesimpulan .....	45
5.2. Saran .....	46

## DAFTAR PUSTAKA

### LAMPIRAN

1. Dokumentasi Penelitian .....	57
2. Perhitungan Komposisi Zeolit-A .....	58
3. Perhitungan Persentase Konversi.....	59
4. Spektrum Massa Senyawa Nitrogen .....	60
5. Perhitungan larutan bahan.....	62
6. Perhitungan rata-rata metode <i>wheel test</i> .....	64

**DAFTAR TABEL**

Tabel	Halaman
1. Komposisi <i>Mild steel</i> (%) .....	5
2. Komposisi Asam Lemak Pada Minyak Kelapa .....	11
3. Komposisi Kimia Produk Hasil Amidasi.....	20
4. Perbandingan data XRD untuk zeolit-A standar IZA dan zeolit-A hasil sintesis.....	33
5. Komponen senyawa yang teridentifikasi pada produk P-1B .....	39
6. Struktur senyawa nitrogen pada sampel P-1B .....	40
7. Komponen senyawa yang teridentifikasi pada produk P-1C .....	40
8. Struktur senyawa nitrogen pada sampel P-1C .....	40
9. Hasil <i>wheel test</i> rata-rata menggunakan varisasi larutan inhibitor .....	42
10. Dimensi <i>mild steel</i> dan data persentase proteksi variasi waktu 48 jam .....	63
11. Dimensi <i>mild steel</i> dan data persentase proteksi variasi waktu 72 jam .....	63
12. Dimensi <i>mild steel</i> dan data persentase proteksi variasi waktu 96 jam .....	63

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur asam laurat .....	12
2. Mekanisme Reaksi Transesterifikasi .....	12
3. Struktur dietanolamina .....	12
4. Struktur Zeolit-A.....	14
5. Diagram skema sistem difraktometer .....	16
6. Pola XRD zeolit-A hasil sintesis dengan variasi waktu <i>aging</i> larutan natrium silikat dan standar zeolit-A (IZA).....	16
7. Mikrograf zeolit-A hasil sintesis dengan perbesaran 10.000x (a) dan 15.000x (b) .....	17
8. Spektra FTIR Metil Ester .....	18
9. Kromatogram GC Produk Amidasi .....	19
10. Representasi Grafis Dari Arus dan Tegangan Sebagai Fungsi Waktu .....	22
11. Nyquist Plot .....	22
12. Perbandingan difraktogram zeolit-A hasil sintesis dengan zeolit-A standar IZA.....	33
13. Spektrum FTIR metil ester (a) dan produk percobaan dengan waktu reaksi 48 jam dan variasi waktu pengadukan 0 menit (b), 30 menit (c), dan 60 menit (d) .....	36
14. Spektrum FTIR metil ester (a) dan produk percobaan dengan waktu reaksi 72 jam dan variasi waktu pengadukan 0 menit (b), 30 menit (c), dan 60 menit (d) .....	37
15. Spektrum FTIR metil ester (a) dan produk percobaan dengan waktu reaksi 96 jam dan variasi waktu pengadukan 0 menit (b), 30 menit (c), dan 60 menit (d) .....	37

16. Kromatogram sampel hasil percobaan dengan pengadukan 30 menit dan pemanasan 48 jam (P-1B).....	38
17. Kromatogram sampel hasil percobaan dengan pengadukan 60 menit dan pemanasan 48 jam (P-1C).....	40
18. Mikrograf sampel baja lunak yang diselidiki: sampel asli (a), sampel diperlakukan tanpa inhibitor (b), sampel diperlakukan dengan P-1B sebagai inhibitor (c), dan sampel diperlakukan dengan P-1C sebagai inhibitor (d)....	44
19. Ekstraksi Silika Sekam Padi; sekam padi kering (a), gel silika sekam padi (b), gel silika sekam padi kering (c), dan silika sekam padi setelah dihaluskan (d).....	56
20. Hasil transesterifikasi (a) dan hasil amidasi (b).....	56
21. <i>Mass-Spectrum</i> Heksanamida, N-(2-hidroksietil) .....	59
22. <i>Mass-Spectrum</i> Tripropilamina .....	59
23. <i>Mass-Spectrum</i> N-(3-Butenil)-Dipropilamina .....	59
24. <i>Mass-Spectrum</i> Ethyl N-piperazinekarboksilat .....	59
25. <i>Mass-Spectrum</i> N-(3-Butenil)-Dipropilamina .....	60
26. <i>Mass-Spectrum</i> 1-Butanamina, 2-etil-N-(2-etilbutil).....	60
27. <i>Mass-Spectrum</i> Tripropilamina .....	60
28. <i>Mass-Spectrum</i> N-Metildibutilamina.....	60
29. <i>Mass-Spectrum</i> Etil 6-hidroksiindole-2-karboksilat .....	60
30. <i>Mass-Spectrum</i> 1,9-Diaminonona.....	60

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Menurut data yang disajikan melalui situs resmi Kementerian Perindustrian Republik Indonesia (2017), Indonesia termasuk ke dalam jajaran negara elit dunia dalam sektor industri karena mampu menjadi kontributor terbesar bagi perekonomian nasional. Sektor industri merupakan kontributor terbesar bagi perekonomian nasional dengan sumbangan mencapai lebih dari 20 persen. Salah satu sektor industri yang berkembang yaitu pada industri minyak dan gas. Pada umumnya industri minyak dan gas menggunakan pipa yang berbahan dasar baja berkarbon rendah atau dikenal juga sebagai *mild steel*.

*Mild steel* digunakan pada industri minyak dan gas dikarenakan sifat mereka yang ideal sebagai bahan utama konstruksi dan biayanya yang relatif terjangkau. Namun, baja jenis ini memiliki daya rentan yang lebih rendah daripada baja pada umumnya untuk hal korosi (Ilim *et al.*, 2016). Pada umumnya pada minyak dan gas terdapat air serta asam yang memproduksi gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S) yang mana gas karbon dioksida tersebut larut dalam air dan membentuk asam karbonat yang reaktif dan mengakibatkan terjadinya korosi pada pipa. Maka dari itu, CO<sub>2</sub> dianggap sebagai penyebab masalah korosi pada produksi minyak dan gas, serta fasilitas transportasi pada beberapa tahun belakangan ini (Farelas *et al.*, 2010).

Korosi merupakan peristiwa pengkaratan yang terjadi pada berbagai bahan-bahan misalnya pada bahan logam atau dapat didefinisikan sebagai proses degradasi perusakan logam yang diakibatkan oleh reaksi secara elektrokimia yang mencapai kesetimbangan secara spontan dengan lingkungannya. Korosi tidak dapat dicegah ataupun dihentikan, tetapi dapat dikurangi atau dikendalikan dengan berbagai metode. Hingga saat ini, telah dikembangkan berbagai macam metode untuk mencegah korosi, seperti perlindungan katodik, jenis anoda tunggal, pelapisan pada permukaan logam, penambahan inhibitor korosi, dan lain-lain. Dari berbagai metode yang telah diujikan, penggunaan atau penambahan inhibitor korosi merupakan metode yang paling baik, karena dalam penggunaannya memerlukan biaya relatif rendah dan prosesnya yang cukup sederhana.

Inhibitor korosi dapat didefinisikan sebagai zat yang ditambahkan ke dalam medium dengan jumlah konsentrasi yang kecil untuk menurunkan serta mencegah reaksi antara logam dengan medium tersebut (Giat dkk., 2013). Inhibitor korosi dapat dikategorikan menjadi 2 jenis berdasarkan penyusunnya, yaitu inhibitor korosi anorganik dan inhibitor korosi organik. Inhibitor anorganik memiliki pengertian yaitu inhibitor yang berasal dari mineral-mineral yang tidak mengandung unsur karbon (C) di dalam senyawanya serta cenderung bersifat membahayakan lingkungan ketika digunakan karena memiliki tingkat toksisitasnya yang tinggi, misalnya yaitu sodium nitrit (Rizvi *et al.*, 2021), senyawa garam kromat (Ahmed *et al.*, 2020), dan garam seng (Mazumder, 2020). Sedangkan inhibitor organik adalah inhibitor yang berasal dari bahan alami yang tersedia di alam dan memiliki sifat yang lebih ramah lingkungan serta menguntungkan dibandingkan dengan inhibitor anorganik (Verma *et al.*, 2019).

Penggunaan inhibitor organik lebih banyak digunakan dikarenakan memiliki tingkat efektivitas yang lebih baik dibandingkan inhibitor anorganik, dan ramah lingkungan. Pada umumnya, inhibitor organik yang efektif memiliki kandungan atom N, S, atau O dalam strukturnya atau gugus fungsi elektronegatif dan elektron  $\pi$  dalam ikatan rangkap tiga atau rangkap terkonjugasi, karena atom dan gugus fungsi ini dapat diadsorpsi pada permukaan logam melalui ikatan kovalen

koordinat atau melalui interaksi elektrostatik antara permukaan logam dan inhibitor.

Adapun beberapa penelitian mengenai inhibitor korosi yang memiliki performa atau hasil yang baik untuk *mild steel* pada medium CO<sub>2</sub> jenuh, antara lain yaitu penelitian yang dilakukan oleh Ilim *et al.*, (2016) dengan judul “*Synthesis and characterization of oligomer 4-vinylpyridine as a corrosion inhibitor for mild steel in CO<sub>2</sub> saturated brine solution*”, kemudian Ilim *et al.*, (2021) dengan judul “*Fractionation And Activity Test Of 4-Vinylpyridine Oligomer as Organic Corrosion Inhibitors Of Mild Steel In Brine Solution Saturated Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>) Medium*”, dan Ilim *et al.*, (2021) dengan judul “Pengaruh Penambahan Inhibitor Produk Amidasi Terhadap Laju Korosi Pada Baja Lunak Dalam Medium Jenuh CO<sub>2</sub>”.

Telah dilakukan penelitian oleh Afifah (2022) dengan tujuan memperoleh senyawa turunan nitrogen yang dilakukan dengan mereaksikan metil ester turunan minyak kelapa dengan dietanolamina serta bantuan katalis zeolit-A. Adapun hasil yang diperoleh pada variasi waktu 24 jam dengan suhu 100 °C memiliki persentase kandungan senyawa nitrogen yang lebih rendah dibanding dengan variasi waktu 48 jam dengan suhu yang sama, yaitu 2,68% berbanding 53,54%. Perbedaan juga didapati pada persentase proteksi hasil pengukuran laju korosi dengan menggunakan metode *wheel test*, yaitu 63,6% berbanding 97,9%. Terdapat peningkatan yang signifikan baik pada pengukuran laju korosi ataupun kandungan senyawa nitrogen yang diperoleh pada kedua variasi waktu tersebut. Dapat ditarik hipotesis bahwasannya pada peningkatan variasi waktu pada suhu yang sama maka akan diperoleh hasil yang lebih tinggi. Maka dari itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui hasil optimum serta maksimum dari peningkatan variasi waktu lainnya dengan metode dan suhu yang sama.

Dalam upaya untuk mengetahui hasil lengkap dari metode yang dilakukan sebelumnya, maka pada penelitian ini dilakukan penambahan prosedur berupa variasi waktu dan pengadukan dengan tujuan untuk memperoleh hasil yang lebih

baik atau optimum dengan melakukan dua tahapan yaitu transesterifikasi dan amidasi. Reaksi amidasi yang dilakukan akan mengalami modifikasi dengan mereaksikan metil ester dari minyak kelapa, dietanolamina, memvariasikan waktu reaksi amidasi dan zeolit-A dari silika sekam padi sebagai katalis dalam metode *autoclave*. Variasi waktu reaksi amidasi yang dilakukan yaitu 48, 72, dan 96 jam. Sedangkan untuk variasi pengadukan yang dilakukan yaitu 0 menit, 30 dan 60 menit.

## 1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini, yaitu:

1. Memproduksi katalis zeolit-A dari silika sekam padi dan *aluminium foil*
2. Memproduksi metil ester dari minyak kelapa dengan transesterifikasi menggunakan bantuan katalis zeolit-A
3. Memperoleh senyawa turunan nitrogen yang berasal dari metil ester minyak kelapa dengan autoklaf
4. Memperoleh data perbandingan reaksi amidasi dengan variasi waktu pemanasan 48, 72, dan 96 jam
5. Mendapatkan data eksperimen yang menunjukkan kinerja senyawa nitrogen sebagai inhibitor korosi untuk baja lunak.

## 1.3. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi dalam perkembangan ilmu pengetahuan serta perekonomian, di antaranya yaitu sebagai berikut:

1. Zeolit-A yang disintesis dengan bahan baku silika sekam padi dan *aluminium foil* mampu bertindak sebagai katalis yang baik sehingga dapat mendukung perkembangan aplikasi katalis zeolit
2. Minyak kelapa yang merupakan sumber daya terbarukan dapat diolah menjadi senyawa alkanolamida yang dapat bertindak sebagai inhibitor korosi ramah lingkungan

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. *Mild Steel*

*Mild steel* digunakan secara luas di industri minyak dan gas karena memiliki karakteristik yang ideal sebagai bahan konstruksi dan harga yang relatif lebih murah (Sanni *et al.*, 2023). Terdapat kekurangan pada baja lunak ini, yaitu umumnya lebih rentan terhadap korosi daripada baja tahan karat dan baja paduan tinggi lainnya. Secara umum ditemukan bahwa minyak dan gas selalu mengandung air serta gas penghasil asam seperti karbon dioksida dan hidrogen sulfida. Gas karbon dioksida larut dalam air dan membentuk asam karbonat reaktif yang menimbulkan korosi pada pipa (Nešić, 2011). Menurut Ilim *et al.* (2016), *mild steel* SAE/AISI Grade 1022 memiliki komposisi seperti pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Komposisi *Mild steel* (%) (Ilim *et al.*, 2016)

Kandungan	C	Cr	Ni	Si	Mn	P	S	Fe
Komposisi (wt%)	0,22	<0,01	0,04	0,014	0,02	0,05	0,02	sisanya

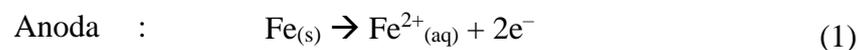
### 2.2. Korosi

Pada umumnya logam tidak dapat mengalami keadaan tetap atau utuh setelah beberapa waktu. Logam akan mengalami kerusakan atau dapat disebut dengan korosi. Korosi didefinisikan sebagai suatu proses kerusakan logam yang pada

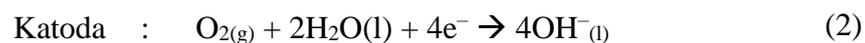
dasarnya merupakan reaksi logam menjadi ion di permukaan logam yang kontak langsung dengan lingkungan berair dan oksigen. Terkikisnya barang-barang yang terbuat dari logam merupakan salah satu penyebab rusaknya infrastruktur serta barang-barang yang terbuat dari logam (Kasim dkk., 2011). Korosi logam dapat terjadi diakibatkan oleh uap air, asam, dan garam serta suhu lingkungan yang tinggi. Korosi dapat diartikan sebagai proses degradasi atau menurunnya mutu logam menjadi rapuh, kasar, dan mudah hancur (Utomo, 2015).

Logam-logam yang dibiarkan secara terbuka akan mengakibatkan reaksi dengan oksigen, sehingga elektron-elektron yang terdapat pada logam akan dilepaskan yang kemudian ditangkap dan akan bereaksi dengan uap (reduksi oksigen) sehingga karena logam akan menyesuaikan dengan lingkungan untuk mencapai kestabilan, terjadilah proses yang dinamakan reaksi oksidasi logam yang kemudian dikenal dengan istilah korosi (Fermiana, 2017).

Korosi dapat terjadi jika mengandung empat elemen, antara lain yaitu anoda, katoda, *metallic pathway*, dan larutan elektrolit (Afandi dan Arief, 2015). 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 anode 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 (Zuchry and Magga, 2017).

### 2.2.1. Macam- Macam Korosi

Berdasarkan bentuk kerusakan, penyebab korosi, dan lingkungan terjadinya korosi serta material yang digunakan, korosi terbagi menjadi berbagai macam jenis, antara lain yaitu

a. Korosi Merata atau Seragam (*uniform corrosion*)

Korosi merata dapat diakibatkan oleh reaksi kimia pada permukaan logam yang mengikis lapisannya menjadi tipis disebabkan oleh pH air yang rendah dan udara yang lembab (Selvia, 2020). Jenis korosi ini adalah yang paling umum dan korosi dapat dideteksi dengan menghitung kehilangan berat (*weight loss*) dari ketebalan yang terdegradasi. Bahan dengan ukuran butir kristal halus dan homogenitas tinggi biasanya mengalami korosi seragam. Distribusi seragam proses katoda dan anoda pada permukaan logam menyebabkan korosi seragam (Fermiana, 2017).

b. Korosi Galvanic (*Galvanic corrosion*)

Korosi galvanic terjadi terdapat kontak secara listrik kedua logam yang berbeda dihubungkan, perbedaan potensial tersebut akan menimbulkan aliran elektron atau listrik diantara kedua logam, logam yang mempunyai tahanan korosi rendah (potensial rendah) akan terkikis dan yang tahanan korosinya tinggi akan mengalami penurunan daya korosinya (Zuchry and Magga, 2017).

c. Korosi Celah (*crevice corrosion*)

Korosi celah terjadi di daerah yang kondisi oksigennya sangat rendah atau bahkan tidak ada sama sekali. Dapat juga terjadi akibat desain konstruksi peralatan yang tidak memungkinkan terjadinya oksidasi (Zuchry and Magga, 2017).

d. Korosi Sumuran (*pitting corrosion*)

Korosi sumuran disebabkan oleh adanya lapisan yang hancur yang terjadi karena adanya ion klorida yang agresif. Korosi ini sangat berbahaya karena dapat mengakibatkan kegagalan total pada material hanya dikarenakan oleh hilangnya beberapa persentase berat. *Pitting corrosion* merupakan salah satu jenis korosi yang sulit untuk diatasi bahkan dalam skala laboratorium dikarenakan ukurannya yang kecil dan tertutup oleh produk dari korosi itu sendiri (Jones, 1996).

e. Korosi Batas Butir (*intergranular corrosion*)

Korosi intergranular disebabkan oleh adanya pengotor, yaitu kelebihan elemen paduan atau penurunan salah satu elemen paduan. Ketika jumlah paduan besi dalam aluminium kecil, maka mengakibatkan kelarutan besi yang rendah

sehingga terjadi segregasi pada batas butir dan menyebabkan korosi terintegrasi (Rubiyato dan Raharjo, 2008).

### 2.2.2. Kontrol Korosi

Dalam upaya mencegah ataupun mengontrol korosi, dapat dilakukan dengan berbagai cara. Upaya-upaya yang dilakukan harus memikirkan berbagai aspek seperti efisiensi dan harga. Umumnya untuk skala besar, dapat menggunakan inhibitor korosi karena biaya yang digunakan relatif murah dibandingkan dengan lainnya. Kontrol laju korosi dapat dikategorikan menjadi sebagai berikut:

1. Pemilihan material (logam dan non logam menyesuaikan kebutuhan)
2. Pelapisan (*coating*)
3. Penambahan inhibitor
4. Proteksi anodik dan katodik
5. Kontrol lingkungan (berupa temperatur, konsentrasi, dan lain sebagainya)

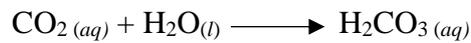
(Manurung, 2016)

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

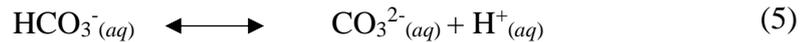
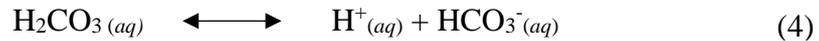
Pada sektor industri pengolahan gas alam, terdapat gas CO<sub>2</sub> yang merupakan salah satu komponen terbanyak dari berbagai macam gas yang terkandung di dalamnya. Baik itu berasal dari sumur produksi ataupun hasil pengolahan. Sebenarnya kandungan gas CO<sub>2</sub> tidak mempengaruhi material penyalur, akan tetapi reaksi yang dimiliki CO<sub>2</sub> dengan fasa cair (*liquid*) akan menyebabkan terjadinya korosi secara internal pada material, yang dikenal sebagai korosi CO<sub>2</sub> (*CO<sub>2</sub> corrosion*) (Kermani *et al.*, 2006).

Korosi internal akibat gas CO<sub>2</sub> (*CO<sub>2</sub> corrosion*) merupakan korosi yang terjadi pada pipa penyalur gas. Korosi CO<sub>2</sub> dipengaruhi oleh temperatur, tekanan, konsentrasi, aliran fluida dan lain sebagainya. Tipe korosi CO ditandai dengan

terbentuknya asam karbonat ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) yang kemudian bereaksi dengan baja. Adapun bentuk reaksinya adalah sebagai berikut:



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



Reaksi antara  $\text{CO}_2$  dengan air yang membentuk asam karbonat merupakan reaksi sintesis. Asam karbonat akan menurunkan pH dan menghasilkan ion hidrogen sebagai penerima elektron. Hidrogen yang memiliki satu proton pada intinya, berukuran sangat kecil dapat berdifusi ke dalam struktur kristal baja, sehingga menurunkan keuletan dari baja tersebut serta dapat menyebabkan terjadinya patah getas (Sari dan Dwiwati, 2015).

#### 2.4. Inhibitor Korosi

Pencegahan korosi dapat dilakukan dengan berbagai cara, misalnya yaitu dengan menggunakan inhibitor korosi. Inhibitor korosi adalah zat yang ditambahkan ke dalam medium dengan jumlah konsentrasi kecil untuk menurunkan serta mencegah reaksi antara logam dengan medium tersebut (Giat dkk., 2013). Pada industri, penggunaan inhibitor korosi sebagai pengendali korosi dalam sistem tertutup, sebagai suatu alternatif-biaya yang efisien terhadap penggunaan bahan/material yang sangat tahan korosi. Kriteria praktis untuk pemilihan inhibitor korosi dari berbagai zat/senyawa anorganik dan organik karena sifat-sifat inhibisinya. Tidak hanya efisiensi inhibisinya, tetapi juga keamanan penggunaan, kendala ekonomi, kesesuaian dengan bahan kimia yang lain di dalam sistem dan masalah lingkungan (Magnussen, 2007).

### 2.4.1. Inhibitor Organik

Terdapat dua jenis inhibitor korosi berdasarkan senyawa penyusunnya, antara lain yaitu inhibitor korosi anorganik dan inhibitor korosi organik. Karim dan Yusuf (2012) mendefinisikan inhibitor korosi organik sebagai inhibitor yang berasal dari bahan alami yang tersedia di alam. Inhibitor organik selain dapat menghambat laju korosi, memiliki sifat *non-toxic*, relatif murah, mudah didapatkan dan dapat diperbaharui. Penggunaan inhibitor organik biasanya sebagai pembentuk lapisan/ film yang bertujuan untuk melindungi permukaan logam (Roberge, 2000). Pada umumnya senyawa inhibitor bersifat netral, tetapi gugus nitrogen pada senyawa memiliki pasangan elektron bebas yang menyebabkan inhibitor cenderung bermuatan negatif sehingga, inhibitor akan tertarik ke permukaan logam dan membentuk lapisan (Kristian dkk., 2015). Keefektifan inhibitor organik ini tergantung dengan susunan kimia, struktur molekul, dan afinitasnya terhadap permukaan logam. Senyawa organik dianggap sebagai inhibitor yang paling efektif dan efisien karena memiliki atom hetero, yaitu O, N dan S, serta ikatan  $\pi$  ( $\pi$ ) yang teradsorpsi ke substrat baja (Yang, 2021). Inhibitor organik akan diadsorpsi berdasarkan muatan ion permukaan logam dan inhibitor. Kekuatan adsorpsi merupakan faktor yang dominan untuk inhibitor organik yang larut dalam air (Yatiman, 2009).

### 2.4.2. Inhibitor Anorganik

Berbeda dengan inhibitor organik, inhibitor anorganik memiliki pengertian yaitu inhibitor yang berasal dari mineral-mineral yang tidak mengandung unsur karbon (C) di dalam senyawanya serta cenderung bersifat membahayakan lingkungan. Ketika digunakan karena memiliki tingkat toksisitasnya yang tinggi, misalnya yaitu sodium nitrit (Nugroho, 2015). Inhibitor anorganik yang mengandung fosfat, kromat, dan logam berat lainnya, sekarang dibatasi atau dilarang oleh berbagai peraturan lingkungan karena toksisitasnya dalam pembuangan terutama di industri kelautan, di mana kehidupan air dapat terancam (Roy *et al.*, 2014).

## 2.5. Minyak Kelapa

Minyak kelapa merupakan salah satu produk olahan dari daging buah kelapa dapat dimanfaatkan sebagai produk pangan dan non pangan. Minyak kelapa sendiri memiliki keunikan karena kandungannya terdapat berbagai senyawa asam lemak yang mayoritas ialah asam lemak rantai medium (Karouw dkk., 2013). Minyak kelapa memiliki kandungan ester yang sangat tinggi dibandingkan dengan minyak diesel itu sendiri, serta memiliki sifat pembakaran yang baik dan ramah lingkungan (Hidayanti dkk., 2015).

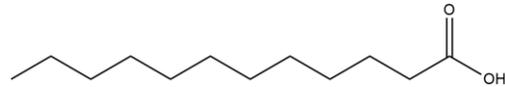
### 2.5.1. Metil Ester Minyak Kelapa

Sintesis metil ester dapat dilakukan secara transesterifikasi enzimatik ataupun kimiawi. Sintesis ester metil asam lemak secara enzimatik berlangsung pada suhu yang relatif rendah yaitu sekitar 30 °C (Watanabe *et al.*, 2000). Sedangkan sintesis metil ester secara transesterifikasi kimia menggunakan katalis asam atau katalis basa dengan suhu yang beragam menyesuaikan dengan tingkat keasaman katalis yang digunakan (Karouw dkk., 2013).

**Tabel 2.** Komposisi Asam Lemak Pada Minyak Kelapa (Afifah, 2022)

No.	Asam Lemak	Rumus Senyawa	Jumlah Relatif (%)
1.	Asam kaprilat	$C_9H_{18}O_2$	6,18
2.	Asam kaprat	$C_{11}H_{22}O_2$	6,26
3.	Asam laurat	$C_{13}H_{26}O_2$	38,85
4.	Asam miristat	$C_{15}H_{30}O_2$	20,35
5.	Asam palmitat	$C_{17}H_{34}O_2$	12,34
6.	Asam oleat	$C_{18}H_{36}O_2$	11,51
7.	Asam stearat	$C_{19}H_{38}O_2$	4,50

Dapat dilihat bahwasannya asam lemak yang memiliki persentase jumlah relatif tertinggi yaitu asam laurat. Asam laurat ini memiliki struktur seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1.



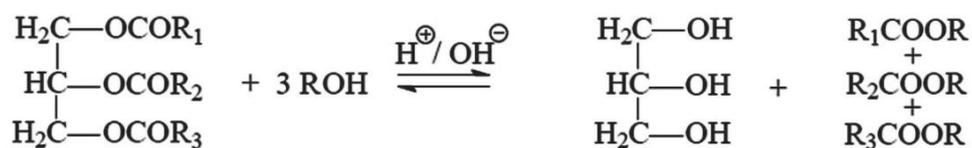
**Gambar 1.** Struktur asam laurat

### 2.5.2. Senyawa Nitrogen

Metil ester yang diperoleh dari reaksi transesterifikasi minyak kelapa dapat digunakan sebagai prekursor untuk memperoleh senyawa nitrogen dengan metode hidrotermal pada proses amidasi. Reaksi amidasi terjadi antara metil ester dengan dietanolamina serta bantuan katalis seperti zeolit-A. Pada penelitian yang dilakukan oleh Ilim *et al.* (2022) diketahui senyawa nitrogen yang terbentuk melalui reaksi amidasi sebesar 53,54%.

### 2.6. Transesterifikasi

Transesterifikasi merupakan metode yang digunakan untuk memproduksi biodiesel dari minyak nabati. Pada dasarnya proses transesterifikasi ini bertujuan untuk mengubah (tri, di, mono)gliserida yang terdapat dalam skala besar pada komposisi minyak nabati dan berviskositas tinggi menjadi metil ester asam lemak dimana metanol atau etanol menggantikan gliserin (Suleman dkk., 2019).



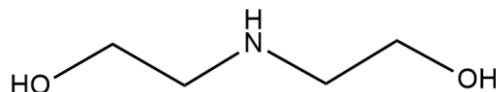
**Gambar 2.** Mekanisme Reaksi Transesterifikasi (Thanh *et al.*, 2012)

Alkohol yang dapat digunakan dalam reaksi transesterifikasi yaitu metanol dan etanol. Metanol memiliki sifat fisik dan kimia yang menguntungkan yaitu

merupakan senyawa polar dan alkohol rantai pendek. Selain itu, Metanol lebih dipilih karena harganya yang lebih murah dan dapat bereaksi dengan trigliserida dengan cepat. Akan tetapi karena metanol memiliki titik didih yang relatif rendah, maka diperlukanlah penanganan yang tepat pada saat penggunaannya (Giraldo *et al.*, 2013)

## 2.7. Amidasi

Amidasi merupakan reaksi pembentukan senyawa amida dari suatu asam lemak atau metil ester dengan senyawa amina, salah satu contoh senyawa amina yaitu dietanolamina. Dietanolamina berfungsi sebagai penyedia gugus amina yang akan menggantikan gugus metoksi pada metil ester sehingga terbentuk dietanolamida dengan hasil samping metanol.



**Gambar 3.** Struktur dietanolamina

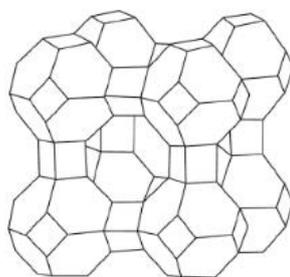
Senyawa amina hanya dapat bereaksi dengan senyawa ester pada suhu tinggi. Apabila dilakukan pada suhu rendah, maka reaksi akan berjalan lambat sekalipun dengan bantuan katalis (Khasanah dkk., 2019).



Katalis NaOH memecah ikatan metil ester terjadi pada tahap pertama reaksi. Pada tahap pertama, katalis NaOH terionisasi memecah ikatan metil ester. Ion  $\text{Na}^+$  berikatan dengan gugus ester sedangkan ion  $\text{OH}^-$  berikatan dengan gugus metil membentuk metanol (Probowati dkk., 2012).

## 2.8. Zeolit-A

Jenis katalis heterogen asam yang dapat digunakan dalam proses produksi biodiesel adalah zeolit. Zeolit sebagai katalis disebabkan karena zeolit menunjukkan aktivitas asam yang cukup besar dan terutama karena sifat selektifitasnya (*shape selective*) (Chung and Park, 2009). Pada umumnya, zeolit merupakan salah satu material yang sangat penting karena memiliki sifat yang unik, yaitu mampu berperan penting sebagai adsorben dan katalis (Pandiangan *et al.*, 2018). Zeolit memiliki satu formula umum yaitu  $M_{x/n} [(AlO_2)_x(SiO_2)_y] wH_2O$ , yang mana (M) adalah kation alkali atau alkali tanah, (n) adalah valensi kation, (w) adalah jumlah molekul air per unit sel, x dan y adalah jumlah total tetrahedra per unit sel. Rasio y/x biasanya memiliki nilai 1 hingga 5, meskipun untuk zeolit silika, y/x dapat berkisar dari 10 hingga 100 (Petrov and Michalev, 2012). Salah satu contoh dari zeolit yaitu zeolit-A. Zeolit-A merupakan zeolit buatan (sintetis) yang mengandung aluminasilikat dan membentuk struktur unit tetrahedral yang memiliki formula yaitu  $Na_{12}((AlO_2)_{12}(SiO_2)_{12}) \cdot 27 H_2O$



**Gambar 4.** Struktur Zeolit-A (Oliveira and Beatrice, 2019)

Zeolit-A terdiri atas alumina silikat dimana unit terkecilnya berbentuk tetrahedral  $TO_4$  dengan T adalah  $Si^{4+}$  atau  $Al^{3+}$ . Kedua bentuk T tersebut terhubung dengan adanya oksigen sebagai penghubungnya, dimana oksigen digunakan bersama oleh  $Si^{4+}$  dan  $Al^{3+}$  membentuk struktur zeolit-A. Zeolit-A memiliki kapasitas tukar kation (KTK) yang tinggi, karena zeolit-A merupakan zeolit yang kaya alumina. (Witanto dan Trisunaryanti, 2010). Zeolit-A merupakan salah satu jenis katalis heterogen yang dapat dengan mudah dipisahkan dari campuran reaksi karena

memiliki fase yang berbeda antara reaktan dan produk dengan katalis, memiliki kestabilan termal yang relatif tinggi sehingga dapat digunakan untuk reaksi pada yang suhu tinggi, dan oleh karena itu memungkinkan untuk katalis dapat diregenerasi (Pandiangan *et al.*, 2019).

Sebagai katalis, zeolit-A ini telah digunakan untuk transesterifikasi untuk mengubah minyak nabati menjadi biodiesel, yang dikenal sebagai bahan bakar cair terbarukan yang semakin penting. Pemanfaatan yang bervariasi ini menjadikan zeolit-A sebagai senyawa yang menarik, karena dapat secara berkelanjutan untuk eksplorasi teknik preparasi serta penggunaan bahan baku yang bervariasi. Adapun contoh bahan baku yang digunakan dalam proses pembuatan zeolit-A yaitu silika dari sekam padi dan *aluminium foil* (Simanjuntak *et al.*, 2021).

## 2.9. Karakterisasi Produk

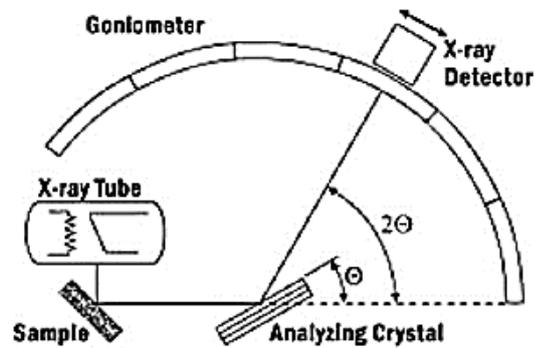
### 2.9.1. X-Ray Diffraction (XRD)

XRD merupakan teknik yang digunakan untuk mempelajari struktur kristal dan jarak atom. XRD atau dalam Bahasa Indonesia berarti difraksi sinar-X didasari pada interferensi konstruktif sinar-X monokromatik dan sampel kristal. Sinar-X ini dihasilkan oleh tabung sinar katoda, disaring untuk menghasilkan radiasi monokromatik, dikolimasi menjadi konsentrat, dan diarahkan ke sampel. Interaksi sinar datang dengan sampel menghasilkan interferensi konstruktif (dan sinar difraksi) ketika kondisi memenuhi hukum Bragg:

$$n\lambda = 2d.\sin\theta \quad (9)$$

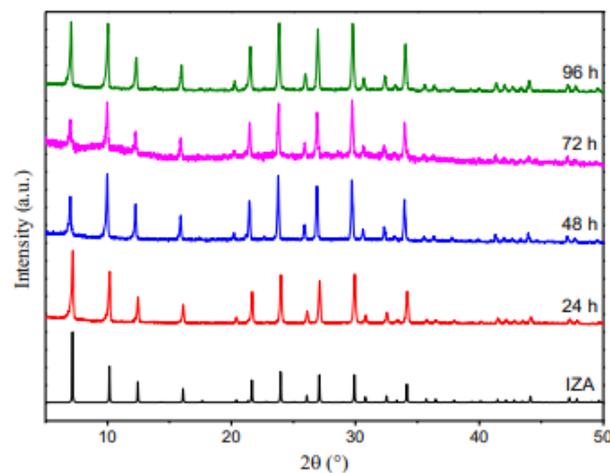
di mana  $n$  adalah bilangan bulat,  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar-X,  $d$  adalah jarak antar bidang yang menghasilkan difraksi, dan  $\theta$  adalah sudut difraksi. Hukum ini menghubungkan panjang gelombang radiasi elektromagnetik dengan sudut difraksi dan jarak kisi dalam sampel kristal. Sinar-X yang terdifraksi ini kemudian dideteksi, diproses, dan dihitung. Dengan memindai sampel melalui

berbagai sudut  $2\theta$ , semua kemungkinan arah difraksi kisi harus dicapai karena orientasi acak dari bahan halus seperti bubuk.



**Gambar 5.** Diagram skema sistem difraktometer (Bunaciu *et al.*, 2015)

Adapun contoh difraktogram zeolit-A yang dibuat dari sekam padi dan *aluminium foil* yaitu sebagai berikut



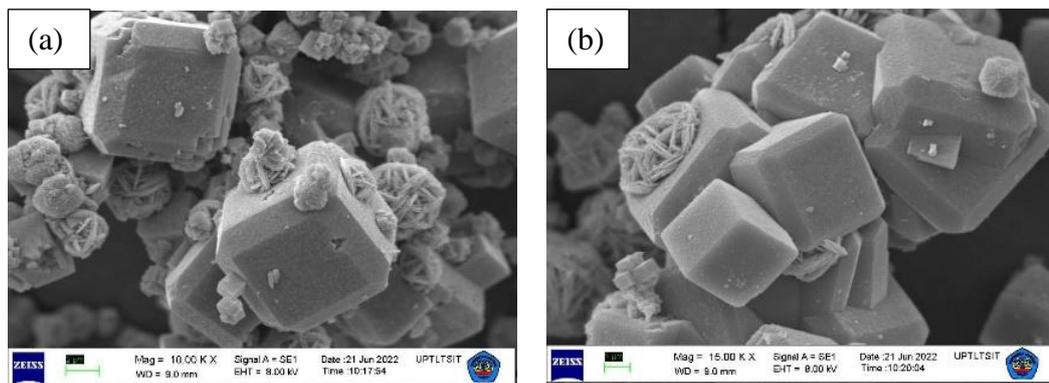
**Gambar 6.** Pola difraktogram XRD zeolit-A hasil sintesis dengan variasi waktu *aging* larutan natrium silikat dan standar zeolit-A (IZA) (Herliana *et al.*, 2021)

Untuk mengetahui hasil XRD zeolit-A hasil sintesis yang sesuai dengan standar zeolit-A IZA dapat dilihat pada puncak yang dihasilkan dan dibandingkan. Jika terdapat lima atau lebih puncak yang sama, menandakan zeolit-A berhasil disintesis.

### 2.9.2 Scanning Electron Microscope (SEM)

SEM memberikan informasi mengenai detail permukaan dengan menelusuri sampel dalam pola raster dengan berkas elektron. Proses penggunaan instrumentasi SEM diawali dengan penembakan elektron yang menghasilkan seberkas elektron energik di kolom dan ke serangkaian lensa elektromagnetik. Lensa ini berbentuk tabung, dibungkus dalam kumparan dan disebut sebagai solenoida. Kumparan disesuaikan untuk memfokuskan berkas elektron yang datang ke sampel. Penyesuaian ini menyebabkan fluktuasi tegangan, meningkatkan/menurunkan kecepatan kontak elektron dengan permukaan spesimen (Choudhary *and* Priyanka, 2017).

Penggunaan SEM untuk pada karakterisasi zeolit-A berfungsi untuk mengetahui mikrostruktur dengan menunjukkan secara jelas morfologi permukaan yang ditandai dengan pembentukan *cluster* yang memiliki ukuran dan bentuk berbeda. Dapat dilihat pada Gambar 7 terdapat beberapa fase kristal seperti yang juga telah ditunjukkan oleh hasil XRD, termasuk kristobalit berbentuk tetragonal, nepheline berbentuk heksagonal, jadeite berbentuk monoklinik, dan albite berbentuk triklin

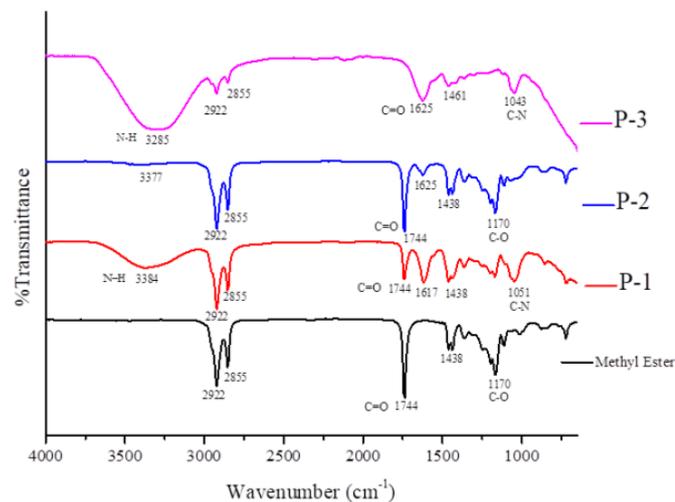


**Gambar 7.** Mikrograf zeolit-A hasil sintesis dengan perbesaran 10.000x (a) dan 15.000x (b) (Afifah, 2022)

### 2.9.3 Fourier Transform Infrared (FTIR)

*Fourier Transform Infrared* (FTIR) adalah teknik yang digunakan untuk mendapatkan spektrum inframerah serapan, emisi, dan fotokonduktivitas padatan, cair, dan gas (Sindhu *et al.*, 2015). FTIR sangat berguna untuk karakterisasi permukaan nanopartikel. Menurut Torres-Rivero *et al.*, (2021). Spektroskopi FTIR didefinisikan sebagai teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi karakteristik dari pita spektral yang memungkinkan untuk mengetahui konjugasi antara nanomaterial dan biomolekul yang teradsorpsi.

Untuk mengetahui gugus fungsi dari sampel yang diujikan dapat dilihat berdasarkan panjang gelombang yang didapat melalui *Infra Red* (IR). Panjang gelombang ini diperoleh dari ikatan kovalen yang diserap radiasi elektromagnetik di wilayah IR. Spektrum IR dapat dikelompokkan menjadi 3 berdasarkan bilangan gelombangnya, yaitu spektrum IR jauh (kurang dari  $400\text{ cm}^{-1}$ ), spektrum IR tengah ( $400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ ), dan spektrum IR dekat ( $4000\text{-}13000\text{ cm}^{-1}$ ). Spektrum IR tengah adalah yang paling banyak digunakan dalam analisis sampel (Nandiyanto *et al.*, 2019).



**Gambar 8.** Spektra FTIR Metil Ester (Ilim *et al.*, 2022)

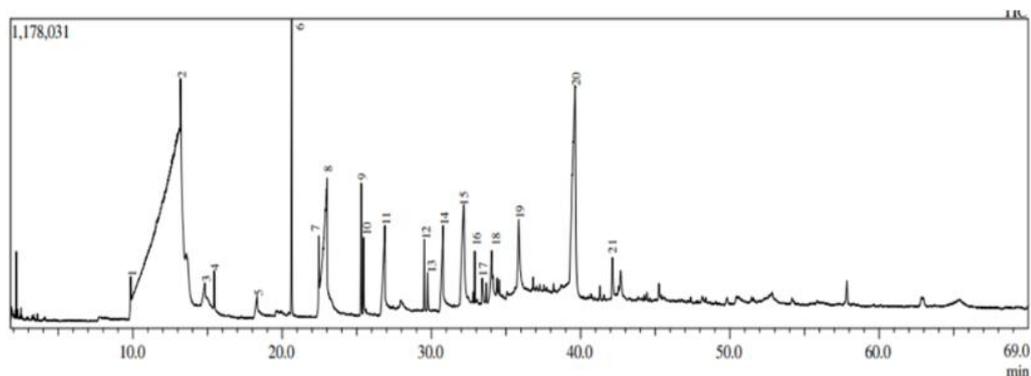
Pada spektrum metil ester dicirikan oleh adanya puncak serapan yang timbul dari vibrasi gugus fungsi ester yang khas. Pita serapan pada  $2922\text{ cm}^{-1}$ ,  $2855\text{ cm}^{-1}$ , dan  $1438\text{ cm}^{-1}$  dikaitkan dengan peregangan dan pembengkokan  $\text{-C-H}$  dari gugus

alkana. Puncak serapan yang tajam pada bilangan gelombang  $1744\text{ cm}^{-1}$  dikaitkan dengan peregangan gugus karbonil ( $\text{C}=\text{O}$ ) dan pita serapan pada  $1170\text{ cm}^{-1}$  mewakili gugus  $\text{C}-\text{O}$  (Ilim *et al.*, 2022). Sari *et al.*, (2018) melaporkan bahwa gugus amida ( $\text{C}=\text{O}$ ) tercatat pada bilangan gelombang  $1618,34\text{ cm}^{-1}$  untuk alkanolamida dari minyak kelapa

#### 2.9.4 Gas Chromatography – Mass Spectrometry (GC-MS)

*Gas Chromatography – Mass Spectrometry* (GC-MS) merupakan metode analisis yang menggabungkan fitur kromatografi gas dan spektrometri massa untuk mengidentifikasi zat yang berbeda dalam sampel uji. GC-MS terdiri dari dua blok instrumen utama: kromatografi gas dan spektrometer massa (Sparkman *et al.*, 2011). Tujuan utama dari analisis instrumen GC-MS adalah untuk mengidentifikasi sebuah zat yang berbeda dalam sampel uji. Hal ini dilakukan dengan membandingkan konsentrasi relatif antara massa atom dalam spektrum yang dihasilkan (Hübschmann, 2016).

Instrumen ini digunakan untuk proses analisis senyawa *volatile* ataupun *semi-volatile*. Sampel yang mengandung senyawa *volatile* diinjeksikan ke dalam sistem GC untuk kemudian dilakukan proses pemisahan di dalam kolom berdasarkan sifat kepolaran. Setelah terelusi dari sistem GC, maka masing-masing senyawa yang telah terpisahkan, akan masuk ke dalam sistem MS untuk kemudian difragmentasi dengan energi ionisasi tertentu (BRIN, 2022).



**Gambar 9.** Kromatogram GC Produk Amidasi (Ilim *et al.*, 2022)

GC-MS digunakan untuk mengevaluasi pembentukan senyawa nitrogen. Pada Gambar 9 terdapat kromatogram yang merupakan hasil karakterisasi senyawa nitrogen mana dapat disajikan juga menjadi data seperti Tabel 3 di bawah ini

Data pada Tabel 3 menunjukkan besarnya senyawa nitrogen yang terbentuk yaitu 53,54%. Hal ini menandakan hasil yang baik untuk karakterisasi GC-MS karena memiliki hasil data konversi metil ester menjadi senyawa nitrogen yang relatif tinggi.

**Tabel 3.** Komposisi Kimia Produk Hasil Amidasi (Ilim *et al.*, 2022)

No.	Nama Senyawa	Rumus Kimia	Presentasi Relatif (%)
1	Metil Kaprilat	$C_9H_{18}O_2$	0.77
2	Gliserin	$C_3H_8O_3$	2.35
3	Asam Kaprilat	$C_8H_{16}O_2$	1.36
4	Metil Kaprat	$C_{11}H_{22}O_2$	1.06
5	Asam Kaprat	$C_{10}H_{20}O_2$	1.77
6	Metil Laurat	$C_{13}H_{26}O_2$	9.78
7	Tripropilamina	$C_9H_{21}N$	1.85
8	Asam Laurat	$C_{12}H_{24}O_2$	1.75
9	Metil Miristat	$C_{15}H_{30}O_2$	3.96
10	Heksanamida, N-(2-Hidroksietil)-	$C_8H_{17}NO_2$	2.39
11	Asam Miristat	$C_{14}H_{28}O_2$	5.60
12	Metil Palmitat	$C_{17}H_{34}O_2$	2.02
13	Asam Kaprilat Monoetanol Amida	$C_{10}H_{21}NO_2$	1.22
14	Asam Palmitat	$C_{16}H_{32}O_2$	5.03
15	Dekanamida, N-(2-Hidroksietil)-	$C_{12}H_{25}NO_2$	12.38
16	Metil Oleat	$C_{19}H_{36}O_2$	1.53
17	Metil Stearat	$C_{19}H_{38}O_2$	1.50
18	Asam Oleat	$C_{18}H_{34}O_2$	2.44
19	Asam Stearat	$C_{18}H_{36}O_2$	5.53
20	Dietanolamid Laurat	$C_{16}H_{33}NO_3$	33.23
21	1-Piperazine Etanol	$C_6H_{14}N_2O$	2.47

## 2.10 Pengukuran Laju Korosi

Laju korosi didefinisikan sebagai peristiwa merambatnya proses korosi yang terjadi pada suatu material. Penyebab terjadinya laju korosi berkaitan dengan

nilai ekonomis dan teknis material. Laju korosi juga dapat diartikan sebagai parameter yang digunakan untuk mengukur ketahanan terhadap korosi pada material sehingga dapat diperkirakan kelayakan durasi penggunaan material tersebut (Priyantoro dkk., 2012). Laju korosi dapat dinyatakan dalam milimeter per-year (mmpy) dari logam yang terdegradasi (Oparaodu *and* Okpokwasili, 2014).

### 2.10.1. *Weight Loss*

Cara paling sederhana untuk mengukur laju korosi suatu logam adalah dengan merendam sampel ke media uji dan mengukur kehilangan berat material sebagai fungsi waktu (Rathi *et al.*, 2010). Data luaran yang diperoleh dari metode weight loss adalah berat yang hilang (W), laju korosi (LK), dan % proteksi (%P) yang dapat dihitung sesuai persamaan berikut (Ilim *et al.*, 2016):

$$W = W_{(l)} - W_{(t)} \quad (10)$$

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

$$\%P = \frac{(LK_0 - LK_i)}{LK_0} \quad (12)$$

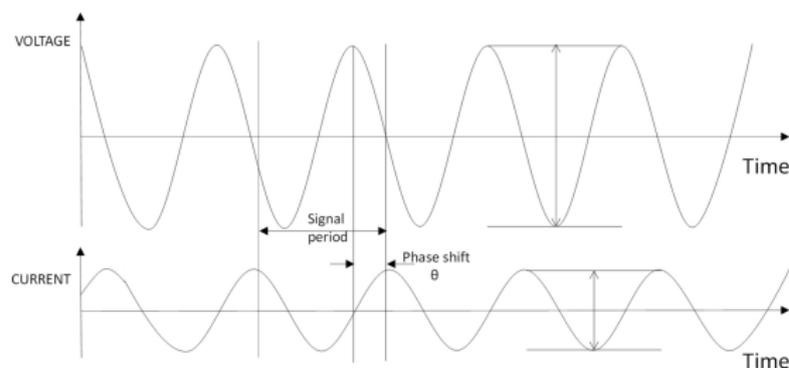
Keterangan W = berat yang hilang (g),  $W_{(l)}$  = berat awal (g),  $W_{(t)}$  = berat akhir (g), LK = laju korosi (mm/T = milimeter per tahun), A = luas permukaan sampel uji ( $\text{cm}^2$ ), D = massa jenis logam ( $\text{g/cm}^3$ ) sama dengan  $7,86 \text{ g/cm}^3$  untuk baja karbon, t = waktu paparan (hari), %P = persen proteksi,  $LK_0$  = laju korosi tanpa penambahan inhibitor, dan  $LK_i$  = laju korosi dengan penambahan inhibitor.

### 2.10.2. Pengukuran *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS)

*Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) banyak digunakan untuk karakterisasi elektrokimia untuk melindungi lapisan organik pada logam (Bonora *et al.*, 1996). Teknik ini diketahui memiliki keuntungan bahwa korosi pada sistem tidak mempengaruhi akurasi pengukuran dengan cara yang dibahas metode non-

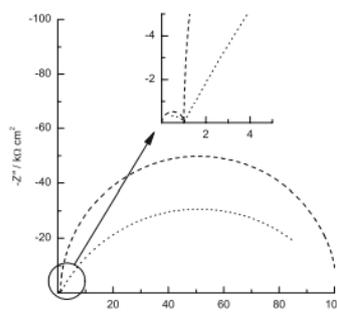
elektrokimia (*weight loss*) (Feliu, 2020). EIS merupakan metode penting untuk memantau perubahan elektrokimia sistem *in situ* dengan waktu perendaman, karena memberikan informasi kinetik dan mekanistik tentang proses korosi dalam kasus perlindungan pasif dan aktif atau kombinasi keduanya (Aparicio and Mosa, 2018). Teknik ini didasari pada penerapan gangguan potensial sinusoidal amplitudo kecil (biasanya dalam kisaran 5-10 mV) ke elektroda kerja pada rentang frekuensi yang diperluas (biasanya, 100 kHz hingga 10 mHz) menggunakan tiga elektroda konvensional sel elektrokimia (Jia *et al.*, 2019).

Diagram yang dihasilkan merupakan sinyal sinusoidal dengan frekuensi yang sama tetapi dengan fase dan amplitudo yang berbeda terhadap gangguan



**Gambar 10.** Representasi Grafis Dari Arus dan Tegangan Sebagai Fungsi Waktu  
(Feliu, 2020)

Data EIS biasanya disajikan sebagai plot Nyquist, di mana komponen impedansi imajiner ( $Z''$ ) diplot terhadap komponen impedansi nyata ( $Z'$ ) pada setiap frekuensi eksitasi, dan plot Bode menampilkan logaritma dari modulus impedansi  $|Z|$  dan sudut fase ( $\theta$ ) sebagai fungsi logaritma dari rentang frekuensi yang diterapkan (Cano *et al.*, 2010)



**Gambar 11.** Nyquist Plot

Berdasarkan plot Nyquist diperoleh nilai parameter listrik yang dihasilkan yaitu  $R_p$ ,  $R_s$  dan  $R_{ct}$ . Notasi  $R_s$  adalah tahanan larutan yang tergantung dari konsentrasi ion, jenis ion dan geometri area penghantar arus, dan merupakan titik awal dari setengah lingkaran.  $R_p$  adalah resistansi transfer muatan yang dibentuk oleh reaksi elektrokimia tunggal pada permukaan logam yang dikontrol secara kinetik, dan merupakan titik akhir dari setengah lingkaran yang terbentuk dari plot Nyquist. Sedangkan  $R_{ct}$  adalah selisih dari nilai  $R_p$  dan  $R_s$  (diameter setengah lingkaran yang dihasilkan) (Ajiriyanto *et al.*, 2018).

Untuk menghitung besarnya nilai efisiensi inhibisi (%P) dapat dihitung dengan persamaan berikut ini

$$\%P = \frac{(R_{ct(i)} - R_{ct(0)})}{R_{ct(i)}} \quad (13)$$

Dengan %P = persen proteksi,  $R_{ct}(i)$  = charge transfer resistance dengan inhibitor, dan  $R_{ct}(o)$  = charge transfer resistance tanpa inhibitor

(Ilim *et al.*, 2017)

### **2.10.3. Pengukuran Metode Tafel dengan *Potentiodynamic Polarization* (PDP)**

Pengukuran Tafel dengan menggunakan PDP merupakan metode umum yang digunakan dalam pengukuran korosi. Pada PDP, potensi rentang yang luas diterapkan pada elektroda uji, karena di permukaan logam yang dominan terjadi reaksi oksidasi atau reduksi (tergantung pada arah polarisasi) dan sebagai akibatnya, arus yang memadai akan dihasilkan. Penyajian potensi dalam fungsi rapat arus ( $i$ ) untuk setiap titik terukur menghasilkan kurva polarisasi. Kurva polarisasi dapat digunakan untuk menentukan potensial korosi dan laju korosi logam. Berdasarkan plot Tafel ini dapat diketahui dominasi reaksi yang terjadi antara anodik dan katodik. Jika potensial anodik dapat bergeser ke arah negatif maka reaksi anodik yang berperan. Namun, jika potensial korosi bergeser ke arah positif maka reaksi katodik berperan. Data yang didapat dari metode ini adalah

kurva polarisasi anodik atau katodik yang menyatakan hubungan arus antara arus ( $\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$ ) sebagai fungsi potensial (mV).

Untuk menentukan laju korosi dapat dilakukan dengan persamaan berikut ini

$$\text{Laju Korosi} = \frac{i_{corr} K EW}{\rho A} \quad (14)$$

Sedangkan untuk menghitung persentase proteksi dari inhibitor yang digunakan dapat dilakukan dengan persamaan berikut

$$\%P = \frac{(i_{corr(0)} - i_{corr})}{i_{corr(0)}} \quad (15)$$

Dengan  $K$  = konstanta yang mewakili satuan untuk laju korosi,  $EW$  = massa setara dalam gram/ekivalen,  $\rho$  = densitas dalam  $\text{g}/\text{cm}^3$ ,  $A$  = area dalam  $\text{cm}^2$  yang terpapar pada larutan korosif,  $i_{corr}^{\circ}$  dan  $i_{corr}$  = arus korosi dari sampel tanpa dan dengan inhibitor dalam satuan ampere.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini dilaksanakan dari Oktober 2022 hingga Mei 2023 bertempat di Laboratorium Kimia Anorganik dan Fisik FMIPA Universitas Lampung. Karakterisasi zeolit-A menggunakan XRD dilakukan di Institut Teknologi Sepuluh November (ITS), Surabaya, Jawa Timur. Karakterisasi untuk mengetahui komponen dengan menggunakan GC-MS dilakukan di Laboratorium Kimia, Universitas Gajah Mada (UGM), Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Analisis gugus fungsi hasil dari transesterifikasi dan amidasi dengan menggunakan FTIR serta analisis struktur permukaan zeolit-A dengan menggunakan SEM dilaksanakan di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung, Bandar Lampung, Lampung.

#### 3.2. Alat dan Bahan

Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Fourier-Transform Infrared* (FTIR) merk Cary 30 Agilent, *Gas Chromatography–Mass Spectrometry* (GC–MS) merk Shimadzu QP 2010 SE, *X-Ray Diffraction* (XRD) merk PANalytical tipe Empyrean, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) merk ZEISS EVO MA 10, *Polytetrafluoroethylene* (PTFE) lined stainless steel autoclave, furnace, refluks kondensor, hot plate, timbangan analitik merk KERNABT 220-AM, ayakan mesh, water bath, termometer, magnetic stirrer, labu bundar, gelas

Beaker, corong pisah, mikropipet, mikrometer sekrup, *stirrer road*, spatula, dan botol kaca bersih.

Adapun bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain, yaitu NaCl (*Merck*), NaOH (*Merck*), metanol (*Merck*), NaHCO<sub>3</sub> (*Merck*), HNO<sub>3</sub> (*Merck*), dietanolamin (*Merck*), Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SnCl<sub>2</sub>, HCl pekat, baja karbon rendah (SAE/AISI Grade 1022), sekam padi dari Untung Suropati Bandar Lampung, *aluminium foil*, gas CO<sub>2</sub> *food grade*, minyak kelapa, akuades, indikator pH, kertas saring, kertas garnet, dan kertas silikon karbida (*grade* 200, 400, 600, 800, dan 1200)

### **3.3. Prosedur Penelitian**

#### **3.3.1. Preparasi Sekam Padi**

Sekam padi didapat dari industri penggilingan lokal di Rajabasa. Sebelum digunakan, sekam padi dicuci terlebih dahulu dengan cara direndamkan dalam air agar kotoran hilang. Kemudian dipisahkan sekam padi yang mengambang dan tenggelam. Sekam padi yang tenggelam kemudian dibilas dengan akuades, dan dikeringkan dibawah sinar matahari hingga kering.

#### **3.3.2. Ekstraksi Silika Sekam Padi**

Sekam padi yang sudah bersih kemudian ditimbang sebanyak 50 g dan dilarutkan dalam larutan NaOH 1.5% sebanyak 500 mL ke dalam gelas Beaker. Selanjutnya dipanaskan hingga mendidih selama 30 menit, lalu diangkat dan didiamkan selama 24 jam agar suhu menjadi seperti suhu ruangan. Hasil setelah didiamkan selama 24 jam yaitu terdapat 2 fasa (filtrat dan residu). Kedua fasa tersebut kemudian disaring dan filtrat yang mengandung silika dikumpulkan. Sol silika (filtrat) yang sudah dikumpulkan kemudian ditambahkan larutan HNO<sub>3</sub> 10% hingga pH menjadi netral dan di-*aging* selama 24 jam agar diperoleh gel yang

diinginkan. Setelah itu, gel dicuci dengan air panas hingga berwarna putih dan dikeringkan di dalam oven selama 24 jam dengan suhu 100 °C. Setelah kering, padatan gel silika kemudian dihaluskan dengan mortar dan diayak menggunakan saringan mesh 200 nm.

### 3.3.3. Sintesis Katalis Zeolit-A

Pembuatan katalis zeolit-A diawali dengan pembuatan larutan NaOH terlebih dahulu dengan cara melarutkan 20 g NaOH<sub>(pa)</sub> di dalam 200 mL akuades. Kemudian larutan NaOH dicampurkan dengan silika yang sudah diayak sebanyak 30 g dan diaduk dengan menggunakan *hotplate* pada suhu 70 °C. Setelahnya dilakukan *aging* selama 96 jam. Setelah di-*aging*, diperoleh natrium silika yang kemudian digunakan untuk melarutkan *aluminium foil* sebanyak 13,5 g. Selanjutnya dilakukan kristalisasi dalam oven selama 96 jam dengan suhu 100 °C. Diperoleh sampel zeolit-A dengan bentuk gel yang kemudian gel tersebut dicuci kembali setelah didinginkan hingga pH menjadi 7-8 dengan akuades. Dikeringkan kembali di dalam oven dengan suhu 100 °C selama 24 jam. Setelahnya dilakukan penghalusan dengan mortar dan disaring kembali dengan mesh ukuran 200 nm. Dilakukan kalsinasi pada suhu 550 °C selama 6 jam. Kemudian diperoleh zeolit-A. Untuk membuktikan hasil yang diperoleh itu sesuai dengan yang diinginkan, maka zeolit-A perlu dilakukan karakterisasi dengan XRD. Kemudian dilakukan prosedur transesterifikasi dan amidasi.

### 3.3.4. Transesterifikasi

Transesterifikasi dilakukan dengan nisbah minyak kelapa dan reaktan 1:4. Sebanyak 25 mL minyak kelapa dicampur dengan 100 mL metanol dan kemudian ditambahkan katalis zeolit-A sebanyak 10% dari berat minyak dalam labu bundar 250 mL. Campuran direfluks secara terus-menerus menggunakan *hotplate stirrer* pada suhu 70 °C selama 4 jam. Hasil refluks didinginkan hingga mencapai suhu

ruang, lalu disaring dengan kertas saring ke dalam corong pisah dengan tujuan memisahkan katalis dengan produk yang dihasilkan. Filtrat kemudian didiamkan selama 24 jam agar terjadi pemisahan antara metil ester dengan minyak yang tersisa. Metil ester yang diperoleh kemudian dicuci dengan akuades dan dimasukkan ke dalam corong pisah untuk memisahkan metanol yang tersisa dari produk yang dihasilkan. Metil ester yang dihasilkan digunakan sebagai bahan baku pembuatan senyawa nitrogen dalam reaksi amidasi.

### 3.3.5. Reaksi Amidasi

Amidasi dilakukan yaitu untuk memperoleh senyawa turunan nitrogen yang dapat digunakan sebagai inhibitor korosi. Pada penelitian ini dilakukan variasi waktu dan pengadukan agar mendapatkan perbandingan hasil yang bertujuan untuk mengetahui kondisi optimumnya. Adapun variasi waktu yang digunakan yaitu 48, 72, dan 96 jam. Sedangkan variasi pengadukan yang digunakan yaitu 0, 30, dan 60 menit. Proses ini menggunakan metil ester sebelumnya yang sudah didapatkan dan dietanolamin yang dibuat dengan rasio perbandingan 1:1 yang kemudian dimasukkan gelas Beaker dan ditambahkan katalis zeolit-A sebanyak 5% dari bobot. Selanjutnya dilakukan pengadukan dengan variasi 0, 30, dan 60 menit, kemudian dimasukkan ke dalam teflon yang tersambung dengan *autoclave*. Campuran tersebut dipanaskan pada suhu 100 °C selama 48, 72, dan 96 jam. Setelah dipanaskan produk disaring menggunakan kertas saring, dimasukkan ke dalam corong pisah untuk memisahkan katalis zeolit-A, dan dibiarkan selama satu malam untuk memisahkan antara senyawa nitrogen yang diperoleh dengan metil ester berlebih. Prosedur ini dilakukan secara berulang dengan menyesuaikan variasi waktu yang tersedia. Untuk membuktikan bahwa produk yang dihasilkan adalah senyawa nitrogen seperti yang diharapkan, senyawa yang diperoleh dari reaksi ini akan dikarakterisasi dengan FTIR dan GC-MS, kemudian digunakan sebagai inhibitor korosi.

### 3.3.6. Preparasi bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *mildsteel*. *Mildsteel* dipotong menjadi lempengan tipis dengan ukuran (2 x 1 x 0.1) cm yang digunakan pada metode *weight-loss*. Lempengan mengalami penurunan dengan memasukkannya ke dalam gelas kimia yang berisi etanol dan disonikasi selama dua menit. Lempeng kemudian dikeringkan dan dimensi serta beratnya dicatat secara akurat

### 3.3.7. Preparasi Larutan

Media korosif yang digunakan adalah larutan NaCl 3% (b/v) yang dibuat dengan melarutkan 30 g natrium klorida (NaCl) dan 0,1 g natrium bikarbonat (NaHCO<sub>3</sub>), dalam 1 L akuades. Media korosif kemudian jenuh dengan gas CO<sub>2</sub> *food grade* pada tekanan atmosfer dengan membersihkan larutan dengan gas pada laju sekitar 150-200mL min<sup>-1</sup>. Larutan inhibitor dengan konsentrasi 15.000 ppm dibuat dengan melarutkan inhibitor (senyawa nitrogen) dalam metanol. Larutan Clarke dibuat dengan melarutkan 5g SnCl<sub>2</sub> dan 2g Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dalam 100 mL HCl pekat (Ilim *et al.*, 2021).

### 3.3.8. Pengukuran Laju Korosi (*Weight Loss Method*)

Sampel uji *mild steel* dikeringkan dan ditimbang berat awalnya. Selanjutnya, botol kaca disiapkan dan diisi dengan *brine solution* sebanyak 175 mL dan dijenuhkan dengan gas CO<sub>2</sub> selama 45 menit (sekitar 250 mL.minit<sup>-1</sup>), eksperimen dibuat dalam variasi 150 ppm. Sampel uji *mid steel* dimasukkan ke dalam botol tersebut dan ditutup dengan rapat dan didiamkan selama 24 jam. Setelah itu, sampel *mild steel* dikeluarkan dan dibilas dengan *Clarke's solution* selama 5 detik untuk menghilangkan sisa-sisa oksida karat yang terbentuk, dibilas

dengan akuades, dan etanol 96%, kemudian dikeringkan dan ditimbang kembali berat akhirnya.

### **3.3.9. Analisis Permukaan dengan SEM**

Prosedur ini dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan sampel baja lunak. Sehingga dapat diamati korosi yang terjadi dan dampak inhibitor korosi pada permukaan baja lunak. Adapun sampel yang diamati yaitu sampel baja lunak tanpa medium korosif, sampel baja lunak menggunakan larutan medium korosif, serta sampel baja lunak dengan larutan medium korosif dan larutan inhibitor.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil yang diperoleh dari penelitian ini, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Zeolit-A hasil sintesis memiliki karakteristik yang mirip dengan zeolit-A standar IZA berdasarkan analisis menggunakan XRD menunjukkan pola difraksi pada rentang  $2\theta$  7-34<sup>0</sup>.
2. Zeolit-A hasil sintesis memiliki aktivitas katalitik yang baik untuk transesterifikasi dan reaksi antara metil ester dan dietanolamina. Hal ini ditunjukkan dengan terbentuknya metil ester minyak kelapa dengan aroma khas metil laurat dan terbentuknya senyawa nitrogen.
3. Karakterisasi FTIR senyawa nitrogen menunjukkan bahwa reaksi berhasil mengubah metil ester menjadi senyawa nitrogen. Hal ini ditunjukkan oleh adanya pita serapan pada rentang bilangan gelombang 3200-3410  $\text{cm}^{-1}$  yang merupakan gugus N-H, serta didukung pula oleh rentang bilangan gelombang 1600-1630  $\text{cm}^{-1}$ .
4. Karakterisasi dengan GC-MS pada senyawa nitrogen P-1B memiliki jumlah puncak yang lebih sedikit dibandingkan dengan P-1C, yaitu 12 dengan 13. Hasil ini berbanding lurus dengan persentase jumlah senyawa nitrogen yang diperoleh, yaitu sebesar 13,60% dan 25,31%
5. Senyawa nitrogen yang diperoleh dari reaksi pada suhu 100 °C selama 48 jam dengan pengadukan selama 30 menit (P-1B) menunjukkan aktivitas terbaik

sebagai inhibitor korosi pada eksperimen menggunakan metode *wheel test*. Hal ini ditunjukkan dengan persentase perlindungan tertinggi (91,87%). Analisis SEM untuk permukaan baja lunak yang diberi perlakuan P-1B sebagai inhibitor juga menunjukkan bahwa inhibitor tersebut melindungi permukaan dari korosi dengan baik

## 5.2. Saran

Terdapat beberapa saran untuk dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya, antara lain yaitu:

1. Mengoptimalkan kondisi percobaan untuk reaksi antara metil ester dan dietanolamina, seperti melakukan percobaan dengan berbagai perbandingan reaktan, suhu, dan waktu reaksi atau menggunakan katalis lain untuk mendapatkan jumlah senyawa nitrogen yang lebih tinggi.
2. Pengujian senyawa penghambat korosi dengan metode lain seperti *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) dan Polarisasi Tafel, serta melakukan beberapa kali pengulangan untuk mendapatkan akurasi data eksperimen yang lebih baik.
3. Mendalami lebih lanjut mengenai senyawa nitrogen yang diperoleh agar dapat mengetahui faktor yang dapat mempengaruhi aktivitasnya sebagai inhibitor korosi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, Y. K., Arief, I. S., Teknik, J., Perkapalan, S., & Kelautan, F. T. (2015). Analisa Laju Korosi pada Pelat Baja Karbon dengan Variasi Ketebalan Coating. *Jurnal Teknis ITS*, 4(1), 1–5.
- Afifah, A. I. N. (2022). *Conversion Of Coconut Oil Derived Methyl Esters Into Nitrogen Compounds As Green Corrosion Inhibitor*. University of Lampung.
- Ahmed, W. A., Al-mashhadani, M. H., Abdallah, M., & Hussain, Z. (2020). *Sciences Eco-friendly green corrosion inhibitors in overview*. 1(1), 7–16.
- Ajriyanto, M. K., Kriswarini, R., Yanlinastuti, Y., & Lestari, D. E. (2018). Analisis korosi pipa pendingin sekunder RSG - GAS dengan teknik electrochemical impedance spectroscopy (EIS). *Urania Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir*, 24(2), 105–114.
- Aparicio, M., & Mosa, J. (2018). Electrochemical characterization of sol-gel coatings for corrosion protection of metal substrates. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 88(1), 77–89.
- Boateng, L., Ansong, R., Owusu, W. B., & Steiner-Asiedu, M. (2016). Coconut oil and palm oil's role in nutrition, health and national development: A review. *Ghana Medical Journal*, 50(3), 189–196.
- Bonora, P. L., Deflorian, F., & Fedrizzi, L. (1996). Electrochemical impedance spectroscopy as a tool for investigating underpaint corrosion. *Electrochimica Acta*, 41(7–8), 1073–1082.
- BRIN. (2022). *Jasa Analisis Gas Chromatography - Mass Spectrometry*. E-Layanan Sains.

- Bunaciu, A. A., Udriștioiu, E. Gabriela, & Aboul-Enein, H. Y. (2015). X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 45(4), 289–299. <https://doi.org/10.1080/10408347.2014.949616>
- Cano, E., Lafuente, D., & Bastidas, D. M. (2010). Use of EIS for the evaluation of the protective properties of coatings for metallic cultural heritage: a review. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 14(3), 381–391.
- Choudhary, O. P., & Prianka. (2017). Scanning Electron Microscope: Advantages and Disadvantages in Imaging Components. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(5), 1877–1882.
- Chung, K.-H., & Park, B.-G. (2009). Esterification of oleic acid in soybean oil on zeolite catalysts with different acidity. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 15(3), 388–392.
- Farelas, F., Galicia, M., Brown, B., Nesic, S., & castañeda, H. (2010). Evolution of dissolution processes at the interface of carbon steel corroding in a CO<sub>2</sub> environment studied by EIS. *Corrosion Science*, 52, 509–517.
- Feliu, S. (2020). Electrochemical impedance spectroscopy for the measurement of the corrosion rate of magnesium alloys: Brief review and challenges. *Metals*, 10(6), 1–23.
- Fermiana, G. (2017). *Pengantar Korosi*. UB Media.
- Giat S, S., Purwanto, S., . D., & Handayani, A. (2013). Pengaruh Inhibitor Kafeina Pada Laju Korosi Dan Struktur Mikro Baja Karbon KS01 Dan AISI 1045 Dalam Media Air Laut. *Ganendra Majalah Iptek Nuklir*, 16(2).
- Giraldo, S. Y., Rios, L. A., & Suárez, N. (2013). Comparison of glycerol ketals, glycerol acetates and branched alcohol-derived fatty esters as cold-flow improvers for palm biodiesel. *Fuel*, 108, 709–714.
- Herliana. (2022). *Konversi Metil Ester Asam Lemak Minyak Kelapa Menjadi Senyawa Amida Menggunakan Dietanolamina dan Uji Aplikasinya Sebagai Inhibitor Korosi*. University of Lampung.

- Herliana, Ilim, Simanjuntak, W., & Pandiangan, K. D. (2021). Transesterification of coconut oil (*Cocos nucifera* L.) into biodiesel using zeolite-A catalyst based on rice husk silica and aluminum foil. *Journal of Physics: Conference Series*, 1751(1).
- Hidayanti, N., Arifah, N., Jazilah, R., Suryanto, A., & Mahfud. (2015). Produksi Biodiesel Dari Minyak Kelapa Dengan Katalis Basa Melalui Transesterifikasi Menggunakan Gelombang Mikro. *Jurnal Teknik Kimia*, 10(1), 13–18.
- Hübschmann, H.-J. (2016). Handbook of GC-MS: fundamentals and applications. In *Analytical and Bioanalytical Chemistry* (3rd ed, Vol. 408, Issue 6).
- Ilim, I., Afifah, A. I. N., Hidayah, L., Herliana, H., Pandiangan, K. D., & 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., & Buchari, B. (2017). Performance of oligomer 4-vinylpiperidine as a carbon dioxide corrosion inhibitor of mild steel. *Journal of Materials and Environmental Science*, 8(7), 2381–2390.
- Ilim, Jefferson, A., Simanjuntak, W., Jeannin, M., Syah, Y. M., Bundjali, B., & Buchari. (2016). Synthesis and characterization of oligomer 4-vinylpyridine as a corrosion inhibitor for mild steel in CO<sub>2</sub> saturated brine solution. *Indonesian Journal of Chemistry*, 16(2), 198–207.
- Jia, R., Unsal, T., Xu, D., Leckbach, Y., & Gu, T. (2019). Microbiologically influenced corrosion and current mitigation strategies: A state of the art review. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 137, 42–58.
- Jones. (1996). *Principles and Prevention of Corrosion* (2nd Edition). Prentice Hall New Jersey.
- Karim, A. A. ., & Yusuf, Z. A. (2012). Analisa Pengaruh Penambahan Inhibitor Kalsium Karbonat dan Tapioka Terhadap Tingkat Laju Korosi pada Pelat Baja Tangki Ballast Air Laut. *Jurnal Riset Dan Teknologi Kelautan*, 10(2), 205–2011.

- Karouw, S., Suparmo, S., Hastuti, P., & Utami, T. (2013). Sintesis Ester Metil Rantai Medium dari Minyak Kelapa dengan Cara Metanolisis Kimiawi. *AgriTECH*, 33(2), 182–188.
- Kasim, R., Setyaningsih, D., & Haerudin, D. H. (2011). Esterifikasi Crude Palm Oil (CPO) Menggunakan Katalis Zeolit Alam Teraktivasi Asam Pada Proses Pembuatan Biodiesel Melalui Metode Dua Tahap (Esterifikasi- Transesterifikasi). *Agrointek : Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 5(1), 59–66.
- Kementerian Perindustrian Indonesia. (2017). *Indonesia Masuk Kategori Negara Industri*. Pers. Kemenperin.
- Kermani, B., Martin, J. W., & Esaklul, K. A. (2006). Materials Design Strategy: Effects of H<sub>2</sub>S/CO<sub>2</sub> Corrosion on Materials Selection. In *Corrosion 2006* (p. NACE-06121).
- Khasanah, N., Daniel, & Marliana, E. (2019). Sintesis surfaktan dietanolamida dari metil ester minyak biji bunga matahari (*Helianthus annuus*. L) melalui reaksi amidasi. *Jurnal Kimia Mulawarman*, 16(2), 83–89.
- Kristian, Andy, & Setyo, P. (2015). Pengaruh Inhibitor Kafeina terhadap Laju Korosi Baja API 5L Grade B dalam Media Air Laut. *Jurnal BATAN*.
- Magnussen, O. M. (2007). Corrosion Protection by Inhibition. In *Encyclopedia of Electrochemistry*.
- Manurung, V. A. T. (2016). *Ilmu Material Untuk Otomotif*. Politeknik Manufaktur Astra.
- Mazumder, M. A. J. (2020). A Review of Green Scale Inhibitors: Process, Types, Mechanism and Properties. *Coatings*, 10, 928.
- Nandiyanto, A. B. D., Oktiani, R., & Ragadhita, R. (2019). How to read and interpret ftir spectroscopy of organic material. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 4(1), 97–118.

- Nešić, S. (2011). Carbon Dioxide Corrosion of Mild Steel. In *Uhlig's Corrosion Handbook* (pp. 229–245).
- Oliveira, A., & Beatrice, C. (2019). *Polymer Nanocomposites with Different Types of Nanofiller* (p. 26).
- Oparaodu, K., & Okpokwasili, G. (2014). *Comparison of Percentage Weight Loss and Corrosion Rate Trends in Different Metal Coupons from two Soil Environments*.
- Pandiangan, K. D., Simanjuntak, W., Pratiwi, E., & Rilyanti, M. (2019). Characteristics and catalytic activity of zeolite-a synthesized from rice husk silica and aluminium metal by sol-gel method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1338(1).
- Petrov, I., & Michalev, T. (2012). Synthesis of Zeolite A. *Proceedings - Chemical Technologies*, 51, Book 9.1, 30–35.
- Priyantoro, F., Santosa, B., & Supomo, H. (2012). Analisa Pengaruh Luasan Scratch Permukaan Terhadap Laju Korosi Pada Pelat Baja A36. *Jurnal Teknis ITS*, 1(1), 20–24.
- Probowati, A., Giovanni, P. C., & Ikhsan, D. (2012). Pembuatan Surfaktan dari Minyak Kelapa Murni (VCO) melalui Proses Amidasi dengan Katalis NaOH. *Jurnal Teknologi Kimia Dan Industri*, 1 (1), 424–432.
- Rathi, V. R., Nirmal, S. D., & Kokate, S. J. (2010). Corrosion study of mild steel, tor steel and CRS steel by weight loss method. *J. Chem.. Res*, 2(2), 97–100.
- Rizvi, M., Gerengi, H., Kaya, S., Uygur, I., Yıldız, M., Sarioglu, I., Cingiz, Z., Mielniczek, M., & El Ibrahimy, B. (2021). Sodium nitrite as a corrosion inhibitor of copper in simulated cooling water. *Scientific Reports*, 11(1), 1–16.
- Roberge, P. R. (2000). *Handbook of Corrosion Engineering*. McGraw Hill.

- Roy, P., Karfa, P., Adhikari, U., & Sukul, D. (2014). Corrosion inhibition of mild steel in acidic medium by polyacrylamide grafted Guar gum with various grafting percentages: Effect of intramolecular synergism. *Corrosion Science*, 88, 246–253.
- Rubiyato and Raharjo. (2008). *Analisa Korosi pada Jeruji Sepeda Motor Secara Visual* (8(1)). TRAK SI.
- Sanni, O., Iwarere, S. A., & Daramola, M. O. (2023). Investigation of Eggshell Agro-Industrial Waste as a Potential Corrosion Inhibitor for Mild Steel in Oil and Gas Industry. *Sustainability (Switzerland)*, 15(7).
- Sari, F., Susanto, B. H., & Bismo, S. (2018). The potential utilization of coconut oil and palm oil as raw material of alkanolamide under alkaline conditions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 105(1).
- Sari, Y., & Dwiwati, S. T. (2015). Korosi H<sub>2</sub>S dan CO<sub>2</sub> pada Peralatan Statik di Industri Minyak dan Gas. *Jurnal Konversi Energi Dan Manufaktur*, 2(1), 18–22.
- Selvia, A. (2020). *Kimia Terapan (Aplikasi untuk Teknik Mesin)*. CV. Sarnu.
- Simanjuntak, W., Pandiangan, K. D., Sembiring, Z., Simanjuntak, A., & 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(March), 106050.
- Sindhu, R., Binod, P., & Pandey, A. (2015). Microbial Poly-3-Hydroxybutyrate and Related Copolymers. In *Industrial Biorefineries and White Biotechnology*. Elsevier B.V.
- Sparkman, O. D., Penton, Z. E., & Kitson, F. G. B. T.-G. C. and M. S. (Second E. (Eds.). (2011). *Gas Chromatography and Mass Spectrometry: A Practical Guide* (2nd ed., pp. xv–xvii). Academic Press.
- Suleman, N., Abas, & Paputungan, M. (2019). Esterifikasi dan Transesterifikasi Stearin Sawit untuk Pembuatan Biodiesel. *Jurnal Teknik*, 17(1), 66–77.

- Thanh, L. T., Okitsu, K., Boi, L. Van, & Maeda, Y. (2012). Catalytic technologies for biodiesel fuel production and utilization of glycerol: A review. *Catalysts*, 2(1), 191–222.
- Torres-Rivero, K., Bastos-Arrieta, J., Fiol, N., & Florido, A. (2021). Metal and metal oxide nanoparticles: An integrated perspective of the green synthesis methods by natural products and waste valorization: applications and challenges. In *Comprehensive Analytical Chemistry* (Vol. 94, pp. 433–469). Elsevier.
- Utomo, S. (2015). Universitas Muhammadiyah Jakarta *Pengaruh Konsentrasi Larutan Nano 2 Sebagai Inhibitor Terhadap Laju Korosi Besi Dalam Media Air Laut* (Vol. 7, Issue 2).
- Verma, C., Haque, J., Quraishi, M. A., & Ebenso, E. E. (2019). Aqueous phase environmental friendly organic corrosion inhibitors derived from one step multicomponent reactions: A review. *Journal of Molecular Liquids*, 275, 18–40.
- Wahyudin, W., Tambunan, A. H., Purwanti, N., Joelianingsih, J., & Nabetani, H. (2018). Tinjauan Perkembangan Proses Katalitik Heterogen dan Non-Katalitik untuk Produksi Biodiesel. *Jurnal Keteknik Pertanian*, 6(2), 123–130.
- Watanabe, Y., Shimada, Y., Sugihara, A., Noda, H., Fukuda, H., & Tominaga, Y. (2000). Continuous production of biodiesel fuel from vegetable oil using immobilized *Candida antarctica* lipase. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 77(4), 355–360.
- Witanto, E., & Trisunaryanti, W. (2010). Preparasi Dan Karakterisasi Katalis Ni-Mo / Zeolit Alam Aktif. *Spectroscopy*, November.
- Yang, H. M. (2021). Role of organic and eco-friendly inhibitors on the corrosion mitigation of steel in acidic environments—a state-of-art review. *Molecules*, 26(11).
- Yatiman, P. (2009). Penggunaan Inhibitor Organik Untuk Pengendalian Korosi Logam dan Paduan Logam. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan Dan Penerapan MIPA*, 134–142.

Zuchry, M., & Magga, R. (2017). Analisis Laju Korosi Dengan Penambahan Pompa Pada Baja Komersil Dalam Media Air Laut. *Jurnal Mekanikal*, 8(2), 737–741.