

**OPTIMASI WAKTU KONVERSI METIL ESTER DARI MINYAK BIJI
KARET (*Hevea brasiliensis*) MENJADI SENYAWA NITROGEN DAN UJI
AKTIVITAS SEBAGAI INHIBITOR KOROSI BAJA LUNAK**

(Skripsi)

Oleh

**DEVY YULIYANDA
NPM 1917011023**



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

ABSTRAK

OPTIMASI WAKTU KONVERSI METIL ESTER DARI MINYAK BIJI KARET (*Hevea brasiliensis*) MENJADI SENYAWA NITROGEN DAN UJI AKTIVITAS SEBAGAI INHIBITOR KOROSI BAJA LUNAK

Oleh

DEVY YULIYANDA

Pada penelitian ini dilakukan optimasi produk amidasi metil ester minyak biji karet dengan dietanolamina menggunakan katalis zeolit A berbasis sekam padi dengan variasi waktu 24, 48, 72, dan 96 jam menjadi senyawa nitrogen. Metil ester diperoleh melalui proses transesterifikasi minyak biji karet dengan metanol dan zeolit A lalu direfluks pada suhu 70 °C. Senyawa nitrogen diperoleh melalui reaksi amidasi dengan mereaksikan metil ester dengan dietanolamina di dalam *autoclave* lalu dimasukkan dalam oven 100 °C selama 24, 48, 72, dan 96 jam dengan waktu pengadukan selama 1 jam. Produk amidasi dikarakterisasi dengan FTIR dan GC-MS selanjutnya digunakan sebagai inhibitor korosi baja lunak menggunakan metode *wheel test* dan morfologi permukaan sampel baja dikarakterisasi dengan SEM. Produk amidasi yang mengandung senyawa nitrogen pada variasi waktu 24, 48, 72, dan 96 jam secara berturut-turut yaitu 15,61%, 20,10%, 25,93%, dan 26,10% namun masih didominasi oleh dietanolamina. Uji aktivitas inhibisi senyawa nitrogen dengan 4 variasi waktu mendapatkan hasil yang baik dengan memperoleh persen proteksi secara berturut-turut 95,71%, 94,96%, 93,49%, dan 93,24%. Hal ini juga didukung oleh hasil yang sama dengan analisis morfologi permukaan menggunakan SEM. Berdasarkan hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa senyawa nitrogen yang berasal dari minyak biji karet memiliki potensi sebagai *green corrosion inhibitor*.

Kata kunci: Minyak biji karet, zeolit A, transesterifikasi, amidasi, inhibitor korosi, *wheel test*.

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF THE CONVERSION TIME OF METHYL ESTER FROM RUBBER (*Hevea brasiliensis*) SEED OIL INTO NITROGEN COMPOUNDS AND TEST ACTIVITY AS A CORROSION INHIBITOR OF MILD STEEL

By

DEVY YULIYANDA

In this research, optimization of the amidation of rubber seed oil methyl ester with diethanolamine to produce nitrogen compounds was carried out using zeolite-A as catalyst. To obtain optimum reaction time, experiments were carried out at different reaction times of 24, 48, 72, and 96 hours. Methyl ester was obtained by transesterification of rubber seed oil with methanol using zeolite-A as catalyst and refluxed at 70 °C. Nitrogen compounds were obtained through an amidation reaction by mixing methyl esters with diethanolamine followed by stirring for 1 h. The mixture was transferred into an autoclave and then the autoclave was placed in an oven at 100 °C for 24, 48, 72, and 96 hours. The amidation product was characterized by FTIR and GC-MS, and then used as a corrosion inhibitor for mild steel using the wheel test method and the surface morphology of the steel sample was characterized by SEM. The amidation products containing nitrogen compounds at various times of 24, 48, 72, and 96 hours were 15.61%, 20.10%, 25.93%, and 26.10% respectively but the products were still dominated by diethanolamine. Inhibition activity tests demonstrated that nitrogen compounds provide high protection as indicated by the percentage of protection in the range of 93.24 to 95.71%. These results are supported by the surface morphology of the metal sample as seen by SEM, suggesting that nitrogen compounds derived from rubber seed oil have potential as green corrosion inhibitors.

Keywords: Rubber seed oil, zeolite A, transesterification, amidation, corrosion inhibitor, wheel test.

**OPTIMASI WAKTU KONVERSI METIL ESTER DARI MINYAK BIJI
KARET (*Hevea brasiliensis*) MENJADI SENYAWA NITROGEN DAN UJI
AKTIVITAS SEBAGAI INHIBITOR KOROSI BAJA LUNAK**

Oleh

DEVY YULIYANDA

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 Skripsi : **OPTIMASI WAKTU KONVERSI METIL ESTER DARI MINYAK BIJI KARET (*Hevea brasiliensis*) MENJADI SENYAWA NITROGEN DAN UJI AKTIVITAS SEBAGAI INHIBITOR KOROSI BAJA LUNAK**

Nama Mahasiswa : **Devy Yuliyanda**

NPM : **1917011023**

Jurusan : **Kimia**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



1. **Komisi Pembimbing**

Dr. Ilim, MS.
NIP.196505251990032002

Prof. Wasinton Simanjuntak, M.Sc., Ph.D.
NIP.1959070619881110011

2. **Ketua Jurusan Kimia FMIPA**

Mulyono, Ph.D.
NIP. 19740611 20003 1 002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Ilim, M.S



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



**Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 21 Agustus 2023

**LEMBAR PERNYATAAN
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Devy Yuliyanda
Nomo Pokok Mahasiswa : 1917011023
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya, bahwa skripsi saya yang berjudul **“Optimasi Waktu Konversi Metil Ester dari Minyak Biji Karet (*Hevea brasiliensis*) Menjadi Senyawa Nitrogen dan Uji Aktivitas Sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak”** adalah benar karya sendiri, baik gagasan, hasil, maupun analisisnya. Selanjutnya saya tidak berkeberatan apabila sebagian atau seluruh data dalam skripsi ini digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan yang telah ada.

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

Bandar Lampung, 23 Agustus 2023
Yang Menyatakan,



Devy Yuliyanda
NPM. 1917011023

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Devy Yuliyanda yang lahir di Jatibaru pada 11 Juli 2001. Penulis juga merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Sudarminto dan Ibu Asnawati. Penulis menyelesaikan pendidikan mulai dari Taman Kanak-Kanak Dharma Wanita Serdang Kabupaten Lampung Selatan lulus pada tahun 2007, SD Negeri 1 Serdang lulus pada tahun 2013, SMP Negeri 1 Tanjung Bintang lulus pada tahun 2016, dan SMA Negeri 1 Tanjung Bintang lulus pada tahun 2019. Pada tahun 2019 penulis terdaftar sebagai mahasiswa jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengatahuan Alam, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selain menjadi mahasiswa di Universitas Lampung, Penulis juga aktif dalam berorganisasi. Organisasi yang diikuti oleh penulis adalah Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) sebagai kader Muda Himaki (KAMI) pada tahun 2019, menjadi anggota Biro Kesekretariatan Himaki periode 2020 dan 2021. Selain itu, penulis juga menjadi anggota peneliti pada penelitian Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) dan mengikuti seminar *The 4th International Conference on Applied Sciences, Mathematics, and Informatics (ICASMI)* sebagai peserta pada tahun 2022. Penulis juga pernah menjadi asisten praktikum Kimia Fisik untuk mahasiswa Kimia FMIPA Unila pada semester ganjil tahun ajaran 2022/2023.

Pada tahun 2022 di bulan Januari penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari di Desa Sumur, Kecamatan Ketapang, Kabupaten Lampung Selatan. Pada tahun 2022 juga, penulis menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) yang berjudul “Analisa Kandungan *Aflatoxin* dan *Zearalenone* dalam Menjaga Mutu Bahan Baku Pakan Ternak PT Charoen Pokphand Indonesia

Feedmill Lampung” di Laboratorium *Wetchem* PT Charoen Pokphand Indonesia-
Feedmill Lampung yang berlokasi di Jalan Ir. Sutami KM 15, Desa Rejomulyo,
Tanjung Bintang, Lampung Selatan. Tahun 2023 penulis berhasil menyelesaikan
Tugas Akhir dengan judul “Optimasi Waktu Konversi Metil Ester dari Minyak
Biji Karet (*Hevea brasiliensis*) Menjadi Senyawa Nitrogen dan Uji Aktivitas
Sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak” di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik
FMIPA Universitas Lampung.

MOTTO

“Allah tidak akan membebani seseorang melainkan dengan kesanggupannya”

(Q.S. Al-Baqarah/1:286)

“Kamu tidak harus menjadi hebat untuk memulai, tetapi kamu harus memulai untuk menjadi hebat”

(Zig Ziglar)

“Apapun yang menjadi takdirmu, akan mencari jalannya menemukanmu”

(Ali bin Abi Thalib)

“Amalan yang lebih dicintai Allah adalah amalan yang terus menerus dilakukan walaupun sedikit”

(Nabi Muhammad SAW)



Puji syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat-Nya serta hidayah-Nya yang diberikan kepada penulis untuk bisa menyelesaikan pendidikan di tingkat perguruan tinggi.

Penulis mempersembahkan karya ini untuk:

Kedua Orang Tua Tercinta

Bapak Sudarminto dan Ibu Asnawati, yang telah membesarkan, mendidik, mendoakan, memberi dukungan semangat yang tiada hentinya, serta selalu terus berjuang memberikan yang terbaik untukku.

Kedua Kakakku Tersayang

Dedi Darwis dan Dian Apriyanti, terimakasih atas segala dukungan yang tiada hentinya, semangat dan kekuatan, serta doa yang selalu diberikan .

Bapak/Ibu Dosen Jurusan Kimia yang telah membimbing, memberikan banyak ilmu dan motivasi kepada penulis selama menempuh pendidikan di kampus.

Para sahabat dan orang-orang yang telah mendukungku selama ini, menemaniku dalam suka dan duka.

Devy terimakasih sudah kuat dan bertahan sampai sekarang

Almamater Tercinta
Universitas Lampung

SANWACANA

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

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

1. Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Kedua Orang tua saya tercinta yang selalu memberikan dukungan, semangat serta doa yang tiada putus, kasih sayang, nasihat. Semoga selalu diberikan kesehatan dan keberkahan oleh Allah SWT.
3. Kedua kakak saya tersayang yang selalu mendukung, memberi semangat serta mendoakan penulis.
4. Ibu Dr. Ilim, M.S. selaku dosen pembimbing I atas segala bimbingan, saran, nasihat, motivasi dan ilmu yang bermanfaat, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
5. Bapak Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D. selaku dosen pembimbing II atas segala bimbingan, saran, motivasi, dan ilmu yang bermanfaat, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

6. Ibu Dr. Mita Rilyanti S.Si., M.Si. selaku pembahas atas segala saran dan masukan yang membangun, sehingga menjadikan skripsi ini menjadi lebih baik.
7. Bapak Prof. Drs. John Hendri, M.S., Ph.D. selaku dosen pembimbing akademik atas segala bimbingan, nasehat serta saran yang telah diberikan selama penulis menempuh perkuliahan di Jurusan Kimia.
8. Bapak Mulyono, Ph.D. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
9. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
10. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan bimbingan serta ilmu selama penulis menempuh perkuliahan di Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
11. Segenap staff administrasi serta laboran Jurusan Kimia khususnya dan FMIPA Universitas Lampung yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan administrasi selama masa studi.
12. Teman-teman seperjuangan penelitian “*Corrosion Research '19*” Rifdah Kamilah, Maulana Arya Nadhief, dan Muhammad Fadhil Ramadito untuk bantuan, dukungan dan kebersamaan dalam suka dan duka selama melakukan penelitian.
13. *Corrosion Research Group* Mba Elin, Mba Laila, Mba Alya, Mba Zira, Mba Nabila dan Kak Sahrul, yang telah memberikan dukungan, bantuan, serta kebersamaan dalam suka dan duka dimanapun.
14. Sahabat kecilku Bella dan Leovi yang selalu mendukung dan memberikan semangat yang tiada henti, menemani dalam suka dan duka sehingga penulis tetap kuat dan semangat dalam kondisi yang dilalui, terimakasih telah menjadi teman terbaikku selama bertahun-tahun.
15. Sahabatku “Masa Depan Sukses (MADESU)” Happy, Munifah, Rifdah, Shilvia, Virginia, Yohana, dan Zahra terimakasih telah menjadi tempat untuk bersandar dalam keadaan suka dan duka, memberikan semangat serta menemani penulis sepanjang perkuliahan.

16. Teman-teman *Chemistry'19* terimakasih atas pengalaman dan kebersamaan selama perkuliahan di Jurusan Kimia.
17. Teman-teman penelitian di Laboratorium Polimer, Zahra, Quntum, Selvia, Eki, Erika, Thio, Rangga, Dito, Arya, Rifdah, Mba diska dan Mba laila. Terimakasih atas dukungan dan bantuannya selama melakukan penelitian di Laboratorium.
18. Seluruh pihak yang terkait yang tidak bisa disebutkan satu persatu baik yang secara langsung maupun tidak langsung, terimakasih atas dukungan dan semangat serta bimbingan dalam penyusunan skripsi ini.

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

Bandar Lampung, Agustus 2023
Penulis,

Devy Yuliyanda

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	4
1.3. Manfaat Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Baja	6
2.2. Korosi.....	7
2.2.1. Pengertian Korosi.....	7
2.2.2. Mekanisme Korosi	7
2.2.3. Faktor-Faktor Korosi	8
2.2.4. Korosi CO ₂	9
2.3. Inhibitor Korosi.....	10
2.4. Proses Transesterifikasi	10
2.4.1. Minyak Biji Karet	10
2.4.2. Katalis Zeolit A.....	11
2.4.3. Transesterifikasi.....	11
2.4.4. Metil Ester.....	12
2.5. Reaksi Amidasi	13
2.5.1. Dietanolamina	13
2.6. Uji Aktivitas Inhibitor Korosi	14

2.6.1. Metode Kehilangan Berat (<i>Wheel Test</i>).....	14
2.6.2. Metode <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS).....	15
2.6.3. Metode Plot Tafel	15
2.7. Karakterisasi Produk.....	16
2.7.1. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	16
2.7.2. <i>Fourier Transform InfraRed</i> (FTIR).....	17
2.7.3. <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	19
2.7.4. <i>Gas Chromatography–Mass Spectrometry</i> (GC-MS)	20
III. METODE PERCOBAAN	22
3.1. Waktu dan Tempat.....	22
3.2. Alat dan Bahan	22
3.3. Prosedur Kerja	23
3.3.1. Preparasi Sekam Padi dan Ekstraksi Silika	23
3.3.2. Sintesis Zeolit A	23
3.3.3. Preparasi Minyak Biji Karet	24
3.3.4. Transesterifikasi Minyak Biji Karet	24
3.3.5. Amidasi dengan Dietanolamina.....	25
3.3.6. Persiapan Sampel Baja Lunak	25
3.3.7. Persiapan Medium Korosif.....	26
3.3.8. Penentuan Laju Korosi (<i>Weight Loss Method</i>).....	26
3.3.9. Analisis SEM.....	26
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1. Preparasi Sekam Padi dan Ekstraksi Silika.....	27
4.2. Sintesis Zeolit A.....	29
4.3. Karakterisasi Zeolit A	30
4.3.1. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	30
4.3.2. <i>Scanning Electron Microscopi</i> (SEM).....	32
4.4. Preparasi Minyak Biji Karet	32
4.5. Transesterifikasi Minyak Biji Karet.....	33
4.6. Amidasi dengan Dietanolamina	35
4.7. Karakterisasi Produk Amidasi	36
4.7.1. <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	36
4.7.2. <i>Gas Chromatography–Mass Spectrometry</i> (GC-MS)	38
4.8. Penentuan Laju Korosi (Uji Aktivitas)	44

4.9. Analisis Permukaan.....	45
V. KESIMPULAN DAN SARAN	47
5.1. Kesimpulan	47
5.2. Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA.....	49
LAMPIRAN	56

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komponen senyawa pada produk transesterifikasi	21
2. Data hasil puncak yang diperoleh antara standar IZA zeolit A dan zeolit A sintesis	31
3. Komposisi proses transesterifikasi	34
4. Identifikasi spektrum FTIR produk amidasi	37
5. Komponen senyawa pada produk amidasi K24	38
6. Komponen senyawa pada produk amidasi K48	39
7. Komponen senyawa pada produk amidasi K72	41
8. Komponen senyawa pada produk amidasi K96	42
9. Struktur senyawa nitrogen yang diperoleh.....	42
10. Data hasil rata-rata pengukuran dan perhitungan laju korosi dengan metode <i>wheel test</i>	44
11. Data pengukuran dimensi baja lunak dan perhitungan berat 24 jam	61
12. Data pengukuran dimensi baja lunak dan perhitungan berat 48 jam	61
13. Data pengukuran dimensi baja lunak dan perhitungan berat 72 jam	61
14. Data pengukuran dimensi baja lunak dan perhitungan berat 96 jam	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Mekanisme korosi baja	8
2. Proses transesterifikasi	12
3. Proses esterifikasi.....	13
4. Difraktogram standar zeolit A (<i>Structure Commission of the International Zeolite Association (IZA-SC)</i>).....	17
5. Skema alat spektroskopi FTIR. (1) Sumber inframerah (2) Pembagi berkas (<i>beam splitter</i>) (3) Kaca pemantul (4) Sensor inframerah (5) Sampel (6) <i>Display</i>	17
6. Spektrum FTIR metil ester.....	18
7. Spektrum FTIR metil ester hasil transesterifikasi minyak biji karet.....	19
8. Mikrograf Zeolit A	20
9. Kromatogram GC dari produk transesterifikasi minyak biji karet.....	21
10. Preparasi sekam padi dan ekstraksi silika (a) sekam padi bebas pengotor, (b) ekstraksi silika sekam padi, (c) sol silika hasil ekstraksi, (d) gel silika, (e) gel silika yang sudah dicuci (f) bubuk silika.	28
11. Sintesis zeolit A (a) larutan natrium silikat, (b) campuran natrium silikat dengan aluminium foil, (c) prekursor zeolit A, (d) zeolit A.....	29
12. Diafraktogram (a) standar IZA zeolit-A dan (b) zeolit-A sintesis	30
13. Mikrograf zeolit A sintesis (a) 10.000 kali, (b) 20.000 kali.....	32
14. Ekstraksi minyak biji karet (a) biji karet, (b) kernel, (c) kernel yang dipotong kecil-kecil dan kering, (d) proses pengempaan/pengepresan, (e) minyak biji karet.....	33
15. Hasil transesterifikasi minyak biji karet (a) sampel terbentuk 2 fasa, (b) metil ester.....	35
16. Produk amidasi dengan dietanolamina dengan variasi waktu (a) 24 jam, (b) 48 jam, (c) 72 jam, (d) 96 jam.	36
17. Spektrum FTIR (a) metil ester, (b) produk amidasi 24 jam, (c) produk amidasi 48 jam, (d) produk amidasi 72 jam, (d) produk amidasi 96 jam	37
18. Kromatogram produk amidasi variasi waktu 24 jam	38
19. Kromatogram produk amidasi variasi waktu 48 jam	39

20. Kromatogram produk amidasi variasi waktu 72 jam	40
21. Kromatogram produk amidasi variasi waktu 96 jam	41
22. Mikrograf sampel baja lunak pada perbesaran 15.000 kali (a) baja lunak tanpa perlakuan, (b) baja lunak dalam medium NaCl 3%, (c) penambahan inhibitor K24, (d) penambahan inhibitor K48, (e) penambahan inhibitor K96.	45
23. Dietanolamina	63
24. Asam Kaprilat Monoetanol Amida	63
25. 1,4-Bis(2-Hidroksietil)Piperazina	63
26. Tripropilamina.....	63
27. 1-Butanamina, 2-Etil-N- (2-Etilbutil)	63
28. N-(3-Butenil)-Dipropilamina	63
29. 1,9-Diaminononana.....	64
30. Heksanamida, N-(2-Hidroksietil).....	64
31. N-Asetilmorfolin.....	64
32. Etil 1-(4-Metilbenzoil)Piperidin-4-Karboksilat	64
33. Dekanamida, N-(2-Hidroksietil)	64
34. 2,4,5-Trimetil-5-Etil-2-Oksazolina	64
35. 3-Asetamida-3-Etil-Heptana	65
36. <i>5alpha-Androstan-3-one, Oxime</i>	65

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Baja adalah salah satu jenis logam yang banyak digunakan dengan unsur karbon sebagai salah satu dasar campurannya. Baja karbon merupakan baja struktur yang sering digunakan untuk keperluan konstruksi maupun untuk pembuatan komponen-komponen mesin (Tampubolon dkk., 2020). Baja karbon juga memiliki peran yang cukup signifikan dalam bidang industri seperti pembersihan sisa industri, membuat jalur pipa, penutup pipa maupun tabung dan konstruksi penyimpanan serta fasilitas lainnya (Stiadi dkk., 2019). Namun, dalam pemakaian baja sering mengalami permasalahan dari lingkungannya berupa serangan korosi. Korosi merupakan reaksi kimia atau elektrokimia antara bahan tertentu, biasanya logam dan lingkungan sekitarnya yang pada akhirnya menyebabkan degradasi bahan dan sifat-sifatnya (Al-Moubaraki and Obot, 2021).

Permasalahan korosi ini umum terjadi dalam bidang industri minyak dan gas. Dalam industri minyak dan gas korosi yang umum terjadi disebabkan oleh adanya gas CO₂, baik yang berasal dari produksi maupun dari hasil pengolahan. Kandungan dari CO₂ dalam gas alam pada dasarnya tidak terlalu berbahaya terhadap material penyalur. Namun, adanya interaksi antara gas CO₂ dengan fasa liquid akan menyebabkan terjadinya korosi internal pada material tersebut. Gas CO₂ yang terlarut dalam media air maupun larutan akan membentuk suatu lingkungan yang korosif, serta dengan adanya injeksi gas CO₂ pada sumur minyak dapat menyebabkan korosi CO₂ semakin meningkat (Suryaningsih dkk., 2015).

Dampak dari adanya korosi CO₂ dalam pendistribusian minyak yaitu kerusakan dan kegagalan seperti kebocoran pipa minyak yang dapat memberikan dampak

buruk, baik dari segi ekonomi, keselamatan serta lingkungan (Elgaddafi *et al.*, 2020). Beberapa teknik yang dapat digunakan untuk meminimalisir terjadinya korosi CO₂ diantaranya menggunakan *coating*, proteksi secara katodik dan anodik, serta menggunakan zat aditif atau inhibitor (Ilim *et al.*, 2007). Di antara beberapa teknik pengontrol korosi tersebut, penggunaan inhibitor korosi banyak digunakan karena mudah diaplikasikan, dan mampu memberikan perlindungan dari lingkungan yang tingkat korosifitasnya sangat tinggi (Akrom, 2019).

Inhibitor korosi merupakan suatu senyawa kimia yang bila ditambahkan ke dalam suatu lingkungan dapat menurunkan atau mengurangi laju korosi terhadap suatu logam. Secara umum inhibitor korosi dibagi atas dua kategori yaitu inhibitor anorganik dan organik. Inhibitor anorganik pada umumnya mahal dan banyak yang berbahaya serta bersifat toksik bagi lingkungan. Oleh karena itu, penggunaan inhibitor organik banyak digunakan sebagai inhibitor karena lebih aman dan memiliki sifat yang ramah lingkungan sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya pencemaran. Inhibitor organik umumnya mengandung heteratom yang terdiri dari Nitrogen (N), Oksigen (O), Sulfur (S) atau Fosfor (P) dengan pasangan elektron bebas elektron π (cincin aromatik dan ikatan rangkap) yang dapat berinteraksi dengan orbital bebas pada logam dalam mendukung proses adsorpsi (Brycki *et al.*, 2018). Contoh penggunaan inhibitor organik untuk mengurangi permasalahan korosi CO₂ dari beberapa penelitian seperti penggunaan tumbuhan tembakau, teh dan kopi (Ilim *et al.*, 2007), inhibitor oligomer 4-vinilpiridin (Ilim *et al.*, 2016 dan 2021), oligomer 4-vinilpiperidin (Ilim *et al.*, 2017), dan oligomer 2-vinilpiridin (Ilim, *et al.*, 2021).

Senyawa inhibitor organik yang berasal dari bahan alam berpotensi untuk dikembangkan, seperti golongan senyawa organik yaitu golongan surfaktan. Surfaktan merupakan senyawa yang mempunyai dua gugus sekaligus, yaitu gugus lipofilik dan gugus hidrofilik sehingga dapat digunakan untuk mencampurkan suatu senyawa yang memiliki perbedaan kepolaran misalnya minyak dan air. Jenis surfaktan salah satunya yaitu alkanolamida (Khasanah dkk., 2019). Alkanolamida merupakan senyawa yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi salah

satunya sebagai inhibitor korosi. Alkanolamida dihasilkan dari reaksi antara asam lemak, metil ester, atau trigliserida dengan alkanolamina atau dietanolamina. Metil ester merupakan senyawa ester alkil yang berasal dari minyak nabati dengan alkohol yang dihasilkan melalui proses esterifikasi atau transesterifikasi. Salah satu jenis minyak nabati yang dapat dimanfaatkan dan berpotensi menjadi alkanolamida yaitu minyak biji karet. Karet (*Hevea brasiliensis*) merupakan salah satu hasil pertanian yang banyak menunjang perekonomian negara, namun pemanfaatan dari biji karet ini masih belum mendapatkan perhatian lebih. Padahal biji karet berpotensi sebagai sumber minyak, dimana di dalamnya mengandung 40-50% minyak nabati dengan komposisi asam lemak yang dominan berupa asam oleat dan asam linoleat, sementara sisanya berupa asam palmitat, asam stearat, asam arachidat dan asam lemak lainnya. Minyak biji karet diambil dengan cara dikeringkan terlebih dahulu kemudian di press (Hakim dan Mukhtadi, 2018).

Pada penelitian sebelumnya (Aulia, 2021), persiapan senyawa nitrogen dicoba dengan mereaksikan metil ester yang berasal dari minyak biji karet dengan dietanolamin pada rasio 1:2 dan mendapatkan persen proteksi produk amidasi pada suhu 50 °C dengan konsentrasi 150 g.mL⁻¹ didapatkan sebesar 52% berdasarkan metode *wheel test*. Pada penelitian (Damayanti, 2021) didapatkan uji aktivitas larutan inhibitor dengan menggunakan metode *wheel test* menunjukkan bahwa larutan dengan perbandingan dietanolamina 3 mL: 2 mL metil ester memiliki persen inhibisi yaitu 60,11%. Dalam studi tersebut, percobaan dilakukan campuran dari metil ester oleh refluks dengan ditambahkan zeolit-A sebagai katalis. Namun, dari dua penelitian tersebut belum mendapatkan hasil yang optimum.

Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian ini dilakukan dengan mengoptimasi waktu dari hasil konversi metil ester menjadi senyawa nitrogen dengan variasi waktu 24, 48, 72, dan 96 jam menggunakan *autoclave*. Penggunaan *autoclave* pada penelitian ini bertujuan agar dapat mengoptimasi kondisi reaksi amidasi dengan waktu reaksi yang diinginkan dan tahan terhadap suhu yang tinggi. Penelitian ini dilakukan dengan mensintesis zeolit A berbasis sekam padi, lalu

Zeolit A yang terbentuk dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Kemudian transesterifikasi minyak biji karet menggunakan zeolit-A serta melakukan reaksi amidasi dengan mereaksikan metil ester dari minyak biji karet, dietanolamina dan zeolite A sebagai katalis dalam *autoclave*. Senyawa yang diperoleh dari reaksi amidasi ini dikarakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS). Senyawa nitrogen yang diperoleh nantinya akan diuji aktivitasnya sebagai inhibitor korosi baja lunak dalam medium korosif atau yang mengandung CO₂ menggunakan metode *wheel test*. Morfologi permukaan baja lunak hasil pengukuran dengan metode *wheel test* dengan medium korosif dan tanpa medium korosif dianalisis dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Memperoleh hasil sintesis zeolit A berbasis sekam padi dan mengkarakterisasinya dengan XRD dan SEM.
2. Memperoleh konversi metil ester melalui proses transesterifikasi dari minyak biji karet.
3. Memperoleh hasil konversi alkanolamida melalui reaksi amidasi metil ester minyak biji karet menggunakan katalis zeolit A dan mengkarakterisasinya dengan FTIR dan GC-MS.
4. Memperoleh aktivitas inhibisi senyawa nitrogen dari hasil optimasi konversi metil ester dari minyak biji karet sebagai inhibitor korosi baja lunak.
5. Mendapatkan hasil yang optimum dari konversi metil ester minyak biji karet dengan katalis zeolit A menjadi senyawa nitrogen dengan variasi waktu.

1.3. Manfaat Penelitian

Selanjutnya hasil penelitian yang akan diperoleh diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

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

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Baja

Baja pada dasarnya adalah paduan dari besi dan karbon. Baja karbon memiliki jumlah dengan persentase rendah dari mangan dan silikon serta mengandung fosfor dan sulfur yang juga rendah. Baja karbon dapat diklasifikasikan sesuai dengan jumlah kandungan karbonnya, yaitu baja karbon rendah yang memiliki kandungan karbon kurang dari 0,25%, baja karbon sedang memiliki 0,30% sampai 0,60%, baja karbon tinggi memiliki lebih dari 0,60% (Prabowo dkk., 2021).

Menurut (Syahri dkk., 2017) berdasarkan komposisi kimianya, baja diklasifikasikan menjadi dua yaitu baja paduan dan baja karbon.

1. Baja Paduan

Baja paduan didefinisikan sebagai suatu baja yang dicampur dengan satu atau lebih unsur campuran seperti mangan, molibdenum, kromium, nikel, vanadium, silikon, dan boron yang berguna untuk memperoleh sifat-sifat baja yang dikehendaki. Berdasarkan paduannya baja paduan ini dibagi menjadi tiga macam diantaranya baja paduan rendah (*low alloy steel*), baja paduan menengah (*medium alloy steel*), dan baja paduan tinggi (*high alloy steel*).

2. Baja Karbon

Baja karbon ini terdiri dari besi dan karbon, pada umumnya sebagian besar hanya mengandung karbon saja dengan sedikit unsur paduan lainnya. Berdasarkan kandungan karbon, baja terdiri dari baja karbon rendah (*low carbon steel*), baja karbon sedang (*medium carbon steel*) dan baja karbon tinggi (*high carbon steel*). Namun, dalam pemakaian baja sering mengalami permasalahan dari lingkungannya berupa serangan korosi.

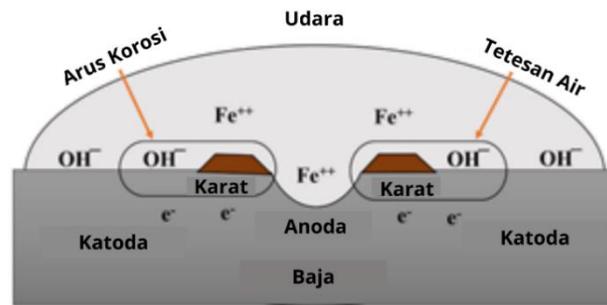
2.2. Korosi

2.2.1. Pengertian Korosi

Korosi adalah reaksi kimia atau elektrokimia antara bahan tertentu, biasanya logam, dan lingkungan sekitarnya yang pada akhirnya menyebabkan degradasi bahan dan sifat-sifatnya (Al-Moubaraki and Obot, 2021). Korosi hanya bisa dikendalikan atau diperlambat lajunya sehingga memperlambat proses kerusakannya. Faktor yang berpengaruh terhadap korosi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu yang berasal dari bahan itu sendiri dan dari lingkungan. Korosi dapat terjadi karena proses fisik, kimia maupun biologi yang berkaitan dengan interaksi antara ketiganya. Korosi fisik dapat terjadi karena kontak antara logam dengan ion di lingkungan. Korosi kimia terjadi karena adanya senyawa-senyawa kimia yang dapat menyebabkan korosi, seperti asam ataupun merkuri, sedangkan korosi biologi dapat terjadi karena adanya mikrobia penyebab korosi (Natasya *et al.*, 2022).

2.2.2. Mekanisme Korosi

Mekanisme korosi secara umum yaitu mekanisme yang terjadi di dalam suatu larutan berawal dari logam yang teroksidasi di dalam larutan dan melepaskan elektron untuk membentuk ion logam yang bermuatan positif. Larutan akan bertindak sebagai katoda dengan reaksi yang umum terjadi adalah pelepasan H_2 dan reduksi O_2 , akibat H^+ dan H_2O yang tereduksi. Reaksi ini terjadi dipermukaan logam yang akan menyebabkan pengelupasan akibat pelarutan logam ke dalam larutan secara berulang-ulang. Secara termodinamik, proses korosi merupakan kecenderungan normal suatu logam untuk kembali ke kondisi alaminya atau *natural state*, atau ke bentuk yang lebih stabil. Pada temperatur rendah dan basah, korosi terjadi dengan mekanisme reaksi elektrokimia yang membentuk reaksi oksidasi dan reaksi reduksi. Reaksi elektrokimia didefinisikan sebagai reaksi kimia yang melibatkan perpindahan elektron dari anoda (-) ke katoda (+) dalam larutan elektrolit (Putra dan Ramdani, 2021). Proses terbentuknya korosi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Mekanisme korosi baja (Bazli *et al.*, 2020)

Korosi terjadi akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Salah satu kondisi lingkungan yang sering menyebabkan terjadinya korosi pada besi adalah air laut. Karena air laut merupakan larutan yang mengandung berbagai macam garam (Haryono dkk., 2010).

2.2.3. Faktor-Faktor Korosi

Menurut (Royani, 2021) Salah satu faktor yang mempengaruhi terbentuknya korosi pada lingkungan air laut adalah kandungan air laut itu sendiri. Parameter-parameternya sebagai berikut:

a. Kecepatan Aliran

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

b. Konduktivitas dan Total Padatan Terlarut

Konduktivitas adalah ukuran kemampuan air untuk menghantarkan arus listrik dan mengindikasikan jumlah padatan terlarut dalam air. Air laut memiliki konduktivitas yang tinggi sedangkan air suling murni memiliki konduktivitas sangat rendah.

c. pH Larutan

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

d. Suhu

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

2.2.4. Korosi CO₂

Korosi CO₂ merupakan masalah yang banyak dijumpai pada 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 CO₂ yang terlarut dalam media air dan bersifat korosif. Gas CO₂ yang terlarut dalam air akan terhidrasi dan membentuk senyawa asam karbonat. Asam karbonat merupakan asam lemah, jadi dapat dikatakan bahwa korosi CO₂ merupakan korosi akibat asam lemah. Reaksi korosi yang terjadi akan menghasilkan FeCO₃ sebagai produk korosi. Produk ini akan mengendap pada permukaan material sehingga akan mencegah terjadinya korosi lanjutan karena material akan dihalangi oleh lapisan tersebut untuk kontak dengan lingkungan (Suryaningsih dkk, 2015). Dampak dari adanya korosi CO₂ dalam industri minyak diantaranya kerusakan dan kegagalan seperti kebocoran pipa minyak yang dapat memberikan dampak buruk, baik dari segi ekonomi, keselamatan serta lingkungan (Elgaddafi *et al.*, 2020).

Terdapat beberapa teknik yang digunakan untuk meminimalisir terjadinya korosi CO₂ diantaranya menggunakan *coating*, proteksi secara katodik dan anodik, serta menggunakan zat aditif atau inhibitor (Ilim *et al.*, 2007). Di antara beberapa teknik pengontrol korosi tersebut, penggunaan inhibitor korosi banyak digunakan karena mudah diaplikasikan, dan mampu memberikan perlindungan dari lingkungan yang tingkat korosifitasnya sangat tinggi (Akrom, 2019).

2.3. Inhibitor Korosi

Inhibitor korosi adalah suatu zat kimia yang jika ditambahkan ke dalam lingkungan korosif akan dapat menghambat laju korosi terhadap suatu logam melalui proses kimia (Adziimaa dkk., 2013). Inhibitor itu sendiri secara umum dibagi menjadi dua kategori yaitu inhibitor anorganik dan inhibitor organik.

Inhibitor anorganik bersifat beracun, tidak ramah lingkungan, dan mahal, sehingga pengembangan inhibitor korosi diarahkan pada pencarian inhibitor organik bahan alam (Vorobyova and Skiba, 2020). Inhibitor organik terdiri dari bahan alami yang ramah lingkungan (mengandung atom N, O, P dan atom-atom lainnya yang memiliki pasangan elektron bebas sehingga mampu membentuk senyawa kompleks dengan logam). Inhibitor organik dapat digunakan dalam pencegahan proses korosi dengan cara memperlambat prosesnya ialah suatu cara yang paling efektif disebabkan biayanya yang sedikit serta penggunaannya yang sederhana (Fahriani, 2021).

Peranan utama dari penambahan inhibitor yaitu untuk membatasi aktivitas korosi pada logam, sehingga dapat meningkatkan usia manfaat suatu material, menghindari kontaminasi suatu produk material, meningkatkan keamanan dari kecelakaan akibat materia yang terkorosi, meningkatkan daya produksi suatu material, dan lain sebagainya (Akrom, 2019).

2.4. Proses Transesterifikasi

2.4.1. Minyak Biji Karet

Biji karet mengandung sekitar 40-50% minyak nabati dengan komposisi asam lemak yang dominan adalah asam oleat dan asam linoleat, sementara sisanya berupa asam palmitat, asam stearat, asam arachidat dan asam lemak lainnya. Biji karet mempunyai bentuk ellipsoidal, dengan panjang 2,5-3 cm, yang mempunyai berat 2-4 gram/biji. Biji karet terdiri dari 40-50% kulit yang keras berwarna coklat, dan 50-60% kernel yang berwarna putih kekuningan. Kernel biji karet terdiri dari 45,63% minyak, 2,71% abu, 3,71% air, 22,17% protein dan 24,21% karbohidrat, sehingga biji karet berpotensi digunakan sebagai sumber minyak.

Maka dari itu biji karet dikeringkan dan dipres untuk diambil minyaknya (Hakim dan Mukhtadi, 2018).

2.4.2. Katalis Zeolit A

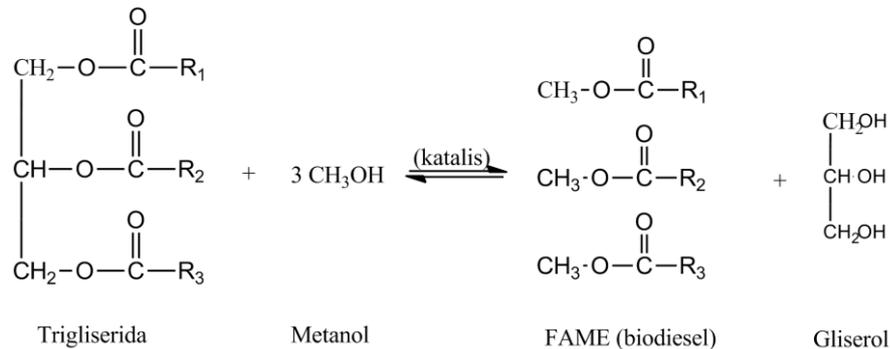
Zeolit merupakan suatu mineral dengan komponen utama yaitu alumina dan silika. Kristal zeolit yang terdiri dari SiO_2 dan $[\text{AlO}_4]^-$ masing-masing membentuk struktur tetrahedral yang nantinya akan bergabung membentuk kerangka dengan cara keduanya akan saling terhubung dengan atom O sebagai atom pengikat. Zeolit dapat mengikat kation dengan ikatan yang lemah sehingga kation-kation yang terikat pada zeolit akan dapat digantikan dengan kation-kation yang lain. Namun, jika kation yang terikat adalah proton (H^+) maka zeolit akan bersifat sangat asam sehingga dapat berguna sebagai katalis.

Pada penelitian ini katalis yang digunakan adalah katalis zeolit A. Zeolit A adalah kristal aluminosilikat yang bahan berpori dengan banyak sifat seperti porositas tinggi, stabilitas termal yang baik, pertukaran ion, saringan molekuler, dan ramah lingkungan, sehingga diminati sebagai katalis (Andarini dkk., 2018). Sebagai katalis zeolit A dapat mengubah minyak nabati menjadi biodiesel (Simanjuntak *et al.*, 2019). Zeolit A pada percobaan ini diperoleh melalui proses ekstraksi silika sekam padi. Pada proses ekstraksi menggunakan sekam padi dikarenakan pada sekam padi mempunyai kandungan silika yang tinggi mencapai sekitar 85-95% dari berat kering sekam padi. Selain itu, sekam padi juga merupakan bahan yang dapat diperbaharui karena berasal dari limbah pertanian, ketersediaannya melimpah dan ramah lingkungan (Chandrasekaran and Ramanathan, 2007).

2.4.3. Transesterifikasi

Transesterifikasi merupakan reaksi pembentukan ester dan gliserol dari trigliserin (lemak/minyak) dengan bio-alkohol (metanol atau etanol). Transesterifikasi merupakan tipe reaksi kesetimbangan (reversibel), di mana penambahan katalis

NaOH (katalis kimia) dapat mempercepat tercapainya keadaan kesetimbangan tersebut (Ningtyas, 2013). Proses transesterifikasi dapat dilihat pada Gambar 2.



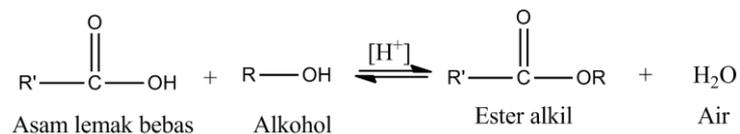
Gambar 2. Proses transesterifikasi (Amalia dkk., 2021)

Transesterifikasi katalis asam biasanya dilakukan dengan menggunakan asam kuat, terutama HCl, H₂SO₄, dan HNO₃. Reaksi ini diakui mampu memiliki hasil yang tinggi tetapi terdapat beberapa kelemahan juga. Untuk mencapai konversi lengkap reaksi membutuhkan waktu yang lama proses dan suhu yang relatif tinggi, ketika dibandingkan dengan transesterifikasi yang dikatalisis basa, karena laju reaksinya yang rendah (Pandiangan and Simanjuntak, 2013).

2.4.4. Metil Ester

Biodiesel merupakan biofuel rantai karbon yang memiliki asam lemak dan gugus alkil yang dihubungkan melalui ikatan ester dan dihasilkan melalui reaksi transesterifikasi, dimana asam lemak dalam trigliserida bereaksi dengan gugus alkil membentuk biodiesel sebagai produk utama dan gliserol sebagai produk samping (Hasby dkk., 2021). Biodiesel adalah senyawa *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) yang dapat disintesis dari minyak nabati melalui proses esterifikasi dan transesterifikasi.

Proses esterifikasi merupakan proses konversi *free fatty acid* menjadi ester, dimana pada proses esterifikasi terjadi reaksi antara minyak dan lemak dengan alkohol (Amalia dkk., 2021). Proses esterifikasi dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses esterifikasi (Amalia dkk., 2021)

2.5. Reaksi Amidasi

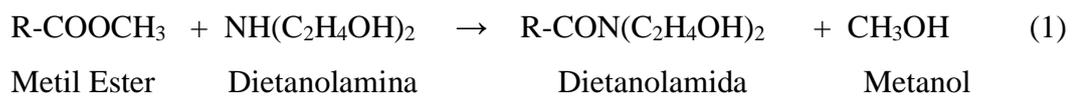
Reaksi amidasi merupakan reaksi yang masih jarang digunakan karena keseimbangan reaksi yang sulit dalam pembentukan produk amida. Pada kondisi tertentu, reaksi dapat mencapai keseimbangan yang lebih condong ke arah reaktan. Reaksi amidasi terjadi dengan mereaksikan asam lemak, metil ester atau trigliserida dengan alkanolamina atau dietanolamina. Bahan baku yang sering digunakan pada reaksi amidasi adalah metil ester, tetapi penggunaan metil ester perlu dipertimbangkan dikarenakan dapat menimbulkan busa yang berlebih dalam penggunaannya (Lubis, 2018).

Alkanolamida merupakan surfaktan non-ionik yang secara luas digunakan sebagai agen pengemulsi yang stabil. Senyawa ini juga digunakan dalam industri farmasi, kosmetik, kebutuhan rumah tangga seperti sampo dan deterjen, serta sebagai agen pengontrol busa, aditif bahan bakar, *corrosion inhibitors*. Sifat kimia dari suatu senyawa alkanolamida sangat bervariasi, tergantung dari panjang cincin hidrokarbon dan sifat substituen pada atom nitrogen (Amalia, 2012).

2.5.1. Dietanolamina

Dietanolamina adalah senyawa organik yang memiliki amina primer karena adanya gugus amino dalam molekul. Dietanolamina merupakan basa lemah, beracun, mudah terbakar, korosif, tidak berwarna dan memiliki bau yang mirip dengan amonia, yang telah digunakan untuk menggosok gas asam. Namun, selain digunakan sebagai *scrubber* CO₂, Dietanolamina juga banyak digunakan untuk pada turunan minyak, sabun, shampo, pembersih, pemoles, kosmetik, obat-obatan dan sebagai perantara di industri kimia karet (Madihah *et al.*, 2015).

Amidasi asam lemak merupakan reaksi penting, di mana alkanolamida lemak terbentuk sebagai produk. Penggunaan katalis heterogen membuat proses ini lebih ramah dan lebih murah, menghindari pemisahan katalis yang tidak praktis (Mäkiarvela *et al.*, 2017). Reaksi asam lemak atau metil ester asam lemak dengan alkanolamina menghasilkan alkanolamida lemak, seperti monoalkanolamida dan dialkanolamida. Alkanolamida lemak disiapkan dengan mereaksikan triasilgliserol hewan atau nabati dengan kelas alkanolamina yang berbeda, seperti etanolamina dan dietanolamina (Yudhika, 2018). Reaksi amidasi metil ester dengan dietanolamina dapat dilihat pada Persamaan 1.



2.6. Uji Aktivitas Inhibitor Korosi

2.6.1. Metode Kehilangan Berat (*Wheel Test*)

Metode kehilangan berat adalah metode pengukuran laju korosi yang paling banyak digunakan. Sampel ditempatkan di dalam sistem dan dibiarkan untuk terkorosi. Setelah itu dihitung laju korosinya melalui kehilangan berat yang terjadi pada sampel. Bentuk dan dimensi sampel yang akan diuji dapat bervariasi sesuai persyaratan pengujian (Ramaadani, 2017). Kehilangan berat dapat ditentukan menggunakan Persamaan 2, sedangkan untuk menghitung laju korosi dapat ditentukan menggunakan Persamaan 3.

$$W = W_i - W_t \quad (2)$$

$$\text{CR} = \frac{10 \times W \times 365}{A \times D \times t} \quad (3)$$

Keterangan:

W = kehilangan berat (g)

CR = laju korosi (mm/th)

W_i = berat awal (g)

W_t = berat akhir (g)

A = luas permukaan sampel (cm²)

D = density (g/cm³)

t = waktu paparan (hari)

Pada Persamaan 4 untuk mengetahui efisiensi inhibisi suatu inhibitor dalam menghambat laju korosi.

$$\%P = \frac{(CR_0 - CR_i)}{CR_0} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan:

%P = persen proteksi

CR₀ = laju korosi tanpa inhibitor

CR_i = laju korosi dengan inhibitor

2.6.2. Metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS)

Metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) digunakan untuk menentukan tahanan transfer muatan dan lapis rangkap listrik pada antarmuka baja karbon-larutan (Wahyuningsih dkk., 2010). Metode EIS berfungsi sebagai aplikasi dari tegangan AC (atau arus bila dalam kasus EIS galvanostatis) ke sistem yang diteliti. Analisis dari arus AC berupa respon tegangan sebagai fungsi dari frekuensi. Ini biasanya dilakukan melalui penggunaan potensiostat dan *Frequency Response Analyzer* (FRA), serta dapat dilakukan dalam konfigurasi 2 atau 3 elektroda tergantung pada elektroda acuan yang tegangannya diketahui dan tetap (Mahendra dan Supardi, 2021). Efisiensi penghambatan (IE) dari metode EIS dapat dihitung dengan Persamaan 5.

$$IE(\%) = \frac{R_{ct,inh} - R_{ct,0}}{R_{ct,inh}} \times 100 \quad (5)$$

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

2.6.3. Metode Plot Tafel

Metode Tafel merupakan teknik polarisasi dimana tiga elektroda diletakan di dalam suatu sel gelas uji. Elektroda-elektroda tersebut antara lain elektroda kerja, elektroda pembantu berbentuk logam Pt dan elektroda pembanding kalomel jenuh.

Metode ini digunakan untuk mendapatkan estimasi akurat nilai laju korosi pada pipa baja (Nuraini dkk., 2016). Plot Tafel dari kurva anodik dan katodik diekstrapolasi untuk mendapatkan parameter potensi korosi (E_{corr}), kepadatan arus korosi (I_{corr}) dan slope tafel. Jika potensial anodik dapat bergeser ke arah negatif maka reaksi anodik yang berperan. Namun, jika potensial korosi bergeser ke arah positif maka reaksi katodik yang berperan. Pada Persamaan 6 menunjukkan perhitungan % IE dari nilai I_{corr} (Tsoeunyane *et al.*, 2019).

$$\text{IE}(\%) = \frac{I_{\text{corr}} - I'_{\text{corr}}}{I_{\text{corr}}} \times 100 \quad (6)$$

Di mana, I_{corr} dan I'_{corr} adalah rapat arus korosi dari baja ringan dengan dan tanpa inhibitor.

2.7. Karakterisasi Produk

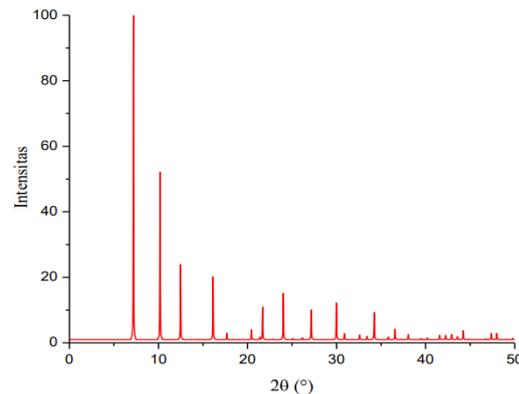
2.7.1. X-Ray Diffraction (XRD)

Spektroskopi difraksi sinar-X (*X-ray diffraction/XRD*) digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Difraksi sinar-X terjadi pada hamburan elastis foton-foton sinar-X oleh atom dalam sebuah kisi periodik. Hamburan monokromatis sinar-X dalam fasa tersebut memberikan interferensi yang konstruktif (Sudradjat dan Bayuseno, 2013). Dasar dari penggunaan difraksi sinar-X untuk mempelajari kisi kristal adalah berdasarkan persamaan Bragg dapat dilihat pada Persamaan 7:

$$n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \theta \quad (7)$$

Dengan λ adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan, d adalah jarak antara dua bidang kisi, θ adalah sudut antara sinar datang dengan bidang normal, dan n adalah bilangan bulat yang disebut sebagai orde pembiasan. Alat yang digunakan untuk mengukur dan mempelajari difraksi sinar X Difraktometer menggunakan prinsip difraksi. Hasil karakterisasi dengan XRD dari standar zeolit A memiliki puncak-puncak karakteristik yang khas yaitu pada $2\theta = 7,194^\circ$,

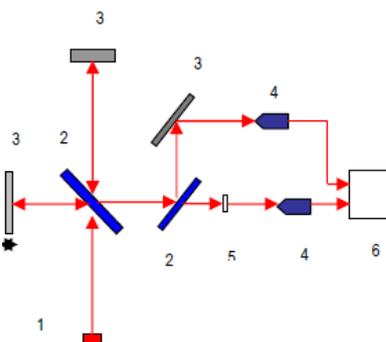
10,181°, 12,477°, 16,129°, dan 24,020°. Contoh difraktometer XRD dari standar zeolit A dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Difraktogram standar zeolit A (*Structure Commission of the International Zeolite Association (IZA-SC), 2017*).

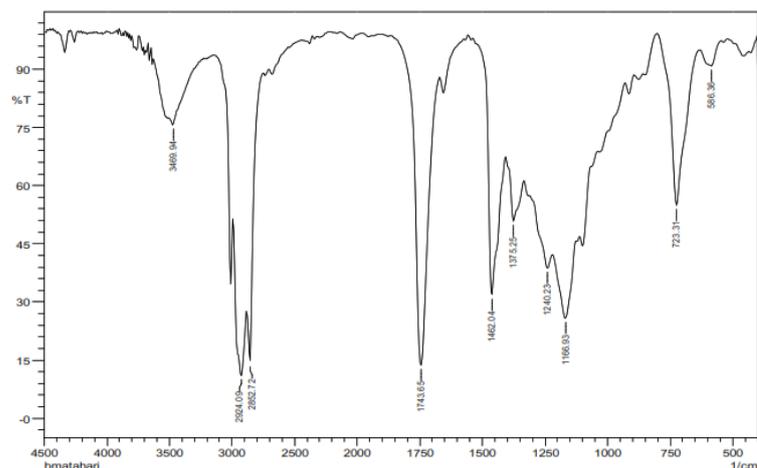
2.7.2. *Fourier Transform InfraRed (FTIR)*

Fourier Transform InfraRed (FTIR) merupakan metode yang menggunakan spektroskopi inframerah. Pada spektroskopi inframerah, radiasi inframerah dilewatkan pada sampel. Sebagian radiasi inframerah diserap oleh sampel dan sebagian lagi dilewatkan atau ditransmisikan. Analisis gugus fungsi dengan FTIR bertujuan untuk mengetahui proses yang terjadi pada pencampuran apakah secara fisik atau kimia. Sampel ditempatkan ke dalam *set holder*, kemudian dicari spektrum yang sesuai. Hasilnya akan didapatkan difraktogram hubungan antara bilangan gelombang dengan intensitas (Satriawan dan Ilmiati, 2017).



Gambar 5. Skema alat spektroskopi FTIR. (1) Sumber inframerah (2) Pembagi berkas (*beam splitter*) (3) Kaca pemantul (4) Sensor inframerah (5) Sampel (6) *Display* (Silviah dkk., 2019)

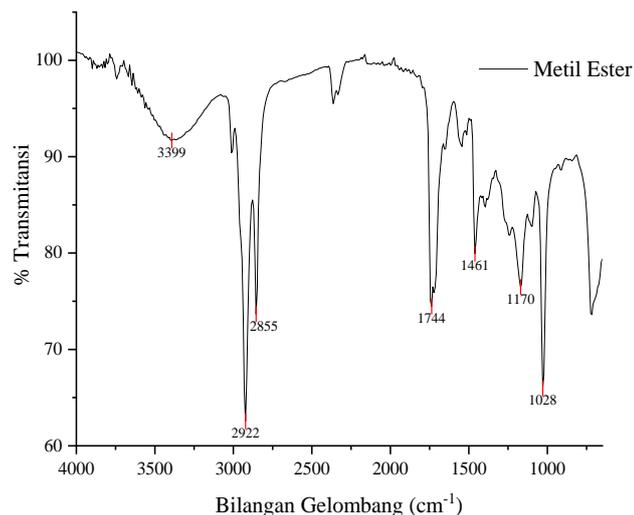
Contoh spektrum FTIR metil ester berdasarkan penelitian yang telah dilaporkan oleh Khasanah dkk, (2019) dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Spektrum FTIR Metil Ester

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

Contoh lain dari spektrum FTIR metil ester berdasarkan penelitian yang telah dilaporkan Junaidi (2023) dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Spektrum FTIR metil ester hasil transesterifikasi minyak biji karet

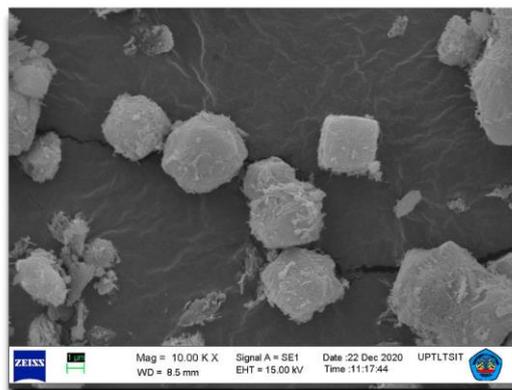
Berdasarkan Gambar 7 Hasil karakterisasi spektrum FT-IR metil ester di atas menunjukkan bahwa terdapat serapan pada bilangan gelombang 1744 cm⁻¹ menunjukkan vibrasi C=O dan diperkuat dengan serapan pada bilangan gelombang 1170 cm⁻¹ dan 1028 cm⁻¹ hal tersebut menunjukkan bahwa adanya konversi asam lemak dari minyak biji karet menjadi senyawa ester. Pada bilangan gelombang 3399 cm⁻¹ merupakan vibrasi O-H asam lemak yang menunjukkan adanya asam lemak yang belum terkonversi menjadi metil ester.

Pada penelitian ini, FTIR digunakan untuk mengkarakterisasi produk transesterifikasi dan produk amidasi.

2.7.3. Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan mikroskop elektron dengan perbesaran tinggi yang mencitrakan permukaan material (Kustomo, 2020).

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. Bentuk kubik zeolit-A dapat dideteksi dengan SEM dapat dilihat pada Gambar 8.



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

Pada Gambar 8 dalam mikrograf dari zeolit A menunjukkan keberadaan struktur kubik sangat jelas dan tidak ada struktur lain yang diamati, Partikel dari zeolit A dengan baik terpisah, menunjukkan bahwa bukan diaglomerasi ke membentuk sebuah gugus. Untuk sampel tertentu, keberadaan struktur kubik yang merupakan karakteristik membentuk dari kristal zeolit A sangat jelas.

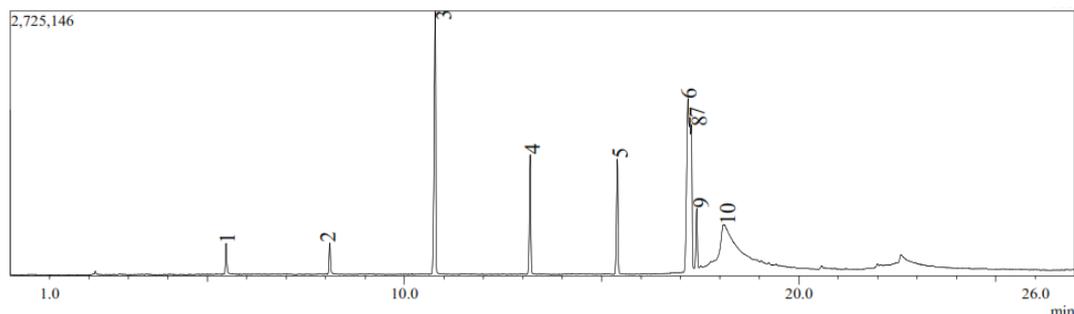
Pada penelitian ini, SEM digunakan untuk menganalisis morfologi permukaan katalis zeolit-A dan baja lunak.

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

GC-MS merupakan metode pemisahan senyawa organik yang menggunakan dua metode analisis senyawa yaitu kromatografi gas (GC) untuk menganalisis jumlah senyawa secara kuantitatif dan spektrometri massa (MS) untuk menganalisis struktur molekul senyawa analit. Kromatografi gas digunakan untuk memisahkan komponen campuran kimia dalam suatu bahan, berdasarkan perbedaan polaritas campuran.

Fase gerak akan membawa campuran sampel menuju kolom. Campuran dalam fase gerak akan berinteraksi dengan fase diam. Setiap komponen yang terdapat dalam campuran berinteraksi dengan kecepatan yang berbeda dimana interaksi komponen dengan fase diam dengan waktu yang paling cepat akan keluar pertama dari kolom dan yang paling lambat akan keluar paling akhir. Spektrometer massa mampu menganalisis cuplikan yang jumlahnya sangat kecil dan menghasilkan

data yang berguna mengenai struktur dan identitas senyawa organik (Candraningrat dkk., 2021). Adapun contoh dari kromatogram GC produk transesterifikasi minyak biji karet ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Kromatogram GC dari produk transesterifikasi minyak biji karet (Junaidi, 2023)

Pada Gambar 9 menunjukkan bahwa kromatogram produk transesterifikasi memiliki 10 puncak yang mengindikasikan bahwa terdapat 10 komponen senyawa dalam metil ester minyak biji karet. Adapun komponen senyawa yang teridentifikasi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komponen senyawa pada produk transesterifikasi

No	Nama Senyawa	Rumus Molekul	Waktu Restensi (menit)	Jumlah Relatif (%)
1	Metil Oktanoat	$C_9H_{18}O_2$	5,476	1,89
2	Metil Kaprat	$C_{11}H_{22}O_2$	8,106	1,96
3	Metil Laurat	$C_{13}H_{26}O_2$	10,781	20,73
4	Metil Miristat	$C_{15}H_{30}O_2$	13,188	7,95
5	Metil Palmitat	$C_{17}H_{34}O_2$	15,399	7,84
6	Metil Linoleat	$C_{19}H_{34}O_2$	17,189	19,15
7	Metil Oleat	$C_{19}H_{36}O_2$	17,237	9,37
8	Metil linolenat	$C_{19}H_{32}O_2$	17,274	7,49
9	Metil Stearat	$C_{19}H_{38}O_2$	17,413	4,04
10	Asam Linoleat	$C_{18}H_{32}O_2$	18,113	19,59

Berdasarkan Tabel 1 komposisi senyawa tertinggi muncul pada waktu retensi 10,781 menit dengan jumlah relatif 20,73% yang terindikasi sebagai senyawa metil laurat. Kandungan asam linoleat sebesar 19,59%, dan metil linoleat sebesar 19,15%. Pada penelitian ini, GC-MS digunakan untuk mengkarakterisasi produk transesterifikasi dan produk amidasi.

III. METODE PERCOBAAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada Oktober 2022 hingga Mei 2023 di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Universitas Lampung. Karakterisasi Zeolit-A menggunakan XRD dilaksanakan di Laboratorium Kimia, Institut Teknologi Sepuluh November (ITS). Karakterisasi untuk mengidentifikasi senyawa kimia menggunakan GC-MS produk amidasi dilaksanakan di Laboratorium Kimia Universitas Gajah Mada (UGM). Analisis gugus fungsi menggunakan FTIR produk amidasi dan Analisis morfologi permukaan katalis zeolit-A dan baja lunak menggunakan SEM dilaksanakan di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) FMIPA Universitas Lampung.

3.2. Alat dan Bahan

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

Bahan-bahan yang digunakan dalam melakukan penelitian ini adalah sekam padi, biji karet, metanol, alumunium foil, NaOH 1,5%, dietanolamin, indikator pH,

aquades, HNO₃ 10%, NaCl, NaHCO₃, HCl, Sb₂O₃, SnCl₂, CO₂, kertas saring, amplas grit (200, 400, 600, 800, 1000, dan 1200), baja lunak (SAE/AISI Grade 1022).

3.3. Prosedur Kerja

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.* (2016). Sekam padi dipreparasi dengan cara terlebih dahulu diayak, dicuci dengan air berulang kali, sekam padi yang mengapung dibuang dan sekam padi yang tenggelam dikumpulkan kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari. Selanjutnya sekam padi yang kering digunakan untuk proses ekstraksi silika.

Metode ekstraksi silika sekam padi ini menggunakan metode sol gel. Timbang sebanyak 200 g sekam padi yang sudah kering lalu dipanaskan dengan 2 L NaOH 1,5% hingga mendidih dan ditunggu selama 30 menit. Lalu didinginkan dalam suhu ruang, kemudian didiamkan selama 24 jam. Sampel kemudian disaring dan filtrat yang mengandung silika (sol silika) terlarut ditampung, untuk mengendapkan silika, ke dalam filtrat ditambahkan larutan HNO₃ 10% secara bertahap hingga terbentuk gel silika hingga keadaan pH 7-8 yang diukur dengan indikator pH. Gel silika yang terbentuk didiamkan selama 24 jam, dicuci menggunakan air panas dan disaring menggunakan saringan mesh 300 nm. Hasil silika yang diperoleh kemudian dioven dengan suhu 100°C hingga kering, setelah silika kering kemudian dihaluskan dan diayak menggunakan saringan mesh 300 nm hingga berbentuk bubuk berwarna putih.

3.3.2. Sintesis Zeolit A

Sintesis zeolit A dilakukan sesuai dengan metode yang telah dilakukan oleh Simanjuntak *et al.* (2019). 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. Filtrat yang di peroleh didiamkan

selama 24 jam. Na-silikat yang telah terbentuk ditambahkan dengan 13,5 g potongan alumunium foil, distirrer selama 3 jam. Didiamkan selama 24 jam, dimasukkan kedalam *autoclave* dan dioven pada suhu 100°C selama 96 jam lalu dicuci dengan akuades (pH 7-8) dan dikeringkan pada 100°C untuk digunakan sebagai prekursor zeolit A. Bubuk prekursor zeolit A yang diperoleh dikalsinasi dalam *furnace* selama 6 jam pada suhu 550°C. Untuk membuktikan bahwa produk adalah zeolit-A seperti yang diharapkan, zeolit-A akan dikarakterisasi dengan *X-Ray Diffraction (XRD)* dan *Scanning Electron Microscopi (SEM)*. Analisis XRD dilakukan pada sudut 2θ dari 5° sampai 50° dengan suhu pengukuran -273,15°C dan material anode Cu. Analisis SEM dilakukan pada perbesaran 10.000 dan 20.000 kali. Kemudian, zeolit-A digunakan dalam prosedur transesterifikasi dan amidasi.

3.3.3. Preparasi Minyak Biji Karet

Biji karet dikupas untuk memisahkan kulit biji karet dengan kernel. Kernel yang didapat dipotong-potong menjadi bagian kecil kemudian dikeringkan dibawah sinar matahari dan dioven dengan suhu 80°C selama 30 menit sampai kering untuk menghilangkan kandungan air yang masih tersisa. Kernel kemudian dikempa menggunakan *screw press* untuk memisahkan minyak dengan ampas. Minyak yang dihasilkan digunakan untuk tahap transesterifikasi (Pandiangan *et al.*, 2017).

3.3.4. Transesterifikasi Minyak Biji Karet

Transesterifikasi minyak biji karet dilakukan dengan menggunakan metode yang telah dilakukan oleh Pandiangan *et al.* (2017). Sebanyak 25 mL minyak biji karet, 150 mL metanol, 2,5 g zeolit A dimasukkan ke dalam labu bundar 250 mL dan diaduk dengan pengaduk magnet. Campuran tersebut direfluks pada suhu 70°C selama 6 jam. Hasil refluks disaring menggunakan corong pisah dan didiamkan selama 12 jam hingga terbentuk 2 fasa, fasa atas merupakan metil ester dan fasa bawah merupakan gliserol. Fasa atas dievaporasi menggunakan *rotary evaporator*

untuk menghilangkan sisa alkohol. Dilakukan perlakuan yang sama terhadap variasi waktu 8 jam, zeolit A terprotonasi, dan penambahan co-reaktan. Metode zeolit A terprotonasi dilakukan dengan metode ion *exchange* (Yang *et al.*, 2017). Zeolit A yang sudah dikalsinasi dilarutkan dalam larutan NH_4NO_3 2,5 M, lalu dipanaskan dengan *hotplate* dan distirer selama 6 jam pada suhu $80\text{ }^\circ\text{C}$ dengan rasio zeolit dan larutan 1 g : 10 mL untuk memperoleh zeolit NH_4^+ A. Kemudian filtrat dicuci dengan akuades sampai pH netral, lalu disaring dengan kertas saring dan dikeringkan di dalam oven. Setelah itu, bubuk zeolit di kalsinasi dengan suhu $550\text{ }^\circ\text{C}$ selama 6 jam untuk memperoleh zeolit H-A. Kemudian metil ester yang diperoleh digunakan sebagai bahan baku pembuatan senyawa nitrogen dalam reaksi amidasi.

3.3.5. Amidasi dengan Dietanolamina

Metil ester yang diperoleh sebelumnya dicampurkan dengan dietanolamin dengan rasio perbandingan 1:1 lalu dimasukkan dalam *autoclave* dengan menambahkan katalis Zeolit-A dan dioven pada suhu $100\text{ }^\circ\text{C}$ dengan variasi waktu 24, 48, 72, dan 96 jam dengan waktu pengadukan selama 1 jam. 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.

3.3.6. Persiapan Sampel Baja Lunak

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

3.3.7. Persiapan Medium Korosif

Medium korosif yang digunakan adalah larutan air garam 3% (b/v) yang dibuat dengan cara melarutkan 30 g NaCl dan 0,1 g NaHCO₃, dalam labu ukur 1000 mL ditambahkan akuades sampai tanda tera dan dihomogenkan. Medium korosif kemudian dijenuh dengan gas CO₂ *food grade* pada tekanan atmosfer dengan membersihkan larutan dengan gas pada kecepatan sekitar 150-200 mL/menit. Larutan inhibitor dengan konsentrasi 15.000 ppm dibuat dengan melarutkan inhibitor (senyawa nitrogen) dalam metanol. *Clarke's solution* dibuat dengan melarutkan 5 g SnCl₂ dan 2 g Sb₂O₃ dalam 100 mL HCl pekat (Ilim *et al.*, 2021).

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

Larutan korosif dimasukkan ke dalam botol duran 250 mL sebanyak 175 mL. Larutan inhibitor dimasukkan ke dalam botol gelas dengan konsentrasi 150 ppm dipipetkan ke dalam botol menggunakan mikropipet dan dialiri gas CO₂ selama 45 menit. Kupon-kupon 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 dalam *wheel oven* selama 24 jam. Kemudian botol-botol dikeluarkan dari *wheel oven* dan dibuka tutupnya. 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. Perhitungan laju korosi menggunakan Persamaan 3 dan persen proteksi Persamaan 4.

3.3.9. Analisis SEM

Baja lunak hasil pengukuran dengan metode *wheel test* dengan medium korosi dan tanpa medium korosif dianalisis permukaannya dengan menggunakan alat instrumen *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dengan perbesaran 1.000, 5.000, 10.000, 15.000, dan 20.000x.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diperoleh dari hasil penelitian yang telah dilakukan sebagai berikut:

1. Zeolit-A berhasil disintesis ditandai dengan terbentuknya fasa kristalin yang ditunjukkan oleh hasil XRD dan morfologi yang berbentuk kubus ditunjukkan oleh hasil SEM.
2. Minyak biji karet berhasil terkonversi menjadi metil ester hal ini ditunjukkan dengan adanya aroma asam linoleat dan metil laurat serta terbentuknya senyawa nitrogen.
3. Hasil analisis FTIR menunjukkan bahwa metil ester telah terkonversi menjadi gugus amida yang ditunjukkan dengan adanya vibrasi C=O amida pada bilangan gelombang 1619 cm^{-1} dan diperkuat dengan adanya gugus C-N pada bilangan gelombang 1118 cm^{-1} dan 1053 cm^{-1} .
4. Hasil analisis GC-MS produk amidasi yang mengandung senyawa nitrogen pada variasi waktu 24, 48, 72, dan 96 jam secara berturut-turut yaitu 15,61%, 20,10%, 25,93%, dan 26,10% namun dari masing-masing variasi waktu produk amidasi masih didominasi oleh dietanolamina.
5. Uji aktivitas inhibisi senyawa nitrogen dengan variasi waktu 24, 48, 72, dan 96 jam menggunakan metode *wheel test* mendapatkan hasil yang baik tidak memiliki perbedaan yang signifikan dengan memperoleh persen proteksi secara berturut-turut 96,45%, 95,85%, 93,86%, dan 93,61%. Namun pada inhibitor produk amidasi 24 jam memiliki persen proteksi yang lebih baik dibandingkan dengan 3 variasi waktu inhibitor produk amidasi yang lainnya dan memiliki hasil yang sama dengan analisis morfologi menggunakan SEM.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan konversi metil ester pada proses transesterifikasi masih kecil sehingga perlu dilakukan percobaan dengan menggunakan katalis lain, nisbah yang digunakan, dan suhu. Melakukan uji aktivitas laju korosi dengan metode elektrokimia seperti metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) dan Plot Tafel agar mendapatkan hasil yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Adziimaa, A. F., Risanti, D. D., dan Mawarni, L. J. 2013. Sintesis Natrium Silikat dari Lumpur Lapindo sebagai Inhibitor Korosi. *Jurnal Teknik ITS*. 2(2). 384–389.
- Akrom M. 2019. Ekstrak Bahan Alami Sebagai Inhibitor Hijau pada Korosi Baja. *Seminar Nasional Sains Dan Teknik Fst Undana (Sainstek)*. 278–289.
- Al-Moubaraki, A. H., and Obot, I. B. 2021. Top of the Line Corrosion: causes, Mechanisms, and Mitigation Using Corrosion Inhibitors. *Arabian Journal of Chemistry*. 14(5). 103-116.
- Amalia, R., Pratilastiarso, J., dan Laili, E. S. N. 2021. Produksi Metil Ester Menggunakan Nanokatalis Heterogen. *Journal of Research and Technology*. VII(2460). 163–174.
- Amalia, S. 2012. Sintesis Senyawa Risinoleil Dietanolamida Melalui Reaksi Amidasi Asam Risinoleat Dengan Dietanolamina. *Sainstis*. 1–10.
- Andarini, N., Lutfia, Z., dan Haryati, T. 2018. Synthesis of Zeolite A From Coal Fly Ash with Variation of Si/Al Molar Ratio. *Jurnal Ilmu Dasar*. 19(2). 105–110.
- Aulia, M. N. 2021. Alkanolamida Berbasis Minyak Biji Karet (*Hevea brasiliensis*) Sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak dalam Medium yang Mengandung Karbon Dioksida (CO₂). *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Bazli, L., Yusuf, M., Farahani, A., and Seyedhosseini, Z. 2020. Application of Composite Conducting Polymers for Improving the Corrosion Behavior of Various Substrates: *Journal of Composites and Compounds*. 2. 228–240.
- Brycki, B. E., Kowalczyk, I. H., Szule, A., Kaczerewska, O., and Pakiet, M. 2018. Organic Corrosion Inhibitors. *Corrosion Inhibitors, Principles and Recent Applications*. 1. 1-33.

- Candraningrat, I. D. A. A., Santika, A. A. G. J., Dharmayanti, I. A. M. S., dan Prayascita, P. W. 2021. Review Kemampuan Metode Gc-Ms Dalam Identifikasi Flunitrazepam Terkait Dengan Aspek Forensik dan Klinik. *Jurnal Kimia*. 15(1). 12-20.
- Chandrasekaran, A. F., and Ramanathan, A. K. 2007. A Review on the Utilization of Rice Husk in the Synthesis of Zeolite-A. *Scientific Research and Essays*. 2(9). 372-376.
- Damayanti, N. 2021. Analisis Efektivitas Campuran Metil Ester Turunan Minyak Biji Karet (*Hevea brasiliensis*) dengan Dietanolamina Sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak dalam Medium yang Mengandung Karbon Dioksida (CO₂). *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Elgaddafi, R., Ramadan, A., and Subhash, S. 2020. Corrosion of Carbon Steel in CO₂ Saturated Brine at Elevated Temperatures. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 196 (2). 1-17.
- Fahriani. 2021. Pengaruh Inhibitor Alami terhadap Laju Korosi Baja Karbon Rendah. *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
- Hakim, A., dan Mukhtadi, E. 2018. Pembuatan Minyak Biji Karet Dari Biji Karet Dengan Menggunakan Metode Screw Pressing: Analisis Produk Penghitungan Rendemen, Penentuan Kadar Air Minyak, Analisa Densitas, Analisa Viskositas, Analisa Angka Asam dan Analisa Angka Penyabunan. *Metana*. 13(1). 13-22.
- Haryono, G., Sugiarto, B., dan Farid, H. 2010. Ekstrak Bahan Alam sebagai Inhibitor Korosi. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" Pengembangan Teknologi Kimia Untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*. 1-6.
- Hasby, H., Nurhafidhah, N., dan Pamungkas, G. 2021. Pemodelan Komputasi Komponen Cis dan Trans Metil Oleat Dalabiodiesel Yang Disintesis Dari Minyak Kelapa Sawit. *Jurnal Kimia (Journal Of Chemistry)*. 15(2). 20-30.
- Herliana, Ilim, Simanjuntak, W., and Pandiangan, K. D. 2021. Transesterification of Coconut Oil (*cocos nucifera* L.) Into Biodiesel Using Zeolite-A Catalyst Based On Rice Husk Silica and Aluminium Foil. *J. Phy. Conf. Ser.* 1751. 16.

- Ilim, I., Bahri, S., Marjunus, R., and Simanjuntak, W. 2021. The Effect of Initiator Concentrations on Corrosion Inhibition Activity of Polymeric Derivatives of 2- vinylpyridin . *Journal of Physics: Conference Science*. 1–7.
- 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, I., Fitriani, R., Prabowo, T., Bahri, S., Marjunus, R., and Simanjuntak, W. 2021. Molecular Weight Distribution And Corrosion Inhibitor Activity Of 4-Vinylpyridine Oligomer Synthesized Using Low Concentration Hydrogen Peroxide As The Initiator. *Int. J. Corros. Scale Inhib.* 10(1). 284– 301.
- Ilim, Jefferson, A., Simanjuntak, W., Jeannin, M., Syah, Y. M., Bundjali, B., and Buchari. 2016. Synthesis and Characterization of Oligomer 4-vinylpyridine as a Corrosion Inhibitor for Mild Steel in CO₂ Saturated Brine Solution. *Indonesian Journal of Chemistry*. 16(2). 198–207.
- Ilim, Kamisah D. Pandiangan, and Sudrajat. 2007. Studi Penggunaan Tumbuhan Tembakau, Teh dan Kopi Sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak Dalam Air Laut Buatan Yang Jenuh CO₂. *Ceramics International*. 13(2) 163–168.
- IZA. 2017. Framework Type LTA. *International Zeolite Association*.
<https://asia.iza-structure.org/IZA-SC/framework.php?STC=LTA>.
- Junaidi, S. 2023. Sintesis Senyawa Nitrogen Turunan Minyak Biji Karet Sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak. *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Khasanah, N., Daniel, dan Marliana, E. 2019. Sintesis Surfaktan Dietanolamida dari Metil Ester Minyak Biji Bunga Matahari (*Helianthus annuus*. L) Melalui Reaksi Amidasi. *Jurnal Kimia Mulawarman*. 16(2). 83–89.
- Kustomo. 2020. Uji Karakterisasi dan Mapping Magnetit Nanopartikel Terlapisi Asam Humat dengan Scanning Electron Microscope–Energy Dispersive XRay (SEM-EDX). *Indonesian Journal of Chemical Science*. 9(3). 149–153.
- Lubis, F. S. 2018. Karakteristik Senyawa Alkanolamida dari Minyak Jarak Castor dan Dietanolamine dengan Katalis KOH . *Jurnal Konversi Universitas Muhammadiyah Jakarta*. 7(2). 31–36.

- Lusiana, W., Nadia, A., Sudiartono, Hariani, P.L., Setyopratiwi, A., and Wijaya, K. 2020. Synthesis and Characterization of Diethanolamide (Surfactant) from CaO/Zeolite-Catalysed Used Cooking Oil. *Journal of the Indonesian Chemical Society*. 03(2). 81-86.
- Madihah, N., Yaser, B., Chemat, F., Rashid, T., and Thanabalan, M. 2015. Degradation of Aqueous Diethanolamine (DEA) solutions using UV / H₂O₂ Process. *Chemical Engineering Transaction*. 43. 2263–2268.
- Mahendra, A., dan Supardi, Z. A. I. 2021. Sebuah Review: Spektroskopi Impedansi Elektrokimia dan Aplikasinya Dalam Baterai Lithium-Ion. *Inovasi Fisika Indonesia*. 10(2). 59–67.
- Mäki-arvela, P., Zhu, J., Kumar, N., Eränen, K., Aho, A., Linden, J., Salonen, J., Peurla, M., Mazur, A., Matveev, V., and Yu, D. 2017. Applied Catalysis A, General Solvent-free Amidation of Stearic Acid For Synthesis of Biologically Active Alkylamides Over Iron Supported Heterogeneous Catalysts. *Applied Catalysis A, General*. 542(1). 350–358.
- Masyithah, Z., Yudhika, S.R., Simanjuntak, L., and Ginting, A. 2019. Optimazation of Alkyl-Diethanolamide Synthesis from Fatty Acid Methyl Ester of Coconout Oil using Box-Behnken Design. *Rasayan Journal of Chemistry*. 12(2). 733-740.
- Natasya, T., Khairafah, M. E., Sembiring, M. S., and Laura, N. H. 2022. Corrosion Factors on Nail. *Indonesian Journal of Chemical Science and Techonology*. 05(1). 4–6.
- Ningtyas, D. P. 2013. Solvent-Free Amidation of Stearic Acid For Synthesis of Biologically Active Alkylamides Over Iron Supported Heterogeneous Catalysts. *Applied Catalysis A, General*. 542(1). 350–358.
- Nuraini, L., Priyotomo, G., dan Nasoetion, R. 2016. Studi Inhibitor Korosi Berbasis Imidazoline Salt Pada Brine Water Di Pipa Penyalur Minyak Mentah. *Metalurgi*. 2. 87–94.
- Pandiangan, K. D., Jamarun, N., Arief, S., Simanjuntak, W., and Rilyanti, M. 2016. The Effect Of Calcination Temperatures On The Activity of CaO and CaO/SiO₂ Heterogeneous Catalyst For Transesterification of Rubber Seed Oil in The Presence of Coconut Oil as a Co-Reactant. *Oriental Journal of Chemistry*. 32(6). 3021–3026.

- Pandiangan, K. D., and Simanjuntak, W. 2013. Transesterification of Coconut Oil using Dimethyl Carbonate and TiO₂ /SiO₂ heterogeneous catalyst. *Indonesian Journal of Chemistry*. 13(1). 47–52.
- Pandiangan, K. D., Simanjuntak, W., Rilyanti, M., Jamarun, N., and Arief, S. 2017. Influence of Kinetic Variables on Rubber Seed Oil trans-esterification using Bifunctional Catalyst CaO-MgO/SiO₂. *Oriental Journal of Chemistry*. 33(6). 2891–2898.
- Prabowo, A. E., Rarindo, H., Hadi, S., Sujatmiko, A., dan Hardjito, A. 2021. Pengaruh Tegangan dan Waktu Elektroplating Tembaga dan Nikel Terhadap Laju Korosi Pada Baja Karbon Rendah. *Jurnal Teknologi*. 15(2). 14–20.
- Putra, I. E., dan Ramdani, H. 2021. Pengaruh Sirkulasi Larutan 0.5 % HCl Terhadap Laju Korosi Baja Karbon Rendah. *Jurnal Teknik Mesin Institut Teknologi Padang*. 11(1). 2089–4880.
- Rahayu, G. S. A. 2019. Produksi Minyak Biji Karet Sebagai Bahan Baku Pembuatan Biodiesel Berdasarkan Variasi Waktu Esterifikasi. *Other Thesis*. Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Ramaadani, A. 2017. Analisis Perbedaan Laju Korosi Material Jari-Jari Sepeda Motor (Spokes) Pada Berbagai Media Air yang Berkonsentrasi Asam di Daerah Perindustrian. *Jptm*. 06 Nomor 0. 52–57.
- Royani, A. 2021. Pengaruh Suhu Terhadap Laju Korosi Baja Karbon Rendah Dalam Media Air Laut. *Jurnal Simetrik*. 10(2). 344-355.
- Satriawan, M.B, dan Ilmiati, I. 2017. Uji FTIR Bioplastik Dari Limbah Ampas Sagu Dengan Penambahan Variasi Konsentrasi Gelatin. *Jurnal Dinamika*, 8(1). 1–13.
- Setiawan, A., Pato, U., and Faizah, H. 2016. Cooking Oil Purification of Rubber Seeds (*Hevea brasiliensis* Roxb.) Using Zeolite. *Jom Faperta*. 3(1). 1-11.
- Syahri, B., Putra, Z. A., and Helmi, N. 2017. Hardness Analysis of Steel Assab 705 Given that Hardening Heat Treatment and Cooling Medium. *INVOTEK: Jurnal Inovasi Vokasi dan Teknologi*. 17(1). 765-772.
- Sidiq, M. F. 2013. Electrochemical Process. *Metal Finishing*. 100(2). 123.

- Silviyah, S., S. C., dan Masruroh. 2019. Penggunaan Metode FT-IR untuk Mengidentifikasi Gugus Fungsi pada Proses Pembaluran Penderita Mioma. *Pharmaceutical Research*. 0274. 1–9.
- Simanjuntak, W., Delilawati Pandiangan, K., Sembiring, Z., and Simanjuntak, A. 2019. Liquid Fuel Production by Zeolite-A Catalyzed Pyrolysis of Mixed Cassava Solid Waste and Rubber Seed Oil. *Oriental Journal of Chemistry*. 35(1). 71–76.
- Simanjuntak, W., Pandiangan, K. D., Sembiring, Z., Simanjuntak, A., and Hadi, S. 2021. The Effect of Crystallization Time on Structure, Microstructure, and Catalytic Activity of Zeolite-A Synthesized from Rice Husk Silica and Food Grade Aluminum Foil. *Biomass and Bioenergy*. 148-155.
- Stiadi, Y., Arief, S., Aziz, H., Efdi, M., dan Emriadi, E. 2019. Inhibisi Korosi Baja Ringan Menggunakan Bahan Alami Dalam Medium Asam Klorida: Review. *Jurnal Riset Kimia*. 10(1). 51–65.
- Sudradjat, A., dan Bayuseno, A. P. 2013. Analisis Korosi dan Kerak Pipa Nickel Alloy N06025 Pada Waste Heat Boiler. *Jurnal Teknik Mesin*. 2(1). 40–45.
- Suryaningsih, Sri, Wahyu Alamsyah, dan Otong Nurhilal, D. A. P. 2015. Analisis Pengaruh Waktu Injeksi Gas CO₂ Terhadap Laju Korosi Baja Karbon Api 51 Grade B Dalam Larutan NaCl 3,5% dan H₂S. *Jurnal Material Dan Energi Indonesia*. 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.
- Tsoeunyane, M. G., Makhatha, M. E., and Arotiba, O. A. 2019. Corrosion Inhibition of Mild Steel by Poly(butylene succinate)-L-histidine Extended with 1,6-diisocynatohexane Polymer Composite in 1M HCl. *International Journal of Corrosion*. 3(1). 25-32.
- Utami, M., Wijaya, K., Syoufian, A., and Wicaksono. 2020. Catalytic Synthesis of Dietanolamide Surfactan from Used Cooking Oil. *EKSAKTA: Journal of Sciences and Data Analysis*. 11(2). 133-138.
- Vorobyova, V., and Skiba, M. 2020. Apricot Pomace Extract as a Natural Corrosion Inhibitor of Mild Steel Corrosion in 0.5 M NaCl Solution: a

Combined Experimental and Theoretical Approach. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. 55(1). 210–222.

Wahyuningsih, A., Sunarya, Y., dan Aisyah, S. 2010. Metenamina Sebagai Inhibitor Korosi Baja Karbon Dalam. *Jurnal Sains Dan Teknologi Kimia*, 1(1), 17–29.

Yang, L., Liu, Z., Liu, Z., Peng, W., Liu, Y., and Liu, C. 2017. Correlation Between H- ZSM-5 Crystal Size and Catalytic Performance in The Methanol to Aromatics Reaction. *Chinese Journal of Catalysis*. 38: 683–690.

Yudhika, S. R. 2018. Pembuatan Cocamide Dietanolamina Dari Minyak Kelapa (*Cocos Nucifera* L.) Dengan Katalis CaO: Pengaruh Suhu Reaksi, Konsentrasi Katalis dan Kecepatan Pengadukan. *Skripsi*. Universitas Sumatra Utara.

Zhang, H. H., Pang, X., Zhou, M., Liu, C., Wei, L., and Gao, K. 2015. The Behavior of Pre-Corrosion Effect on the Performance of Imidazoline-Based Inhibitor in 3 wt.% NaCl Solution Saturated with CO₂. *Applied Surface Science*. 356. 63–72.

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.