

**ANALISIS EFEKTIVITAS CAMPURAN METIL ESTER TURUNAN
MINYAK KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis jacq*) DENGAN
DIETANOLAMINA SEBAGAI INHIBITOR KOROSI BAJA LUNAK
DALAM MEDIUM YANG MENGANDUNG KARBON DIOKSIDA (CO₂)**

(Skripsi)

Oleh

Apri Dearn Sinaga



**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2021**

ABSTRAK

ANALISIS EFEKTIVITAS CAMPURAN METIL ESTER TURUNAN MINYAK KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis jacq*) DENGAN DIETANOLAMINA SEBAGAI INHIBITOR KOROSI BAJA LUNAK DALAM MEDIUM YANG MENGANDUNG KARBON DIOKSIDA (CO₂)

Oleh

APRI DEARNI SINAGA

Korosi merupakan masalah besar yang dihadapi dunia sehingga membutuhkan penanganan yang serius. Inhibitor korosi menjadi salah satu cara efektif untuk mencegah terjadinya korosi karena pembuatannya yang mudah dan ramah lingkungan. Penelitian ini dilakukan untuk menguji efikasi campuran dietanolamina dan metil ester turunan minyak kelapa sawit sebagai inhibitor korosi baja lunak dalam larutan garam yang mengandung CO₂. Metil ester dibuat dengan transesterifikasi minyak kelapa sawit menggunakan metanol dengan katalis zeolit-A. Serangkaian campuran dibuat dengan mencampur dietanolamin dan metil ester dengan perbandingan yaitu 0:5; 1:4; 2:3; 3:2; 4:1; dan 5:0. Uji inhibitor korosi dilakukan dalam larutan NaCl 3% dengan CO₂ menggunakan metode *wheel test*, dan morfologi atau sampel logam dianalisis menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*). Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa persentase proteksi tertinggi sebesar 58,23% diperoleh dari percobaan menggunakan larutan inhibitor dengan perbandingan dietanolamin terhadap metil ester 3:2. Proteksi inhibitor juga ditunjukkan oleh morfologi permukaan sampel yang dilihat dengan SEM.

Kata Kunci: Inhibitor korosi, baja lunak, metil ester minyak kelapa sawit, *wheel test*.

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS A MIXTURE METHYL ESTER DERIVATIVE OF PALM OIL (*Elaeis guineensis jacq*) WITH DIETHANOLAMINE AS A CORROSION INHIBITOR OF MILD STEEL IN A MEDIUM CONTAINING CARBON DIOXIDE (CO₂)

By

APRI DEARNI SINAGA

Corrosion is a big problem facing the world that requires serious handling. Corrosion inhibitors is one of the effective ways to prevent corrosion because they are easy to manufacture and environmentally friendly. This research was conducted to test the efficacy of mixed diethanolamine and palm oil-derived methyl esters as corrosion inhibitor of mild steel in CO₂ containing brine solution. Methyl esters were prepared by transesterification of palm oil using methanol in the presence of zeolite-A as catalyst. A series of mixtures were prepared by mixing diethanolamine and methyl esters with the ratios of 0:5; 1:4; 2:3; 3:2; 4:1; and 5:0. Corrosion inhibition experiments were conducted in a 3% NaCl solution with CO₂ using wheel test method, and the morphology of the metal sample was analysed using SEM (*Scanning Electron Microscopy*). The results obtained indicate that the highest percent of protection of 58.23 % was obtained from the experiment using the inhibitor solution with the ratio of diethanolamin to methyl esters of 3:2. The protection of the inhibitor was also indicated by surface morphology of the sample as seen by SEM.

Keywords: Corrosion inhibitor, mild steel, palm oil methyl ester, wheel test.

**ANALISIS EFEKTIVITAS CAMPURAN METIL ESTER TURUNAN
MINYAK KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis jacq*) DENGAN
DIETANOLAMINA SEBAGAI INHIBITOR KOROSI BAJA LUNAK
DALAM MEDIUM YANG MENGANDUNG KARBON DIOKSIDA (CO₂)**

Oleh

APRI DEARNI SINAGA

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
2021**

Judul Skripsi : **ANALISIS EFEKTIVITAS CAMPURAN METIL
ESTER TURUNAN MINYAK KELAPA SAWIT
(*Elaeis guineensis jacq*) DENGAN
DIETANOLAMINA SEBAGAI INHIBITOR
KOROSI BAJA LUNAK DALAM MEDIUM YANG
MENGANDUNG KARBON DIOKSIDA (CO₂)**

Nama Mahasiswa : **Apri Dearni Sinaga**

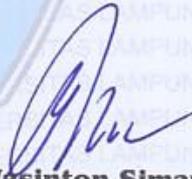
No. Pokok Mahasiswa : 1717011083

Jurusan : Kimia

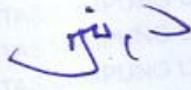
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam




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


Prof. Wasinton Simanjutak, Ph.D.
NIP. 195907061988111001

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA


Mulyono, Ph.D
NIP. 197406112000031002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

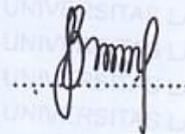
Ketua : Dr. Ilim, M.S.



Sekretaris : Prof. Wasinton Simanjutak, Ph.D.



**Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Satripto Dwi Yuwono, M.T.

19700705 200003 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 01 November 2021

**SURAT PERNYATAAN
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Apri Dearnı Sinaga
NPM : 1717011083
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya yang berjudul **“Analisis Efektivitas Campuran Metil Ester Turunan Minyak Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis jacq*) dengan Dietanolamina sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak dalam Medium yang Mengandung Karbon Dioksida (CO₂)”** adalah benar karya saya sendiri, baik gagasan, hasil, dan analisisnya. Selanjutnya saya juga tidak keberatan jika sebagian atau seluruh data di dalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi, sepanjang nama saya disebutkan dan terdapat kesepakatan sebelum dilakukan publikasi.

Bandar Lampung, 26 November 2021

Yang menyatakan,



Apri Dearnı Sinaga
NPM. 1717011083

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Apri Dearn Sinaga, anak ketiga dari tiga bersaudara yang di lahirkan di Rantau Prapat pada 10 April 1999 oleh pasangan Bapak Jasardin Sinaga dan Ibu Sentiani Purba.

Penulis menempuh pendidikan di SD Negeri 116462 Siranggung yang diselesaikan pada tahun 2011, kemudian melanjutkan sekolah di SMP Negeri 1 Kualuh Selatan yang diselesaikan pada tahun 2014, dan kemudian melanjutkan sekolah di SMA Negeri 1 Raya yang diselesaikan pada tahun 2017. Pada tahun 2017 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Program Studi S1 Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN.

Selama menjadi mahasiswa di Jurusan Kimia, Penulis juga aktif berorganisasi. Organisasi yang pernah diikuti adalah Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) sebagai Kader Muda Himaki (KAMI) tahun 2017-2018. Menjadi anggota bidang Sosial dan Masyarakat (Sosmas) periode 2017 dan 2018. Penulis juga menjadi anggota Sosial dan Pengabdian Masyarakat (SPM) Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) FMIPA Unila periode 2018. Penulis juga pernah menjadi asisten praktikum mata kuliah Kimia Fisik pada tahun 2020 dan 2021 untuk mahasiswa.

Pada tahun 2018 penulis pernah mengikuti kunjungan industri ke PT Mandom Indonesia Tbk. Pada bulan Januari sampai dengan Februari 2020, penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Gedung Aji Lama, Kecamatan Gedung Aji, Tulang Bawang. Pada bulan September 2020, penulis menyelesaikan Kerja Praktik Lapangan (PKL) di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Jurusan Kimia FMIPA Unila.

MOTTO

“Have no fear, for I am with you; do not be looking about in trouble, for I am your God; I will give you strength, yes, I will be your helper; yes, my true right hand will be your support.”

(Isaiah 4:10)

“The gem cannot be polished with friction, no man perfected without trials.”

(Chinese Proverbs)

“Don’t give up when you still have something to give. Nothing is really over until the moment you stop trying.”

(Bryan Dison)

“For nothing will be impossible with God.”

(Luke 1:37)

“Never stop learning, because life never stops teaching.”

(Goutham Buddha)

PERSEMBAHAN

Terpujilah Allah dan Bapa sumber segala hikmat, yang telah menjadi dasar dari segala pengharapan dan senantiasa memberikan kekuatan yang melampaui segala akal sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Kupersembahkan skripsi ini kepada Ayah dan Ibu, orang tua terhebat di dunia versiku. Terimakasih sudah berkorban dalam banyak hal dan senantiasa mendoakanku. Kalian menjadi alasanku untuk tetap bisa bertahan sampai saat ini.

Kepada kakak dan abang, terima kasih telah mengajarkan adikmu banyak hal tentang kehidupan. Memberikan arahan dalam setiap langkah yang kutempuh.

Dengan segala rasa hormat kepada Ibu Dr. Ilim, M.S., Bapak Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D., dan Ibu Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si.
Terimakasih telah membimbing penulis.

Serta teman-temanku yang memberikan begitu banyak memori dalam perkuliahan. Hal yang akan kusimpan selalu selama hidup.

Serta,

Almamater tercinta, Universitas Lampung.

SANWACANA

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan karunia serta kasihNya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Analisis Efektivitas Campuran Metil Ester Turunan Minyak Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis jacq*) dengan Dietanolamina Sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak dalam Medium yang Mengandung Karbon Dioksida (CO₂)**”. Semua hal yang telah dicapai dan diselesaikan tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada:

1. Kedua orang tuaku Bapak Jasardin Sinaga dan Ibu Sentiani Purba yang selalu mendoakan, memberi kasih sayang dan memberi dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan perkuliahan.
2. Kakakku Fibri Anita Sinaga dan abangku Jhon Hot Matuah Sinaga, terimakasih untuk kasih sayang dan motivasi yang menguatkan.
3. Ibu Dr. Ilim, M.S. selaku pembimbing I dan pembimbing akademik atas kesediaan waktu, pemikiran dalam memberikan evaluasi, arahan dan saran yang membangun selama perkuliahan dan proses penyusunan skripsi. Semoga Tuhan Yang Maha Esa senantiasa memberikan kesehatan dan rezeki atas semua yang telah Ibu berikan.
4. Bapak Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D selaku pembimbing II pada penelitian ini, terima kasih atas kesabaran dalam membimbing, memberikan saran hingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Semoga Tuhan Yang Maha Esa senantiasa memberikan kesehatan dan rezeki atas semua yang telah Bapak berikan.

5. Ibu Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si. selaku Pembahas atas segala kritik dan saran yang sangat membangun serta ilmu yang bermanfaat yang telah diberikan kepada penulis, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Semoga Tuhan Yang Maha Esa senantiasa memberikan kesehatan dan rezeki atas semua yang telah Ibu berikan.
6. Bapak Mulyono, Ph.D selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
7. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Unila yang telah memberikan ilmu dan bimbingan selama penulis belajar di Jurusan kimia. Semoga Tuhan Yang Maha Esa senantiasa memberikan kesehatan dan rezeki atas semua yang telah Bapak dan Ibu berikan
8. Bapak Dr. Eng Suripto Dwi Yuwono., M.T. selaku dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
9. Segenap staf dan laboran yang ada di Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung, terima kasih atas segala bantuannya yang telah diberikan kepada penulis.
10. Jeans Prima Simaremare insan terkasih dalam hidup yang selalu memberikan semangat dan membantu penulis dalam perkuliahan hingga penyelesaian skripsi.
11. Sahabatku Lilis Andriani Hutabarat yang senantiasa memberikan semangat dan do'a meski jauh.
12. *Partner* penelitian penulis; Nikita Damayanti dan Winda Safitri yang selalu membantu, mengingatkan dan memberikan semangat kepada penulis.
13. Keluarga Jan Ethes Sanjarut, Aiga Sheira Rait, Novalisa Putri, Olivia Margareta Damai Sartika, Nikita Damayanti, dan Grace Sondang Pretti, terimakasih untuk kebahagiaan dan canda tawa selama perkuliahan.
14. Keluarga PI bersahaja, Maryeta Handayani Sitepu, Karina Relita, Bintang Pasaribu, Wayan Karsini, Chaterina Natalia, Lia

Setyowati, terimakasih untuk kebaikan dan kebersamaan yang telah diberikan.

15. Rekan-rekan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik dan Laboratorium Polimer, jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung: Mba Elin, Kak Mutiara, Kak Misbah, Kak Laila, Kak Tb, kak Yosefin, kak Ruliani, Bang Leo, Eva, Charlita, Erma, Syaydati, Rosalinda, Andreas, dan Davincent terima kasih atas saran, kritik, bantuan yang diberikan, dan kebersamaanya selama ini.
16. Keluarga Kimia 2017 Unila yang tidak dapat disebutkan satu per satu. Terimakasih untuk kebersamaan yang telah diberikan dari awal PROPTI sampai sekarang.
17. Serta semua pihak yang tak bisa disebutkan satu persatu yang telah menjadi bagian dari awal hingga akhir perkuliahan.

Kiranya skripsi ini dapat memberikan sumbangan yang berarti bagi semua pihak yang berkepentingan. Penulisan menyadari dalam penyusunan skripsi masih memiliki kekurangan, karena itu kritik dan saran yang membangun diharapkan untuk menyempurnakan skripsi.

Bandar Lampung, 01 November 2021
Penulis

Apri Dearn Sinaga

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	i
DAFTAR TABEL.....	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Baja	5
2.2 Korosi.....	5
2.2.1 Pengertian Korosi	5
2.2.2 Faktor Penyebab Korosi	6
2.2.3 Mekanisme Korosi	7
2.2.4 Dampak Korosi.....	7
2.3 Korosi CO ₂	8
2.4 Inhibitor Korosi.....	9
2.5 Minyak Sawit.....	10
2.6 Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit.....	11
2.7 Dietanolamina dan Metil Ester	12
2.8 Zeolit-A.....	13
2.9 Karakterisasi Inhibitor Korosi	14
2.9.1 SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>).....	14
2.9.2 XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	14
2.9.3 FTIR (<i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i>).....	15
2.9.4 GC-MS (<i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i>).....	16
2.10 Penentuan Laju Korosi.....	17
2.10.1 Metode Kehilangan Berat (<i>Wheel Test</i>)	17

III.	METODE PENELITIAN	18
3.1	Waktu dan Tempat.....	18
3.2	Alat dan Bahan.....	18
3.3	Prosedur Percobaan.....	19
3.3.1	Pembuatan Katalis Zeolit-A	19
3.3.2	Karakterisasi Katalis.....	20
3.3.3	Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit	20
3.3.4	Karakterisasi Metil Ester	20
3.3.5	Pencampuran Metil Ester dengan Dietanolamina	21
3.3.6	Karakterisasi Produk Inhibitor	21
3.3.7	Pembuatan Larutan.....	21
3.3.8	Penentuan Laju Korosi	22
3.3.9	Analisis Permukaan.....	22
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1	Pengantar	23
4.2	Pembuatan Katalis Zeolit-A.....	23
4.3	Karakterisasi Katalis Zeolit-A	26
4.3.1	<i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	26
4.3.2	<i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	29
4.4	Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit	29
4.5	Karakterisasi Metil Ester	31
4.5.1	<i>Fourier Transform-Infrared (FTIR)</i>	31
4.5.2	<i>Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (GC-MS)</i>	33
4.6	Pencampuran Metil Ester dengan Dietanolamina sebagai Inhibitor Korosi.....	34
4.7	Penentuan Laju Korosi.....	35
4.7.1	Metode <i>Wheel Test</i>	35
4.8	Analisis Permukaan	36
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	39
5.1	Kesimpulan	39
5.2	Saran	39
	DAFTAR PUSTAKA	40
	LAMPIRAN.....	46

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komposisi minyak kelapa sawit	11
2. Puncak 2θ standar IZA zeolit-A dengan zeolit-A sintesis	27
3. Data hasil pencocokkan 2θ zeolit-A sintesis dengan program <i>Match!</i> 3.	28
4. Puncak bilangan gelombang metil ester minyak kelapa sawit.....	31
5. Identifikasi spektrum FTIR larutan inhibitor	33
6. Komposisi metil ester minyak kelapa sawit menggunakan katalis zeolit-A sintesis.	34
7. Komponen dari variasi larutan inhibitor	34
8. Aktivitas inhibitor korosi menggunakan metode <i>wheel test</i>	35
9. Pengukuran dimensi dan penimbangan baja lunak	49
10. Perhitungan kehilangan berat	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Mekanisme korosi	7
2. Biji kelapa sawit.....	10
3. Reaksi transesterifikasi.	11
4. Interaksi sinar-X dengan spesimen.	15
5. Skema FTIR.	16
6. Skema GC-MS.	17
7. Sekam padi yang sudah bersih.	24
8. Proses ekstraksi silika sekam padi (a) silika sekam padi yang telah diekstraksi, (b) sol silika, (c) gel silika setelah 24 jam, (d) gel silika bersih, (e) silika kering, (f) serbuk silika.....	25
9. Proses sintesis sampel zeolit-A (a). larutan natrium silika (b) larutan natrium silika dengan penambahan aluminium foil (c) zeolit-A sintesis.	26
10. Difaktogram zeolit-A sintesis.	26
11. Difaktogram zeolit-A sintesis dengan aplikasi <i>Match!</i> 3.....	28
12. Mikrograf zeolit-A sintesis dengan perbesaran (a) 10.000 kali dan (b) 20.000 kali.....	29
13. Hasil transesterifikasi minyak kelapa sawit.	30
14. Metil ester minyak kelapa sawit setelah pencucian.	30
15. Spektrum FTIR metil ester minyak kelapa sawit.....	31

16. Karakterisasi metil ester, minyak kelapa sawit, campuran dengan perbandingan 2:3 dan dietanolamina dengan FTIR.	32
17. Kromatogram metil ester minyak kelapa sawit.....	33
18. Larutan inhibitor dari campuran metil ester dan dietanolamina..	35
19. Permukaan baja dengan perbesaran 10.000x (a) tanpa perlakuan, (b) dalam larutan NaCl 3% (c) penambahan dietanolamina (d) penambahan metil ester (e) minyak kelapa sawit (f) penambahan campuran 2 mL metil ester : 3 mL dietanolamina.	37
20. Spektroskopi massa metil oleat.....	51

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengertian korosi secara umum adalah proses kerusakan logam atau penurunan kekuatan logam akibat bereaksi dengan lingkungan baik secara kimia maupun elektrokimia. Salah satu jenis material yang sering digunakan secara luas dalam industri minyak dan gas adalah baja lunak karena harganya yang relatif murah dibandingkan *stainless steel* dan campuran logam lainnya. Baja lunak banyak digunakan dalam pertambangan, konstruksi, dan industri logam karena memiliki kekuatan, kekerasan dan mudah dibentuk, namun memiliki kekurangan yaitu tidak tahan terhadap korosi. Korosi pada baja lunak dalam industri minyak dan gas dapat diakibatkan karena adanya gas CO₂ yang disebut korosi CO₂ (Ilim *et al.*, 2017; Fan *et al.*, 2020). Korosi CO₂ pada baja lunak terjadi ketika gas CO₂ bereaksi dengan air membentuk asam karbonat (H₂CO₃). Dalam reaksi kesetimbangan, asam karbonat yang terbentuk sangat korosif terhadap baja lunak (Li *et al.*, 2019). Korosi mengakibatkan kerusakan pada industri minyak dan gas sehingga memerlukan biaya yang besar untuk perbaikan dan penggantian infrastruktur (Kahyarian *et al.*, 2016).

Korosi sudah menjadi kajian yang menarik bagi ilmuwan, dikarenakan keberadaannya dapat dikatakan sebagai musuh yang bisa menimbulkan kerugian besar di kehidupan manusia. Dalam industri minyak dan gas kerugian yang ditimbulkan korosi serupa dengan kerugian akibat bencana alam. Menurut (Tamalmani *et al.*, 2020) perkiraan kasar kerugian akibat korosi mencapai 1.372 miliar USD. Studi status korosi dan strategi pengendalian di Cina mencatat kerugian yang dialami karena korosi adalah 310 miliar USD, mewakili sekitar

3,34% dari produk domestik bruto (Hou *et al.*, 2017). Tidak hanya pada perekonomian, korosi juga berdampak buruk pada lingkungan dan keselamatan. Karena itu, perlu dilakukan pencegahan terhadap korosi.

Pencegahan korosi dalam industri minyak dan gas dapat dilakukan dengan beberapa cara, seperti pemilihan material, proteksi katodik dan anodik, pelapisan (*coating*), dan inhibitor korosi. Penambahan inhibitor korosi pada pipa baja menjadi cara yang paling efektif untuk mengendalikan korosi CO₂ karena di dalam penggunaannya memerlukan biaya yang relatif murah dan prosesnya yang sederhana (Ilim, 2017). Inhibitor korosi didefinisikan sebagai kemampuan suatu zat ketika ditambahkan dalam konsentrasi rendah pada lingkungan yang bersifat korosif dapat mengurangi laju korosi secara efektif. Berdasarkan bahan dasar pembuatan inhibitor korosi, inhibitor dapat dibedakan menjadi inhibitor anorganik dan inhibitor organik. Kandungan dari inhibitor anorganik diantaranya adalah fosfat, dikromat, dan senyawa anorganik lainnya. Inhibitor anorganik dihindari dalam penggunaannya karena bersifat racun, sulit didegradasi oleh lingkungan, dan relatif mahal (Indrayani, 2016). Oleh karena itu penggunaan inhibitor organik lebih disarankan karena tidak beracun, mudah untuk didegradasi, biaya yang relatif murah dan dapat disintesis dari senyawa bahan alam (Yanuar *et al.*, 2017).

Kandungan senyawa pada inhibitor organik yang terkenal adalah senyawa heteroatom yang mengandung unsur nitrogen, fosfor, oksigen dan sulfur. Keberadaan molekul organik mampu bertindak sebagai inhibitor korosi, karena afinitasnya terhadap permukaan logam, dan membentuk film yang dapat mencegah proses pelarutan logam (Dorantes *et al.*, 2017). Berdasarkan kelebihanannya, proses pengembangan inhibitor korosi organik membutuhkan bahan baku yang tidak beracun, *biodegradable*, ramah lingkungan, dan dapat ditemukan secara luas di alam. Salah satu sumber bahan baku terbarukan yang memiliki peran signifikan dalam pengembangan produk penghambat korosi berbasis kimia hijau adalah minyak kelapa sawit.

Minyak kelapa sawit merupakan minyak nabati alami yang dapat dikonsumsi dan paling melimpah di Indonesia. Minyak kelapa sawit mempunyai komposisi asam lemak jenuh dan tak jenuh dengan proporsi yang seimbang. Komposisi asam lemak minyak kelapa sawit terdiri dari asam palmitat (C_{17}) sebesar 56,55%, asam oleat (C_{19}) 27,59% dan asam laurat (C_{13}), miristat (C_{15}), dan stearat (C_{19}) masing-masing 0,93, 2,87, dan 2,7% (Zulkifli dan Estiasih, 2014). Pada penelitian (Khoeroni, 2021) telah dilakukan sintesis senyawa metil ester dari hasil transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan bantuan katalis zeolit-A. Namun, pada penelitian yang telah dilakukan belum didapatkan kondisi optimum untuk sintesis alkanolamida dari minyak kelapa sawit. Metil ester adalah turunan trigliserida yang dapat dihasilkan melalui proses esterifikasi dan transesterifikasi minyak kelapa sawit yang mengandung asam lemak. Proses transesterifikasi dipengaruhi oleh jenis katalis yang dapat meningkatkan hasil metil ester (Ong *et al.*, 2020).

Pada penelitian ini difokuskan pada penggunaan inhibitor organik yang berasal dari hasil pencampuran metil ester dengan dietanolamina. Metil ester yang digunakan berasal dari proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan metanol menggunakan katalis zeolit-A dari hasil ekstraksi silika sekam padi yang melimpah di alam.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mensintesis katalis zeolit-A dari sekam padi dan alumunium foil.
2. Mengakarakterisasi katalis zeolit-A sintesis dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *X-Ray Diffraction* (XRD).
3. Menghasilkan metil ester dari proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan menggunakan katalis zeolit-A.
4. Mengkarakterisasi metil ester dengan menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) dan *Gas Chromatography Mass Spectrometry* (GCMS).
5. Menguji aktivitas inhibitor korosi dengan metode *wheel test*.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Diversifikasi produk dari sekam padi dan minyak kelapa sawit untuk meningkatkan nilai ekonomis.
2. Memberikan informasi mengenai hasil sintesis dan karakterisasi katalis zeolit-A dan metil ester dari minyak kelapa sawit.
3. Mendapatkan inhibitor korosi yang murah dan ramah lingkungan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja

Baja ringan merupakan bahan konstruksi yang paling umum digunakan dalam industri minyak dan gas karena karakteristik ideal dari baja dan harga yang murah (Ilim, *et al.*, 2016; Hutaaruk, 2017). Namun, pada prospek penerapannya tetap terbatas karena ketahanan baja pada minyak dan gas terhadap korosi sangat buruk pada lingkungan. Berdasarkan *Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration* (PHMSA), mencatat korosi telah menyebabkan sebanyak 25% insiden transmisi gas alam dan pengumpulan pipa yang terjadi selama 30 tahun terakhir (Liduino *et al.*, 2017). Baja karbon dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis berdasarkan kandungan karbonnya, yaitu baja karbon rendah (<0,25 % C), baja karbon sedang (0,25-0,70% C), dan baja karbon tinggi (0,70-1,05% C) (Men, 2018). Bahan baja karbon rendah yang digunakan rentan terhadap degradasi, seperti ketika bersentuhan langsung dengan air. Kemudian, hal ini dapat diperburuk dengan kehadiran ion klorida, misalnya dalam air laut. Dengan demikian, pipa atau peralatan industri yang berbahan dasar baja karbon rendah tidak dapat terhindar dari korosi (Senthil *et al.*, 2016).

2.2 Korosi

2.2.1 Pengertian Korosi

Korosi adalah sebuah proses penurunan mutu material logam yang terjadi secara spontan yang mengakibatkan logam menjadi material yang kurang bermanfaat. Korosi berdampak pada sisi kerugian ekonomi dan dapat membahayakan keselamatan manusia. Korosi dapat terjadi secara alamiah dan secara buatan

(Goyal *et al.*, 2018). Proses korosi dapat terjadi pada semua material logam. Korosi terjadi secara perlahan menyebabkan suatu material mempunyai umur yang lebih singkat dari umur pemakaian rata-ratanya. Korosi menjadi salah satu masalah yang merugikan dan perlu mendapatkan perhatian khusus akibat efek yang dapat ditimbulkannya. Korosi tidak dapat dicegah, yang dapat kita lakukan adalah dengan mengendalikan dan mengurangi laju korosi (Leonard, 2015).

2.2.2 Faktor Penyebab Korosi

Penyebab 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. Korosi biologi dapat terjadi karena adanya mikroba penyebab korosi (Wahyuningsih dkk, 2021). Berikut penjelasan faktor-faktor penyebab terjadinya korosi:

a. Suhu

Temperatur mempengaruhi kecepatan reaksi redoks pada peristiwa korosi. Secara umum, semakin tinggi temperatur maka semakin cepat terjadinya korosi. Hal ini disebabkan dengan meningkatnya temperatur maka meningkat pula energi kinetik partikel sehingga kemungkinan terjadinya tumbukan efektif pada reaksi redoks semakin besar.

b. pH

Larutan yang bersifat asam sangat korosif terhadap logam. Logam yang berada di dalam media larutan yang bersifat asam akan mengalami korosi lebih cepat, dalam hal ini merupakan reaksi anoda. Sedangkan, larutan yang bersifat basa akan dapat menyebabkan korosi pada bagian katodanya seperti yang sudah kita ketahui reaksi katoda selalu terjadi dengan reaksi anoda.

c. Kecepatan alir fluida

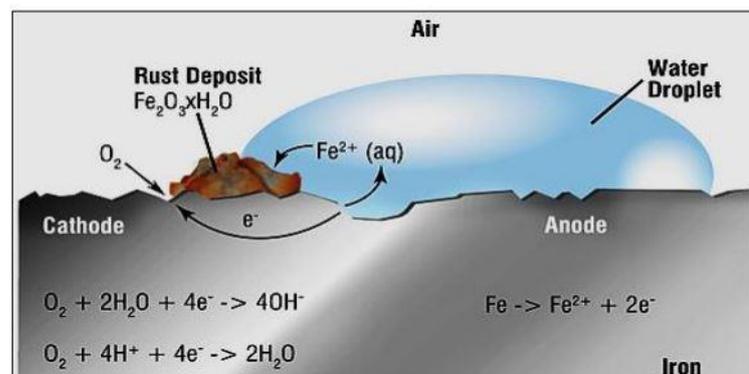
Laju korosi akan cenderung bertambah jika laju atau kecepatan aliran fluida bertambah besar. Hal ini terjadi karena kontak antara pereaksi dan logam akan semakin besar sehingga ion-ion logam akan semakin banyak yang lepas sehingga akan mengalami kerapuhan (korosi).

d. Permukaan logam

Permukaan logam yang tidak rata memudahkan terjadinya kutub-kutub muatan, yang akhirnya akan berperan sebagai anoda dan katoda. Permukaan logam yang licin dan bersih akan menyebabkan korosi sukar terjadi, sebab sukar terjadi kutub-kutub yang akan bertindak sebagai anoda dan katoda.

2.2.3 Mekanisme Korosi

Mekanisme korosi yang terjadi pada suatu logam didasari pada suatu proses oksidasi. Pada suatu elemen murni yang terkena suatu larutan asam, logam besi diubah menjadi ion besi melalui pelepasan pasangan elektron (reaksi oksidasi) yang pada dasarnya diambil melalui ion hidrogen. Karena berkurangnya elektron pada ion hidrogen (H_2) maka terjadi transfer elektron. Reaksi yang terjadi pada anoda ialah logam Fe mengalami oksidasi sehingga akan menghasilkan ion-ion logam Fe dan elektron. Pada katoda terjadi pelepasan ion-ion OH^- yang menyebabkan lingkungan menjadi basa atau netral. Ion OH^- ini berasal dari reduksi oksigen. Semakin tinggi pergerakan arus, maka semakin cepat pelarutan suatu logam atau karat akan terbentuk (Aljamali *et al.*, 2019). Mekanisme korosi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Mekanisme korosi (Aljamali *et al.*, 2019).

2.2.4 Dampak Korosi

Korosi merupakan proses atau reaksi elektrokimia yang terjadi secara alamiah dan berlangsung spontan, sehingga korosi tidak dapat dicegah melainkan dapat dikendalikan. Menurut (Putra dan Kasuma, 2018) secara umum, efek serangan

korosi secara langsung mempengaruhi sektor ekonomi, teknologi, keselamatan dan lingkungan. Di Inggris, studi terbaru menemukan bahwa kerugian finansial keseluruhan per tahun akibat korosi logam mencapai sekitar 4,5% dari produk nasional bruto (PDB) (Tasliyana *et al.*, 2019). Banyak dampak negatif yang ditimbulkan oleh korosi yang dapat kita lihat dan rasakan dalam kehidupan kita sehari-hari, diantaranya adalah :

- a. Patahnya peralatan yang berputar karena korosi, yang merugikan dari segi materi dan mengancam keselamatan jiwa.
- b. Pecahnya peralatan bertekanan dan bersuhu tinggi karena korosi, yang selain merusak alat juga membahayakan keselamatan.
- c. Hancurnya peralatan karena lapuk oleh korosi sehingga tidak bisa dipakai lagi sebagai bahan konstruksi, dan harus diganti dengan yang baru.
- d. Hilangnya keindahan konstruksi karena produk korosi yang menempel padanya.
- e. Bocornya peralatan seperti: tangki, pipa, dan sebagainya, sehingga tidak bisa berfungsi optimal. Kebocoran/kerusakan bisa mengakibatkan terhentinya operasi pabrik, bahkan membahayakan lingkungan akibat terlepasnya bahan berbahaya ke lingkungan.

2.3 Korosi CO₂

Korosi yang terjadi dalam produksi minyak dan gas cenderung terjadi karena adanya senyawa CO₂. Dalam industri minyak dan gas, korosi karena karbon dioksida terlarut adalah salah satu faktor utama terkait dengan rusaknya fasilitas produksi (Hua *et al.*, 2015; Tran *et al.*, 2015; Burkle *et al.*, 2016).

Gas CO₂ terlarut bukanlah spesies korosif. Namun, dengan adanya air, CO₂ membentuk karbonat asam yang korosif untuk baja ringan. Berikut merupakan penjelasan mekanisme korosi CO₂ menurut (Tran *et al.*, 2015).

Gas CO₂ larut dalam air:



Sebagian kecil dari hidrat CO₂ terlarut untuk membentuk asam karbonat:



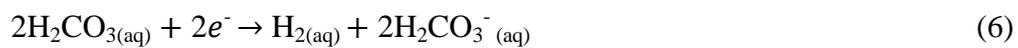
Sebagai asam lemah, sebagian asam karbonat berdisosiasi menjadi ion hidrogen dan ion bikarbonat diikuti dengan disosiasi ion bikarbonat yang membentuk ion hidrogen tambahan dan ion karbonat:



Ion hidrogen direduksi di permukaan baja untuk membentuk gas hidrogen:



Selain reduksi ion hidrogen, sering diasumsikan bahwa asam karbonat direduksi secara langsung pada permukaan logam:



Atom pada permukaan besi melepaskan elektron dan larut ke dalam larutan air untuk menghasilkan ion besi yang mengakibatkan korosi baja:



2.4 Inhibitor Korosi

Inhibitor korosi menurut (Yanuar *et al.*, 2017) merupakan suatu zat kimia yang apabila ditambahkan ke dalam suatu lingkungan, dapat menurunkan laju korosi yang terjadi pada lingkungan terhadap suatu logam didalamnya. Inhibitor korosi dapat dibagi menjadi dua, yaitu inhibitor dari senyawa anorganik dan inhibitor dari senyawa organik. Inhibitor anorganik dapat menginhibisi material logam baik secara anodik maupun katodik karena memiliki gugus aktif. Inhibitor ini terdiri dari beberapa senyawa anorganik antara lain: fosfat, kromat, dikromat, silikat, borat molibdat, dan senyawa lainnya. Senyawa-senyawa tersebut sangat berguna dalam melindungi material logam dari korosi, namun inhibitor anorganik memiliki kelemahan yaitu bersifat toksik dan merusak lingkungan (Stiadi *et al.*, 2019).

Kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh penggunaan inhibitor anorganik seperti senyawa-senyawa kromat dan zink, telah menyebabkan peningkatan penggunaan inhibitor organik. Keefektifan inhibitor organik, bergantung pada susunan kimia, susunan molekul, dan afinitasnya terhadap permukaan

logam/paduan logam. Kebanyakan inhibitor yang efektif yang digunakan dalam industri adalah senyawa-senyawa organik yang mengandung heteroatom seperti oksigen (O), nitrogen (N), belerang (S), dan ikatan rangkap di dalam molekul-molekulnya yang memfasilitasi adsorpsi pada permukaan logam/paduan logam. Pada umumnya inhibitor organik dapat menginhibisi seluruh permukaan logam/paduan logam yang terpapar dalam lingkungan korosif bila konsentrasinya memadai. Inhibitor organik merupakan inhibitor yang bersifat non-toksik, murah, sudah tersedia di alam, dan tidak merusak lingkungan. Inhibitor organik diperoleh dengan mengekstrak beberapa bahan yang ada di alam (Yanuar *et al.*, 2017). Dalam penelitian ini menggunakan bahan baku minyak kelapa sawit sebagai inhibitor korosi yang ramah lingkungan dan mudah ditemukan.

2.5 Minyak Sawit

Tanaman sawit (*Elaeis Guineensis Jacq*) merupakan salah satu jenis tanaman komoditi perkebunan yang paling banyak diminati oleh komoditi usaha perkebunan, tidak hanya di Indonesia tetapi juga di seluruh dunia. Industri perkebunan dan pengolahan sawit memegang peranan penting bagi perekonomian Indonesia. Ekspor minyak kelapa sawit menghasilkan devisa dalam jumlah besar dan industri ini juga membuka peluang dan kesempatan kerja bagi masyarakat Indonesia (Fitriani, 2019). Biji kelapa sawit dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Biji kelapa sawit.

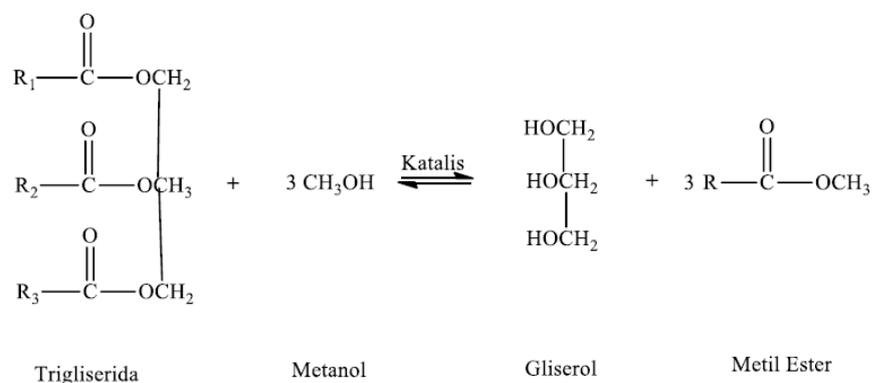
Minyak kelapa sawit atau dikenal dengan nama *crude palm oil* (CPO) merupakan minyak nabati mentah yang diperoleh dari mesocarp (serabut buah kelapa sawit berwarna kuning) dengan mengekstraksinya dan belum mengalami proses pemurnian (Putri dkk., 2019). Minyak kelapa sawit dalam pengaplikasiannya biasanya digunakan untuk kebutuhan bahan pangan (contohnya minyak goreng, margarin, dan pengganti lemak kakao), industri kimia (contohnya asam lemak, surfaktan, dan gliserol), kosmetik, dan pakan ternak. Komposisi minyak sawit dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi minyak kelapa sawit

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

2.6 Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit

Transesterifikasi merupakan suatu reaksi kimia yang menggantikan gugus gliserin (gliserol) dalam molekul minyak nabati (trigliserida) dengan molekul monoalkohol seperti metanol. Reaksi ini terjadi dengan mencampur minyak nabati dengan larutan NaOH dalam metanol dan akan menghasilkan produk biodiesel (metil ester) dan gliserin sebagai produk sampingnya. Gliserin juga bernilai ekonomi cukup tinggi dan sangat luas digunakan sebagai bahan dasar pokok industri, seperti sabun dan kosmetik (Andalia dan Pratiwi, 2018). Reaksi transesterifikasi secara sederhana dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Reaksi transesterifikasi.

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

Zeolit sintesis lebih banyak digunakan daripada zeolit alam karena zeolit sintesis murni dapat disesuaikan untuk memiliki komposisi tetap dan karakteristik yang seragam, seperti pada ukuran pori dan morfologi permukaan. Salah satu jenis zeolit sintesis yang telah digunakan sebagai katalis untuk transesterifikasi minyak kelapa sawit adalah zeolit-X (Pandiangan *et al.*, 2017).

Transesterifikasi pada penelitian ini menggunakan bahan baku yang berasal dari minyak kelapa sawit dengan mengikuti prosedur penelitian yang telah dilakukan (Pandiangan *et al.*, 2017) dengan menggunakan katalis zeolit-A yang berbahan utama dari sekam padi (Simanjuntak *et al.*, 2019).

2.7 Dietanolamina dan Metil Ester

Dietanolamina merupakan senyawa organik cair tak berwarna dan berminyak. Dietanolamina memiliki kepadatan yang lebih tinggi dari air dan berbau amonia. Dietanolamina (DEA) memiliki rumus molekul $\text{NH}(\text{C}_2\text{H}_4\text{OH})_2$ yang sering digunakan dalam persiapan *diethanolamides* dan garam *diethanolamine* dari asam lemak yang diformulasikan menjadi sabun serta surfaktan yang digunakan untuk

deterjen cair, deterjen pencuci piring, kosmetik, shampo dan kondisioner rambut. Dietanolamina juga digunakan dalam proses tekstil, pemurnian gas industri untuk menghilangkan gas asam sebagai agen anti korosi dalam cairan pengerjaan logam, dan bahan persiapan untuk pertanian. Dietanolamina dapat digunakan sebagai inhibitor tipe campuran yang bekerja dengan menghambat korosi baja lunak karena adsorpsi fisik inhibitor pada permukaan logam. Efisiensi penghambat telah ditemukan meningkat dengan meningkatnya konsentrasi dietanolamina dan menurun dengan meningkatnya suhu. Hasilnya menunjukkan bahwa efek penghambatan dietanolamina mungkin karena adsorpsi gugus amina (NH-) dan hidroksil (-OH) pada permukaan logam (Jahanbakhsh *et al.*, 2021).

Metil ester adalah salah satu jenis ester yang mempunyai rumus senyawa RCOOCH_3 . Metil ester dapat diproduksi dari minyak nabati maupun minyak hewani melalui proses transesterifikasi dengan bantuan katalis. Metil ester merupakan bahan baku dalam pembuatan surfaktan, biodiesel dan emollen dalam produk kosmetika, sedangkan gliserol dapat digunakan sebagai bahan baku dalam berbagai aplikasi industri seperti kosmetika, sabun, dan farmasi. Pembuatan metil ester melalui transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan metanol dilakukan pada suhu $60\text{ }^\circ\text{C}$ dengan kecepatan 1000 rpm selama 2 jam. Pencucian metil ester dengan air suling untuk menghilangkan kotoran dan gliserin dari metil ester (Gad *et al.*, 2018).

2.8 Zeolit-A

Zeolit menurut (Ramadhani dkk., 2017) merupakan katalis yang paling sering digunakan karena memiliki banyak karakteristik penyusun yang khas dan tidak ditemui pada katalis amorf konvensional. Zeolit memiliki karakteristik berongga dan biasanya dapat diisi oleh air dan kation yang bisa ditukarkan dan memiliki ukuran pori tertentu. Oleh karena itu zeolit dapat dimanfaatkan sebagai penyaring penukar ion, penyerap bahan dan katalisator.

Zeolit sintetis dikembangkan untuk mengatasi kelemahan dari zeolit alam, antara lain karena komposisi mineral yang bervariasi dan ukuran pori-pori yang tidak

seragam. Salah satu tipe zeolit sintetis adalah zeolit-A yang memiliki komposisi mineral $\text{Na}_{12}[(\text{AlO}_2)_{12}(\text{SiO}_2)_{12}]\cdot 27\text{H}_2\text{O}$. Zeolit-A merupakan tipe zeolit sintetis dengan nilai rasio Si/Al rendah yaitu 1 atau mendekati 1 (Saraswati, 2016). Sifat ini membuat zeolit dengan rasio Si/Al rendah sering digunakan dalam pengolahan limbah cair, peningkatan kualitas air dengan pengurangan kesadahan, dan sebagai penukaran ion. Reaktan utama dalam sintesis zeolit adalah senyawa silika dan alumina. Menurut (Azizi and Yousefpour, 2010) sebagai sumber silika, sekam padi mempunyai kandungan silika sebagai komponen utama dengan persentase tinggi (85 – 98%). Sekam padi dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan material zeolit dengan metode hidotermal.

Katalis yang digunakan pada penelitian ini yaitu Zeolit-A. Zeolit-A kemudian disintesis dengan memanfaatkan bahan baku sekam padi untuk mendapatkan silika. Silika dan aluminium akan menjadi bahan pembuatan zeolit-A mengikuti prosedur yang telah dilakukan (Simanjuntak *et al.*, 2019).

2.9 Karakterisasi Inhibitor Korosi

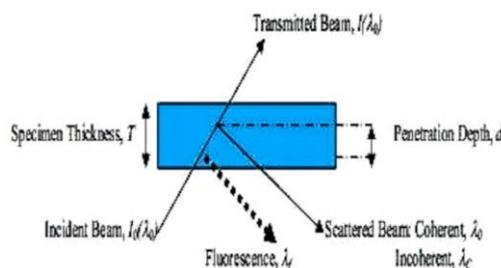
2.9.1 SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

SEM dapat digunakan untuk melihat permukaan material dengan resolusi yang tinggi. Karakteristik bahan menggunakan SEM dimanfaatkan untuk melihat struktur topografi permukaan, ukuran butir, dan cacat struktural. Hasil yang diperoleh berupa *scanning electron micrograph* yang menyajikan bentuk tiga dimensi berupa gambar atau foto. Hasil SEM juga dapat digunakan untuk menghitung ukuran nanopartikel (Fathia, 2018).

2.9.2 XRD (*X-Ray Diffraction*)

Spektroskopi XRD adalah suatu cara analisis struktur kristal, fasa, dan mineral pada suatu sampel. Prinsip kerja instrumen XRD ialah penerapan prinsip Bragg yang mengemukakan bahwa perbedaan lintasan berkas difraksi sinar X harus kelipatan panjang gelombang dengan rumus $n\lambda = d\sin\theta$, dengan n adalah bilangan bulat, sedangkan λ adalah panjang gelombang sinar-X, d adalah jarak antar

bidang, dan θ adalah sudut difraksi. Difraktogram yang diperoleh memberikan informasi deretan peak difraksi dengan intensitas relatif sepanjang nilai 2θ pada rentang yang ditentukan. Besar intensitas relatif puncak tergantung dari banyaknya atom dalam sampel dan distribusinya dalam material (Sumari dkk., 2020). Interaksi sinar-X dengan spesimen dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Interaksi sinar-X dengan spesimen (Patty, 2013).

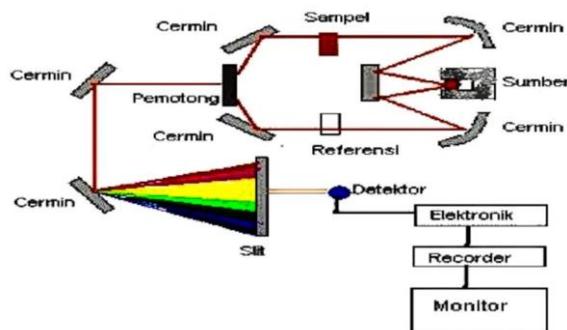
2.9.3 FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*)

Spektrofotometer FTIR merupakan salah satu alat yang dapat digunakan untuk identifikasi senyawa, khususnya senyawa organik, baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan dengan melihat bentuk spektrumnya yaitu dengan melihat puncak-puncak spesifik yang menunjukkan jenis fungsional yang dimiliki oleh senyawa tersebut. Sedangkan analisis kuantitatif dapat dilakukan dengan menggunakan senyawa standar yang dibuat spektrumnya pada berbagai konsentrasi.

Bila radiasi inframerah dilewatkan melalui suatu cuplikan, maka molekul-molekulnya dapat menyerap (mengabsorpsi) energi dan terjadilah transisi diantara tingkat vibrasi (*ground state*) dan tingkat vibrasi tereksitasi (*excited state*).

Sebagian radiasi sinar infra merah tersebut diserap (diadsorpsi) oleh molekul dan sebagian lagi diteruskan (ditransmisikan) melalui molekul tersebut.

Pengabsorpsian energi pada berbagai frekuensi (atau panjang gelombang) radiasi. Plot tersebut adalah spektrum inframerah yang memberikan informasi penting tentang gugus fungsional suatu molekul (Kristianingrum, 2016). Gambar skema FTIR dapat dilihat pada Gambar 5.

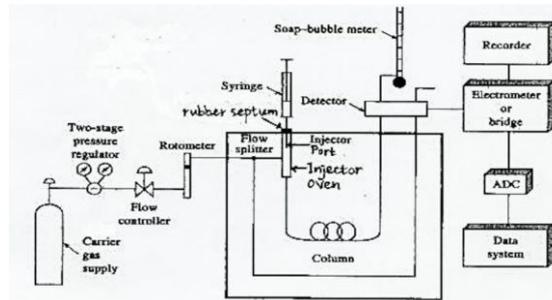


Gambar 5. Skema FTIR (Gunawan dan Azhari, 1979).

Adapun cara kerja FTIR seperti berikut: zat yang akan diukur diidentifikasi, berupa atom atau molekul. Sinar inframerah yang berperan sebagai sumber sinar dibagi menjadi dua berkas, satu dilewatkan melalui sampel dan yang lain melalui pembanding. Kemudian secara berturut-turut melewati *chopper*. Setelah melalui prisma atau *grating*, berkas akan jatuh pada detektor dan diubah menjadi sinyal listrik yang kemudian direkam oleh rekorder (Pambudi dkk., 2017).

2.9.4 GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*)

Spektrofotometer GC-MS merupakan metode yang dinamis untuk pemisahan dan deteksi senyawa-senyawa yang mudah menguap dalam suatu campuran (Sipahelut, 2019). Pada sistem kromatografi gas, senyawa yang memiliki titik didih rendah akan keluar terlebih dahulu menuju detektor karena titik didih yang rendah mengakibatkan senyawa lebih mudah menguap sehingga waktu retensinya lebih cepat. Waktu retensi masing-masing senyawa ditentukan oleh titik didih senyawa tersebut. Kolom yang digunakan bersifat nonpolar sehingga senyawa yang bersifat polar akan keluar terlebih dahulu dan yang bersifat nonpolar akan tertahan lebih lama berada di kolom. Kromatogram yang dihasilkan terbentuk berdasarkan jumlah ion total yang terbentuk dari masing-masing komponen senyawa. Semakin besar persentase suatu komponen dalam sampel tersebut maka puncak yang dihasilkan akan semakin tinggi, begitu pula sebaliknya (Wulandari dkk., 2017). Skema GC-MS dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Skema GC-MS (Charibaldi dan Harjoko, 2013).

2.10 Penentuan Laju Korosi

2.10.1 Metode Kehilangan Berat (*Wheel Test*)

Metode kehilangan berat (*wheel test*) 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. Menurut (Ilim *et al.*, 2017) metode kehilangan berat (*wheel test*) dapat dihitung berdasarkan persamaan (8), (9), dan (10):

$$W = W(i) - W(t) \quad (8)$$

$$CR = \frac{10.Wt.365}{A.D.t} \quad (9)$$

Untuk mengetahui kemampuan proteksi dari inhibitor dalam menghambat laju korosi dapat dilakukan dengan mengikuti persen proteksi inhibitor menggunakan persamaan (10):

$$\%P = \frac{(CR_0 - CR_i)}{CR_0} \times 100\% \quad (10)$$

dengan :

CR (*corrosion rate*) = laju korosi (mmpy = *millimeter per year*)

Wt (weight loss) = kehilangan berat (gram)

A (area of coupon) = luas permukaan (cm²)

D (density of metal) = kerapatan (g cm⁻³), setara dengan 7,86 g cm⁻³ untuk baja lunak

t (time of exposure) = waktu perlakuan (hari)

CR₀ = laju korosi tanpa inhibitor (blanko)

CR_i = laju korosi dengan inhibitor

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari – Agustus 2021 di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik, Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Lampung.

Karakterisasi menggunakan GC-MS dilakukan di Laboratorium Instrumentasi FMIPA terpadu, Universitas Islam Indonesia. Karakterisasi XRD dilakukan di Divisi Karakterisasi Material Departemen Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi dan Industri ITS. Karakterisasi FTIR dan SEM dilakukan di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

1. Alat-alat yang digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah; spektrofotometer FTIR (*Fourier Transform infrared Spectroscopy*), GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*), XRD (*X-Ray Diffraction*), SEM (*Scanning Electron Microscopy*), Voltalab, oven, *autoclave*, serangkaian alat refluks, *hotplate*, saringan mesh 200, *furnance*, neraca analitik, pengaduk magnet, mikropipet, jangka sorong, termometer dan alat-alat gelas laboratorium.

2. Bahan-bahan yang digunakan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak sawit, NaOH, HNO₃, dietanolamina, metanol, aluminium foil, indikator universal, akuades, kertas saring, sekam padi, NaCl, NaHCO₃, Sb₂O₃, SnCl₃, HCl, KCl, gas CO₂,

kertas amplas ukuran 200, 400, 800, 1000, dan 1200, elektoda uji, dan baja lunak berbentuk kupon.

3.3 Prosedur Percobaan

3.3.1 Pembuatan Katalis Zeolit-A

a. Preparasi sekam padi

Sekam padi dikumpulkan dan dicuci secara berulang dengan menggunakan air untuk menghilangkan zat pengotor yang terkandung dalam sekam padi dan memisahkan sekam padi yang mengapung dan tenggelam. Sekam padi yang digunakan yaitu sekam padi yang tenggelam karena mengandung lebih banyak silika. Selanjutnya sekam padi yang tenggelam diekstraksi.

b. Ekstraksi silika sekam padi

Sebanyak 70 gram sekam padi diekstraksi dengan 700 mL larutan NaOH 1,5% lalu dipanaskan hingga mendidih dan ditunggu selama 30 menit setelah mendidih. Hasil ekstraksi kemudian didiamkan selama 24 jam pada suhu ruang. Selanjutnya hasil ekstraksi kemudian disaring untuk memisahkan ampas dari filtratnya. Filtrat yang mengandung silika (sol silika) yang diperoleh digelkan dengan cara menambahkan larutan HNO₃ 10% secara perlahan sampai dihasilkan gel silika. Selanjutnya diuji keadaan pH gel silika dengan indikator universal sampai pH 7-8. Gel silika yang terbentuk kemudian didiamkan selama 24 jam agar gel silika benar-benar terbentuk secara keseluruhan. Selanjutnya, gel silika yang berwarna coklat dicuci dengan air panas sampai terjadi perubahan warna menjadi putih. Gel silika yang telah bersih kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 80 °C selama 8 jam. Gel silika yang telah kering selanjutnya digerus dan disaring sehingga didapatkan silika berbentuk bubuk.

c. Sintesis sampel zeolit-A

Pada sintesis sampel zeolit-A, sebanyak 40 gram NaOH dilarutkan dalam 200 mL akuades. Setelah homogen ditambahkan silika sebanyak 60 gram, lalu di-*stirrer* pada suhu 80 °C selama 3 jam. Kemudian, campuran didinginkan dan disaring filtrat yang di peroleh selanjutnya diaging selama 24 jam. Filtrat yang telah

didiamkan selama 24 jam kemudian ditambahkan 13,5 gram potongan aluminium foil, *distirrer* selama 3 jam dan disimpan di dalam *autoclave* dan *diaging* selama 24 jam. Selanjutnya campuran dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 100 °C selama 96 jam. Kemudian setelah campuran kering dicuci dngan akuades hingga pH 7-8. Setelah pH netral dikeringkan kembali dalam oven pada suhu 80 °C hingga bubuk zeolit-A kering. Bubuk zeolit-A yang telah didapatkan, kemudian dikalsinasi dalam *furnace* dengan suhu 550 °C selama 6 jam. Selanjutnya zeolit-A yang telah dikalsinasi didinginkan dengan didiamkan pada tungku *furnace*. Zeolit-A kemudian dikarakterisasi dan digunakan sebagai katalis dalam proses transesterifikasi.

3.3.2 Karakterisasi Katalis

Zeolit-A yang telah didapatkan dikarakterisasi dengan menggunakan XRD dan SEM.

3.3.3 Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit

Transesterifikasi minyak sawit dilakukan dengan memasukkan sebanyak 25 mL minyak sawit dan 150 mL metanol ke dalam labu bundar 500 mL. Pada transesterifikasi menggunakan perbandingan 1:6 minyak sawit dengan metanol. Selanjutnya ditimbang sebanyak 25 gram zeolit-A dan dimasukkan ke dalam campuran minyak sawit dan metanol. Dalam hal ini katalis yang digunakan ialah sebesar 10% dari jumlah keseluruhan minyak sawit. Campuran kemudian diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* dan direfluks pada suhu 70 °C selama 6 jam. Hasil refluks kemudian disaring dengan menggunakan corong pisah dan didiamkan selama 12 jam. Campuran akan membentuk 2 fasa, bagian bawah merupakan gliserol sedangkan bagian atas merupakan metil ester.

3.3.4 Karakterisasi Metil Ester

Karakterisasi metil ester dilakukan dengan menggunakan GC-MS dan FTIR.

3.3.5 Pencampuran Metil Ester dengan Dietanolamina

Proses pencampuran senyawa dietanolamina dengan metil ester hasil transesterifikasi dilakukan dengan variasi, 5 mL metil ester, 4 mL metil ester dan 1 mL dietanolamina, 3 mL metil ester dan 2 mL dietanolamina, 2 mL metil ester dan 3 mL dietanolamina, 1 mL metil ester dan 4 mL dietanolamina, 5 mL dietanolamina, dan 5 mL minyak kelapa sawit. Campuran senyawa dari masing-masing variasi kemudian dihomogenkan dalam botol vial yang kemudian akan dianggap sebagai inhibitor korosi.

3.3.6 Karakterisasi Produk Inhibitor

Karakterisasi produk campuran metil ester minyak kelapa sawit dan dietanolamina terbaik, minyak kelapa sawit dan dietanolamina sebagai larutan uji inhibitor korosi dengan menggunakan FTIR (*Fourier Transform-Infrared*).

3.3.7 Pembuatan Larutan

a. Larutan medium korosif

Sebanyak 30 gram NaCl dan 0,1 gram NaHCO₃ dilarutkan ke dalam labu ukur 1000 mL yang ditambahkan akuades sampai tanda tera dan dihomogenkan.

b. *Clarke's solution*

Sebanyak 2 gram Sb₂O₃ dan 5 gram SnCl₂ dilarutkan dalam labu ukur 50 mL dengan HCl pekat sampai tanda tera dan dihomogenkan

c. Larutan induk inhibitor

Sebanyak 0,5 gram dari masing-masing variasi larutan inhibitor dilarutkan dalam labu ukur 50 mL dengan metanol sampai tanda tera. Larutan induk inhibitor dibuat dengan konsentrasi 10.000 ppm.

3.3.8 Penentuan Laju Korosi

a. Metode *Wheel Test*

Langkah awal yang dilakukan dalam metode *wheel test* adalah memotong kupon baja dengan ukuran (20 x 10 x 2,6) mm. kemudia diampelas menggunakan kertas ampelas dengan ukuran 240, 400, 600, 800, 1000, dan 1200 grit. Baja kupon yang telah bersih ditimbang berat awalnya menggunakan neraca analitik, kemudian diukur luasnya menggunakan mikrometer sekrup. Selanjutnya, 8 botol duran ukuran 250 mL disiapkan dan diisi 175 mL larutan korosi. Botol kedua sampai botol kedelapan masing-masing ditambahkan dengan inhibitor korosi masing-masing sebanyak 2,625 mL. Kupon baja yang telah ditimbang berat dan diukur luasnya, dimasukkan ke dalam masing-masing botol duran. Selanjutnya, larutan uji dialiri gas CO₂ selama 45 menit. Aliran gas CO₂ dihentikan dengan memastikan tidak ada kontaminan dari oksigen, kemudia botol duran ditutup dan didiamkan selama 24 jam. Setelah 24 jam kupon dikeluarkan dan kemudian dicuci menggunakan *Clarke's solution* untuk menghilangkan produk korosi dari permukaan, dan dibilas menggunakan akuades dan metanol. Selanjutnya kupon yang telah bersih ditimbang menggunakan neraca analitik. Perhitungan laju korosi menggunakan persamaan dan persen proteksi menggunakan persamaan (9).

3.3.9 Analisis Permukaan

Persiapan analisis permukaan baja lunak sama seperti percobaan pada *wheel test* tetapi produk korosi telah dibersihkan terlebih dahulu. Kupon baja disiapkan dengan 3 perlakuan yaitu; baja lunak tanpa perlakuan, baja lunak dalam larutan korosif, dan baja lunak dalam larutan korosif mengandung inhibitor. Kemudian hasil perlakuan diamati dengan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Zeolit-A telah berhasil disintesis dengan waktu *aging* 24 jam dan kristalisasi 96 jam.
2. Karakterisasi zeolit-A sintesis dengan XRD dan SEM menunjukkan sudah terbentuknya zeolit-A.
3. Metil ester telah berhasil disintesis dari proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dan metanol dengan bantuan katalis zeolit-A dan terkonversi 100%.
4. Karakterisasi metil ester dengan FTIR menunjukkan terbentuknya ester (C=O) pada bilangan gelombang 1744.4 cm^{-1} dan GC-MS menunjukkan terbentuknya metil oleat dan metil palmitat sebagai penyusun utama metil ester.
5. Uji aktivitas senyawa inhibitor dengan *wheel test* menunjukkan persen proteksi terbesar pada variasi perbandingan 2 mL metil ester dengan 3 mL dietanolamina yaitu sebesar 58,23%.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan inhibitor korosi dengan perbandingan 2 mL metil ester dan 3 mL dietanolamina memiliki aktivitas inhibisi yang cukup baik sebagai inhibitor baja lunak dalam larutan NaCl 3% yang mengandung karbon dioksida (CO₂) namun masih diperlukan variasi dengan perbandingan larutan dan perbandingan suhu untuk mencari aktivitas inhibisi terbaik dalam larutan inhibitor.

DAFTAR PUSTAKA

- Aljamali, N. M., Muhammed, N., Mohsin, B., and H, N. A. 2019. Review of Corrosion and Rust Inhibition of Machines in Chemical Engineering Field. *International Journal of Thermodynamics and Chemical Kinetics*. 5(1): 2456-6677.
- Andalia, W., dan Pratiwi, I. 2018. Kinerja Katalis NaOH dan KOH Ditinjau Dari Kualitas Produk Biodiesel yang Dihasilkan dari Minyak Goreng Bekas. *Tekno Global*. 7(2): 66–73.
- Azizi, S. N., and Yousefpour, M. 2010. Synthesis of zeolites NaA and analcime using rice husk ash as silica source without using organic template. *Journal of Materials Science*. 45(20): 5692–5697.
- Burkle, D., De Motte, R., Taleb, W., Kleppe, A., Comyn, T., Vargas, S. M., Neville, A., and Barker, R. 2016. Development of an electrochemically integrated SR-GIXRD flow cell to study FeCO₃ formation kinetics. *Review of Scientific Instruments*. 87(10).
- Cai, H., Liu, J., Xie, W., Kuo, J., Buyukada, M., and Evrendilek, F. 2019. Pyrolytic kinetics, reaction mechanisms and products of waste tea via TG-FTIR and Py-GC/MS. *Energy Conversion and Management*. 184: 436–447.
- Charibaldi, N., dan Harjoko, A. 2013. Telaah Pustaka Ciri dan Metode-metode Identifikasi Kuman Mycobacteria Tuberculosis. *Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems*. 3(1): 47–60.
- Dorantes, E., Zuñiga-Díaz, J., Quinto-Hernandez, A., Porcayo-Calderon, J., Gonzalez-Rodriguez, J. G., and Martinez-Gomez, L. 2017. Fatty Amides from Crude Rice Bran Oil as Green Corrosion Inhibitors. *Journal of Chemistry*. 14.
- Fan, H., Shi, D., Ding, M., Li, M., Cheng, Y. F., and Li, Q. 2020. Progress in Organic Coatings Preparation of (3-mercaptopropyl) trimethoxysilane film on brass and its corrosion resistance in natural seawater. *Progress in Organic Coatings*. 139: 105.

- Fathia, A. 2018. Sintesis dan Karakterisasi Graphene Oxide Terkombinasi Nanopartikel Perak Dalam Fase Cair. *Tugas Akhir*. Universitas Negeri Yogyakarta. 117 hlm.
- Fitriani. 2019. Peluang Minyak Mentah Sawit Sebagai Bahan Sediaan Farmasi. *Jurnal Riset Teknologi Industri*. 13: 314-324.
- Gad, M. S., El-Araby, R., Abed, K. A., El-Ibiari, N. N., El Morsi, A. K., and El-Diwani, G. I. 2018. Performance and emissions characteristics of C.I. engine fueled with palm oil/palm oil methyl ester blended with diesel fuel. *Egyptian Journal of Petroleum*. 27(2): 215–219.
- Ginting, S. B., Winarti, R. R., Andini, T., dan Wardono, H. 2020. Sintesis dan karakterisasi Zeolit LTA dari coal bottom ash teraktivasi dengan aging system. *Jurnal Teknologi Dan Inovasi Industri*. 1(1): 15–27.
- Goyal, M., Kumar, S., Bahadur, I., Verma, C., and Ebenso, E. E. 2018. Organic corrosion inhibitors for industrial cleaning of ferrous and non-ferrous metals in acidic solutions. *Journal of Molecular Liquids*. 565–573.
- Gunawan, B., dan Azhari, C. D. 1979. Karakteristik Spektrometri IR dan Scanning Electron Microscopy (SEM) Semsor Gas dari Bahan Polimer Poly Ethelyn Glycol (PEG). *Fakultas Teknik Universitas Muria Kudus*. 1–17.
- Hou, B., Li, X., Ma, X., Du, C., Zhang, D., Zheng, M., Xu, W., Lu, D., and Ma, F. 2017. The cost of corrosion in China. *Npj Materials Degradation*. 1(1).
- Hsiao, Y., Ho, T., Shen, Y., and Ray, D. 2017. Synthesis of analcime from sericite and pyrophyllite by microwave-assisted hydrothermal processes. *Applied Clay Science*. 378–386.
- Hua, Y., Barker, R., and Neville, A. 2015. Comparison of corrosion behaviour for X-65 carbon steel in supercritical CO₂-saturated water and water-saturated/unsaturated supercritical CO₂. *Journal of Supercritical Fluids*. 97: 224–237.
- Hutauruk, F. Y. 2017. Analisa Laju Korosi pada Pipa Baja Karbon dan Pipa Galvanis dengan Metode Elektrokimia. *Tugas Akhir*. 138 hlm.
- Ilim, Jefferson, A., Simanjuntak, W., Jeannin, M., Syah, Y. M., and Bundjali, B. 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. 2017. Oligomer 4-Vinilpiridin Sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak Dalam Larutan NaCl 3% Jenuh Dengan Karbon Dioksida. *Disertasi*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.

- 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.
- Indrayani, N. L. 2016. Studi Pengaruh Eceng Gondok sebagai Inhibitor Korosi untuk Pipa Baja SS400 pada Lingkungan Air. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. 4(2): 47–56.
- Jahanbakhsh-Bonab, P., Esrafil, M. D., Rastkar Ebrahimzadeh, A., and Jahanbin Sardroodi, J. 2021. Are choline chloride-based deep eutectic solvents better than methyl diethanolamine solvents for natural gas Sweetening? theoretical insights from molecular dynamics simulations. *Journal of Molecular Liquids*. 338: 116716.
- Kahyarian, A., Singer, M., and Nestic, S. 2016. Modeling of uniform CO₂ corrosion of mild steel in gas transportation systems. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 29: 530-549.
- Karyono, T., Budinto, dan Pamungkas, R. G. 2017. Analisis Teknik Pencegahan Korosi Pada Lambung Kapal dengan Variasi Sistem Pencegahan ICCP Dibandingkan dengan SACP. *Jurnal Pendidikan Profesional*. 6(1): 7–17.
- 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.
- Khoeroni, A.M. 2021. Alkanolamida Berbasis Minyak Sawit Sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak dalam Medium Korosif yang Mengandung Karbon Dioksida (CO₂). *Tugas Akhir*. 114 hlm.
- Kristianingrum, S. 2016. Model ikatan kimia. *Handout Spektroskopi Infra Merah*. 1(1): 1–15.
- Kumar, D., and Ali, A. 2015. Direct synthesis of fatty acid alkanolamides and fatty acid alkyl esters from high free fatty acid containing triglycerides as lubricity improvers using heterogeneous catalyst. *Journal of Fuel*. 159: 845-853.
- Leonard, J. 2015. Distribusi Tingkat Karat Dan Laju Korosi Baja St 37 Dalam Lingkungan Air Laut Dan Air Tanah. *Jurnal Mekanikal*. 6(1): 564–568.
- Li, S., Zeng, Z., Harris, M. A., Sánchez, L. J., and Cong, H. 2019. CO₂ Corrosion of Low Carbon Steel Under the Joint Effects of Concentration. *Department of Chemical and Biomolecular Engineering*. 6: 1–17.
- Liduino, V. S., Teresa, M., Lutterbach, S., Flávia, E., and Sérvulo, C. 2017. Corrosion behavior of carbon steel API 5L X65 exposed to seawater.

International Journal of Engineering and Technical Research. 7(10): 70–74.

- Lubis, F. S. 2018. Karakteristik senyawa alkanolamida dari minyak jarak castor dan dietanolamine dengan katalis koh 1. *Jurnal Konversi Universitas Muhammadiyah Jakarta*. 7(2): 31–36.
- Mansoori, H., Young, D., Brown, B., and Singer, M. 2018. Influence of calcium and magnesium ions on CO₂ corrosion of carbon steel in oil and gas production systems. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 287–296.
- Men, L. K. 2018. Analisa Korosi Retak Regangan Tegangan pada Pipa Baja Karbon API 5L-X65 dalam Larutan 7900 mL Air Laut dan 100 mL Amoniak dengan diisi Gas CO₂ dan H₂S dalam Keadaan Jenuh. *Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri*. 38–46.
- Nasirpour, F., Mostafaei, A., Fathyunes, L., and Jafari, R. 2014. Assessment of localized corrosion in carbon steel tube-grade AISI 1045 used in output oil – gas separator vessel of desalination unit in oil refinery industry Assessment of localized corrosion in carbon steel tube-grade AISI 1045 used in output oil – gas. *Engineering Failure Analysis*. 75–88.
- Niu, S., Zhou, Y., Yu, H., Lu, C., and Han, K. 2017. Investigation on thermal degradation properties of oleic acid and its methyl and ethyl esters through TG-FTIR. *Energy Conversion and Management*. 495–504.
- Ong, H. C., Chowdhury, M. A., and Mahlia, T. M. I. 2020. Effect of Nanocatalysts on the Transesterification Reaction of First, Second, and Third Generation Biodiesel Sources. *Journal Pre of ECSN*. 128642.
- Pambudi, A., Farid, M., dan Nurdiansah, H. 2017. Analisa Morfologi dan Spektroskopi Infra Merah Serat Bambu Betung (*Dendrocalamus Asper*) Hasil Proses Alkalisasi Sebagai Penguat Komposit Absorpsi Suara. *Jurnal Teknik ITS*. 6(2): 441–444.
- Pandiangan, K., Arief, S., Andalas, U., Jamarun, N., Andalas, U., and Simanjuntak, W. 2017. Synthesis of Zeolite-X from Rice Husk Silica and Aluminum Metal as a Catalyst for Transesterification of Palm Oil. *Journal of Material and Environmental Science*. 8(5): 1797-1802.
- Pandiangan, D., Simanjuntak, W., Pratiwi, E., and 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)
- Pandiangan, K., Damayanti, P., Riyanti, F., W. S. 2020. Uji Aktivitas Katalitik ZSM-5 yang Disintesis dari Sekam Padi dan Al(OH)₃ pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit. 5(1): 53–64.

- Patty, D. J. 2013. Penentuan Unsur dalam Rambut Berdasarkan Karakteristik Pola Fluoresensi Sinar X (XRF). *Prosiding FMIPA Universitas Pattimura*. 2(1): 219–225.
- Peer, M. S., Kasimani, R., Rajamohan, S., and Ramakrishnan, P. 2017. Experimental Evaluation on Oxidation Stability of Biodiesel/Diesel Blend with Alcohol Addition by Rancimat Instrument and FTIR Spectorsopy. *Journal of Mechanical Science and Technology*. 31(1): 455–463.
- Prayanto, D. S., Salahudin, M., Qadariyah, L., dan Mahfud, M. 2016. Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Kelapa Dengan Katalis NaOH Menggunakan Gelombang Mikro (Microwave) Secara Kontinyu. *Jurnal Teknik ITS*. 5(1): 1–6.
- Putra, I. E., dan Kasuma, N. S. 2018. Pengaruh Inhibitor Daun Gambir Terhadap Laju Korosi Baja Karbon Rendah dalam Larutan HCl 1 %. *Jurnal Momentum*. 20(1): 25–30.
- Putri, D. O., Mardawati, E., Putri, S. H., dan Frank, D. 2019. Perbandingan Metode Degumming CPO (Crude Palm Oil) terhadap Karakteristik Lesitin yang Dihasilkan. *Jurnal Industri Pertanian*. 1(3): 88–94.
- Ramadani, A. 2017. Analisis Perbedaan Laju Korosi Material Jari-Jari Sepeda Motor (Spokes) Pada Berbagai Media Air Yang Berkonsentrasi Asam Di Daerah Perindustrian. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*. 20(1): 52–57.
- Ramadhani, D. G., Fatimah, N. F., Sarjono, A. W., Setyoko, H., and Nuhayati, D. 2017. Synthesis of Natural Ni / Zeolite Activated by Acid as Catalyst for Synthesis Biodiesel from Ketapang Seeds Oil. *Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia*. 2(1): 72–79.
- Saraswati, I. 2016. Zeolite-a Synthesis From Glass. *Jurnal Sains Dan Matematika*. 23(4): 112–115.
- Senthil, D., Saratha, R., and Vasantha, R. 2016. Corrosion Inhibitor of Mild Steel in Hydrochloric Acid Medium Using Plant Extracts. *International Journal of Scienc*. 5(12): 3324–3340.
- Simanjuntak, W., Pandiangan, K.D., Sembiring, Z., and Simanjuntak, A. 2019. Liquid Fuel Production by Zeolite-A Catalyzed Pyrolysis of Mixed Cassava Solid Waste and Rubber Seed Oil. *Oriental Journal of Chemistry*. 35(1): 71–76.
- Simanjuntak, W., Pandiangan, K. D., Sembiring, Z., Simanjuntak, A., and Hadi, S. 2021. The effect of crystallization time on structure, microstructure, and catalytic activity of zeolite-A synthesized from rice husk silica and food-grade aluminum foil. *Biomass and Bioenergy*. 148: 106050.

- Simanjuntak, W., Sembiring, S., Pandiangan, K. D., Syani, F., & Situmeang, R. T. M. 2016. The use of liquid smoke as a substitute for nitric acid for extraction of amorphous silica from rice husk through sol-gel route. *Oriental Journal of Chemistry*. 32(4): 2079–2085.
- Sipahelut, S. G. 2019. Perbandingan Komponen Aktif Minyak Atsiri dari Daging Buah Pala Kering Cabinet Dryer Melalui Metode Distilasi Air dan Air-Uap. *Jurnal Teknologi Pertanian*. 8(1): 8–13.
- Stiadi, Y., Arief, S., Aziz, H., Efdi, M., dan Emriadi, E. 2019. Inhibisi Korosi Baja Ringan Menggunakan Bahan Alami dalam Medium Asam Klorida. *Jurnal Riset Kimia*. 10(1): 51.
- Sumari, S., Prakasa, Y. F., Asrori, M. R., dan Baharintasari, D. R. 2020. Analisis Kandungan Mineral Pasir Pantai Bajul Mati Kabupaten Malang Menggunakan XRF dan XRD. *Fullerene Journal of Chemistry*. 5(2): 58.
- Tamalmani, K., and Husin, H. 2020. Review on corrosion inhibitors for oil and gas corrosion issues. *Applied Sciences (Switzerland)*. 10(10).
- Tasliyana, K., dan Novrizal. 2019. Pengukuran Kinerja Inhibitor Korosi Menggunakan Metode Elektrokimia. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan*. 53(2): 2–5.
- Tran, T., Brown, B., and Nestic, S. 2015. Corrosion of mild steel in an aqueous CO₂ environment - Basic electrochemical mechanisms revisited. *NACE - International Corrosion Conference Series*. 1–11.
- Wahyuningsih, N. E. N. W. S. 2021. Pengaruh faktor fisik, kimia, dan biologi medium terhadap laju korosi besi. *Sains Dan Terapan Kimia*. 1(1):33–60.
- Wardhani, G. A. P. K., Taufiq, A., dan Syaifie, P. H. 2019. Sintesis Dan Karakterisasi Zeolit Berbahan Dasar Abu Sekam Padi Karawang. *Jurnal Sains Dan Terapan Kimia*. 13(2): 89.
- Wulandari, R., Harliyanto, C., and Nurlita Andiani, C. 2017. Identification of GC-MS Essential Oils Extract from Citronella (*Cymbopogon winterianus*) Using Metanol Solvent. *Jurnal Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Purwokerto*. 18(1): 23–27.
- Yanuar, A. P., Pratikno, H., dan Titah, H. S. 2017. Pengaruh Penambahan Inhibitor Alami terhadap Laju Korosi pada Material Pipa dalam Larutan Air Laut Buatan. *Jurnal Teknik ITS*. 5(2): 8–13.
- Zulkifli, M., dan Estiasih, T. 2014. Sabun dari Distilat Asam Lemak Minyak Sawit. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*. 2(4): 170–177.