

TESIS
SINTESIS SENYAWA EPOKSIDA SEBAGAI
SENYAWA *INTERMEDIATE* PADA PEMBUATAN
***BIOLUBRICANT* DARI MINYAK KELAPA SAWIT**
(CPO)



R ARIE HARTAWAN
03012681822002

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2022

HALAMAN PENGESAHAN

SINTESIS SENYAWA EPOKSIDA SEBAGAI SENYAWA *INTERMEDIATE* PADA PEMBUATAN *BIOLUBRICANT* DARI MINYAK KELAPA SAWIT (CPO)

TESIS

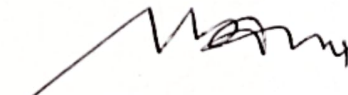
Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan
Gelar Magister Teknik (M.T.) Pada Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya

Palembang, Juli 2022
Menyetujui,
Pembimbing I



Prof. Dr. Ir. H. M. Faizal, DEA
NIP. 195805141984031001

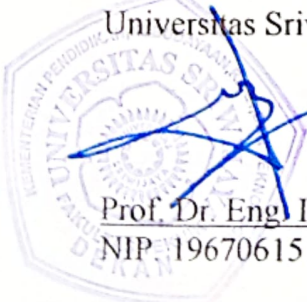
Pembimbing II



Prof. Dr. Ir. M. Said, M.Sc
NIP. 196108121987031003

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya,



Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T.
NIP. 196706151995121002

Ketua Jurusan Teknik Kimia,



Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.
NIP. 197502012000122001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Laporan Tesis ini dengan judul “Sintesis Senyawa Epoksida Sebagai Senyawa *Intermediate* Pada Pembuatan *Biolubricant* Dari Minyak Kelapa Sawit (CPO)” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada 14 Juli 2022.

Palembang, Juli 2022

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Laporan Tesis

Ketua :

1. Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA
NIP.195610241981032001

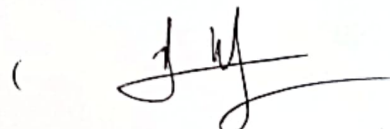
()

Anggota

1. Dr. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T.
NIP. 197503261999032002

()

2. Dr. Elda Melwita, S.T., Ph.D
NIP. 197505112000122001


()

3. Dr. Fitri Hadiah, S.T., M.T
NIP. 197808222002122001


()

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya,


Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T.
NIP. 196706151995121002

Ketua Jurusan Teknik Kimia,


Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.
NIP. 197502012000122001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : R. Arie Hartawan

NIM : 03012681822002

Judul : Sintesis Senyawa Epoksida Sebagai Senyawa *Intermediate* Pada Pembuatan *Biolubricant* Dari Minyak Kelapa Sawit (CPO)

Menyatakan bahwa Laporan Tesis saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/*plagiat*. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/*plagiat* dalam Laporan Tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, Juli 2022
Yang Membuat Pernyataan,



R. Arie Hartawan
NIM. 03012681822002

RINGKASAN

SINTESIS SENYAWA EPOKSIDA SEBAGAI SENYAWA *INTERMEDIATE* PADA PEMBUATAN *BIOLUBRICANT* DARI MINYAK KELAPA SAWIT (CPO)

Karya tulis ilmiah berupa tesis, Juli 2022

R. Arie Hartawan, Dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. H. M. Faizal, DEA dan Prof. Dr. Ir. M. Said, M.Sc.

Synthesis Of Epoxide Compounds As Intermediate Compounds in Biolubricant Manufacturing From Crude Palm Oil (CPO).

xvii + 179 halaman, 18 Tabel, 33 Gambar, 2 Lampiran

RINGKASAN

Seiring dengan meningkatnya tuntutan terhadap bahan-bahan yang ramah lingkungan dan *biodegradable* serta *renewable*, sehingga selain dari fungsinya, ada usaha untuk menggantikan pelumas *non biodegradable* yaitu pelumas bio (*Biolubricant*). Saat ini, pelumas berbahan dasar minyak nabati (*Biolubricant*) semakin banyak digunakan dalam industri pelumas untuk menggantikan pelumas berbasis minyak bumi karena penipisannya lebih cepat, meningkatnya biaya petrokimia dan meningkatnya kepedulian terhadap pencemaran lingkungan disebabkan oleh pelumas yang merupakan limbah B3 dan non *biodegradable*. Hal ini disebabkan minyak tumbuhan merupakan sumber daya yang terbarukan, lebih murah, *biodegradable* dan tidak beracun, dibandingkan dengan sumber petrokimia konvensional dengan sifat pelumasan yang baik dengan indeks viskositas tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis senyawa epoksida dari minyak kelapa sawit mentah (CPO) sebagai senyawa antara dalam pembuatan pelumas bio (*Biolubricant*) dan menentukan konstanta reaksi kinetik serta panas reaksi dari reaksi epoksida. Proses sintesis senyawa epoksida ini dilakukan dalam reaktor kaca berpengaduk yang dilengkapi dengan pemanas, sistem pendingin dan pengontrol suhu. Reaksi Epoksidasi ini dilakukan pada temperatur reaksi 60°C, 70°C dan 80°C, waktu reaksi mulai 30 sampai 180 menit dengan interval 30 menit dan konsentrasi katalis asam sulfat 1% 2% dan 3 %. Konversi tertinggi yang didapatkan sebesar 87,59 % pada temperatur reaksi 70°C, waktu reaksi 90 menit dan menggunakan katalis dengan konsentrasi 2 %. Dengan kualitas senyawa epoksida yaitu densitas sebesar 0,95094 gr/cm³, Viskositas Kinematik 44,38841 Cst, Bilangan Asam 4,32 mg NaOH/ gr minyak, dan Bilangan Oksiran sebesar 5,7312 gr/cm³ Konstanta kinetika reaksi yang dihasilkan pada konversi tertinggi sebesar 0,0011 mol/ml.menit dengan panas reaksi 172000,032 J/mol.

Kata Kunci: Biolubricant; *biodegradable*; epoksidasi; minyak kelapa sawit; asam sulfat.

Kepustakaan: 54 (1985-2020)

SUMMARY

SYNTHESIS OF EPOXIDE COMPOUNDS AS INTERMEDIATE COMPOUNDS IN BIOLUBRICANT MANUFACTURING FROM CRUDE PALM OIL (CPO).

Scientific Paper in the form of Tesis, Juli 2022

R. Arie Hartawan, Supervised by Prof. Dr. Ir. H. M. Faizal, DEA and Prof. Dr. Ir. M. Said, M.Sc.

Sintesis Senyawa Epoksida Sebagai Senyawa *Intermediate* Pada Pembuatan *Biolubricant* Dari Minyak Kelapa Sawit (CPO).

xvii + 179 pages, 18 Tables, 33 Pictures, 2 Attachments

SUMMARY

Along with the increasing demand for materials that are environmentally friendly and biodegradable and renewable, so apart from their function, there are efforts to replace non-biodegradable lubricants, namely biolubricant. Currently, vegetable oil-based lubricants are increasingly being used in the lubricant industry to replace petroleum-based lubricants due to faster depletion, increasing petrochemical costs and increasing concern for environmental pollution caused by lubricants which are B3 waste and non-biodegradable. This is because plant oil is a renewable resource, cheaper, biodegradable and non-toxic, compared to conventional petrochemical sources with good lubrication properties with high viscosity index. This study aims to synthesize epoxide compounds from crude palm oil (CPO) as an intermediate in the manufacture of biolubricant and determine the kinetic reaction constants and heat of reaction of the epoxide reaction. The process of synthesis of this epoxide compound was carried out in a stirred glass reactor equipped with a heater, cooling system and temperature controller. The epoxidation reaction was carried out at reaction temperatures of 60°C, 70°C and 80°C, the reaction time was from 30 to 180 minutes with 30 minute intervals and the concentration of sulfuric acid catalyst was 1%, 2% and 3%. The highest conversion obtained was 87.59% at a reaction temperature of 70°C, a reaction time of 90 minutes and using a catalyst with a concentration of 2%. With the quality of the epoxide compound, namely a density of 0.95094 gr/cm³, Kinematic Viscosity 44,38841 Cst, Acid Number 4.32 mg NaOH/gr oil, and Oxiran Number of 5.7312 gr/cm³ The kinetic constant of the reaction produced at the highest conversion of 0,0011 mol/ml.min with a heat of reaction of 172000,032 J/mol.

Keywords : Biolubricant; biodegradable; epoxidation; Palm oil; sulfuric acid.

Citations : 54 (1985-2020)

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, karena atas ijin, rahmat dan hidayahNya, Laporan Tesis yang berjudul “Sintesis Senyawa Epoksida Sebagai Senyawa Intermediate Pada Pembuatan Biolubricant Dari Minyak Kelapa Sawit (CPO)” dapat diselesaikan. ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan S2 Teknik Kimia pada Jurusan Program Studi Magister Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Laporan Tesis ini memuat tentang pendahuluan, tinjauan pustaka, metodologi penelitian, hasil dan pembahasan serta kesimpulan, mengenai sintesis senyawa *epoksida* sebagai produk *intermediate lubricant* terbarukan alternatif berbasis bahan baku nabati berupa minyak kelapa sawit (CPO) melalui tahapan proses epoksidasi, dan akan dilanjutkan dengan proses hidrosilasi, serta asetilasi untuk mendapatkan *Biolubricant*. Kajian literatur dalam pembuatan hasil penelitian ini memanfaatkan berbagai referensi yang bersumber dari buku, jurnal, dan jaringan internet.

Penyusunan hasil dapat terlaksana berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Ucapan terima kasih penyusun haturkan terutama kepada keluarga, dosen pembimbing, jajaran dosen pengajar Magister Teknik Kimia Universitas Sriwijaya, sahabat, dan pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penyusun menyadari masih terdapat banyak kekurangan di dalam hasil penelitian ini. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun penyusun harapkan guna memperbaiki dan meningkatkan kualitas dari Tesis yang dibuat. Akhir kata, semoga Hasil Penelitian Tesis ini dapat memberikan manfaat kepada pembaca khususnya dalam bidang yang berkaitan dengan *biolubricant*.

Palembang, Juli 2022

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	iv
RINGKASAN	v
SUMMARY	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN	xvi
DAFTAR SIMBOL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	5
1.3. Tujuan Penelitian	5
1.4. Ruang Lingkup Penelitian	5
1.5. Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Perkembangan Industri Minyak Kelapa Sawit (<i>Crude Palm Oil</i>).....	7
2.2. Minyak Kelapa Sawit (<i>Crude Palm Oil</i>)	8
2.3. Pelumas	10
2.3.1 Fungsi Pelumas	10
2.3.2 Klasifikasi Pelumas	11
2.4. <i>Biolubricants</i>	12
2.4.1. Sumber <i>Biolubricants</i>	13

2.4.2. Sifat – Sifat Pelumas (<i>Lubricant</i>).....	14
2.4.2.1. Viskositas (<i>Viscosity</i>).....	16
2.4.2.2. Indeks Viskositas (<i>Viscosity Index</i>)	16
2.4.2.3. <i>Specific Gravity</i>	16
2.4.2.4. Densitas (<i>Density</i>).....	16
2.4.2.5. Titik Tuang (<i>Pour Point</i>)	16
2.4.2.6. Titik Nyala (<i>Flash Point</i>) dan Titik Api (<i>Fire Point</i>).....	17
2.4.2.7. Titik Awan (<i>Cloud Point</i>)	17
2.4.2.8. Stabilitas Oksidasi (<i>Oxidatif Stability</i>).....	17
2.4.2.9. Stabilitas Hidrolitik (<i>Hydrolytic Stability</i>).....	18
2.4.2.10. <i>Biodegradability</i>	18
2.4.2.11. Pelindung Korosi.....	18
2.4.2.12. Sifat Anti – Aus	18
2.4.3. Aplikasi Penggunaan <i>Biolubricant</i>	19
2.4.4. <i>Keuntungan</i> dan <i>Kerugian Biolubricants</i>	19
2.5. Senyawa Epoksi.....	21
2.6. Reaksi Epoksidasi	23
2.7. Studi Kinetika Pembentukan Senyawa Epoksida	27
2.8. Penelitian Terdahulu.....	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	35
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	35
3.2. Bahan dan Peralatan Penelitian	35
3.2.1. Bahan Penelitian	35
3.2.2. Peralatan Penelitian	35
3.3. Rancangan Penelitian.....	35
3.3.1 Variabel Penelitian	35
3.3.2 Prosedur Penelitian.....	36
3.3.3 Diagram Alir Penelitian	37
3.3.4 Rangkaian Peralatan Penelitian.....	37
3.3.5 Analisa Bahan Baku dan Produk.....	38
3.3.6 Model Kinetika.....	40

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1. Analisis Bahan Baku Minyak Kelapa Sawit (<i>Crude Palm Oil</i>)	42
4.2. Analisis Densitas pada Senyawa Epoksida.....	43
4.3. Analisis Viskositas pada Senyawa Epoksida	45
4.4. Analisis Bilangan Asam pada Senyawa Epoksida	48
4.5. Pengaruh Temperatur Reaksi, Waktu Reaksi dan Konsentrasi Katalis Terhadap Bilangan Oksiran Senyawa Epoksida.....	51
4.5.1. Pengaruh Temperatur Reaksi Terhadap Bilangan Oksiran Senyawa Epoksida.....	52
4.5.2. Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Bilangan Oksiran Senyawa Epoksida.....	55
4.5.3. Pengaruh Konsentrasi Katalis Terhadap Bilangan Oksiran Senyawa Epoksida	57
4.6. Pengaruh Temperatur dan Waktu Reaksi Terhadap Konversi senyawa epoksida	60
4.7. Penentuan Parameter Kinetika Reaksi Epoksida.....	63
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	76
5.1. Kesimpulan	76
5.2. Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	78
LAMPIRAN.....	86

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A	Perhitungan Data Hasil Penelitian 86
Lampiran B	Gambar Alat dan Bahan 172

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1	Komposisi Asam Lemak Minyak Sawit dan Titik Cairnya 9
Tabel 2.2	Standar Mutu Minyak Sawit Kasar (CPO)..... 10
Tabel 2.3	Kandungan Minyak Nabati dari Beberapa Minyak <i>Edible</i> dan Non-Edible 13
Tabel 2.4	Komposisi Asam Lemak dari Minyak Nabati..... 14
Tabel 2.5	Karakteristik Fisikokimia Minyak Mineral dan Minyak Nabati..... 15
Tabel 2.6	Sifat Fisikokimia dari Beberapa Mineral dan Minyak Nabati 15
Tabel 2.7	Sifat yang Signifikan <i>Biolubricants</i> untuk Beberapa Aplikasi 19
Tabel 2.8	Manfaat <i>Biolubricants</i> 21
Tabel 2.9	Sifat Fisik dan Kimia Senyawa Epoksida dari Minyak Nabati..... 22
Tabel 2.10	Beberapa Penelitian Terdahulu 28
Tabel 4.1	Hasil Analisa pada Minyak Kelapa Sawit (CPO) 42
Tabel 4.2	Hasil Analisa Bilangan Oksiran Pada Senyawa Epoksida 51
Tabel 4.3	Konversi Senyawa Epoksi pada Temperatur Reaksi Epoksidasi dengan Katalis H ₂ SO ₄ 1 %..... 66
Tabel 4.4	Konversi Senyawa Epoksi pada Temperatur Reaksi Epoksidasi dengan Katalis H ₂ SO ₄ 2 %..... 68
Tabel 4.5	Konversi Senyawa Epoksi pada Temperatur Reaksi Epoksidasi dengan Katalis H ₂ SO ₄ 3 %..... 69
Tabel 4.6	Nilai K ₁ ' (Tetapan Laju Reaksi) Proses Epoksidasi pada Temperatur 60°C, 70°C, dan 80°C Menggunakan Katalis H ₂ SO ₄ 1%, 2% dan 3 % 71
Tabel 4.7	Nilai 1/T dan Nilai Ln K pada Temperatur Reaksi 60 °C, 70 °C, dan 80 °C Menggunakan Katalis H ₂ SO ₄ 1%, 2% dan 3 % 72
Tabel 4.8	Hasil Perhitungan Energi Aktivasi, Faktor Frekuensi dan Entalpi dengan Konsentrasi Katalis H ₂ SO ₄ 1%, 2% dan 3 % 74

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Grafik Pasar Global Penggunaan Minyak Kelapa Sawit	7
Gambar 2.2 Produksi Minyak Kelapa Sawit Menurut Status Pengusahaannya .	8
Gambar 2.3 Reaksi Umum Senyawa Hidrokarbon Tidak Jenuh Diubah Menjadi Siklik Ester (Jenuh)	23
Gambar 2.4 Mekanisme Pembentukan Senyawa Epoksi Melalui Reaksi Epoksidasi CPO	24
Gambar 2.5 Mekanisme Pembentukan Senyawa Polioliol Melalui Reaksi Hidroksilasi Senyawa Epoksi	24
Gambar 2.6 Mekanisme Pembentukan Senyawa Polioliol Ester (<i>Biolubricant</i>) Melalui Reaksi Asetilasi Senyawa Polioliol	24
Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Epoksidasi	37
Gambar 3.2 Rangkaian Peralatan Penelitian	38
Gambar 4.1 Analisa Densitas Senyawa Epoksida Terhadap Variasi Waktu Reaksi, Temperatur Reaksi dan Konsentrasi Katalis Asam Sulfat 1 %	43
Gambar 4.2 Analisa Densitas Senyawa Epoksida Terhadap Variasi Waktu Reaksi, Temperatur Reaksi dan Konsentrasi Katalis Asam Sulfat 2 %	44
Gambar 4.3 Analisa Densitas Senyawa Epoksida Terhadap Variasi Waktu Reaksi, Temperatur Reaksi dan Konsentrasi Katalis Asam Sulfat 3 %	45
Gambar 4.4 Analisa Viskositas Kinematik Senyawa Epoksida Terhadap Variasi Waktu Reaksi, Temperatur Reaksi dan Konsentrasi Katalis Asam Sulfat 1 %	46
Gambar 4.5 Analisa Viskositas Kinematik Senyawa Epoksida Terhadap Variasi Waktu Reaksi, Temperatur Reaksi dan Konsentrasi Katalis Asam Sulfat 2 %	46

Gambar 4.6	Analisa Viskositas Kinematik Senyawa Epoksida Terhadap Variasi Waktu Reaksi, Temperatur Reaksi dan Konsentrasi Katalis Asam Sulfat 3 %.....	47
Gambar 4.7	Analisa Bilangan Asam Senyawa Epoksida Terhadap Variasi Waktu Reaksi, Temperatur Reaksi dan Konsentrasi Katalis Asam Sulfat 1%.....	49
Gambar 4.8	Analisa Bilangan Asam Senyawa Epoksida Terhadap Variasi Waktu Reaksi, Temperatur Reaksi dan Konsentrasi Katalis Asam Sulfat 2%.....	49
Gambar 4.9	Analisa Bilangan Asam Senyawa Epoksida Terhadap Variasi Waktu Reaksi, Temperatur Reaksi dan Konsentrasi Katalis Asam Sulfat 3%.....	50
Gambar 4.10	Pengaruh Temperatur Reaksi Terhadap Bilangan Oksiran dengan Variasi Waktu Reaksi pada Konsentrasi Katalis 1 %.....	52
Gambar 4.11	Pengaruh Temperatur Reaksi Terhadap Bilangan Oksiran dengan Variasi Waktu Reaksi pada Konsentrasi Katalis 2 %.....	53
Gambar 4.12	Pengaruh Temperatur Reaksi Terhadap Bilangan Oksiran dengan Variasi Waktu Reaksi pada Konsentrasi Katalis 3 %.....	53
Gambar 4.13	Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Bilangan Oksiran dengan Variasi Temperatur Reaksi pada Konsentrasi Katalis 1 %.....	55
Gambar 4.14	Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Bilangan Oksiran dengan Variasi Temperatur Reaksi pada Konsentrasi Katalis 2 %.....	55
Gambar 4.15	Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Bilangan Oksiran dengan Variasi Temperatur Reaksi pada Konsentrasi Katalis 3 %.....	56
Gambar 4.16	Pengaruh Konsentrasi Katalis Terhadap Bilangan Oksiran dengan Variasi Waktu pada Temperatur Reaksi 60°C.....	57
Gambar 4.17	Pengaruh Konsentrasi Katalis Terhadap Bilangan Oksiran dengan Variasi Waktu pada Temperatur Reaksi 70°C.....	58
Gambar 4.18	Pengaruh Konsentrasi Katalis Terhadap Bilangan Oksiran dengan Variasi Waktu pada Temperatur Reaksi 80°C.....	58
Gambar 4.19	Pengaruh Temperatur dan Waktu Reaksi Terhadap Konversi yang Dihasilkan dengan Katalis Asam Sulfat 1 %	60

Gambar 4.20	Pengaruh Temperatur dan Waktu Reaksi Terhadap Konversi Yang Dihasilkan dengan Katalis Asam Sulfat 2 %	61
Gambar 4.21	Pengaruh Temperatur dan Waktu Reaksi Terhadap Konversi Yang Dihasilkan dengan Katalis Asam Sulfat 3 %	61
Gambar 4.22	Hubungan Antara Nilai Ln (1/1-X) dengan Waktu Reaksi Epoksidasi dengan Katalis Asam Sulfat 1 %	67
Gambar 4.23	Hubungan Antara Nilai Ln (1/1-X) dengan Waktu Reaksi Epoksidasi dengan Katalis Asam Sulfat 2 %	69
Gambar 4.24	Hubungan Antara Nilai Ln (1/1-X) dengan Waktu Reaksi Epoksidasi dengan Katalis Asam Sulfat 3 %	70
Gambar 4.25	Hubungan Antara Nilai Ln K dengan 1/T Menggunakan Katalis H ₂ SO ₄	73

DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

CPO	Minyak Kelapa Sawit <i>Crude Palm Oil</i>
CPKO	Minyak Inti Kelapa Sawit <i>Crude Palm Kernel Oil</i>
SAE	Society of Automotive Engineer
VI	<i>Viscosity Index</i>
HVI	<i>High Viscosity Index</i>
MVI	<i>Medium Viscosity Index</i>
LVI	<i>Low Viscosity Index</i>
OOp	Oksigen Oksiran Penelitian
OOt	Oksigen Oksiran Teoritis
SNI	Standard Nasional Indonesia
API	American Petroleum Institute
AIER	Acidic Ion Exchange Resin
ASTM	American Standard Testing and Material
AOAC	Association of Analytical Communities
RBD	Refined Bleached Deodorized

DAFTAR SIMBOL

<i>BO</i>	<i>Bilangan Oksiran</i>	gr / cm ³
<i>ρ</i>	<i>Massa Jenis</i>	gr / cm ³
<i>ν</i>	<i>Viskositas Kinematik</i>	Cst
<i>E</i>	<i>Energi Aktivasi</i>	J/mol
<i>ΔH</i>	<i>Panas Reaksi</i>	J/mol

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meningkatnya populasi global bersama dengan industrialisasi dan modernisasi telah menyebabkan peningkatan konsumsi energy. Bahan bakar yang berasal dari minyak mentah dibakar untuk menghasilkan CO₂ yang berpotensi menjadi panas global karena merupakan salah satu gas rumah kaca. Minyak mentah merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbarui dengan sumber daya yang terbatas sedangkan penggunaan minyak mentah untuk memproduksi bahan bakar dan pelumas meningkat karena peningkatan penggunaan bahan bakar dan pelumas untuk pembangkit listrik, pertambangan, pertanian, kehutanan, minyak gergaji, minyak transmisi, oli mesin, hidrolik minyak dan transportasi (M. Said, 2020).

Selama satu abad terakhir, masyarakat sangat bergantung pada bahan bakar fosil, menyebabkan menipisnya cadangan bahan bakar secara progresif sedemikian rupa sehingga diperkirakan sumber energi tak terbarukan ini akan habis dalam jangka menengah, sehingga meningkatkan pencarian dan pengembangan. upaya untuk bahan kimia alternatif dan sumber energi yang dapat menggantikan bahan bakar fosil tradisional. Banyak jenis sumber energi terbarukan, seperti tenaga air, panas bumi, angin, matahari, atau energi biomassa, telah diusulkan sebagai sumber energi potensial. Di antara mereka, biomassa adalah satu- satunya sumber terbarukan dari mana energi dan produk kimia dapat diperoleh; oleh karena itu, ini adalah satu-satunya alternatif saat ini yang dapat menggantikan minyak bumi dalam sintesis berbagai produk organik yang berharga (Cecillia, 2020).

Penggunaan mesin produksi di berbagai industri serta kendaraan bermotor yang meningkat berbanding lurus dengan produksi pelumas mesin yang dibutuhkan untuk perawatan mesin serta kendaraan bermotor. Pelumas yang beredar di pasaran saat ini umumnya disintesis menggunakan bahan baku yang berasal dari turunan minyak bumi. Aplikasi pelumas dalam industri terutama untuk cairan hidrolik dan oli mesin/pelumas menggunakan 1.1% dari total produksi minyak bumi dunia yang setara dengan 40 juta ton/tahun. Penggunaan pelumas tersebut meliputi kebutuhan untuk pelumasan mesin 48%, *process oil* 15.3%, *hydraulic oil* 10,2%, dan

penggunaan lainnya 26.5% (Wahyuni, 2013). Penggunaan pelumas di Indonesia mencapai 2.988.265 barel pada tahun 2012 dan meningkat 2 hingga 8% per tahun. PT. Pertamina (Persero) telah memproduksi pelumas dari minyak mentah dengan jumlah 60% konsumsi pelumas sedangkan 40% pelumas diimpor (M. Said, 2020).

Meningkatnya penggunaan pelumas saat ini, akan menyebabkan polusi pada lingkungan yang selalu dihubungkan dengan aspek kesehatan dan menjadi isu publik yang penting untuk dicarikan solusinya. Polusi lingkungan yang disebabkan oleh pelumas adalah limbah pelumas merupakan limbah B3 dan non biodegradable. Sehingga akumulasi limbah pelumas akan berakibat pencemaran tanah, air dan udara.. Tanah dan air dicemari oleh pelumas bekas yang dibuang langsung ke lingkungan, Bahan volatil yang ada di dalam pelumas akan terekspos ke udara mencemari udara. Pelumas yang dibuang ke sungai akan terakumulasi di badan air mencemari perairan. Lama kelamaan akan terjadi penetrasi ke sumur dan area pertanian. Pencemaran lingkungan membawa dunia kepada suatu kondisi yang tidak nyaman untuk kehidupan. (Wahyuni, 2016).

Seiring dengan meningkatnya tuntutan terhadap bahan-bahan yang ramah lingkungan dan *biodegradable* serta *renewable*, sehingga selain dari fungsinya, hal tersebut harus diperhatikan, maka harus ada usaha untuk menggantikan pelumas *non biodegradable* yaitu pelumas bio (*Biolubricant*). Saat ini, pelumas berbahan dasar minyak nabati (*Biolubricant*) semakin banyak digunakan dalam industri pelumas untuk menggantikan pelumas berbasis petrokimia karena penipisannya lebih cepat, meningkatnya biaya petrokimia dan meningkatnya kepedulian terhadap pencemaran lingkungan. Hal ini disebabkan minyak tumbuhan merupakan sumber daya yang terbarukan, lebih murah, *biodegradable* dan tidak beracun, dibandingkan dengan sumber petrokimia konvensional. Minyak nabati itu sendiri menunjukkan sifat pelumasan yang baik dengan indeks viskositas tinggi. Namun, minyak nabati memiliki beberapa kelemahan yang akan membatasi aplikasi langsungnya sebagai pelumas. Salah satu kelemahannya adalah stabilitas oksidatifnya yang rendah karena adanya *proton bis-allylic* dalam struktur minyak tumbuhan yang sangat rentan terhadap serangan radikal bebas dan oleh karena itu mengalami degradasi oksidatif untuk membentuk senyawa oksigen polar (Nurazira, 2018) .

Biolubricant dapat di hasilkan dari bermacam-macam jenis tumbuhan, seperti kelapa sawit, kacang kedelai, bunga matahari, jarak dan yang lainnya. *Raw material* yang digunakan tiap negara tidak selalu sama, pemilihan tersebut berdasarkan melimpahnya material yang ada di negara tersebut. Sebagai contoh, Eropa sangat melimpah akan ketersediaan *sunflower*, sehingga *Biolubricant* negara tersebut berbahan dasar *sunflower oil*. Indonesia terkenal sebagai penghasil kelapa sawit terbesar di dunia sejak 2006 mengalahkan Malaysia (Deptan, 2008), oleh karena itu bahan dasar alternatif yang paling mumpuni bagi *Biolubricant* di Indonesia adalah minyak kelapa sawit.

Terdapat beberapa peneliti yang telah melakukan penelitian untuk memproduksi *Biolubricant* dari bahan nabati dengan berbagai macam proses, antara lain dengan proses *Esterification/ Transesterification*, *Selective Hydrogenation*, *Epoxidation* dan *Estolide Formation*.

Mohd Zin (2020) meneliti efek oksigen pembawa dan temperatur reaksi dalam meningkatkan kestabilan cincin epoksi dengan menggunakan proses epoksidasi dari minyak inti sawit/Crude Palm Kernel Oil (CPKO) yang direaksikan dengan asam formiat, asam propionat dan hidrogen peroksida menghasilkan konversi bilangan oksirane 65,59 % pada temperatur reaksi 55°C dan waktu 35 menit.

Biniyam (2015) melakukan penelitian untuk memproduksi *Biolubricant* dengan mensintesis minyak dasar (FAME) dari minyak biji jarak, menggunakan proses transesterifikasi yang dikatalisasi KOH dengan variabel rasio molar, viskositas 218,8 mm²/s pada suhu 65°C, konversi 98 %.

Juan de Haro (2016), melakukan pemodelan reaksi epoksidasi minyak biji anggur dengan asam Perasetat dengan menggunakan katalis asam asetat, mendapatkan hasil pada kondisi optimal pada suhu 90°C, waktu reaksi 1 jam dengan energi aktivasi minyak biji anggur 7,30 kkal/mol.

Gunawan (2017) melakukan sintesis *Biolubricants* dari minyak jarak menggunakan proses saponifikasi dan dilanjutkan dengan esterifikasi dengan menggunakan variabel tetap perbandingan mol etilen glikol dan waktu reaksi, serta menggunakan variabel bebas kecepatan pengadukan dan suhu reaksi dengan % yield tertinggi 91,96 % pada suhu reaksi 180°C, kecepatan pengadukan 180 rpm

dengan titik nyala 435°C, titik tuang 4°C, densitas 0,90005 g/ml dan viskositas 161,678.

Marlena Musik (2017) melakukan penelitian tentang epoksidasi selektif minyak wijen dengan asam Parasetat dengan menggunakan katalis Asam Sulfat, mendapatkan hasil pada kondisi optimal pada suhu 90°C, waktu reaksi 4 jam, selektivitas cincin oksiran S= 93,5 % dengan konversi ethylenic jenuh CSO = 77,2 %, dan relative konversi Oksiran RCO = 78,1 %.

Muhammad Said (2020) melakukan penelitian memproduksi senyawa epoksida dan polioliol sebagai bahan baku antara *Biolubricant* dengan bahan baku dari minyak kedelai, menggunakan proses epoksidasi dan hidroksilasi dengan katalis asam sulfat, menggunakan kondisi waktu reaksi 30-180 menit, temperatur reaksi 60-80°C mendapatkan konversi sebesar 53,9 % pada suhu 70°C dan waktu reaksi 120 menit.

Berdasarkan uraian di atas, pada penelitian ini akan melakukan sintesa senyawa epoksida sebagai senyawa intermediate pada pembuatan *Biolubricant* dari minyak kelapa sawit (CPO). Saat ini Indonesia merupakan negara yang memiliki perkebunan sawit sebesar 14,59 juta Ha terbesar di dunia dengan produksi CPO 47,12 juta ton pada tahun 2019, dimana Provinsi Sumatera Selatan merupakan Provinsi nomor 6 terbesar di Indonesia yang memiliki areal perkebunan sawit sebesar 1,19 Ha dengan produksi CPO 4,049 juta ton (BPS, 2020).

Kelapa sawit (CPO) merupakan salah satu komoditas hasil perkebunan yang mempunyai peran cukup penting dalam kegiatan perekonomian di Indonesia karena kemampuannya menghasilkan minyak nabati yang banyak dibutuhkan oleh sektor industri. Sifatnya yang tahan oksidasi dengan tekanan tinggi dan kemampuannya melarutkan bahan kimia yang tidak larut oleh bahan pelarut lainnya, serta daya melapis yang tinggi membuat minyak kelapa sawit dapat digunakan untuk beragam peruntukan, diantaranya yaitu untuk minyak masak, minyak industri, maupun bahan bakar (biodiesel) (BPS, 2020).

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini menggunakan bahan baku dari minyak nabati (CPO) dan reaksi epoksidasi untuk menghasilkan senyawa intermediate senyawa epoksida, dengan rumusan permasalahan sebagai berikut :

- 1) Bagaimana kondisi operasi berupa temperatur dan waktu reaksi yang optimal dan konsentrasi katalis asam sulfat untuk mensintesa senyawa epoksida sebagai senyawa intermediate *biolubricants* dari *crude palm oil* terhadap konversi dihasilkan.
- 2) Bagaimana kualitas senyawa epoksida sebagai senyawa intermediate *biolubricants* yang dihasilkan dari proses Epoksidasi menggunakan *crude palm oil* (CPO) sebagai bahan baku.
- 3) Bagaimana nilai konstanta kinetika reaksi yang dihasilkan dan panas reaksi epoksidasi terhadap temperatur dan waktu reaksi epoksida.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun yang menjadi tujuan dari penelitian ini adalah :

- 1) Menganalisis pengaruh temperatur dan waktu reaksi epoksida serta konsentrasi katalis asam sulfat, terhadap bilangan oksiran, konversi, densitas, viskositas dan bilangan asam sebagai parameter kualitas senyawa epoksida sebagai senyawa intermediate *biolubricants*.
- 2) Mengkaji kualitas senyawa epoksida yang dihasilkan sebagai senyawa intermediate *biolubricants* dari *crude palm oil* pada variasi kondisi operasi sehingga didapatkan konversi yang maksimal.
- 3) Menganalisis nilai konstanta kinetika reaksi yang dihasilkan terhadap temperatur dan waktu reaksi epoksida serta konsentrasi katalis asam sulfat dengan kondisi operasi optimal.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini dibatasi hanya pada:

- 1) Bahan baku pembuatan *Biolubricants* menggunakan *crude palm oil* (CPO).
- 2) Hasil analisa senyawa epoksida secara fisik seperti bilangan oksiran densitas, viskositas, bilangan asam.

- 3) Temperatur reaksi Epoksida divariasikan 60°C, 70°C dan 80°C.
- 4) Waktu reaksi Epoksida divariasikan 30, 60, 90, 120, 150 dan 180 menit.
- 5) Persentase Katalis divariasikan 1 %, 2 % dan 3 % dari campuran Volume CPO, Asam Asetat dan Asam Sulfat.

1.5 Manfaat Penelitian

Melalui penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain:

- 1) Memberikan informasi kepada peneliti, akademisi mengenai reaksi epoksida serta kondisi operasi reaksi epoksida pada minyak nabati.
- 2) Memberikan informasi mengenai produksi *Biolubricants* melalui awal proses epoksidasi dengan menggunakan minyak nabati sebagai bahan baku.
- 3) Menjadi suatu referensi untuk penelitian lebih lanjut dalam mensintesa *Biolubricant*.
- 4) Memberikan informasi kepada industri minyak pelumas bahwa biolubrican dapat menjadi minyak pelumas alternatif dan bahkan dapat menjadi pelumas pengganti dari bahan senyawa turunan minyak bumi.

DAFTAR PUSTAKA

- Afifah, A.N., Syahrullail, S., Azlee, N.I.W., dan Rohah, A.M., 2020. *Synthesis and tribological studies of epoxidized palm stearin methyl ester as a green lubricant. Journal Elsevier, Journal of Cleaner Production* 280, 124320.
- Aguilera, A.F., Tolvanen, P., Heredia, S., Munoz, M.G., Samson, T., Oger, A., Verove, A., Eranen, K., Leveneur, S., Mikolla, J.P., dan Salmi, T.O., 2018. *Epoxidation of Fatty Acids and Vegetable Oils Assisted by Microwaves Catalysed by a Cation Exchange Resin. Industrial & Engineering Chemistry Research*.
- Allundru, R., dan Sitio, T.W., 2013. Studi Kinetika Reaksi Epoksidasi Minyak Sawit.. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri* Vol. 2, NO. 2, Tahun 2013 Halaman 216-219.
- Akrom, D. 2009. *Lub oil, Minyak Pelumas. Power plant*.
- Annisa, A.N., dan Widayat., 2018. *A Review of Bio-lubricant Production from Vegetable Oils Using Esterification Transesterification Process. Matec Web of Conferences* 156, 06007.
- Aprianti, N., Faizal, M., Said, M., dan Nasir, S. 2020. *Valorization of Palm Empty Fruit Bunch Waste for Syngas Production Through Gasification. Journal of Ecological Engineering, Volume 21, Issue 7, pages 17-26.*
- Arisandi, Darmanto, dan Priangkoso. 2012. Analisa Pengaruh Bahan Dasar Pelumas Terhadap Viskositas Pelumas dan Konsumsi Bahan Bakar. *Momentum*. Vol. 8. No.1. 56-61
- Askew, M.F. 2004. *Bio-lubricants – Markets Data Sheet. IENICA – Inform Project*.
- BPS, 2020. *Statistik Kelapa Sawit Indonesia (Indonesian Oil Palm Statistics)*
- Biniyam, T.A., Damtew, H., Tesfay, D., Endris, H., dan Tekeste, G., 2015. *Production of Biolubricant from Castor (Ricinus) Oil. International Journal of Engineering Innovation & Research, Volume 4, Issue 5, ISSN: 2277-5668.*

- Cecilia, J.A., Plata, D.B., Saboya, R.M.A., De Luna, F.M.T., Cavalcante Jr., C.L., dan Castellon, E.R., 2020. *An Overview of the Biolubricant Production Process : Challenges and Future Perspectives. Journal MDPI Processes*, 8, 257.
- Chapagain, B.P., Yehoshua, Y., dan Wiesman, Z., 2009. *Desert date (Balanites aegyptiaca) as an arid lands sustainable bioresource for biodiesel. Bioresource Technol*, 100(3), 1221–1226.
- Che Mana, Y.B., Haryati, T., Ghazali, H.M. , dan Asbi, B.A., 1999. *Composition and Thermal Profile of Crude Palm Oil and Its Products*, JAOCS, Vol. 76, no. 2.
- Danova, A., Tarigan, D., dan Akkas, E., 2015. Pembuatan Senyawa Poliol sebagai Bahan Dasar Pelumas melalui Reaksi Epoksidasi dan Hidroksilasi Minyak Biji Kelor (*Moringe Oliefera*). *Prosiding Seminar Tugas Akhir FMIPA UNMUL 2015., ISBN: 978-602-72658-0-6*.
- De Haro, J.C., Izarra, I., Rodriguez, J.F., Perez, A., dan Carmona, M., 2016. *Modelling The Epoxidation Reaction of Grape Seed Oil by Paracetic Acid. Journal of Cleaner Production*.
- Diana, W., 2007. Optimalisasi Reaksi Epoksidasi Metil Ester Jarak Pagar dengan Katalis Zeolit Sebagai Pemplastis Alternatif, Institut Pertanian Bogor.
- Fong Fong, M.N., dan Salimon, J., 2011. *Epoxidation of Palm Kernel Oil Fatty Acids. Journal of Science and Technology*.
- Ghozali, M., Meliana, Y., Fahmiati, S., Triwulandari, E., dan Darmawan, A., 2018. Sintesis Asam Oleat Terepoksidasi dengan Katalis Asam Asetat. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 40(2), 63-70.
- Gunawan, N., Irdoni, dan Nirwana, 2017. Sintesis Biopelumas dari Minyak Biji Jarak : Pengaruh Kecepatan Pengadukan dan suhu Reaksi. *Jom FTEKNIK* Volume 4 No. 1.

- Hernandez-Cruz, M.C., Meza-Gordillo, R., Dominguez, Z., Rosales-Quintero, A., Abdul-Archila, M., Ayora-Talaver, T., dan Villobos-Moldonado, J.J., 2020. *Optimization and characterization of in situ epoxidation of chicken fat with peracetic acid. Journal Elsevier, Fuel* 285, 119127.
- Hindalgo, P., Alvarez, S., Hunter, R., dan Sanchez, A., 2020. *Epoxidation of Fatty Acid Methyl Esters Derived from Algae Biomass to Develop Sustainable Bio-Based Epoxy Resins. Journal MDPI, Polymers*, 12, 2313.
- Ifa, L., Syarif, T., Sabara, Z., Nurjannah, Munira, M., dan Aryani, F., 2018. *Study on the Kinetics of Epoxidation Reaction of RBD Palm Olein. IOP Conf. Series : Earth and Environmental Science* 175, 012035.
- Jalil, M.J., Zaini, M.S.M., Yamin, A.F.M., Azmi, I.S., Chang, S.H., Morad, N., dan Hadi, A., 2019. *Synthesis and physicochemical properties of epoxidized oleic acid based palm oil. IOP Conf. Series : Earth and Environmental Science* 291, 012046.
- Jalil, M.J., 2019. *Optimization of Palm Oleic Acid epoxidation via in Situ Generated Performic Acid Using Taguchi Orthogonal Array Design and the Study of Reaction Kinetics. Journal Smart Science*.
- Jalil, M.J., Azmi, I.S., Zulkifli, A.A.A., dan Asbi, M.H.M., 2018. *Preliminary Results: Heterogeneous Reaction of Epoxidation Palm Kernel Oil. Journal of Energy and Safety Technology*).
- Jalil, M.J., Yamin, A.F.M., Chang, S.H., Azmi, I.S., Morad, N., dan Hadi, H., 2018. *Selective Epoxidation of Crude Oleic Acid-Palm Oil with in situ Generated Performic Acid. International Journal of Engineering & Technology* 7 (4.40), 152-155.
- Jalil, M.J., Mohamed, N., Jamaludin, S.K., Som, A.M., dan Daud, A.R.M., 2014. *Epoxidation of Palm Kernel Oil-based Crude Oleic Acid. Advanced Material Research Vol. 906, pp 125-130*.

- Johnson M, dan Miller M, 2010. *Eco-friendly fluids for the lubricants industry*. Tribology and lubrication technology.
- Kousaalya, A.B., Beyene, S.D., Gopal, V., Ayelew, B., dan Pilla, S., 2018. *Green epoxy synthesized from Perilla frutescens: A study on epoxidation and oxirane cleavage kinetics of high-linolenic oil*. *Journal Elsevier, Industrial Crops & Products* 123, 25-34.
- La Puppung, dan Pallawagau. 1985. Beberapa Minyak Nabati yang Memiliki Potensi Sebagai Bahan Bakar Alternatif untuk Motor Diesel. Lembaran Publikasi Lemigas No. 4. Jakarta
- Maria Encinar, J., Nogales-Delgado, S., Sanchez, N., dan Gonzalez, J.F., 2020. *Biolubricants from Rapeseed and Castor Oil Transesterification by Using Titanium Isopropoxide as a Catalyst: Production and Characterization*. *Journal MDPI, Catalysts*, 10, 366.
- Marquez, E.D., Alarcon, J.F.N., Santiago, E.V., dan Lopez, S.H., 2018. *Effective and Fast Epoxidation Reaction of Linseed Oil Using 50 wt% Hydrogen Peroxyde*. *American Journal of Chemistry*, 8 (5): 99-106.
- McNutt, J., dan He, Q., S., 2016. *Development of biolubricants from vegetable oils via chemical modification*. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*.
- Mobarak, H.M., Mohamad, E.N., Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Al Mahmud., K.A.H., Habibullah, M., dan Ashraful, A.M., 2014. *The Prospects Of Biolubricants As Alternatives In Automotive Applications*. *Journal Elsevier, Renewable and Sustainable Energy Reviews* 33, 34-43.
- Musik, M., dan Milchert, E., 2017. *Selective Epoxidation of Sesame Oil With Paracetic Acid*. *Journal Elsevier, Molecular Catalysis* 433, 170-174.
- Nasution, S., 2009. Pembuatan Senyawa Epoksi dari Metil Ester Asam Lemak Sawit Destilat Menggunakan Katalis *Amberlite*. Tesis, Universitas Sumatera Utara, Medan.

- Nor, N.M., Derawi, D., dan Salimon, J., 2018. *The Optimization of RBD Palm Oil Epoxidation Process using D-Optimal Design. Sains Malaysiana* 47 (7) :1359-1367.
- Nor, N.M., Derawi, D., dan Salimon, J., 2017. *Chemical Modification Of Epoxidized Palm Oil For Biolubricant Application. Malaysian Journal of Analytical Science, Vol 21 No 6* :1423-1431.
- Nugrahani, R.A., 2008. Perancangan Proses Pembuatan Pelumas Dasar Sintetis dari Minyak Jarak Pagar (*Jatropha curcas L.*) melalui Modifikasi Kimiawi. Disertasi, Institut Pertanian Bogor.
- Rahardiningrum, Sri Wahyuni S., Mahreni., Reningtyas. Renung., dan Gusaptono. RH., 2016. *Biolubricant form vegetable oil (review)*. Eksergi Vol XIII No.2., ISSN: 1410-394X.
- Rahman, M.S.A., Jalil, M.J., Muain, M., Gloria, V., Azmi, I.S., Hadi, A., Yamin, A.F.M., dan Morad, N., 2020. *Epoxidation of waste cooking oil using catalytic in situ generated performic acid. IOP Conf. Series : Earth and Environmental Science* 476, 012143.
- Redjeki, A.S., dan Fithriyah, N.H., 2015. Pengaruh Kadar Katalis Nikel dari Limbah Industri Elektroplating pada Besarnya Bilangan Oksiran dan Bilangan Iod dari Reaksi Epoksidasi Metil Oleat. *Jurnal FTUMJ* ISSN : 2407 -1846 e-ISSN : 2460 – 8416.
- Rochmat, A., Nurhanifah, A.H., Parviana, Y., dan Suaedah, 2018. *Biolubrication Synthesis Made From Used Cooking Oil and Bayah Natural Zeolite Catalyst. Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi* 21 (3) : 113-117.
- Said, M., Bobbie, R.M.H., Defitra, M.A., dan Vernando, R., 2020. *Synthesis of Epoxide and Polyol Compounds as Intermediates for Biolubricant from Soybean Oil. International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology, Vol. 10 No. 1* ISSN:2088-5334.
- Sawitri, D.R., Mulyono, P., Rochmadi, dan Budiman, A., 2020. *Pseudo-homogeneous Kinetic Evaluation for in-situ Epoxidation of Oleic Acid. IOP Conf. Series : Material Science and Engineering* 778, 012052.

- Shahputra M.A., dan Zen Z. 2018. *Positive and negative impacts of oil palm expansion in indonesia and the prospect to achieve sustainable palm oil*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 122.
- Simanjuntak, Jones F, 2018. Pembuatan Senyawa Epoksi dari Asam Lemak Minyak Sawit Destilat dengan kristalisasi menggunakan Katalis Asam Sulfat (H_2SO_4), Skripsi, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Sudradjat, R. 2007. Pengolahan Minyak Jarak Pagar Menjadi Epoksi Sebagai Bahan Baku Minyak Pelumas (*Processing of Jatropha curcas L. Oil for Epoxy as Raw Material of Lubricant Base Oil*). Jurnal Penelitian Hasil Hutan Vol. 25 No. 1 :57-74.
- Sudarmaji, S., Haryono, B., dan Suhardi.. 1997. *Analisis Procedure for Food and Agricultural Materials*, 4th , edn, Liberty, Yogyakarta.
- Tarigan, A.R., 2009. Pembuatan senyawa epoksi dari metil ester asam lemak sawit destilat secara enzimatis. Tesis, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Okiemen, F.E., Bakare, O.I., dan Okiemen, C.O., 2002. *Studies on the epoxidation of rubber seed oil*, Industrial Crops and Products 15, 139-144.
- Vianello, C., Picocolo, D., Lorenzetti, A., Salzano, E., dan Maschio, D., 2018. *Study of Soybean Oil Epoxidation: Effects of Sulfuric Acid and the Mixing Program. Industrial & Engineering Chemistry Research*.
- Wahid, A.A., 2007. Optimalisasi reaksi epoksidasi metil ester jarak pagar dengan katalis bentonit. Skripsi, Institut Pertanian Bogor.
- Wibowo, T.Y., Rusmandan, B., dan Astuti., 2013. Degradasi Cincin Oksiran Dari Epoksi Asam Oleat Dalam Suatu Sistem Reaksi Katalis Cair. Jurnal Teknologi Pertanian Vol. 14 No. 1.
- Zainal, N.A., Zulkifli, N.W.M., Gulzar, M., dan Masjuki H.H., 2018. *A review on the chemistry, production, and technological potential of biobased lubricants. Jurnal Elsevier, Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82, 80-102.

Zin, N.M., Jamaludin, S.K., Hassan, H., Wan, Z., Fadzeelah, A.K.N., dan Sukri, S.M., 2020. *Effect of Oxygen Carrier and Reaction Temperature in Enhancing the Epoxy Ring Stability in the Epoxidation of Palm Kernel Oil. IOP Conf. Series : Material Science and Engineering* 864, 012024.