

**STUDI PENGARUH SUHU DAN KONSENTRASI  
KATALIS ZEOLIT ALAM JENIS KLINOPTILOLIT  
PADA PEMBUATAN TRIACETIN**

**TESIS**

**Sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Magister Teknik  
Pada Program Studi Magister Teknik Kimia**



**Oleh  
Soni Candra  
NIM 7780210011**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA  
PASCASARJANA  
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA  
TAHUN 2024**

**STUDI PENGARUH SUHU DAN KONSENTRASI  
KATALIS ZEOLIT ALAM JENIS KLINOPTILOLIT  
PADA PEMBUATAN TRIACETIN**

**TESIS**

**Sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Magister Teknik  
Pada Program Studi Magister Teknik Kimia**



**Oleh  
Soni Candra  
NIM 7780210011**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA  
PASCASARJANA  
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA  
TAHUN 2024**

## PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap : Soni Candra

NIM : 7780210011

Judul Tesis : Studi Pengaruh Suhu dan Konsentrasi Katalis Zeolit  
Alam Jenis Klinoptilolit pada Pembuatan Triacetin

menyatakan bahwa :

1. Tesis ini bersifat asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik baik di Universitas Sultan Ageng Tirtayasa ataupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Tesis ini merupakan murni gagasan, rumusan, dan penelitian dari penulis sendiri tanpa dibantu oleh pihak lain kecuali arahan dari tim pembimbing.
3. Tesis ini tidak berisi baik karya ataupun pendapat yang telah ditulis serta dipublikasikan oleh orang lain kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam tesis yaitu dengan disebutkan nama pengarang atau dicantumkan dalam daftar pustaka.

Apabila pernyataan ini tidak sesuai, saya bersedia untuk diberi sanksi dengan ketentuan, peraturan, dan norma yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh rasa tanggung jawab dan segala konsekuensinya.

Serang, Agustus 2024

Pembuat Pernyataan



Soni Candra

NIM. 7780210011

## LEMBAR PERSETUJUAN TESIS

Studi Pengaruh Suhu dan Konsentrasi Katalis  
Zeolit Alam Jenis Klinoptilolit pada Pembuatan Triacetin

Telah disetujui untuk dilaksanakan Sidang Tesis

Tanggal, 12 Juli 2024  
Pembimbing I,



Dr. Nuryoto, S.T., M.Eng  
NIP. 19760915200604100

Tanggal, 11 Juli 2024  
Pembimbing II,



Dr. Widya Ernayati K., S.Si., M.Si  
NIP. 197910132009122001

Mengetahui,

Tanggal, 13 Juli 2024

Ketua Program Studi,



Prof. Teguh Kurniawan, ST., MT., P.hD.

**LEMBAR PERBAIKAN SIDANG**

**STUDI PENGARUH SUHU DAN KONSENTRASI KATALIS ZEOLIT  
ALAM JENIS KLINOPTILOLIT PADA PEMBUATAN TRIACETIN**

Telah diperbaiki sesuai dengan saran dan masukan tim dosen penguji

Komisi Penguji :	Sebagai	Tanda Tangan
1. Dr. Nuryoto, S.T., M.Eng.	Ketua Sidang	
2. Dr. Widya Ernayati K., S.Si., M.Si	Sekretaris	
3. Prof. Dr. Ir. Fatah Sulaiman, S.T., M.T.	Penguji 1	
4. Dr. Rudi Hartono, S.T., M.T.	Penguji 2	
5. Prof. Teguh Kurniawan, S.T., M.T., Ph.D.	Penguji 3	

Tanggal 8 Agustus 2024  
Dekan Fakultas Teknik

Tanggal 8 Agustus 2024  
Koordinator Program Studi



Prof. Dr. Jayanudin, S.T., M.Eng.  
NIP. 197808112005011003



Prof. Teguh Kurniawan, S.T., M.T., Ph.D  
NIP. 198305062006041002

## KATA PENGANTAR

Syukur alhamdulillah segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan ni'mat dan petunjuk-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal tesis ini. Penulisan tesis ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan izin dalam melakukan penelitian tesis di Universitas Sultan Ageng Tirtayasa program studi S2 Teknik Kimia. Ucapan terima kasih penulis haturkan kepada ayahanda, istri serta anak – anak tercinta yang telah turut serta mendukung dan selalu mendo'akan penulis atas kelancaran penulisan tesis ini.

Penulis menyadari dalam penyusunan tesis ini banyak mendapat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan sebesar- besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Nuryoto, S.T., M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam menyusun proposal ini.
2. Ibu Dr. Widya Ernayati K, S.Si, M.Si selaku pembimbing atas waktu, ilmu, masukan dan ide-ide yang sangat bermanfaat dalam menyusun penulisan ini.
3. Bapak Prof. Teguh Kurniawan ST. MT, Ph.D, selaku Ketua Program Studi S2 Kimia atas ilmu dan arahnya dalam membimbing penulis.
4. Rekan- rekan mahasiswa program studi S2 Teknik Kimia atas dukungan dan bantuannya selama ini.

Penulis berharap semoga Allah SWT membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini dapat memberikan manfaat pada perkembangan ilmu pengetahuan.

Serang, 03 Agustus 2024



Soni Candra



## ***ABSTRACT***

Soni Candra. 2024. Study of the Effect of Temperature and Concentration of Natural Zeolite Catalyst Type Clinoptilolite on Triacetin Production . Post graduate Chemical Engineering Department, University of Sultan Ageng Tirtayasa. Advisor: Dr. Nuryoto, S.T., M.Eng T., Co- Advisor : Dr. Widya Ernayati K., S.Si., M.Si.

Biomass is energy produced from processing plants such as vegetable oil. Vegetable oil which is processed into bio diesel is an alternative energy to replace fuel oil (BBM). Increasing bio diesel production will be followed by increasing glycerol production as a side reaction for bio diesel production, therefore glycerol must be processed into its derivative products to increase its economic value. One of the glycerol derivative products is triacetin. Triacetin can be used as a food flavoring ingredient, a solvent in perfumes, a plasticizer for resins, and can also be used as an additive in liquid fuels as an anti-knocking agent in engines. Modification of glycerol derivative compounds can be carried out by esterification reactions. Esterification is a reaction between acetic acid and glycerol using an acid catalyst. The effect of variations in temperature and concentration of natural zeolite catalyst (clinoptilolite) greatly influences the production of triacetin. The temperature variations used were 100 °C, 110 °C and 120°C and the variations in the concentration of reactant were 1:4, 1:5 and 1:6, and the length of time for the triacetin synthesis process is 1, 2, 3 and 4 hour, and catalyst concentrations 5% mass of acetic acid. After the reaction is complete, 2 experimental processes are carried out, namely without a condensation process (for a temperature of 100°C) and with a condensation process. The reaction temperature is very influential in the synthesis of triacetin where the reaction speed will be higher along with the higher the reaction temperature used. However, a further increase in temperature above 120°C causes a decrease in selectivity due to reduced accessibility of acetic acid, which causes acetic acid to evaporate at a higher rate and interatomic collisions to increase at higher reaction temperatures. Increasing the molar ratio between acetic acid and glycerol will increase glycerol conversion but not evenly. The decrease in the conversion value as the number of moles of reactant increases can be caused by saturation conditions at high mole ratios, so that the changes that occur are not significant.

*Keywords : clinoptilolite catalyst, Glycerol, molar ratio, temperature, triacetin*



## ***ABSTRAK***

Soni Candra. 2024. Studi Pengaruh Suhu dan Konsentrasi Katalis Zeolit Alam Jenis Klinoptilolit pada Pembuatan Triacetin. Program Study Teknik Kimia Pascasarjana, Sultan Ageng Tirtayasa. Pembimbing I: Dr. Nuryoto, S.T., M..Eng T., Pembimbing II : Dr. Widya Ernayati K., S.Si., M.Si.

Biomasa adalah energi yang dihasilkan dari pengolahan tumbuh-tumbuhan seperti minyak nabati. Minyak nabati yang diolah menjadi biodiesel menjadi salah satu energi alternatif pengganti bahan bakar minyak (BBM). Semakin meningkatnya produksi biodiesel akan di ikuti semakin meningkatnya produksi gliserol sebagai reaksi samping produksi biodiesel, oleh sebab itu gliserol harus diolah menjadi produk turunannya untuk meningkatkan nilai ekonomisnya. Salah satu produk turunan gliserol adalah triacetin. Triacetin dapat dimanfaatkan sebagai bahan aroma makanan, pelarut pada parfum, plastizer untuk resin, dan dapat juga digunakan sebagai zat aditif dalam bahan bakar cair sebagai anti knocking pada mesin. Modifikasi senyawa turunan gliserol dapat dilakukan dengan reaksi esterifikasi. Esterifikasi adalah reaksi antara asam asetat dengan gliserol menggunakan katalis asam. Pengaruh variasi suhu dan konsentrasi katalis zeolit alam (klinoptilolit) sangat berpengaruh pada pembuatan triasetin. Variasi suhu yang digunakan yaitu 100°C, 110°C, dan 120°C, variasi konsentrasi reaktan yaitu 1:4, 1:5 dan 1:6, lamanya waktu proses sintesis triacetin adalah 1 jam, 2 jam, 3 jam, dan 4 jam, serta konsentrasi katalis 5% massa asam asetat. Setelah reaksi selesai, dilakukan 2 proses percobaan yaitu dengan tidak dilakukan proses kondensasi (untuk suhu 100°C) dan dengan proses kondensasi. Suhu reaksi sangat berpengaruh dalam sintesis triacetin dimana kecepatan reaksi akan semakin tinggi seiring dengan semakin tingginya suhu reaksi yang digunakan. Namun demikian, peningkatan suhu lebih lanjut di atas 120°C menyebabkan penurunan selektivitas karena berkurangnya aksesibilitas asam asetat, yang menyebabkan asam asetat menguap pada tingkat yang lebih tinggi dan tumbukan antar atom meningkat pada suhu reaksi yang lebih tinggi. Peningkatan rasio molar antara asam asetat dan gliserol akan meningkatkan konversi gliserol tetapi tidak serta merata. Penurunan nilai konversi seiring dengan meningkatnya jumlah mol pereaksi dapat disebabkan oleh kondisi saturasi pada tingginya rasio mol, sehingga perubahan yang terjadi tidak signifikan.

*Kata kunci: gliserol, katalis klinoptilolit, rasio molar, suhu, triacetin*

## DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
LEMBAR PERSETUJUAN TESIS.....	iv
LEMBAR PERBAIKAN SIDANG .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
ABSTRACT.....	viii
ABSTRAK.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>7</b>
2.1 Gliserol.....	7
2.2 Triacetin.....	11
2.3 Katalis Zeolit Alam (Klinoptilolit).....	14
2.4 Kinetika Reaksi dalam Pembuatan Triacetin .....	27
2.5 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Proses Reaksi Kimia dalam Sintesis Triacetin .....	34
2.6 Hipotesis.....	38
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>40</b>
3.1 Tahapan Penelitian.....	40
3.2 Diagram Alir Penelitian .....	41
3.3 Alat dan Bahan.....	42

3.3.1 Alat .....	42
3.3.2 Bahan .....	43
3.4 Prosedur Penelitian .....	44
3.4.1 Pembuatan Katalis Klinoptilolit .....	44
3.4.2 Sintesis Triacetin dengan Proses Esterifikasi .....	44
3.4.3 Karakteristik Katalis Zeolit.....	45
3.4.4 Karakteristik Sintesis Triacetin .....	46
a. Identifikasi Komponen atau Konsentrasi Menggunakan GC-MS .....	46
-Preparasi Sampel .....	46
-Analisis GC-MS .....	46
b. Konversi Gliserol .....	46
c. Penentuan Densitas .....	47
d. Penentuan Viskositas .....	48
3.5 Variabel Penelitian pada Sintesis Triacetin .....	49
3.5.1 Varabel Tetap.....	49
3.5.2 Variabel Berubah .....	49
<b>BAB IV HASIL dan PEMBAHASAN.....</b>	<b>50</b>
<b>BAB V SIMPULAN dan SARAN .....</b>	<b>80</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>82</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>96</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Produksi Gliserol di Indonesia.....	9
Tabel 2.2. Data Kebutuhan Triacetin di Indonesia .....	14
Tabel 2.3. Contoh Zeolit Alam yang Umum.....	16
Tabel 2.4. Komposisi Kimia Zeolit Alam Lampung.....	17
Tabel 4.1 Perhitungan Relative Area .....	56
Tabel 4.2. Nilai Koefisien Determinasi ( $R^2$ ) Orde 1 dan Orde 2 pada Perbandingan Pereaksi 1:3 .....	67
Tabel 4.3 Nilai Koefisien Determinasi ( $R^2$ ) Orde 1 dan Orde 2 pada Suhu 110°C .....	68
Tabel 4.4 Konversi Kestimbangan pada Beberapa Suhu .....	79

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Struktur Kimia Gliserol .....	7
Gambar 2.2. Perkembangan Produksi Biodiesel dan Gliserol secara Global.....	9
Gambar 2.3. Kecenderungan Harga Gliserol dengan Tersedianya Gliseol dipasaran .....	10
Gambar 2.4. Struktur Stereotip Klinoptilolit.....	18
Gambar 2.5. Reaksi Orde 0 .....	29
Gambar 2.6. Hubungan Konsentrasi dengan Laju Reaksi Orde 0.....	29
Gambar 2.7. Reaksi Orde 1 .....	30
Gambar 2.8. Hubungan Konsentrasi dengan Laju Reaksi Orde 1.....	30
Gambar 2.9. Reaksi Orde 2 .....	31
Gambar 2.10. Hubungan Konsentrasi dengan Laju Reaksi Orde 2.....	32
Gambar 2.10. Hubungan antara $1/T$ dengan $\ln k$ .....	33
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	41
Gambar 3.2 Skematik Rangkaian Alat Sintesis Triacetin .....	43
Gambar 4.1 Uji XRD ZAL Sebelum dan Setelah Aktivasi.....	50
Gambar 4.2 Hasil SEM ZAL Sebelum Aktivasi .....	52
Gambar 4.3 Hasil SEM ZAL Setelah Aktivasi .....	53
Gambar 4.4 Spektrum FTIR ZAL Sebelum dan Setelah Aktivasi .....	55
Gambar 4.5 Kromatografi Triacetin dengan Perbandingan Pereaksi 1:4 suhu 100°C dan Waktu Reaksi 4 jam.....	56
Gambar 4.6 Skema Asetilasi Gliserol menjadi Triacetin .....	57

Gambar 4.7 Densitas pada Perbandingan 1:3.....	58
Gambar 4.8 Densitas pada Perbandingan 1:4.....	58
Gambar 4.9 Densitas pada Perbandingan 1:5.....	59
Gambar 4.10 Viskositas pada Suhu 90°C.....	60
Gambar 4.11 Viskositas pada Suhu 100°C.....	61
Gambar 4.12 Viskositas pada Suhu 110°C.....	61
Gambar 4.13 Viskositas pada Suhu 120°C .....	62
Gambar 4.14 Nilai Konversi Gliserol pada Perbandingan Pereaksi 1:3 .....	63
Gambar 4.15 Nilai Konversi Gliserol pada Perbandingan Pereaksi 1:4 .....	63
Gambar 4.16 Nilai Konversi Gliserol pada Perbandingan Pereaksi 1:5 .....	64
Gambar 4.17 Hubungan Konsentrasi (Ca) vs Waktu (t) dengan Perbandingan Pereaksi 1:3 .....	65
Gambar 4.18 Hubungan Konsentrasi (ln Ca) Waktu (t) dengan Perbandingan Pereaksi 1:3 .....	66
Gambar 4.19 Hubungan Konsentrasi ( $\frac{1}{Ca}$ ) vs Waktu (t) dengan Perbandingan Pereaksi 1:3 .....	67
Gambar 4.20 Grafik Hubungan 1/T terhadap ln k .....	69
Gambar 4.21 Konversi Gliserol pada Suhu 90°C.....	72
Gambar 4.22 Konversi Gliserol pada Suhu 100°C.....	72
Gambar 4.23 Konversi Gliserol pada Suhu 110°C.....	73
Gambar 4.24 Konversi Gliserol pada Suhu 120°C.....	73
Gambar 4.25 Konversi pada Suhu 100°C (Tanpa Kondensor dan dengan Kondensor .....	76

Gambar 7.1 Hubungan Konsentrasi (Ca) vs Waktu (t) dengan Perbandingan Pereaksi 1:4 .....	98
Gambar 7.2 Konsentrasi (ln Ca) vs Waktu (t) dengan Perbandingan Pereaksi 1:4 .....	98
Gambar 7.3 Hubungan Konsentrasi ( $\frac{1}{Ca}$ ) vs Waktu (t) dengan Perbandingan Pereaksi 1:4 .....	99
Gambar 7.4 Grafik Hubungan 1/T terhadap ln k .....	100
Gambar 7.5 Hubungan Konsentrasi (Ca) vs Waktu (t) dengan Perbandingan Pereaksi 1:5 .....	101
Gambar 7.6 Hubungan Konsentrasi (ln Ca) vs Waktu (t) dengan Perbandingan Pereaksi 1:5 .....	101
Gambar 7.7 Hubungan Konsentrasi ( $\frac{1}{Ca}$ ) vs Waktu (t) dengan Perbandingan Pereaksi 1:5 .....	102
Gambar 7.8 Grafik Hubungan 1/T terhadap ln k .....	103
Gambar 7.9 Preparasi Bahan dan Alat yang Digunakan .....	104
Gambar 7.10 Preparasi Katalis Zeolit Alam Lampung .....	105
Gambar 7.11 Proses Sintesis Triacetin dengan Kondensasi .....	106
Gambar 7.12 Proses Sintesis Triacetin tanpa Kondensasi .....	110
Gambar 7.13 Analisa $A_0$ dan $A_b$ .....	111
Gambar 7.14 Uji XRD .....	112
Gambar 7.15 Uji GC-MS .....	113



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Perkembangan industri otomotif semakin meningkat di setiap tahunnya dan memiliki kontribusi yang cukup besar terhadap perekonomian nasional. Menurut data dari Kementerian Perindustrian tahun 2020, sektor industri otomotif menyumbangkan nilai investasi sebesar Rp. 99,16 triliun dengan total kapasitas produksi mencapai 2,35 juta unit per tahun, sedangkan sektor kendaraan roda dua dan empat, total investasi sebesar Rp.10,05 triliun dengan terdapat 26 perusahaan serta kapasitas produksi sejumlah 9,53 juta unit per tahun. Seiring meningkatnya industri otomotif, maka akan diikuti peningkatan jumlah kendaraan bermotor, yang mana setiap kendaraan bermotor baik roda dua ataupun roda empat sebagai hasil dari industri otomotif memerlukan bahan bakar. Saat ini sebagian besar bahan bakar yang digunakan masih menggunakan bahan bakar berbasis fosil yang tidak terbarukan. Sementara itu, persediaan bahan bakar minyak berbasis fosil semakin menurun, sehingga diperlukan bahan bakar alternatif pengganti yang dapat diperbarui seperti biodiesel. Biodiesel sendiri dapat di sintesis dari minyak jarak, minyak nyamplung, minyak sawit mentah (*Crude Palm Oil*), minyak kelapa, *Palm Fatty Acid Distillate* (PFAD) hingga minyak ikan (Shell Indonesia, 2023). Atas dasar tersebut, maka pemerintah melalui Kementerian Energi dan sumber Daya Mineral (ESDM) mengeluarkan suatu peraturan berupa Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 12 tahun 2015 menyatakan bahwa diwajibkan penggunaan

biodiesel sebesar 30% total kebutuhan minyak solar pada tahun 2025. Dilakukan sebagai langkah untuk keamanan energi dan pemanfaatan lingkungan. Sebagai tindak lanjut peraturan kementerian ESDM, maka pemerintah telah membuat *road map* pengembangan dalam suatu milestone biodiesel. Acuan awal investasi sebesar 244 juta \$ dengan kapasitas tambahan 1,16 juta KL per tahun 2010, dan menargetkan tahun 2015 mendapat kapasitas tambahan sebesar 3 juta KL per tahun. Selanjutnya tahun 2016 meningkat menjadi 632 juta \$ dan target tahun 2025 diharapkan tambahan kapasitas biodiesel mencapai 4,16 juta KL per tahunnya. (Blue Print Pengolahan Energi Nasional, 2010). Secara prinsip jika produksi biodiesel mengalami peningkatan, maka akan diikuti dengan semakin meningkatnya produksi gliserol sebagai reaksi samping produksi biodiesel. Perlu dipikirkan teknologi alternative guna mengolah gliserol menjadi produk turunannya. Dilakukan untuk meningkatkan nilai ekonomis dari gliserol itu sendiri. Salah satu produk yang dapat diproduksi dari gliserol adalah triacetin. Triacetin sendiri mempunyai sebagai bahan aroma makanan, pelarut pada parfum, plastizer untuk resin, dan sebagai zat aditif dalam bahan bakar cair sebagai anti knocking pada mesin (Nuryoto, dkk., 2010).

Secara teoritis, triacetin merupakan hasil reaksi gliserol serta asam asetat. Proses percepatan laju reaksi pada sintesis triacetin seringkali menggunakan media berupa katalis. Sebenarnya sintesis triacetin merupakan reaksi gliserol serta asam asetat bukan hal yang baru, karena dilakukan oleh peneliti sebelumnya yaitu diantaranya dilakukan oleh Leonardo dkk (2010), yang melakukan pada suhu 120°C dengan waktu 120 menit dengan variasi

konsentrasi katalis. Hasil dari penelitian Leonardo dkk (2010) memperoleh nilai konversi : 94 % besarnya selektivitas 4 %, menggunakan katalis K-10 konversi yang diperoleh : 100 % besarnya selektivitas 6 %, menggunakan katalis niobium phosphate nilai konversi : 100 % besarnya selektivitas 7 %, menggunakan katalis amberlyst-15 nilai konversi : 100 % besarnya selektivitas 24 %. Hal yang sama dilakukan juga oleh Balaraju dkk (2010), menggunakan katalis tungstophosphoric acid (TPA) dan niobic acid ( $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ), konversi tertinggi diperoleh pada katalis 25% TPA/ $\text{Nb}_2\text{O}_5$  dengan berat 200 mg pada suhu  $120^\circ\text{C}$  selama 4 jam perbandingan molar yang digunakan 1:5 diperoleh nilai konversi : 98% besarnya selektivitas 98%. Jagadeeswaraiiah dkk (2010) melakukan percobaan dengan perbandingan molar 1:5 selama 4 jam pada suhu  $120^\circ\text{C}$  berat katalis 0,2 gram TPA/ $\text{Cs}_2\text{-ZrO}_2$  diperoleh konversi : 93% besarnya selektivitas 17% (terdapat dalam Satriadi, H., 2015). Pada penelitian ini dicoba menggunakan zeolit alam Lampung, hal ini dilakukan untuk meningkatkan nilai guna zeolit alam Indonesia secara umum, yang notabene pemanfaatannya masih terbatas. Penelitian triacetin menggunakan katalis zeolit alam Lampung sebenarnya telah dilakukan Nuryoto dkk (2022), yang dilakukan dengan katalis zeolit alam Lampung termodifikasi menggunakan 1 N HCl, pada perbandingan pereaksi 1:3 mol gliserol/mol asam asetat, kecepatan pengadukan 600-700 rpm, suhu reaksi  $90-110^\circ\text{C}$ , serta konsentrasi katalis 4%. Konversi Asam asetat tertinggi diperoleh pada suhu reaksi  $110^\circ\text{C}$  dan kecepatan pengadukan 700 rpm yaitu sebesar 27%, dengan selektivitas produk utama (triacetin) yang dihasilkan hanya 2,03% dan sisanya 97,97% masih berbentuk monoacetin. Jadi pada

dasarnya penelitian ini mencoba untuk melakukan penelitian lebih lanjut dari penelitian Nuryoto dkk. (2022) dengan mencoba mengkolaborasikan faktor-faktor yang mempengaruhi laju reaksi. Harapannya konversi dan selektivitas produk triacetin mengalami peningkatan. Pada penelitian Leonardo dkk (2010) dan Jagadeeswaraiiah dkk (2010), ternyata permasalahan yang di alami hampir sama, yaitu selektivitas yang dihasilkan masih rendah, walaupun konversi sudah cukup tinggi. Konversi dan selektivitas tinggi dihasilkan pada penelitian Balaraju dkk (2010 dengan konversi sebesar 98% dengan selektivitas 98, yang dilakukan dengan suhu 120°C, jumlah mol gliserol dan asam asetat 1:5 serta waktu reaksi yang lama yaitu 4 jam. Pada penelitian yang lain terkait tracetin, yang dilakukan oleh Hamzah, D ., dkk (2019), pada suhu reaksi sebesar 100°C diperoleh konversi asam asetat yang tinggi yaitu 93,03% yang dicapai pada massa katalis 3% dari massa asam asetat. Pada penelitian Silaban, D.M., dkk (2015) yang dilakukan pada suhu 90°C - 110°C, perbandingan mol pereaksi gliserol dengan asam astetat 1:7, massa katalis 2- 6% dari massa asam asetat, dan jumlah katalis 4%, konversi maksimal yang diperoleh sebesar 85,304%.

Berdasarkan literatur tersebut, maka pada penelitian akan mencoba mengkolaborasikan beberapa hal yang bisa mempengaruhi kecepatan reaksi seperti : suhu, perbandingan jumlah reaktan, waktu esterifikasi, dan konsentrasi dari katalis zeolit alam (klipnotilolit) pada rentang yang lebih tinggi dari penelitian Nuryoto dkk (2022).

## 1.2 Rumusan Masalah

Laju reaksi yang cepat untuk mendapatkan konversi reaktan dan selektivitas yang tinggi bukan perihal yang mudah disebabkan banyak faktor yang mempengaruhinya. Penelitian ini mencoba mengkolaborasi faktor yang mempengaruhi laju reaksi yaitu suhu, perbandingan jumlah reaktan, waktu esterifikasi, dan konsentrasi dari katalis. Agar proses tetap efektif dan efisien, maka parameter yang menjadi fokus observasi (suhu, perbandingan jumlah reaktan, waktu esterifikasi, dan konsentrasi dari katalis) tetap mengacu pada informasi dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Tertutama untuk jenis katalis nya adalah zeolite alam klinoptilolit Lampung dimana kinerja dari zeolite alam klinoptilolit Lampung akan meningkat sesuai dengan yang diharapkan cukup besar. Hasil penelitian mengkolaborasikan suhu (Nindya dkk., 2020), komposisi reaktan yang sering digunakan (Nuryoto dkk., 2022), kecepatan pengadukan (Ramadhan dkk., 2019), dan ukuran partikel katalisator (Ramadhan dkk., 2019) dalam peningkatan laju reaksi serta memberikan hal yang positif pada perolehan produk reaksi yang dihasilkan.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini :

1. Mencari kondisi yang optimum dari pengaruh variabel suhu, perbandingan jumlah reaktan, waktu esterifikasi kepada konversi asam asetat yang dihasilkan dan produk triacetin yang dihasilkan.
2. Mencari kondisi yang optimum dari pengaruh metode reaksi menggunakan

kondensor dan tanpa kondensor

3. Menentukan kinetika reaksi, konstanta kecepatan reaksi dan energi aktivasi dari reaksi esterifikasi asam asetat dan gliserol

#### **1.4 Ruang Lingkup Penelitian**

Penelitian ini merupakan jenis penelitian deskriptif kuantitatif yaitu penelitian yang dilakukan terhadap variabel yang digunakan dalam proses sintesis triacetin. Variabel tetap pada penelitian ini adalah Konsentrasi katalis 5% massa gliserol dan kecepatan pengadukan 700 rpm, sedangkan variabel berubah adalah :

1. Suhu reaksi pada proses esterifikasi yaitu: 90°C, 100°C, 110°C, dan 120°C.
2. Rasio reaktan antara mol gliserol: mol asam asetat yang digunakan adalah 1:3, 1:4, dan 1: 5
3. Waktu reaksi pada proses esterifikasi yaitu 1, 2, 3, dan 4 jam .
4. Metode reaksi menggunakan kondensor dan tanpa kondensor

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah dan Khairurrijal. 2009. *Review: Karakterisasi Nanomaterial*. Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi 2: 1 - 10.
- Achmad W, Devina I.A., Indah Hartati, Widayat. 2013. *Proses Pengambilan Minyak Dari Limbah Padat Biji Karet Dengan Metode Ekstraksi Berpengaduk*. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang.
- Ansori. 2020. *Pembuatan Biodiesel dan Triacetin (Aditif Biodiesel) dari Minyak Kelapa Sawit Dengan Metode Ultrasound Assisted Interesterification dan Microwave-Assisted Interesterification*. TESIS - TK185401; [https://repository.its.ac.id/80340/1/02211850010004-Master\\_Thesis.pdf](https://repository.its.ac.id/80340/1/02211850010004-Master_Thesis.pdf)
- Aprilianti, W., Nelly, W., dan Titin, A.Z. 2023. *Adsorpsi Ion Besi Pada Lindi Menggunakan Zeolit Alam Teraktivasi Asam Klorida (HCl)*. Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah, Vol. 11, No. 2, 2023: 571 – 578.
- Atkins, P., & Paula, J. 2006. *Atkins' Physical Chemistry, 8th*, 200-234. Oxford University Press, New York.
- Attarbach, T., Martin, D. K., dan Vincenzo, S. 2023. *New Trends on Crude Glycerol Purification: A Review*. ELSEVIER : Fuel Volume 340, 15 May 2023, 127485.
- Bailey, A.E. 1951. *Industrial Oil and fat Product*. Interscholastic Publ.Co, Newyork.
- Balaraju, M., Nikhitha, P., Jagadeeswaraiyah, K., Srilatha, K., Sai Prasad, P. S., & Lingaiah, N. 2010. Acetylation of glycerol to synthesize bioadditives over



niobic acid supported tungstophosphoric acid catalysts. *Fuel Processing Technology*, 91 (2), 249–253 (terdapat dalam Satriadi, H. 2015. *Kinetika Reaksi Esterifikasi Gliserol dan Asam Asetat Menjadi Triacetin Menggunakan Katalis Asam Sulfat*. <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik>)

Blueprint Pengelolaan Energi Nasional. 2010. *Proyeksi Target Produksi Biodiesel Sampai Tahun 2025*. Jakarta.

Burca, G. 2014. *Solid State Chemistry , Surface Chemistry and Catalytic Behaviour*, 197-249.

Constales, D., Gregory S.Y, dan Guy B.M. 2017. *Advanced Data Analysis & Modelling in Chemical Engineering*. ISBN 978-0-444-59485-3.

Darnoko, D & Cheryan, M. 2000. *Kinetics of Palm Oil Transesterification in a Batch Reactor*. *J. Am.Oil Chem.Soc.*, 77, 1263-1267.

Du, Y., Shao, L., and Qi, C., 2021. *Sulfonated and Cross-Linked Polystyrene Ultrafine Fibers for the Esterification of Palmitic Acid for Biodiesel Production*. *Journal of Applied Polymer Science*, 138(14), 1–9. doi: 10.1002/app.50169.

Ebben, A dan Carrie, C. 2024. *How Calcination is Used in Catalyst Preparation*. FEECO INTERNASIONAL: <https://feeco.com/how-calcination-is-used-in-catalyst-preparation/>

Elysabeth, T., Jufrodi., dan Hudaeni. 2015. Adsorpsi Logam Berat Besi dan Timbal Menggunakan Zeolit Alam Bayah Teraktivasi. *Jurnal Chemtech* : Vol 1 No 1 Tahun 2015.

- Ernawati, D.Y., Helwani, dan S.R. Ynti. 2015. Penggunaan Zeolit Alam Teraktivasi sebagai Katalis pada Proses Esterifikasi Gliserol dari produk Sampung Biodiesel menjadi Triacetin. JOM FTEKNIK.2(2):1-8.
- ESDM. 2006. *Blue Print Pengelolaan Energi Nasional 2006- 2025*. Kementrian ESDM.
- Fadliyani, N. dan Atun, S. 2015. *Pemanfaatan Gliserol Hasil Sampung Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah Sebagai Bahan Sintesis Gliserol Asetat*, 20, pp. 149–156.
- Farida, F.1. 2009. *Pemanfaatan Zeolit Alam Lampung sebagai Bahan Pengikat pada Proses Flotasi untuk Mengolah Limbah Cair yang mengandung Amonia*. Skripsi, Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia Depok Desember 2009.
- Fauzi, R. A. 2019. *Modifikasi Katalis Berbasis Hierarchical Zeolite untuk Reaksi Esterifikasi dalam Pembuatan Surfaktan Berbasis Gliserol*. <https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/bitstream/123456789/47491/1/RIZKY%20ACHMAD%20FAUZI-FST.pdf> diakses 26 Maret 2024.
- Fatimah, N dan Budi U. 2017. *Sintesis dan Analisis Spektra IR, Difraktogram XRD, SEM pada Material Katalis Berbahan Ni/zeolit Alam Teraktivasi dengan Metode Impregnasi*. Journal Cis-Trans (JC-T) Volume 1, Nomor 1, Agustus 2017, e-ISSN 2549-6573.
- Ferreira, P., Fonseca, I. M., Ramos, A. M., Vital, J., & Castanheiro, J. E. (2011).

Acetylation of glycerol over heteropolyacids supported on activated carbon. *Catalyst Communications*, 12 (7), 573–576 (terdapat dalam Satriadi, H. 2015. *Kinetika Reaksi Esterifikasi Gliserol dan Asam Asetat Menjadi Triacetin Menggunakan Katalis Asam Sulfat*. <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik> .

Fessenden R.J dan Fessenden J.S. 1982. *Kimia Organik*. Jilid 2 Ed. Jakarta: Erlangga.

Fessenden, R.J. dan Fessenden, J.S. 1982. *Kimia Organik*. (Edisi Ketiga).(Terj.: Aloysius Hadyana Pudjaatmaka). Jakarta: Erlangga.

Fogler, H. S. 1999. *Elements of Chemical Reaction Engineering*. 3<sup>rd</sup> edition. Prentice Hall International Series in the Physical and Chemical Engineering Series.

García, J. I., García-marín, H. and Pires, E. 2010. *Glycerol based Solvents : Synthesis , Properties and Applications*. *Green Chem*, 12, pp. 426–434.

Gustama, D. 2020. *Sintesis dan Karakterisasi Zeolit Hierarki Terimpreg Logam Ni-Co untuk Catalytic Cracking Minyak Jarak Pagar (Jatropha curcas L)*. <https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/bitstream/123456789/53514/1/DHIKA%20GUSTAMA-FST.pdf> diakses 26 Maret 2024.

Handoko, D.S.P., 2002, “Pengaruh Perlakuan Asam, Hidrotermal dan Impregnasi Logam Kromium pada Zeolit Alam dalam Preparasi Katalis ”, *Ilmu Dasar*, Vol 3, No 2, pp 103-109.

Hamdan, H. 1992. *Introduction to Zeolites: Synthesis, Characterization, and*

*Modification*. Universiti Teknologi Malaysia, Kualalumpur.

Hamid, A., Faizatur, R., Tri, E.P., & Mohammad, A. 2023. *Karakterisasi Zeolit ZSM-5 yang Disintesis dari Kaolin dan TPABr Menggunakan Difraksi Sinar-X dan Spektroskopi Inframerah*. Indonesian Journal of Chemical Analysis : Hamid et. al., Ind. J. Chem. Anal., Vol. 06, No 01, 2023, pp. 42-51.

Helwani, Z., M. R. Othman, N. Aziz, J. Kim dan W. J. N. Fernando. 2009. *Solid Heterogeneous Catalyst for Transesterification of Triglycerides with Methanol : A Review*. Applied Catalysis A : General. 369: 1 -10.

Hikmah, A. 2015. *Studi/Kajian tentang Laju Reaksi – Transcript Presentasi*.  
<https://slideplayer.info/slide/2874609/>

Ibrahim, N.G & Prasetyawan, Y., 2020. *Evaluasi Pergudangan dengan Pendekatan Lean Warehousing dan Linear Programming (Studi Kasus PT. X)*. JURNAL TEKNIK ITS Vol. 9, No. 2, (2020) ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print).

Jagadeeswaraiyah, K., Balaraju, M., Prasad, P. S. S., & Lingaiah, N. (2010). Applied Catalysis A : General Selective esterification of glycerol to bioadditives over heteropoly tungstate supported on Cs-containing zirconia catalysts. Applied Catalysis A, General, 386 (1-2), 166– 170 (terdapat dalam Satriadi, H. 2015. *Kinetika Reaksi Esterifikasi Gliserol dan Asam Asetat Menjadi Triacetin Menggunakan Katalis Asam Sulfat*.  
<http://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik>).

Kim, S., Thiessen, P.A., Bolton, E.E., Chen, J., Fu, G., Gindulyte, A., Han, L., He,

- J., He, S., Shoemaker, B.A., Wang, J., Yu, B., Zhang, J., and Ryant, S.H. 2015. *Glycerol (Compound Summary for CID 753)*, National Center for Biotechnology Information. PubChem Compound Database. Available at: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/753> (Diakses: 23-10-2023).
- Knothe, G., Gerpen, J.V. dan Krahl, Jurgen. 2005. *The Biodiesel Handbook*. Champaign, Illinois : AOCS Press.
- Konwal, L. J., Paivi, M.A., Pakiza, B., Narendra, K., Ashim, J.T., Jyri, P.M., Ramesh, C.D., dan Dhanapati. 2015. *Shape Selectivity and Acidity Effects in Glycerol Acetylation With Acetic Anhydride: Selective Synthesis of Triacetin Over Y-Zeolite And Sulfonated Mesoporous Carbons*. Journal of Catalysis Volume 329, September 2015, Pages 237-247.
- Kosegeran, S.G.M., Sanusi, G., dan Johny, Z. L. 2021. *Sintesis Triacetin dari Gliserol dan Asam Asetat dengan Katalis Zeolite Alam Termodifikasi*. Fullerene Journ. Of Chem Vol.6 No.2: 155-160, 2021.
- Las, T. 1989. *Use of Natiral Zeolite for Nuclear Waste Treatment*. PhD Thesis, Dept. Applied Chemistry, University of Salford, England.
- Las, T, & Zamroni, H. 2002. Penggunaan Zeolit dalam Bidang Industri dan Lingkungan. Jurnal Zeolit Indonesia, 1(1), 27-34.
- Le Page. 1987. *Applied Heterogeneous Catalyst*. Editions Technip.Paris.
- Liao X., Zhu Y., Wang S.G., & Li Y. 2009. *Producing Triacetylgllycerol with Glycerol by Two Steps: Esterification and Acetylation* . J Fuel Process Thec.

90: 988-993.

Liao, X., Zhu, Y., Wang, S., Chen, H., & Li, Y. 2010. Theoretical elucidation of acetylating glycerol with acetic acid and acetic anhydride, *Applied Catalysis B : Environmental*, 94, 64– 70 (terdapat dalam Satriadi, H. 2015. *Kinetika Reaksi Esterifikasi Gliserol dan Asam Asetat Menjadi Triacetin Menggunakan Katalis Asam Sulfat*. <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik>).

Liu, L., Zhao, L., & Sun, H. 2009. *Simulation of NH<sub>3</sub> Temperature-Program Desorption Curves*. Using an ab Initio Force Field, 16051-16057.

Lotero, E., Y. Liu, D.E.Lopez, K. Suwannakarn, D. A. Bruce, and J.G. Goodwin Jr. 2005. *Synthesis of Biodiesel via Acid Catalysis*, *Ind.Eng. Chem. Res* 44:5353-5363.

Lumbantoruan, P dan Erislah. 2016. *Pengaruh Suhu Terhadap Viskositas Minyak Pelumas (Oli)*. *Sainmatika*, 13(2):26-34.

Material Science. 2010. *Zeolit : Struktur dan Fungsi*. <https://material-sciences.blogspot.com/2010/03/zeolit-struktur-dan-fungsi.html> (diakses pada 28 Maret 2024).

McKetta J.J dan Cunningham W.A. 1977. *Encyclopedia of Chemical Processing and Design Vol 2*. New York: Marcel Dekker Inc.

Meher, L., Vidyasagar, D. and Naik, S. 2006. *Technical aspects of biodiesel production by transesterification—a review*. *Renewable and Sustainable*

Energy Reviews, 10(3), pp. 248–268. doi: 10.1016/j.rser.2004.09.002.

Mufrodi, Z dan Arief, B., 2012. *Chemical Kinetics for Synthesis of Triacetin from Biodiesel Byproduct*. International Journal of Chemistry : <https://www.researchgate.net/publication/268349490> .

Mufrodi, Z., Erna, A., dan Gita, I.B. 2018. *Sintesis Katalis dari Zeolite, Perubahan Performa dan Unjuk Kerjanya*. Seminar Nasional Teknologi Terapan.

Nadiah, A. 2018. Modifikasi Zeolit Alam Lampung Sebagai Katalis Asam dalam Pembuatan Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas Menggunakan Reaksi Transesterifikasi. <https://digilib.unila.ac.id/33183/3/SKRIPSI%20TANPA%20BAB%20PEMBAHASAN.pdf>

Naibaho, L. W. (2019). Pemurnian Crude Gliserol dengan Proses Asidifikasi dilanjutkan dengan Adsorpsi menggunakan Daun Bambu sebagai Adsorben. Skripsi. Departemen Teknik Kimia, Universitas Sumatera Utara.

Nda-Umar, U.I., Irmawati , B.I., Ernee, N.M., Norsahida, A., Uchenna, F.A., dan Yun, H.T. 2020. *Influence of Heterogeneous Catalysts and Reactions Parameter on the Acetylation of Glycerol to Acetin: A review*. Appl.Sci.2020,10,7155.

Nindya, C. C. S., Anggara, D. R., & Teguh, K. 2020. *Esterification glycerol (by product in biodiesel production) with oleic acid using mordenite natural zeolite as catalyst: study of reaction temperature and catalyst loading effect*. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 909, No.



1, p. 012001). IOP Publishing.

Novitasari, C, D., A. Ani, dan R. Ekawati. 2012. *Pemanfaatan Limbah Ampas Tebu (Bagasse) untuk Produk Bioetanol melalui Proses Sakarifikasi dan Fermentasi Serentak*. Pelita. 8(2) :65-74.

Nsimba E.B ., Hlanganani, T., dan Alseno, M. 2015. *Removal of Uranium From Aqueous Solutions Using Ammonium-Modified Zeolite*. Research Article.

Nurwijayadi. 1998. *Praktek Luas Permukaan*. Batan. Yogyakarta. Hal. 1 - 13

Nuryoto., Hary, S., Suprihastuti,S.R., dan Sutijan. 2011. *Kinetika Reaksi Esterifikasi Gliserol dengan Asam Asetat Menggunakan Katalisator Indion 225 Na*. Jurnal Rekayasa Proses, Vol. 5, No. 2, 2011.

Nuryoto., Jayanudin., Hary.S., dan Wahyudi, D.S. 2013. *Studi Peningkatan Unjuk Kerja Indion 225 Na pada Proses Sintesis Gliserol Karbonat*. Prosiding Seminar Nasional Matematika, Sains, dan Teknologi. Volume 4, Tahun 2013, B.96-B.103.

Nuryoto, Sulisyo, H., Rahayi S.S., dan Sutjian. 2010. *Uji Performa Katalisator Resin Penukar Ion Untuk Pengolahan Hasil Samping Pembuatan Biodiesel Menjadi Triacetin*. Prosiding Seminar Rekayasa Kimia dan Proses.

Nuryoto, N., Sulisty, H., Sediawan, W. B., & Perdana, I. 2016. *Modifikasi zeolit Alam Mordenit Sebagai Katalisator Ketalisasi Dan Esterifikasi*. Reaktor, 16(2), 72-80.

- Nuryoto., Rudi, H., Isti, U. H ., & Andi, M.T. 2018. *Uji Coba Zeolit Alam Bayah sebagai Katalisator pada Reaksi Esterifikasi antara Gliserol dan Asam Asetat*. Jurnal Integrasi Proses Vol.7, No.2 (Desember 2018) 67-73.
- Nuryoto, Alin Rizka Amalia, Anita Puspitasari, &Anggara Diaz Ramadhan. 2020. *Study of Esterification Reaction Between Ethanol and Acetic Acid Using Homogeneous and Heterogeneous Catalyst*. World Chemical Engeerinereng.
- S, Syukri.1999. Kimia Dasar 2. Bandung: ITB.
- Nuryoto., Wijoyono, S., & Muhammad, R.M. 2021. *Pengaruh Suhu Reaksi dan Konsetrasi Katalisator Zeolit Alam Bayah Termodifikasi pada Reaksi Esterifikasi*. Jurnal Integrasi Proses Vol.10.No1 (Juni 2021) 21-26.
- Nuryoto., Diana, A.J., & Erlin, F. 2022. *Uji Coba Zeolit Alam Klinoptilolit Sebagai Katalis pada Pembuatan Bioaditif dari Gliserol dan Asam Asetat*. Inovasi Teknik Kimia. Vol. 7, No.1, April 2022, Hal 51-58
- P, Ariyo . 2008. *Preparasi Zeolit Alam Lampung sebagai Penyangga Biofilter untuk Proses Pemisahan Senyawa Sulfur*. Skripsi, Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia Genap 2007/2008.
- Pagliaro, M., & Michele, R. 2008. *The Future of Glycerol: New Uses of a Versatile Raw Material; RSC Green Chemistry Book Series*. Chambridge: Royal Society of Chemistry.
- Poosumas, J., Kanokwan ,N., Armando, T.Q., dan Suttichai, A. 2016. *Role of Ultrasonic Irradiation on Transesterification of Palm Oil Using Calcium*

*Oxide as a Solid Base Catalyst*. Energy Conversion and Management. 120  
pg. 62-70

Rahmat, N., Abdul, R.M., dan Ahmad, Z.A. 2010. *Recent Progress on Innovative and Potential Technologies for Glycerol Transformation into Fuel Additives: A Critical Review*. Article in Renewable and Sustainable Energy Reviews · April 2010 DOI: 10.1016/j.rser.2009.11.010 · Source: RePEc.

Ramadhan, A. D., Carolina, N., Nuryoto, N., & Kurniawan, T. 2019. *The use of Natural Zeolite as a Catalyst for Esterification Reaction Between Glycerol And Oleic Acid*. Reaktor, 19(4), 172-179.

Rezeki. 2018. *Sintesis Triasetin dari Gliserol Menggunakan Reaksi Esterifikasi Berkatalisis Amberlist* 36. <https://repositori.uin-alauddin.ac.id/16981/1/REZEKI.pdf>

Rifani, B. *Esterifikasi Gliserol Produk Samping Biodiesel dan Asam Asetat Menjadi Triacetin Menggunakan Katalis Fly Ash*. Jom FTEKNIK 3, no. 2 (2016): h. 1-5.

Rizki, J., Helwani, Z., dan Rionaldo, H. 2015. *Pemanfaatan Gliserol dari Produk Samping Biodiesel Menjadi Triacetin Melalui Proses Esterifikasi Menggunakan Katalis Zeolit Alam*. JOM FTEKNIK Volume 2 No. 1 Febreuari 2015.

Sari, N., Zuhra, H., dan Hari Rionaldo. 2015. *Esterifikasi Gliserol Dari Produk Samping Biodiesel Menjadi Triasetin Menggunakan Katalis Zeolit Alam*.

JOM F TEKNIK Volume 2 No. 1: Universitas Riau.

Satriadi, H., 2015. Kinetika Reaksi Esterifikasi Gliserol Dan Asam Asetat Menjadi Triacetin Menggunakan Katalis Asam Sulfat. : <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik>. Teknik, 36 (2), 2015, 75-80.

Saxena, R.K., Anand, P., Saran, S., and Isar, J. 2009. *Microbial Production of 1.3-Propadienol : Recent Development and Emerging Opportunities*, *Biotechnol Adv*, (27), pp. 895–913.

Shell Indonesia. 2023. *Pengertian Biodiesel: Pemahaman, Jenis, dan Contohnya* [https://www.shell.co.id/in\\_id/konsumen-bisnis/shell-fleet-card/pengertian-biodiesel.html](https://www.shell.co.id/in_id/konsumen-bisnis/shell-fleet-card/pengertian-biodiesel.html) diakses pada 20 Februari 2024.

Sholeha, N.A. 2017. *Review Karakteristik Pori pada Zeolit: Modifikasi dan Aplikasi*. [https://www.researchgate.net/publication/322114870\\_REVIEW\\_KARAKTERISTIK\\_PORI\\_PADA\\_ZEOLIT\\_MODIFIKASI\\_DAN\\_APLIKASI](https://www.researchgate.net/publication/322114870_REVIEW_KARAKTERISTIK_PORI_PADA_ZEOLIT_MODIFIKASI_DAN_APLIKASI) (diakses 26 Maret 2024)

Silaban., D.M., Zuchra, H., dan Silvia., R.Y. 2015. *Esterifikasi Gliserol sebagai Produk Samping Biodiesel Menjadi Triacetin dengan Menggunakan Katalis Zeolit Alam pada Variasi Suhu Reaksi dan Konsentrasi Katalis*. JOM FTEKNIK Volume 2 No. 2 Oktober 2015.

Susantro, T. 2011. *Kajian Kemampuan Adsorpsi Zeolit Alam Aktif Terimmobilisasi Dithizon terhadap Limbah Ion Logam Cd(II) Terkompetisi Mg(II) dan Cu(II) Secara Simultan*. Jurnal Dinamika Penelitian Industri Vol. 22 No. 1 Tahun

2011 hal 41-47.

Talebian-kiakalaieh, A., Aisyah, N., Amin, S., dan Hezaveh, H. 2014. *Glycerol for renewable acrolein production by catalytic dehydration*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 40, pp. 28–59. doi: 10.1016/j.rser.2014.07.168.

Trisunaryanti, W., Triwahyuni, E., dan Sudiono, S. 2005. *Preparasi, modifikasi dan karakterisasi katalis Ni-Mo/Zeolit alam dan Mo-Ni/Zeolit Alam*. *Jurnal Teknoin*, Vol.10,N0.4, hal.269- 283.

Tyson, K. Bozel, J., Wallace, R., Petersen, E., and Moens, L. 2004. *Biomass of Oil Analysis : Research Needs and Recommendation*, *NRELTP*, 510(34976), p. 74.

Wang, S & Zhu, Z.H. 2006. *Characterisation and Environmental Application of An Australian Natural Zeolite for Basic Dye Removal from Aqueous Solution*. *Journal of Hazardous Materials*, 136(3) 946–952. doi:10.1016/j.jhazmat.2006.01.038.

Wardaningrum, D.A., Muhammad, I.F., Susianto., dan Ali, A. 2020. *Pra Desain Pabrik Triacetin dari Produk Samping Produksi Biodiesel (Crude Glycerol)*. *JURNAL TEKNIK ITS Vol. 9, No. 2, (2020) ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print)*.

Widiyarti, G & Rahayu, W.S. 2010. *Pengaruh Metode Preparasi dan Kandungan Logam Aktif Terhadap Aktivitas Katalis Ni*. *Jurnal Sains Materi Indonesia*,

11(2), 1-5.

Yusuf, M. 2011. *Potensi Zeolit untuk Mengolah Limbah Industri dan Radioaktif*.

<https://pltuinjakarta.wordpress.com/2011/07/01/potensi-zeolit-untuk-mengolah-limbah-industri-dan-radioaktif/> (diakses 27-10-2023).

Zilfa., Upita, S., & Mirawati. 2020. *Pengaruh HCl terhadap Aktifasi Zeolit Alam*

*Clipnotilolit-Ca pada Penyerapan Pb(II)*. Jurnal Riset Kimia, Vol. 11, No. 2,

September 2020.

Zulfia, A dan M. Arianti. 2006. Pengaruh Suhu Pemanasan dan Waktu Tahan

terhadap Karakteristik Material Komposit Logam AL/SiC hasil Infiltrasi

tanpa Tekanan. MAKARA, TEKNOLOGI, VOL. 10, NO. 1, APRIL 2006:

18-23.