

Soni
Candra_7780210011_Fulltext
by Turnitin Cek

Submission date: 11-Aug-2024 03:18AM (UTC+0100)

Submission ID: 238499016

File name: Soni_Candra_7780210011_Fulltext.pdf (2.07M)

Word count: 16866

Character count: 104991

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

32

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**

32
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

11
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

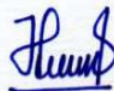
**STUDI PENGARUH SUHU DAN KONSENTRASI KATALIS ZEOLIT
ALAM JENIS KLINOPTILOLIT PADA PEMBUATAN TRIACETIN**

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

79
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 diikuti 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 triacetin. 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
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang... ..	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
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
BAB III METODE PENELITIAN	40
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
BAB IV	HASIL dan PEMBAHASAN	50
BAB V	SIMPULAN dan SARAN	80
DAFTAR PUSTAKA	82
LAMPIRAN	96

9
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 Kesetimbangan 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
¹⁸ 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
53 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
53 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

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 (Nb_2O_5), konversi tertinggi diperoleh pada katalis 25% TPA/ Nb_2O_5 dengan berat 200 mg pada suhu 120°C selama 4 jam perbandingan molar yang digunakan 1:5 diperoleh nilai konversi : 98% besarnya selektivitas 98%. Jagadeeswarai dkk (2010) melakukan percobaan dengan perbandingan molar 1:5 selama 4 jam pada suhu 120°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°C, serta konsentrasi katalis 4%. Konversi Asam asetat tertinggi diperoleh pada suhu reaksi 110°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

- 1
3. Menentukan kinetika reaksi, konstanta kecepatan reaksi dan energi aktivasi dari reaksi esterifikasi asam asetat dan gliserol

56 1.4 Ruang Lingkup Penelitian

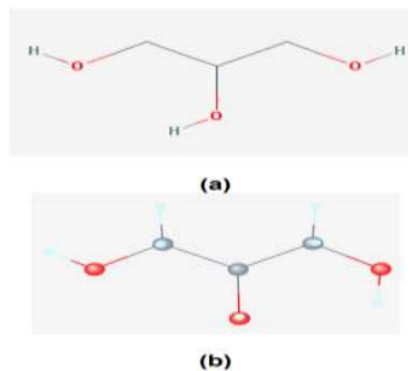
Penelitian ini merupakan jenis penelitian deskriptif kuantitatif yaitu penelitian yang dilakukan terhadap variabel yang digunakan dalam proses sintesis triacetin. Variabel tetap pada penelitian ini adalah Konsentrasi katalis 5% massa gliserol dan kecepatan pengadukan 700 rpm, sedangkan variabel berubah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

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gliserol

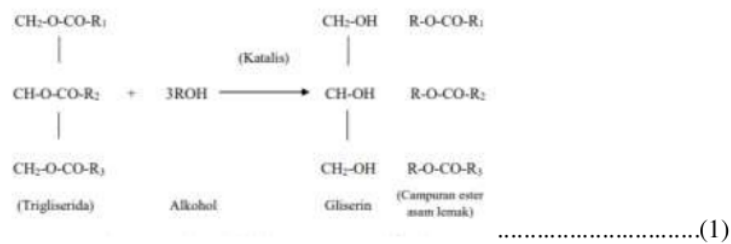
Gliserol merupakan senyawa alkohol terdapat jumlah gugus hidroksil 3 serta dikenal dengan nama 1,2,3 propanetriol (Fessenden & Fessenden, 1982). Gliserol adalah tidak berbau, cairan yang tidak berwarna, serta cairan kental memiliki rasa manis (Pagliaro & Michele, 2008). Gliserol tidak hanya menjadi limbah melainkan dapat dijadikan sesuatu yang bermanfaat dan menambah nilai ekonomi. Rumus struktur kimia gliserol terdapat pada **Gambar 2.1** :



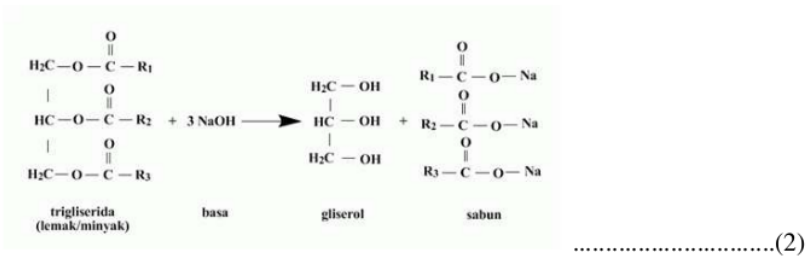
Gambar 2.1 Struktur Kimia Gliserol (a) struktur 2 dimensi; (b) struktur 3 dimensi (Kim dkk., 2015)

Gliserol terdapat dalam bentuk campuran yang bersumber dari minyak lemak hewan/ tumbuhan. Di berbagai industri gliserol sering digunakan sebagai bahan kimia yaitu seperti industri farmasi kimia, sintesis, dan makanan. Gliserol potensial diaplikasikan secara komersial (> 2000) untuk eter, polimer dan bahan bernilai lainnya (Garcia dkk., 2010).

Gliserol sebagian besar merupakan hasil samping pembuatan biodiesel dan proses saponifikasi. Proses sintesis biodiesel/reaksi transesterifikasi minyak goreng bekas dihasilkan produk samping yaitu gliserol dimana tingkat kemurniannya rendah, disebut *crude glycerol* dan terbentuk sekitar 10 - 20 % dari total volume produk (Darnoko, D & Cheryan, M., 2000). Menurut Leung dkk., 2009 gliserol disintesis dengan Persamaan reaksi sebagai berikut :



Sedangkan dari hasil saponifikasi mengacu pada Persamaan (2)

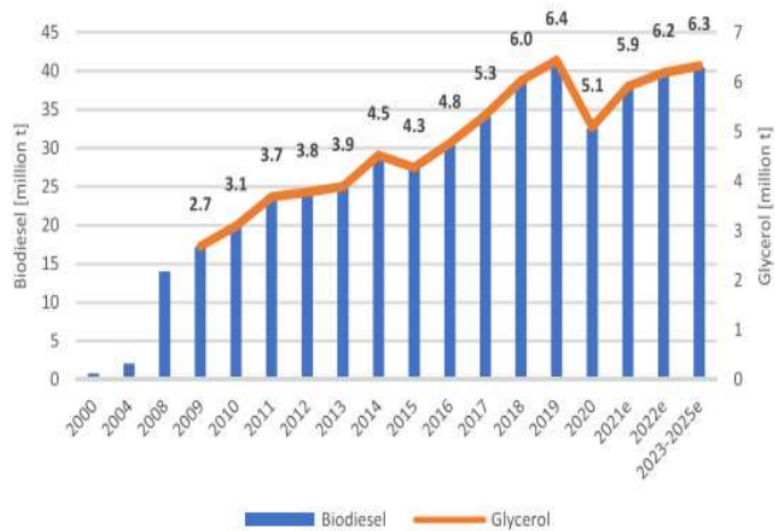


Berdasarkan data dari kajian pustaka menunjukkan bahwa gliserol secara global terjadi peningkatan gliserol secara signifikan pada rentang tahun 2017- 2021 terutama pada tahun 2020. Berikut data perkembangan dari peningkatan produksi gliserol tersaji pada **Tabel 2.1** dan **Gambar 2.2**

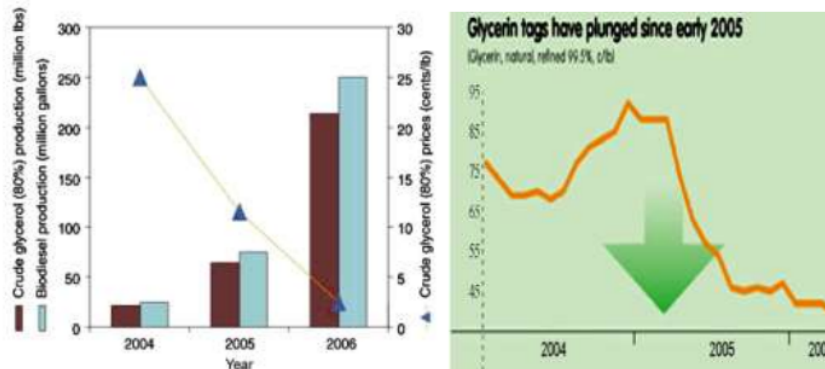
Tabel 2.1 Produksi Gliserol di Indonesia
(Badan Pusat Statistik, 2022)

⁴⁸ Tahun	Produksi Gliserol (ton/tahun)
2017	567.562
2018	697.863
2019	474.875
2020	707.995
2021	649.291

Pada Tabel 2.1 terlihat bahwa ternyata gliserol terjadi peningkatan pada setiap tahunnya.



Gambar 2.2. Perkembangan produksi biodiesel dan gliserol secara global
(Attarbach dkk., 2023)



Gambar 2.3. Kecenderungan harga gliserol dengan tersedianya gliserol dipasaran.

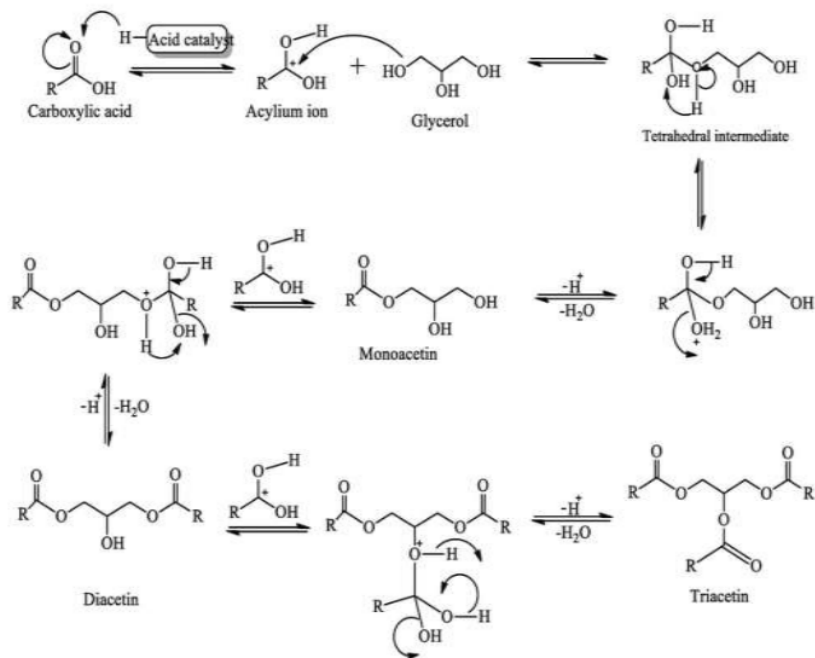
Jika dilihat pada **Gambar 2.3.** Peningkatan gliserol dipasaran akan berdampak penurunan harga gliserol itu sendiri, jika serapan gliserol tetap. Pengolahan lebih lanjut untuk gliserol menjadi produk turunannya perlu dilakukan. Jika tidak maka akan terjadi jumlah gliserol dipasaran akan melimpah dari waktu ke waktu, sementara pemanfaatannya dari gliserol stagnan. Akibatnya harga gliserol akan terus turun, dan imbasnya gliserol menjadi tidak ekonomis dan yang ditakutkan akan menjadi limbah dan dibuang ke Lingkungan.

Pada pengolahan gliserol menjadi produk turunannya, salah satu kunci utama pada aplikasi industri adalah nilai kemurnian dari gliserol tersebut, sedangkan biaya purifikasi cukup mahal penghilangan kelebihan metanol, katalis dan sabun. (Talebian-kiakalaieh dkk.,2014).-Ketika biaya permurnian dari gliserol yang tinggi tanpa diikuti dengan harga gliserol yang sesuai, maka akan menjadi masalah tersendiri nantinya. Penelitian lebih lanjut pada pengolahan gliserol menjadi produk turunannya berupa triacetin sangat diperlukan. Harapannya jika

penelitian ini berhasil dan dapat menjadi proses yang komersial alternatif pada pemanfaatan gliserol lebih lanjut, sehingga akan meningkatkan serapan dari gliserol, dan berimbas pada stabilitas harga gliserol.

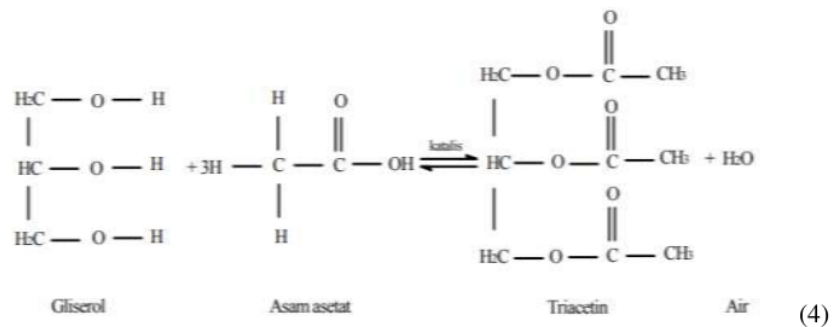
2.2 Triacetin

Triacetin yang memiliki nama lain : Gliseril Triasetat ($C_9H_{14}O_6$) adalah cairan dengan kandungan minyak, tidak berwarna, rasa yang pahit, mudah terbakar, dan bau seperti minyak. Triacetin larut dalam kloroform, air, eter, dan benzene., dengan titik leleh : $-78^\circ C$, titik didih : $258^\circ C$, serta titik nyala : $280^\circ F$ dengan suhu nyala otomatis : $812^\circ F$. Zat ini merupakan reaksi esterifikasi gliserol serta asam asetat dan penambahan katalis yang memiliki sifat asam (Liao X dkk ., 2009) yaitu melalui reaksi esterifikasi dan untuk mempercepat reaksi diperlukan katalis untuk mempercepat tercapainya. Katalis yang cocok untuk esterifikasi asam asetat dan gliserol katalis yang bersifat asam kuat diantaranya asam sulfonat organik, asam sulfat serta resin penukar kation bersifat asam kuat baik yang bersifat homogen ataupun heterogen. Dimana dibutuhkan 3 mol asam asetat untuk bereaksi dengan 1 mol gliserol (Nuryoto dkk, 2010) seperti yang tersaji pada Persamaan (3) (Nda-Umar, U.I dkk., 2020)



(3)

Penjelasan dari Persamaan (3) adalah katalis yang bersifat asam maka gugus karbonil akan terprotonasi dan akan mengaktifkan ke arah penyerangan nukleofil. Hidrat dari ester akan terhasil karena adanya proton yang terlepas maka terjadilah proton dapat tertransfer. Produk samping yang terbentuk dari reaksi esterifikasi ini : *Mono Asetyl Gliserol (MAG)* serta *Di Asetyl Gliserol (DAG)* (Wardaningrum, D.A dkk., 2020). Persamaan (4) adalah reaksi dalam bentuk sederhana dari sintesis triacetin, karena untuk nyatanya ¹ reaksi gliserol dan asam asetat merupakan reaksi seri (yang ditunjukkan oleh persamaan 3), ¹ dimana gliserol dan asam asetat bereaksi membentuk monoacetin kemudian ¹⁴ monoacetin bereaksi lagi dengan asam asetat membentuk diacetin kemudian diacetin bereaksi dengan asam asetat membentuk tricetin.



Reaksi esterifikasi ini menghasilkan produk samping yaitu air. Air yg dihasilkan biasa nya terabsorb di pori zeolit, sehingga bisa menggantikan isi pori yang dapat menyebabkan pertukaran pada saat reaksi aktivasi nya akan berkurang. Sehingga ukuran katalis dalam sintesis triacetin perlu diperhatikan. Zeolit yang memiliki pori yang besar akan memberikan akses difusi molekul reaktan yang lebih baik sehingga presentasi konversinya akan lebih besar. Sedangkan zeolit dengan stuktur pori lebih kecil akan menghasilkan selektivitas yang lebih baik terhadap produk yang dihasilkan. Zeolit memiliki pori yang lebih besar dapat memberikan stabilitas yang lebih baik pada molekul reaktan yang terabsorb jika dibandingkan dengan zeolit dengan pori yang lebih kecil (Sholeha, N.A., 2017).

Kegunaan triacetin sendiri cukup luas baik pada industri makanan maupun non makanan. Salah satunya dijadikan sebagai bahan platisizer, pelarut, penambah aroma, sebagai aditif bahan bakar yang penggunaanya untuk mengurangi *knocking* pada mesin, dan sebagai zat aditif untuk biodiesel, dan (Nuryoto, dkk., 2010). Sementara dari segi kebutuhan triacetin di Indonesia terdapat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.2. Data Kebutuhan Triacetin di Indonesia
(Ibrahim, N.G & Prasetyawan, Y., 2020)

Tahun	Import (Ton)	Pertumbuhan (%)
2012	12.581,3	-
2013	12.486,0	-0,8
2014	15911,7	27,4
2015	15.905,1	-0,04
2016	18.762,4	18,0
201	23.817,5	26,9
2018	26.404,8	10,9
Rata – rata		11,8

Penelitian terkait triacetin dengan memanfaatkan katalis bahan alam cukup berkembang seperti yang dilakukan oleh Silaban, D.M., dkk (2015) suhu yang digunakan pada proses sintesis adalah 90°C - 110°C dan massa katalis 2%, 4%, dan 6% dari perbandingan mol pereaksi gliserol dengan asam asetat adalah perbandingan 1:7 dimana jumlah katalisnya adalah 4% nilai konversi yang diperoleh paling tinggi yaitu 85,304%. Konversi sebesar 89,90% diperoleh dengan massa katalis 3% dan suhu yang digunakan adalah 100°C (Yulvianti, M., dkk, 2016).

Pada penelitian ini mencoba melakukan observasi lebih lanjut terkait triacetin dengan difokuskan pada variabel : suhu reaksi esterifikasi, waktu reaksi, perbandingan pereaksi, dan konsentrasi dari katalis. Hal ini dilakukan agar nilai konversi reaktan dan produk yang dihasilkan akan semakin tinggi.

2.3 Katalis Zeolit Alam (Klinoptilolit)

Katalis merupakan senyawa berfungsi untuk mempercepat

reaksi dan tanpa adanya konsumsi oleh reaksi. Katalis sendiri dapat menambah kecepatan dari suatu reaksi tanpa merubahnya secara kimiawi pada akhir reaksi. Pada saat menambah laju reaksi, katalis bersifat spesifik yaitu katalis dapat menambah kecepatan suatu reaksi akan tetapi tidak kepada semua reaksi kimia. Hal tersebut didasari oleh sifat kimia dan sifat fisiknya. Menurut Nurhayati (2008), untuk menilai kualitas dari katalis berikut merupakan parameter yang perlu diperhatikan:

1. Aktivitas merupakan kemampuan dari katalis dalam mengubah reaktan menjadi produk.
2. Selektivitas merupakan kekuatan katalis dalam percepatan terjadinya reaksi di antara sekian reaksi yang sedang berlangsung hasilnya produk utama yang dihasilkan maksimal dan produk samping yang dihasilkan berjumlah sedikit.
3. Kestabilan merupakan waktu yang diperlukan oleh katalis dalam proses aktivitas dan selektivitas seperti pada keadaan semula
4. Yield merupakan jumlah produk tertentu yang terbentuk untuk setiap satuan reaktan yang dikonsumsi.
5. Kemudahan diregenerasi merupakan proses mengembalikan aktivitas dan selektivitas katalis seperti semula

Pada prinsipnya proses sintesis triacetin dapat yang akan dilakukan ini menggunakan katalis zeolit alam jenis klinoptilolit. Zeolit sendiri menurut para ahli geokimia dan mineralogi diperkirakan berasal dari suatu produk batuan metamorfosa, batuan sedimen yang kemudian

terjadi proses pelapukan yang disebabkan oleh pengaruh dingin dan panas sehingga terbentuk mineral zeolit. Selain itu zeolit berasal dari debu beterbangan yang berasal dari gunung berapi dan mengendap di dasar dasar laut atau pun danau. Debu vulkanik tersebut kemudian mengalami berbagai macam berubah karena air laut atau air danau yang menyebabkan terbentuknya sedimen yang mengandung zeolit di dasar laut atau danau (Setyawan, 2002). Silika serta alumina merupakan komponen utama zeolit dengan unsur minor : Mg, K Na, Ca, dan Fe (Akimkhan, 2012). Berikut merupakan contoh dari jenis zeolite alam yang umumnya dijumpai tersaji pada **Tabel 2.3.**

Tabel 2.3. Contoh Zeolit Alam yang Umum (Subagjo, 1993)

No	Nama	Komponen
1.	Analsim	$\text{Na}_{16}(\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
2.	Kabasit	$(\text{Na}_2, \text{Ca})_6(\text{Al}_{12}\text{Si}_{24}\text{O}_{72}) \cdot 40\text{H}_2\text{O}$
3.	Klinoptilolit	$(\text{Na}_4\text{K}_4)(\text{Al}_{18}\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
4.	Erionit	$(\text{Na}, \text{Ca}_5\text{K})(\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72}) \cdot 27\text{H}_2\text{O}$
5.	Ferrierit	$(\text{Na}_2\text{Mg}_2)(\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}) \cdot 18\text{H}_2\text{O}$
6.	Heulandit	$\text{Ca}_4(\text{Al}_8\text{Si}_{28}\text{O}_{72}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
7.	Laumonit	$\text{Ca}(\text{Al}_{18}\text{Si}_{16}\text{O}_{48}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
8.	Mordenit	$\text{Na}_8(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
9.	Filipsit	$(\text{Na}, \text{K})_{10}(\text{Al}_{10}\text{Si}_{22}\text{O}_{64}) \cdot 20\text{H}_2\text{O}$
10.	Natrolit	$\text{Na}_4(\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{20}) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
11.	Wairakit	$\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

Zeolit alam dibagi menjadi 2 yaitu atau diantara lapisan batuan zeolit yang berupa batuan dan zeolit yang terdapat diantara celah batuan.

Zeolit yang berada pada celah batuan terdiri dari beberapa jenis mineral. Klinoptilolit, filipsit, mordenit, heulandit, dan erionit, merupakan zeolit yang berupa batuan (Darius, 2006). Jenis zeolit alam di Indonesia biasanya merupakan zeolit jenis mordenit dan klinoptilolit.

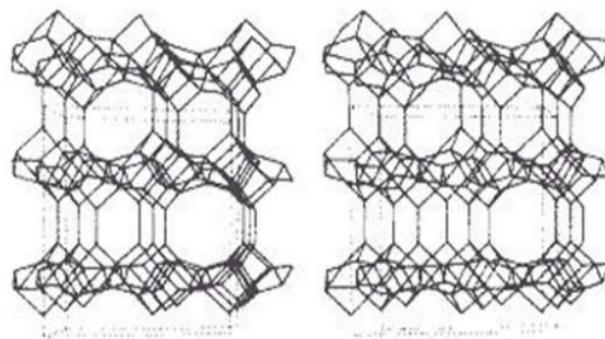
Pada penelitian ini akan dicoba menggunakan zeolit alam jenis klinoptilolit dari Lampung. Karakteristik dari zeolit alam Lampung terdapat pada **Tabel 2.4**.

¹⁹
Tabel 2.4. Komposisi Kimia Zeolit Alam Lampung (P, Ariyo., 2008)

No	Komposisi Kimia Zeolite Alam Lampung	Jumlah (%)
1.	SiO ₂	72,6%
2.	Al ₂ O ₃	12,4%
3.	Fe ₂ O ₃	1,19%
4.	Na ₂ O	0,45%
5.	TiO ₂	0,16%
6.	MgO	1,15%
7.	K ₂ O	2,17%
8.	CaO	3,56%
9.	Lainnya	6,32%

Pada penelitian Nindya dkk (2020) dan Ramadhan dkk. (2019) dengan menggunakan zeolit alam Lampung mampu menghasilkan konversi asam oleat yang cukup tinggi pada reaksi antara gliserol serta asam oleat yaitu masing-masing sebesar 75,09 % serta 73,65 %. Dipastikan dapat ditingkatkan lagi performa dari katalis zeolit alam Lampung ini dengan melakukan perubahan perlakuan awalnya saat akan dipakai sebagai katalis untuk proses sintesis triacetin. Struktur

klinoptilolit secara umum terdapat pada gambar dibawah ini.



Struktur stereotip klinoptilolit

Gambar 2.4. Struktur Stereotip Klinoptilolit (Las, T., 1989)

Zeolit klinoptilolit dan modernit diklasifikasikan sebagai zeolit dengan kandungan silika tinggi, rasio Si/Al antara 4,3-5,3. Klinoptilolit memiliki saluran berukuran 0,35 x 0,79 nm dan 0,44 x 0,30 nm, sedangkan pada modernit memiliki saluran berukuran sebesar 0,67 x 0,70 nm dan 0,29 x 0,57 nm (Las, T & Zamroni, H., 2002). Zeolit klinoptilolit mengandung kation : Na⁺, K⁺, Mg²⁺, atau Ca²⁺. Adanya molekul air pada zeolit alam dalam pori dan oksida bebas di permukaan sehingga pori-pori tersebut menurunkan kapasitas adsorpsi maupun sifat katalisis dari zeolite. Hal itulah yang membuat zeolit alam perlu dilakukan aktivasi terlebih dahulu sebelum zeolit digunakan. Aktivasi zeolit alam dapat dilakukan dengan proses pemanasan 300-400°C dengan udara panas yang berfungsi dalam melepas molekul air (secara fisika). Pencucian zeolit dengan larutan Na₂EDTA atau asam anorganik seperti : H₂SO₄, HCl, dan HF untuk menghilangkan oksida pengotor

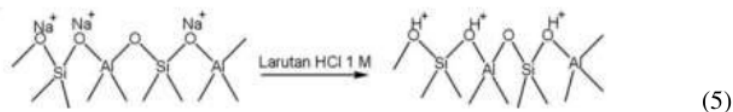
yang menutupi permukaan pori merupakan cara kimia yang dapat dilakukan (Material Science, 2010). Berdasarkan bentuk strukturnya, zeolit merupakan senyawa yang mempunyai pori teratur, luas permukaan yang besar berbentuk tetrahedral, selektifitas yang tinggi. Oleh karena itu maka zeolit banyak digunakan sebagai penukar ion, penyerap, penyaring molekul dan katalis (Zilfa dkk., 2020).

Keunggulan dari katalis zeolit klinoptilolit adalah saat ditambahkan dalam suatu reaksi maka akan meningkatkan nilai konversi yang dihasilkan hal tersebut sesuai dengan penelitian Nuryoto dkk, 2022. Saat katalis zeolite klinoptilolit yang telah teraktivasi asam klorida HCl 1 N ditambahkan pada reaksi sintesis triacetin diperoleh konversi sebesar 27% dimana sebelum penambahan katalis nilai konversi sebesar 18,85% (pada waktu reaksi 90 menit). Hasil itu membuktikan proses aktivasi yang dilaksanakan terlihat dampak positif terhadap kinerja katalisator ZAL. Kenaikan konversi asam asetat itu bisa dimungkinkan karena kehilangan dari dampak pengotor yang menutupi pori-pori katalis, serta peningkatannya semakin kuat dari kekuatan asam dari situs aktif yang terdapat dalam zeolit. Karakteristik pori yang khas serta seragam untuk setiap jenis zeolit menjadikan zeolit lebih unggul dibandingkan material katalis padat yang lain. Berdasarkan klasifikasi IUPAC, jenis pori material zeolit terbagi menjadi 3 yaitu : Mikropori : $2.0 \text{ nm} (20 \text{ \AA}) \geq dp$, Mesopori : $2.0 \text{ nm} < dp \leq 50 \text{ nm}$, dan Makropori : $dp > 50 \text{ nm} (500 \text{ \AA} \text{ atau } 0.05 \text{ \mu m})$. Pori

akan memberikan selektivitas yang baik pada produk hasil beberapa proses industri (Sholeha, N.A., 2017).

Silika-alumina amorf dan kristal modernit merupakan kandungan yang ada dalam zeolit alam yang berada di Indonesia dimana setelah diaktivasi dan dimodifikasi mempunyai aktifitas yang baik. Dapat dilakukan beberapa cara dalam proses pengaktifan zeolite diantaranya adalah dengan pemanasan dengan suhu dan jangka waktu tertentu, mempertukarkan/mengubah kation yang dapat dipertukarkan dan mengubah ratio perbandingan Si/Al dengan perlakuan dealuminasi, karena nya zeolit dapat digunakan juga sebagai adsorben (Trisunaryanti dkk., 1996). Zeolit dapat digunakan sebagai adsorben karena struktur kristalnya berpori dan memiliki luas permukaan yang besar, tersusun oleh kerangka silika-alumina, memiliki stabilitas termal yang tinggi, harganya murah serta keberadaannya cukup melimpah [Handoko, 2002]. Zeolit merupakan salah satu contoh adsorben yang memiliki kemampuan menyerap air (*hydrophilic*) (Handoko, 2002).

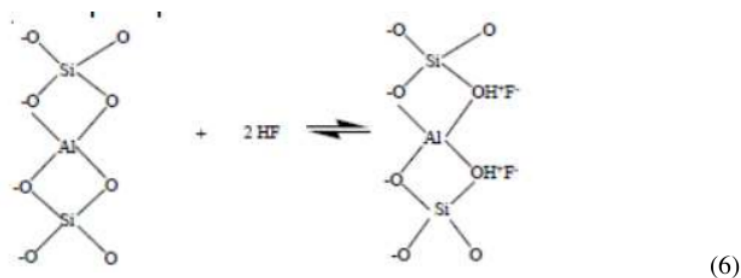
Zeolit alam sebelum dijadikan adsorben terlebih dahulu dilakukan aktivasi misalnya saja dengan HCl dimana mekanismer reaksinya adalah sebagai berikut :



Penggunaan zeolit alam sebagai adsorben telah dilakukan pada penelitian Elysabeth, T dkk (2015) dimana hasilnya zeolit alam Bayah

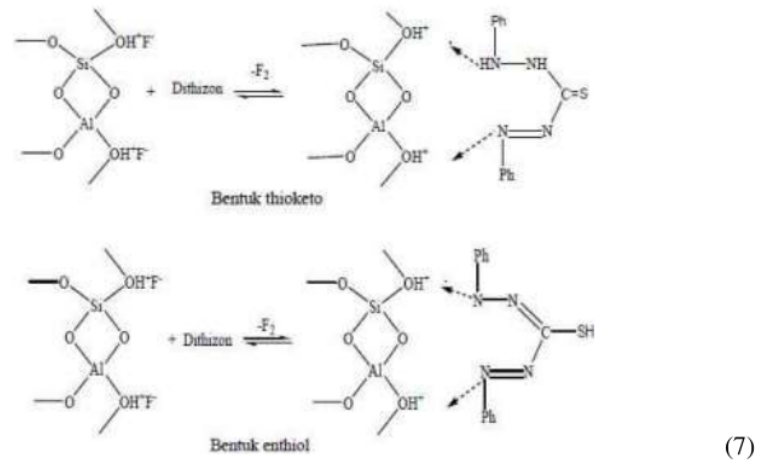
yang telah diaktivasi cukup efektif digunakan sebagai adsorben untuk mengadsorpsi logam berat seperti Fe. Waktu optimum proses adsorpsi Fe adalah 90 menit dengan penurunan kandungan Fe sebesar 92,82%. Dalam penelitian ini kandungan Pb yang terdeteksi dalam air limbah TPA Cilowong kurang dari 10 mg/L sehingga tidak dapat dianalisa kadar penurunannya setelah proses adsorpsi. Penelitian selanjutnya dari Kurniasari, L dkk (2011) dimana metode aktivasi zeolit alam sebagai adsorben uap air dapat dilakukan dengan menggunakan basa yaitu NaOH dan dengan menggunakan panas. Aktivasi dengan NaOH 1N suhu 700 C memberikan kemampuan adsorpsi sebesar 0,171 g uap air/gr adsorben, sedangkan daya adsorpsi pada aktivasi fisis/pemanasan 3000 C selama 3 jam sebesar 0,137 g uap air/gr adsorben.

Penelitian Susantro, T (2011) menggunakan zeolit alam terimmobilisasi dithizon sebagai adsorben untuk limbah ion logam Cd (II) terkompetisi Mg (II) dan Cu(II). Diawali dengan aktivasi menggunakan HF menjadi ZAA (Seolit Alam aktif), reaksi aktivasi dapat dilihat pada persamaan reaksi dibawah ini

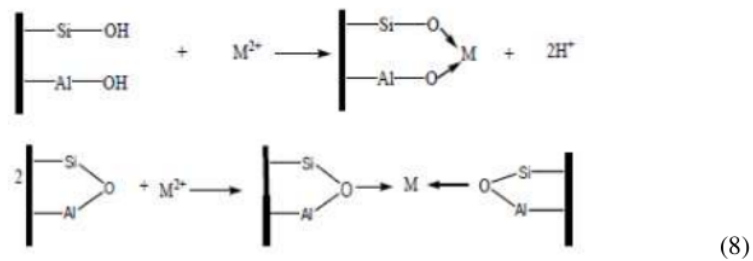


Dilanjutkan dengan Tautomeri interaksi zeolit dengan dithizon menjadi

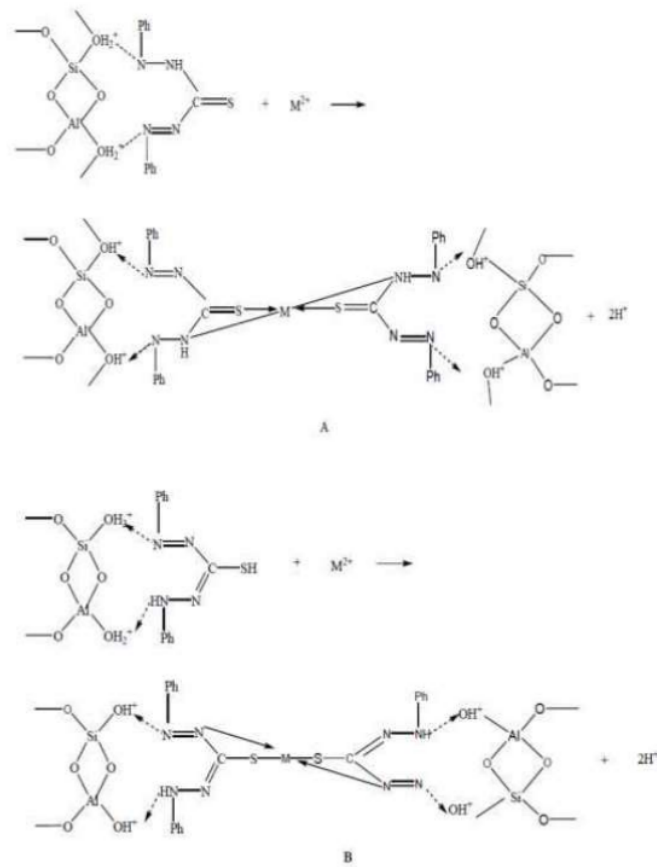
ZAA-D (Zeolit Alam Aktif Dithizon) terdapat pada persamaan 7



ZAA dan ZAA-D selanjutnya digunakan untuk adsorpsi limbah ion logam Cd(II) terkompetisi Mg(II) dan Cu(II) secara simultan proses selanjutnya adalah adsorpsi oleh ZAA melibatkan ikatan antara logam dengan gugus silanol dan siloksan dapat dilihat pada persamaan 8



Adsorpsi oleh ZAA-D. Reaksi ini melibatkan ion logam dengan gugus -SH dan -NH dari dithizon. Ada dua bentuk tautomeri, maka ada dua kemungkinan bentuk ikatan logam dengan adsorbennya seperti ditunjukkan dalam persamaan 9.



(9)

2.3.1 Aktivasi Zeolit Alam

Salah satu cara meningkatkan kualitas dari katalis adalah inti aktif zeolit alam yang diaktivasi dengan melakukan cara peningkatan keasaman nya (Kosegeran, S.G.M., dkk., 2021). Struktur berongga yang dimiliki oleh zeolit ini biasanya diisi oleh kation yang bisa dipertukarkan serta memiliki ukuran pori yang tertentu dan air. Sehingga zeolit bermanfaat sebagai penukar ion, penyaring, katalis, dan adsorben (Susilawati, 2006).

Perendaman zeolit alam dalam larutan asam yaitu : H_2SO_4 ataupun HCl merupakan cara dalam mengaktivasi zeolit alam.

- H_2SO_4

Menggunakan H_2SO_4 dilakukan untuk proses penurunan jumlah Al serta memasukkan ion H^+ pada zeolit. Molekul air dalam pori dan oksida bebas di permukaan seperti Al_2O_3 , SiO_2 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O dapat menutupi pori-pori atau situs aktif dari zeolit sehingga dapat menurunkan kapasitas adsorpsi maupun sifat katalisis dari zeolit tersebut. Pada tahap ini terjadi pertukaran ion H^+ dari larutan H_2SO_4 dengan kation bebas pada zeolit. Ion H^+ akan diserang oleh atom oksigen yang terikat pada Si dan Al. Penurunan jumlah Al dalam zeolit berarti jumlah situs asam Lewis berkurang karena Al merupakan situs asam lewis. Penurunan jumlah situs Lewis tidak mengindikasikan adanya penurunan keasaman karena hal ini diimbangi dengan meningkatnya kekuatan asam dari situs Lewis tersebut. Adanya pertukaran ion H^+ ini terhadap kation bebas pada zeolit akan membentuk situs Bronsted (Kosegeran, S.G.M., dkk., 2021).

- HCl

Penggunaan HCl dilakukan dalam penghilangan senyawa pengotor yang terdapat pada zeolit serta membuka pori pori serta meningkatkan luas permukaan adsorben. Sama seperti dengan H_2SO_4 aktivasi dengan menggunakan HCl akan melarutkan

kandungan Al_2O_3 sehingga menyebabkan rasio Si/Al meningkat, semakin banyak gugus SiO_2 maka akan meningkatkan gugus Si-OH pada permukaan adsorben. Selain itu aktivasi dengan HCl dapat melarutkan garam mineral yang menutupi permukaan adsorben seperti Mg^+ , K^+ , Na^+ , dan Ca^+ sehingga memperluas permukaan adsorben. Semakin tinggi asam maka semakin murni adsorben yang dihasilkan karena semakin banyak pengotor yang dilarutkan oleh asam, adanya perbedaan konsentrasi HCl optimum untuk masing masing logam. Hasil penyerapan terbesar adalah 0,0821 mg/g yaitu mencapai 92,26% dengan konsentrasi HCl 0,2 M. Kemudian dilakukan penyerapan menggunakan HCl dengan konsentrasi lebih besar namun kapasitas penyerapannya menjadi kecil yaitu 0,0751 mg/g dengan konsentrasi HCl 0,3 M disebabkan karena semakin besar konsentrasi asam akan merusak struktur dari zeolit sehingga daya serap zeolit sebagai adsorben semakin kecil (Zilfa dkk., 2020).

2.3.2 Analisa Kristalinitas dengan Difraksi Sinar- X (XRD)

Analisa kristalinitas dengan Difraksi Sinar- X (XRD) berfungsi dalam mengetahui sifat kristalin pada zeolit kliptnotilolit (sampel) sesuai dengan zeolit kliptnotilolit (standar). Zeolit dikarakterisasi serta dianalisis menggunakan yaitu XRD dimana dengan menggunakan XRD (Philips Expert instrument) dilakukan untuk mengidentifikasi fase padatan dengan radiasi $\text{CuK}\alpha$ pada sudut $2\theta = 5^\circ\text{-}80^\circ$ dan $\lambda = 1,54$

Á (Hamid, A dkk., 2023).

Prinsip kerja pengukuran XRD berdasarkan pada senyawa terdiri dari susunan atom yang membentuk suatu bidang. Saat suatu bidang memiliki bentuk yang tertentu maka partikel foton (cahaya) yang datang hanya akan menghasilkan pola pantulan maupun pembiasan yang khas. Kekhasan pola difraksi inilah yang dijadikan landasan dalam analisa kualitatif untuk membedakan suatu senyawa dengan senyawa yang lain (Gustama, D., 2020).

2.3.3 SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Scanning Electron Microscopy (SEM) menganalisis struktur topografi permukaan, untuk mengetahui morfologi permukaan zeolit serta cacat struktural. Cara kerjanya sebagai berikut :

1. Gelombang elektron yang dipancarkan terkondensasi di lensa kondensor dan terfokus sebagai titik yang jelas oleh lensa objektif.
2. *Scanning coil* yang diberi energi menyediakan medan magnetik bagi sinar elektron.
3. Kemudian berkas sinar elektron yang mengenai cuplikan menghasilkan elektron sekunder dan kemudian dikumpulkan oleh detektor sekunder atau detektor backscatter.
4. Gambar yang dihasilkan terdiri dari ribuan titik berbagai intensitas di permukaan *Cathode Ray Tube* (CRT) sebagai topografi.

(Nadiyah, A., 2018)

2.3.4 FTIR (*Fourier Transform IR*)

Uji karakterisasi zeolit dengan spektrofotometer FTIR bertujuan untuk mengetahui/menganalisa gugus fungsional dari suatu senyawa. Analisis dengan FTIR menunjukkan ada perubahan dalam puncak yang muncul dan terjadi pelebaran kedudukan puncak yang menandakan adanya interaksi. Pada umumnya rentang bilangan gelombang pada zeolit adalah 300-1300 cm^{-1} berbentuk ikatan tetrahedral yaitu O-Si-O dan O-Al-O. Pada pita 900-1250 cm^{-1} merupakan rentangan asimetris, rentangan simetris ditunjukkan pada pita 650-850 cm^{-1} , tekukan Si-O/Al-O (T-O) pada internal muncul pada daerah 420-500 cm^{-1} sedangkan untuk eksternal akan muncul pada 700-780 cm^{-1} (Hamdan, H., 1992).

2.4 Kinetika Reaksi dalam Pembuatan Triacetin

Reaksi esterifikasi merupakan reaksi kesetimbangan yang dapat dituliskan secara sederhana sebagai berikut:



Dengan,

G: Gliserol, A: asam asetat, T: Triacetin, dan W = air.

Dalam rangka untuk mengetahui besarnya laju reaksi diantara gliserol dan asam asetat, sehingga dapat dicoba menggunakan pemodelan perhitungan model matematika. Laju reaksi adalah suatu konsentrasi pereaksi ataupun hasil dari reaksi yang berubah terhadap satuan waktu (Coulson,

1983). Kinetika reaksi menggambarkan studi yang bernilai kuantitatif pada perubahan dari kadar suatu zat terhadap waktu dengan adanya reaksi kimia. Kecepatan terbentuknya dari suatu zat hasil dan kecepatan pengurangan dari reaktan merupakan penentuan dari kecepatan reaksi. Faktor pembanding penunjuk dari hubungan antara kecepatan reaksi dengan konsentrasi reaktan merupakan tetapan kecepatan (k) (Keenan, 1999). Studi kinetika reaksi dilakukan agar mengetahui pengendalian laju reaksi dari suatu proses untuk mengetahui langkah yang dapat diperbaiki sehingga dapat diperoleh nilai laju proses yang lebih cepat serta lebih efisien. Pada reaksi karboksimetilasi, tetapan kecepatan (k) merupakan faktor pembanding yang memperlihatkan kecepatan reaksi dengan konsentrasi. Persamaan reaksi karboksimetilasi adalah sebagai berikut sebagai berikut:

Model kinetika reaksi yang akan dicoba untuk memprediksi laju reaksi pada penelitian ini menggunakan model kinetika sederhana order 0-2.

- Model Reaksi Order 0

Reaksi orde 0 ini terjadi saat konsentrasi dari pereaksi tidak mempengaruhi laju dari suatu reaksi.

$$-r_A = \frac{dC_A}{dt} = k \quad (11)$$

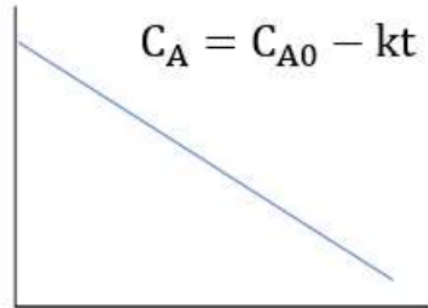
k adalah konstanta laju reaksi dari orde 0, untuk orde 0 satuan $k = M.s^{-1}$.

Persamaan 7 dalam bentuk integral dapat dilihat seperti pada Persamaan 8 dan persamaan 9 dengan hasil seperti berikut :

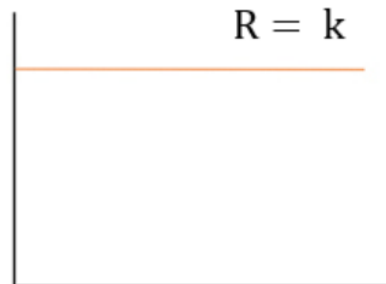
$$C_{A0} - C_A = C_{A0}X_A = kt \text{ untuk } t < \frac{C_{A0}}{k} \quad (12)$$

$$C_A = 0 \text{ untuk } t \frac{C_{A0}}{k} \quad (13)$$

Nilai penurunan konversi reaktan sebanding dengan waktu reaksi seperti yang terdapat pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5 Reaksi Orde 0



Gambar 2.6 Hubungan Konsentrasi dengan Laju Reaksi Orde 0

Order 0 hanya bisa teramati pada rentang konsentrasi yang tinggi. Jika konsentrasi reaktan rendah, persamaan kinetika reaksinya menjadi *concentration dependent* atau kinetika reaksi selain berorder 0.

- Model Reaksi Order 1

Pada penelitian ini asam asetat dibuat berlebih, sehingga diasumsikan reaksi balik diabaikan. Saat konsentrasi dari suatu reaktan sebanding dengan laju

reaksi, hal tersebut merupakan terjadinya order 1 dan dapat ditulis sebagai

Persamaan 10 dengan satuan $k = s^{-1}$

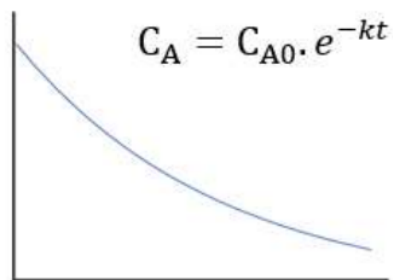
$$-r_A = \frac{dC_A}{dt} = k \cdot C_A \quad (14)$$

Persamaan (11) diintegrasikan menjadi :

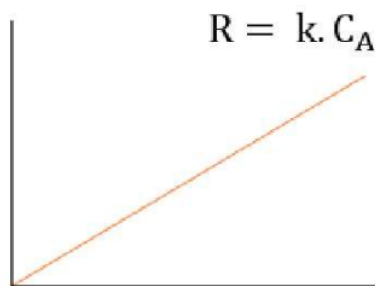
$$-\ln \frac{C_A}{C_{A0}} = k \cdot t \quad (15)$$

$$C_A = C_{A0} \cdot e^{-kt} \quad (16)$$

Plot dari persamaan (12) adalah sebagai berikut :



Gambar 2.7. Reaksi Orde 1



Gambar 2.8. Hubungan Konsentrasi dengan Laju Reaksi Orde 1

- Model Reaksi Order 2

Saat laju reaksi sebanding dengan kuadrat konsentrasi dari suatu reaktan

ataupun produk dari konsentrasi yang meningkat dengan pangkat dua reaktan maka itu merupakan orde 2.

$$-r_A = \frac{dC_A}{dt} = -k \cdot (C_A)^2 \quad (17)$$

$$\int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{-dC_A}{C_A^2} = k \int_0^t dt \quad (18)$$

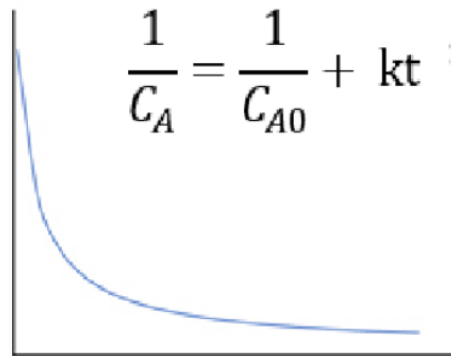
$$\frac{C_A}{C_{A0}} \left[\frac{1}{C_A} \right] = k \cdot t \quad (19)$$

$$\frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A0}} = k \cdot t \quad (20)$$

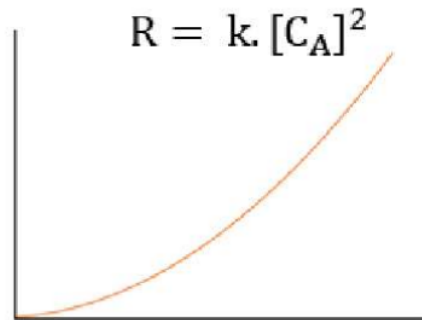
$$\frac{1}{C_A} = \frac{1}{C_{A0}} + k \cdot t \quad (21)$$

k adalah konstanta laju orde kedua dengan satuan $M^{-1}min^{-1}$ atau $M^{-1}s^{-1}$.

Plot dari persamaan (17) adalah sebagai berikut :



Gambar 2.9. Grafik Reaksi Orde 2



Gambar 2.10. Hubungan Konsentrasi dengan Laju Reaksi Orde 2

Peningkatan nilai nilai konversi pada sintesis triacetin dapat dipengaruhi oleh suhu. Selain itu suhu juga akan mempengaruhi laju reaksi yang terjadi, dengan mengacu pada persamaan Arrhenius, besarnya peningkatan laju reaksi yang dihasilkan akan berbanding secara eksponensial satu per satuan suhu reaksi. Suatu reaksi yang berubah akan mulai bereaksi saat diberikan sejumlah energi minimum yaitu energi aktivasi (E_a) hal tersebut sesuai dengan teori aktivasi. Tiga faktor ini dirumuskan sebagai persamaan Arrhenius :

$$k = A e^{-E_a/RT} \quad (22)$$

Dimana :

k = konstanta laju reaksi

A = bilangan Arrhenius (faktor tumbukan) dengan satuan s^{-1} (untuk orde 1)

E_a = energi aktivasi (J/mol)

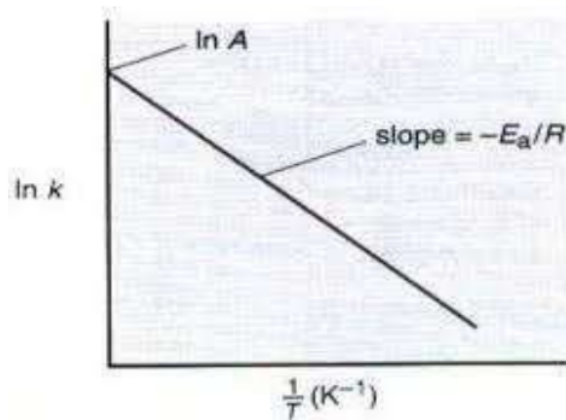
R = konstanta gas ideal (8,314J/mol K)

T = suhu dengan satuan kelvin

Saat penentuan suatu energi aktivasi, persamaan (23) diubah ke bentuk logaritma:

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{R} \times \frac{1}{T} \quad (\text{dalam bentuk logaritma}) \quad (23)$$

Kemudian terjadilah hubungan linier antara $\ln k$ (sumbu y) terhadap $1/T$ (sumbu x) dengan kemiringan $-E_a/RT$ dan potongan sumbu y sama dengan $\ln A$ (yang ditunjukkan pada gambar 2.16). Sehingga suatu energi aktivasi dapat ditentukan dengan menghitung nilai k pada beberapa suhu.



Gambar 2.11. Hubungan antara $1/T$ dengan $\ln k$ (Hikmah,A., 2015)

Van't Hoff pada tahun 1884 mengungkapkan pengaruh suhu terhadap kecepatan reaksi kimia kemudian Hood dan Arrhenius memperluasnya sampai tahun 1885 dan 1889. Dimana metode kinetika reaksi dapat menghitung dari nilai konstanta laju penurunan suhu yang bervariasi (sesuai dengan teori Arrhenius). Sebagai dasarnya dimana $1/T$ sebanding dengan harga logaritmik dari konstanta kecepatan reaksi.

2.5 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Proses Reaksi Kimia

Dalam rangka mendapatkan produk yang optimal, memperhatikan faktor apa saja yang menjadi pengaruh pada reaksi kimia merupakan hal yang penting dilakukan. Berikut beberapa faktor yang mempengaruhi reaksi kimia

2.5.1 Suhu

Suhu reaksi berpengaruh pada gerakan molekul-molekul maupun pada viskositas fluida yang ada pada system reaksi. Peningkatan suhu reaksi akan meningkatkan tumbukan molekul reaktan dan difusivitas reaktan ke sisi aktif katalisator (Fogler, 2006), dan diharapkan akan mampu menghasilkan konversi reaktan yang menjadikan produk semakin lebih besar. Beberapa peneliti yang telah melakukan kajian pengaruh suhu dalam suatu reaksi kimia adalah penelitian Satriadi, H (2015) 80°C-120°C dengan penggunaan katalis asam sulfat mengalami nilai kenaikan konversi. ³⁸ Kecepatan reaksi akan semakin tinggi seiring dengan semakin tingginya suhu reaksi yang digunakan. Hal tersebut sesuai persamaan Arrhenius, dimana nilai konversi yang diperoleh semakin besar sebagai hasil dari kecepatan reaksi yang bertambah saat suhu reaksi juga semakin tinggi. Hal tersebut sama dengan penelitian dari Silaban, D.M., dkk (2015) dimana terjadi kenaikan nilai konversi seiring dengan bertambahnya suhu (90°C-110°C) dimana nilai konversi paling tinggi yaitu 85,304% pada suhu 110°C dengan penggunaan katalis zeolit alam. Suhu yang digunakan 90°C-110°C pada waktu reaksi 90 menit didapat nilai ¹⁴ konversi asam asetat yang dihasilkan

masing-masing adalah 13,21; 17,03; dan 22,11%. Peningkatan suhu reaksi yang diberikan secara teori berdampak kepada pergerakan molekul yang semakin cepat, dan juga semakin cepat laju difusi molekular reaktan ke sisi aktif katalisator (Nuryoto dkk., 2022).

2.5.2 Pengaruh Konsentrasi Katalis terhadap Konversi Gliserol

Katalis adalah senyawa yang memiliki fungsi percepatan terjadinya reaksi akan tetapi tidak ikut bereaksi. Alasan dari penggunaan katalis adalah untuk penurunan energi aktivasi (E_a), sehingga pereaksi mudah bereaksi dan produk pun mudah untuk terbentuk (Atkins, 1997: 43). Katalis merupakan salah faktor yang mempengaruhi sintesis tracetin. Rentang 2% - 6% dari massa gliserol merupakan jumlah katalis yang sering digunakan. akan Kenaikan nilai konversi dari gliserol bisa disebabkan oleh kenaikan jumlah katalis. Akan tetapi saat katalis yang digunakan adalah 6% atau lebih maka akan konversi gliserol akan menurun. Terjadi dikarenakan katalis yang cukup tinggi akan menyebabkan penurunan aktivitas pada waktu tertentu. Hal tersebut terjadi karena karena katalis terdeaktivasi. Deaktivasi akan disebabkan oleh jumlah pengotor, dimana katalis akan terdeaktivasi oleh pengotor dengan mem-block pori-pori atau meracuni situs aktif dari katalis. Meningkatnya viskositas reaktan juga bisa disebabkan oleh katalis yang terlalu banyak, yang dapat menyebabkan penghambatan proses pengadukan. Proses pengadukan ini dapat meningkatkan ⁵ laju reaksi dan turbulensi fluida yang naik

dapat mengakibatkan lapisan film berkurang dan semakin kecil hambatan eksternal nya (Silaban ,DM., 2015).

Penambahan katalis akan mempercepat laju reaksi, hal tersebut karena sisi aktif yang dapat digunakan untuk reaksi semakin banyak, sehingga konversi gliserol menjadi triacetin akan semakin tinggi. Akan tetapi seiring dengan penambahan konsentrasi katalis dapat mengakibatkan konversi gliserol menjadi menurun. Terjadinya *dead zone* pada bagian dasar reaktor. *Dead zone* terjadi karena efek penimbunan katalis zeolit yang mengakibatkan di dalam sisi aktif katalis semakin sedikit reaktan yang berdifusi. Selain itu dapat menyebabkan semakin cepatnya laju reaksi yang akan berdampak pada peningkatan terbentuknya air serta air dapat menghambat difusi reaktan ke sisi aktif katalisator. Sejalan dengan penelitian Nuryoto, dkk (2013) mengenai studi peningkatan unjuk kerja Indion 225 Na untuk proses sintesis gliserol karbonat mengalami penurunan pada variasi konsentrasi 3%, 5% dan 7% dan nilai konversinya sangat tinggi saat konsentrasinya 1% massa zeolit.

2.5.3 Pengaruh Lamanya Waktu Reaksi

Lamanya waktu salah satu hal yang berpengaruh terhadap proses reaksi. Kontak antar zat bertambah besar disebabkan oleh waktu reaksi yang semakin lama dalam proses reaksi, sehingga nilai konversi juga bertambah besar. Penambahan waktu reaksi sudah tidak diperlukan lagi saat kesetimbangan reaksi sudah tercapai. Beberapa

hasil penelitian menunjukkan waktu reaksi dapat mempengaruhi konversi dari gliserol adalah sebagai berikut : dimana perbandingan pereaksi bernilai 1:7, suhu reaksi 90°C, konsentrasi katalis 5 %, waktu reaksi selama 4 jam menghasilkan konversi : 80,74 % . Widayat, dkk., (2013), perbandingan pereaksi yang digunakan adalah 1:7, suhu 120°C, dengan konsentrasi katalis 5%, serta 3 jam waktu reaksi nilai konversi : 67,63 %. Konversi gliserol menjadi triacetin dilakukan oleh Nuryoto, dkk., (2010: 5) perbandingan pereaksi yang digunakan 1:7, suhu reaksi 70°C , katalis 5%, lamanya waktu reaksi 3 jam konversi : 42,3%. Rifani, dkk.,(2016: 1) dapat menghasilkan konversi : 78,91% perbandingan pereaksi 1:9, dimana waktu reaksi selama 3 jam, dan katalis yang digunakan adalah 3%.

2.5.4. Pengaruh Komposisi Reaktan

Banyak penelitian yang melakukan sintesis triacetin menggunakan zeolit alam seperti zeolit alam Yogyakarta (Sari dkk., 2015) serta zeolit alam Aceh (Hamzah dkk., 2019), nilai konversi reaktan pada rentang 76% sampai 100% bernilai baik. Dimana dalam penelitian adalah : 1:6 - 1:12 mol sering digunakan sebagai perbandingan antara gliserol dan asam asetat. Dimana terjadi komposisi pereaksi yang besar ini dapat mempersulit pemisahan antara reaktan dengan produk pada proses separasi, dan mengakibatkan semakin besar biaya operasinya serta perbandingan 1: 3 menjadikan koversi pembentukan traicetin semakin meningkat (Nuryoto dkk., 2022).

2.5.5 Pengaruh Kecepatan Pengadukan

Pengadukan dapat berpengaruh terhadap kesempurnaan reaksi dan mempercepat reaksi. Oleh karena bertambahnya frekuensi yang mengakibatkan terjadinya tumbukan antara molekul zat yang bereaksi dengan zat pereaksi. Tumbukan yang semakin besar akan membuat harga konstanta kecepatan reaksi akan semakin besar (Rezeki, 2018). Hal tersebut sama dengan persamaan Archenius :

$$k = A \cdot e^{(-E_a/RT)} \quad (24)$$

dimana, T = Suhu absolut (°C)

R = Konstanta gas umum (cal/gmol. K)

A = Faktor tumbukan (t⁻¹)

k = Konstanta kecepatan reaksi

Seiring dengan meningkatnya kecepatan pengadukan maka nilai konversi asam asetat akan meningkat dimana peningkatan kecepatan pengadukan ini akan dapat mereduksi tahanan perpindahan massa eksternal yang menyebabkan berjalan lebih cepatnya proses perpindahan massa reaktan ke permukaan katalisator sehingga laju reaksi menjadi meningkat (Nuryoto, dkk., 2022).

2.6 Hipotesis

Penggunaan variabel observasi yang mengacu pada kondisi operasi literatur yang di bahas sebelumnya dengan rentang yang cukup lebar yang akan dilakukan pada penelitian ini (suhu, konsentrasi katalis, waktu reaksi,

dan perbandingan reaktan), maka potensi kinerja dari zeolite alam klinoptilolit Lampung akan meningkat sesuai dengan yang diharapkan cukup besar. Terjadi karena dengan suhu yang dinaikan, konsentrasi katalis, waktu reaksi, dan perbandingan reaktan, maka interaksi antar reaktan akan mengalami peningkatan yang tentunya akan diikuti dengan peningkatan laju reaksi.

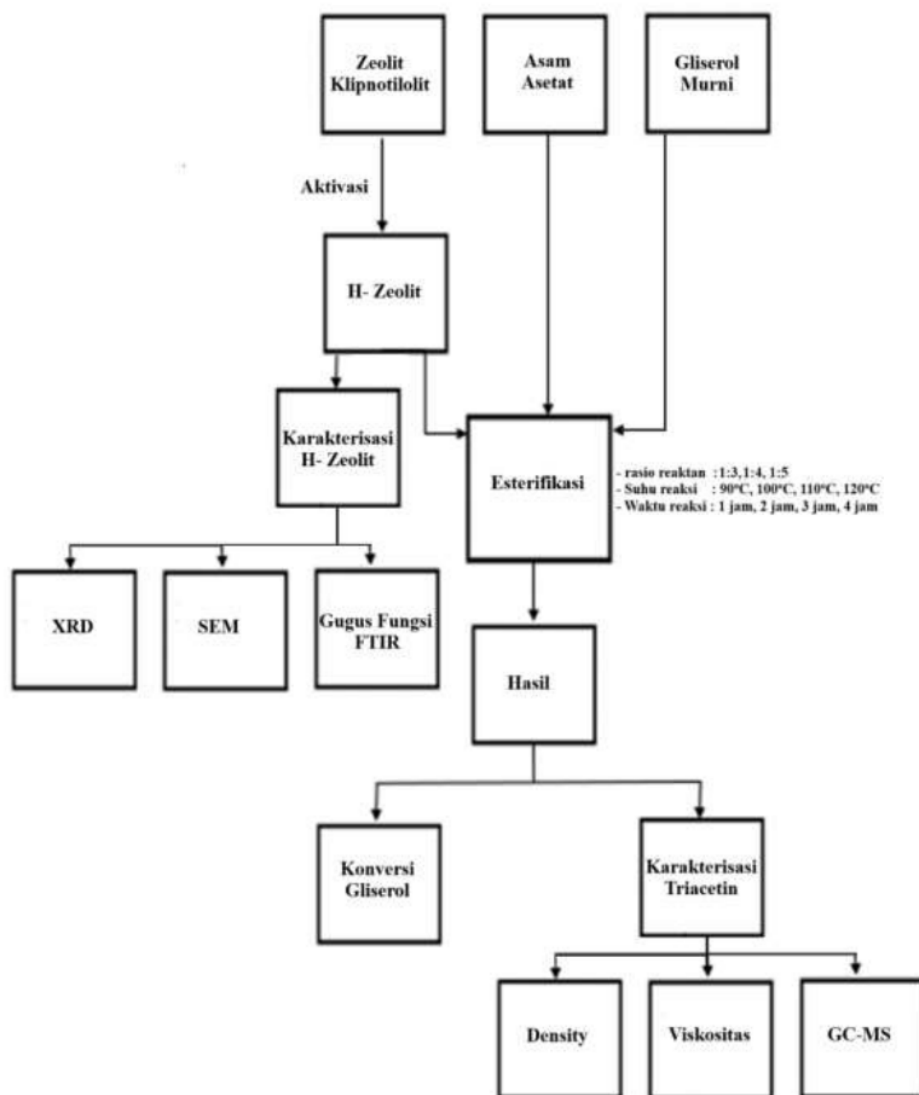
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Kimia Sekolah Menengah Atas Kimia PGRI Serang serta Laboratorium Spectroscopy Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Sindangsari. Penelitian terdiri dari 2 tahapan yaitu tahap awal yaitu preparasi dan tahap operasi. Bahan utama dalam penelitian ini adalah Gliserol dan Asam Asetat. Bahan tambahan dan alat lain yang digunakan untuk proses analisis antara lain : katalis zeolit alam Lampung (*klipnotilolit*), air, air denim, Aseton, indikator bromtimol biru, indikator pp, NaIO_4 , NaOH , alat pemanas, *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), gelas ukur, *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS), kertas saring ukur Whatman no. 42, Labu leher tiga, Motor pengaduk, pemanas, pengaduk merkuri, penyaring, piknometer, pipet tetes, statif dan klem, timbangan thermometer , dan Viscometer Oswald.

3.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

3.3 Alat dan Bahan dalam Sintesis Triacetin

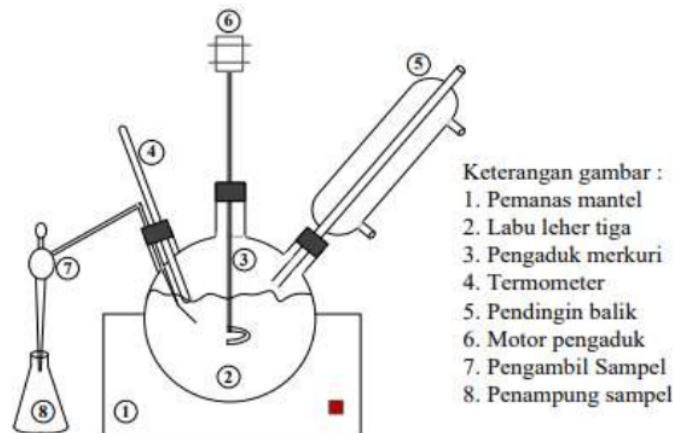
3.3.1 Alat yang digunakan dalam Sintesis Triacetin diantaranya:

1. Alat pemanas
2. FTIR
3. Gelas ukur
4. GC-MS
5. Kertas saring Whatman No. 42
6. Labu leher tiga
7. Motor pengaduk
8. Pemanas
9. Pengaduk merkuri
10. Penyaring
11. Piknometer
12. Pipet tetes
13. Statif dan Klem
14. Timbangan
15. Thermometer
16. XRD X-ray Diffraction (XRD) Brand : BRUKER
17. SEM
18. FTIR
19. Viscometer Ostwald

3.3.2 Bahan yang digunakan dalam sintesis Triacetin diantaranya:

1. Air
2. Air demin
3. Asam Asetat
4. Asam Sulfat 6 N
5. Aseton
6. Gliserol
7. indikator bromtimol biru
8. indikator pp
9. Katalis zeolit alam Lampung : klipnotilolit
10. NaIO_4
11. NaOH 0,5 N

Skematik Rangkaian Alat Sintesis Triacetin terdapat pada gambar 3.1.



Gambar 3.2. Skematik Rangkaian Alat Sintesis Triasetin (Nuryoto, dkk., 2011)

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Pembuatan Katalis Zeolit Klipnotilolit

Zeolit Klipnotilolit yang digunakan sebagai katalis dalam sintesis triacetin, dimana langkah awal merupakan analisa kristalinitas dengan Difraksi Sinar- X (XRD) untuk mengetahui sifat kristalin pada zeolite klipnotilolit (sampel) sesuai dengan zeolit klipnotilolit (standar). Kemudian dilakukan proses penyaringan dan pengecilan ukuran zeolit sampai 50 mesh dengan ayakan 50 mesh (mengacu kepada penelitian Nuryoto dan Hartono, 2018, Ramadhan dkk., 2019, serta Nindya dkk., 2020). Hal tersebut dilakukan supaya luas kontak meningkat ketika zeolit digunakan sebagai katalis. Lakukan proses aktivasi dengan memasukkan katalis ke dalam larutan Asam Sulfat 6 N selama 2 jam sambil dilakukan pemanasan dengan suhu 110°C. Kemudian katalis dibilas dengan aquades sampai 4 kali dan dilakukan proses pemanasan selama 2 jam pada oven dengan suhu 200°C (Nuryoto, dkk., 2021). Proses ini bertujuan untuk memperbaiki dan memperkokoh struktur katalis. Setelah kering lakukan uji Amonia TPD untuk menentukan kualitas dan keberhasilan aktivasi pada zeolit.

3.4.2 Sintesis Triacetin dengan Proses Esterifikasi

Gilseol dan asam asetat ditimbang sesuai dengan rasio reaktan adalah 1:3, 1:4, dan 1:5 mol kemudian dipanaskan dengan suhu reaksi yaitu : 90°C, 100°C, 110°C, dan 120°C pada reaktor, dan suhu dijaga sesuai suhu reaksi yang telah ditentukan, diiringi proses pengaduk (700

rpm), setelah larutan tercampur sempurna dan suhu reaksi telah tercapai sampel diambil untuk dilakukan analisa asam awal (A_0). Dilakukan titrasi asam basa menggunakan NaOH 0,5 N. Kemudian ditambahkan katalis alam klipnotilolit sebanyak 5% dari berat gliserol selanjutnya setelah waktu reaksi 1,2, 3, dan 4 jam, maka reaksi dihentikan bersamaan dengan itu dilakukan analisa asam bebas (A_b) yang penentuannya sama dengan asam awal. Setelah reaksi selesai, dilakukan 2 proses percobaan yaitu dengan tidak dilakukan proses kondensasi (untuk suhu 100°C) dan dengan proses kondensasi. Proses kondensasi dilakukan pada suhu 90°C selama 4 jam karena pada suhu 90°C ini merupakan suhu optimal untuk mengakselerasi reaksi secara termal serta proses inti dapat ditinggal dalam waktu lama tanpa perlu penambahan pelarut atau kekhawatiran bejana reaksi mendidih hingga kering karena uapnya segera terkondensasi di dalam pendingin. Hal tersebut dikarenakan pelarut akan selalu mendidih pada suhu tertentu, maka dipastikan bahwa reaksi berlangsung pada suhu konstan. Setelah itu lakukan penyaringan menggunakan kertas saring Whatman no. 42.

3.4.3 Karakteristik Katalis Zeolit Klipnotilolit

Uji karakterisasi katalis zeolit alam lampung (ZAL) jenis klipnotilolit dilakukan dengan beberapa pengujian diantaranya uji XRD, Uji SEM dan uji FTIR dilakukan di Laboratorium terpadu Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

3.4.4 Karakteristik Triacetin

a. Identifikasi Komponen dan Konsentrasi Menggunakan GC-MS

- Preparasi Sampel

Ke dalam tabung reaksi produk dimasukkan kemudian 1 ml n-heksana ditambahkan untuk ekstrak biodiesel dari alkohol serta produk. Kemudian larutan NaCl jenuh ditambahkan sebanyak 3 ml. Bagian n- heksana (fase atas) dipindahkan ke dalam botol vial dan ditambahkan Na_2SO_4 anhidrat yang memiliki fungsi sebagai pengikat air agar air di dalam produk yang diuji hilang. Produk dimasukkan ke dalam botol vial kedua dan Na_2SO_4 anhidrat agar tidak ikut tercampur dan produk langsung bisa untuk proses analisis (Asriani, 2016: 29).

- Analisis dengan GC-MS

Lakukan pengaktifan GC-MS kemudian tampilan analisis diatur, pada monitor pilih sampel login. Kedalam *autoinjector*, suntikan produk sebanyak 1 μ L. Analisis GC dapat dihentikan dengan klik ketika grafik telah terlihat datar. Komponen yang paling mirip dari beberapa komponen dari bobot molekul serta tinggi inten *peaknya* yang ditunjukkan oleh puncak grafik yang diidentifikasi (Asriani, 2016: 29).

b. Konversi Gliserol

Konversi Asam Asetat menjadi triacetin dapat dihitung sebagai berikut

:

$$\% \text{ konversi Gliserol} = \frac{\text{asam awal} - \text{asam bebas}}{\text{asam awal}} \times 100\%$$

(Ernawati dkk., 2015)

Asam Awal (A_0) dan Asam bebas (A_b)

Sebanyak 1 gram sampel untuk ditimbang dalam erlenmeyer 250 ml, kemudian ditambahkan 10 ml HCl. Erlenmeyer disambungkan dengan kondensor dan dipanaskan secara perlahan selama 1 jam. Kemudian didinginkan, sebanyak 1 ml indikator pp ditambahkan, dan dititrasi dengan menggunakan NaOH 0,5 N sampai berwarna merah muda seulas (catat volume NaOH lakukan yang sama untuk blanko).

Asam awal dan asam bebas

$$= \frac{40 \times (V_{\text{NaOH blanko}} - V_{\text{NaOH sampel}}) \times N_{\text{NaOH}}}{\text{berat sampel}} \times 100\%$$

(SNI 7182,2015).

c. Penentuan Densitas

Piknometer yang kering ditimbang sebagai (a), selanjutnya piknometer diisi aquades hingga tanda batas. Dihimpitkan dan dicatat berat penimbangan sebagai (b). Hal tersebut dilakukan pada sampel yaitu ditimbang piknometer yang telah diisi oleh triacetin. Dihimpitkan, hasil penimbangan dicatat sebagai (c).

Perhitungan:

Bobot piknometer kosong (b) : a gram
Bobot piknometer + aquades

Bobot aquades : (b - a) gram

Bobot piknometer kosong : a gram

Bobot piknometer + Triacetin : c gram

Bobot Triacetin : (c - a) gram

Perhitungan gravitas spesifik (Sg^t)

$$Sg^t \text{ sampel} = \frac{(c-a)\text{gram}}{(b-a)\text{gram}}$$

Perhitungan densitas air (d^t) suhu kamar, t°C

$$d_{aq}^t = 0,99740 \text{ g/cm}^3$$

Perhitungan densitas (d^t)

$$d^t = Sg \times d_{aq}^t$$

d. Penentuan Viskositas

Viskometer ostwald dibersihkan dan dikeringkan kemudian diisi aquades pada sisi kanan dan dimasukkan ke dalam penangas air yang dilengkapi dengan termometer untuk mengukur suhu hingga berada suhunya 40°C. Melalui pipa kiri zat cair dihisap oleh bulb. Waktu yang diperlukan zat untuk mengalir dengan menggunakan *stopwatch* dari tanda b sampai a. Lakukan hal yang sama dalam pengukuran viskositas triacetin.

Perhitungan :

η_1 = koefisien viskositas zat cair

η_2 = koefisien viskositas triacetin

ρ_1 = kerapatan zat cair

ρ_2 = kerapatan triacetin

t₁ = waktu alir zat cair

t₂ = waktu alir triacetin

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{\rho_1 t_1}{\rho_2 t_2}$$

(Rezeki, 2018)

3.5 Variabel Penelitian pada Sintesis Triacetin

3.5.1 Variabel Tetap

1. Konsentrasi katalis 5% massa asam asetat.
2. Kecepatan pengadukan 700 rpm.

3.5.2 Variabel Berubah

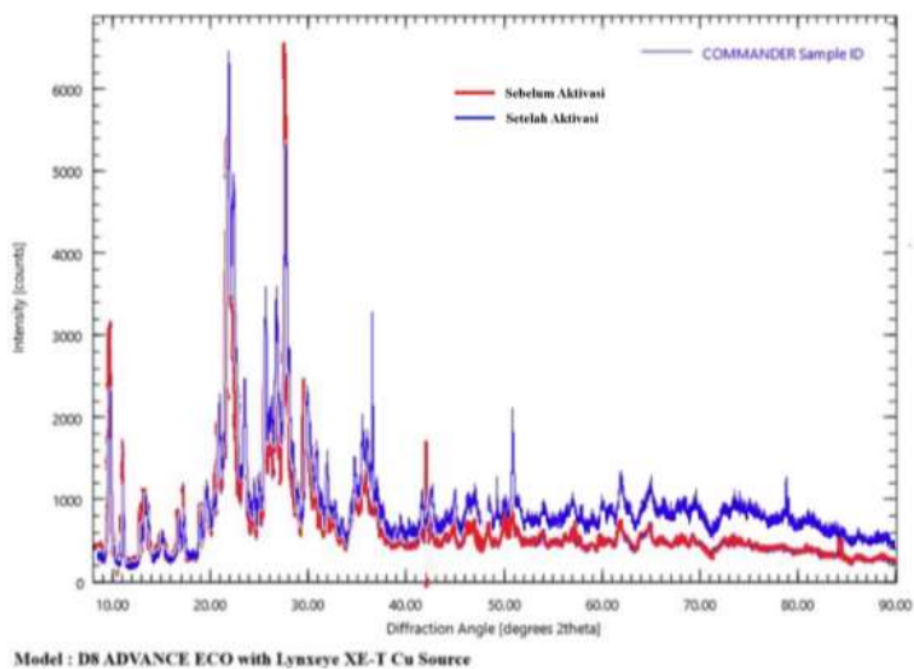
1. Suhu yang digunakan yaitu 100°C, 110°C, dan 120°C.
2. Konsentrasi reaktan yaitu 1:4, 1:5 dan 1:6.
3. Lamanya waktu proses sintesis triacetin adalah 1 jam, 2 jam, 3 jam, dan 4 jam.

BAB IV HASIL dan PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Zeolit Alam Lampung (Klinoptilolit)

- Uji XRD

Keberhasilan aktivasi kimia zeolit alam diketahui dengan membandingkan XRD sampel zeolit alam lampung (ZAL) sebelum dan sesudah pengaktifan. Profil XRD dapat mengidentifikasi konten dan kristalinitas katalis ZA yang dapat mempengaruhinya kinerja dalam esterifikasi. Perbandingan tersebut dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. Spektrum XRD ZAL Sebelum dan Setelah Aktivasi

Pola difraktogram hasil analisis dengan XRD menunjukkan bahwa fase amorf lebih dominan pada zeolit alam yang belum diaktivasi dan fase kristal

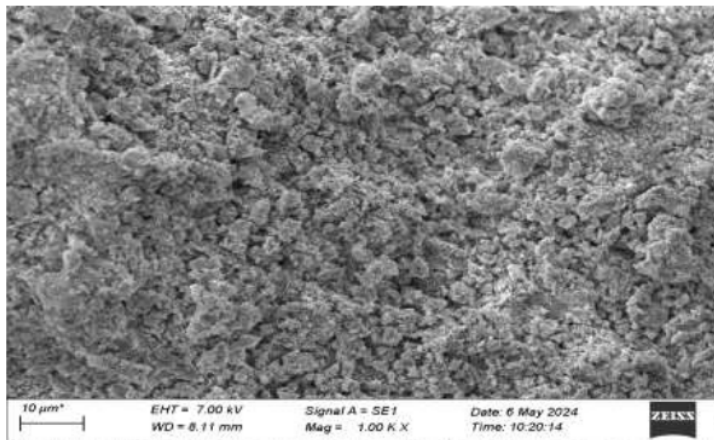
meningkat setelah diaktivasi. Fase amorf terbentuk pada puncak daerah 2 tetha disekitar $0^{\circ} - 20^{\circ}$. Sedangkan fase kristal di tandai dengan munculnya puncak difraktogram pada daerah 2 tetha disekitar $21^{\circ} - 31^{\circ}$. Peningkatan intensitas peak pada spektrum XRD ZAL teraktivasi mendominasi pada sudut difraksi lebih dari 30° . Disamping itu juga ditandai dengan jumlah peak yang lebih banyak pada struktur kristal tersebut (Mufrodi, Z dkk., 2018). Sedangkan pada hasil penelitian fase amorf lebih dominan diduga karena kerusakan saat aktivasi yang disebabkan oleh pemanasan pada suhu yang kurang optimal yaitu sebesar 200°C . Hal tersebut sesuai dengan penelitian dari Yulistiono, H. S dan Swastanti, B (2018) dimana katalis dipanaskan pada suhu 300°C sampai 500°C memberikan efek katalitik yang baik terlihat dari nilai konversi produk yang meningkat. Akan tetapi saat pemanasan yang digunakan kurang dari suhu optimal maka fase kristalisasi pada katalis tidak tercapai (Ebben, A dan Carrie, C., 2024).

Gambar 4.1 memperlihatkan karakter klinoptilolit dengan munculnya peak karaktersitik pada 2θ tidak ada perubahan yang utama komponen zeolit yaitu SiO_2 dan Al_2O_3 yang diidentifikasi di setiap zeolit sebelum dan setelah aktivasi. Difraktogram ZA sampel sebelum aktivasi (Gambar 4.1) menunjukkan utama puncaknya pada $27,60$ 2θ dan $59,7$ untuk SiO_2 dan 33 untuk Al_2O_3 . Sedangkan sampel Zeolit Alam Lampung setelah aktivasi proses (Gambar 4.1) menghasilkan difraktogram dengan puncak utama pada $21,86$ 2θ dan $101,5$ untuk SiO_2 dan tidak ada (-) untuk Al_2O_3 . Lestari dkk. (2010) menyatakan bahwa Si dan Al merupakan unsur utama Zeolit Alam yang komposisinya tergantung pada asal usulnya dan secara umum Zeolit alam yang terdapat di Indonesia sebagian besar

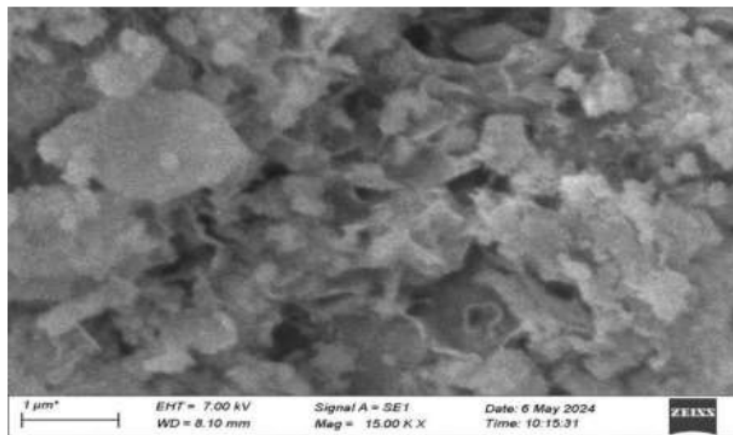
mengandung jenis mordenit dan klinoptilolit.

⁵ - Uji SEM

Morfologi permukaan padatan zeolit dianalisis menggunakan SEM guna mengetahui tipologi dari zeolit meliputi tekstur dan dispersi dari logam yang dimodifikasikan pada ZAL. Hasil analisis SEM ZAL dapat dilihat pada **Gambar 4.2.** dan **Gambar 4.3.**

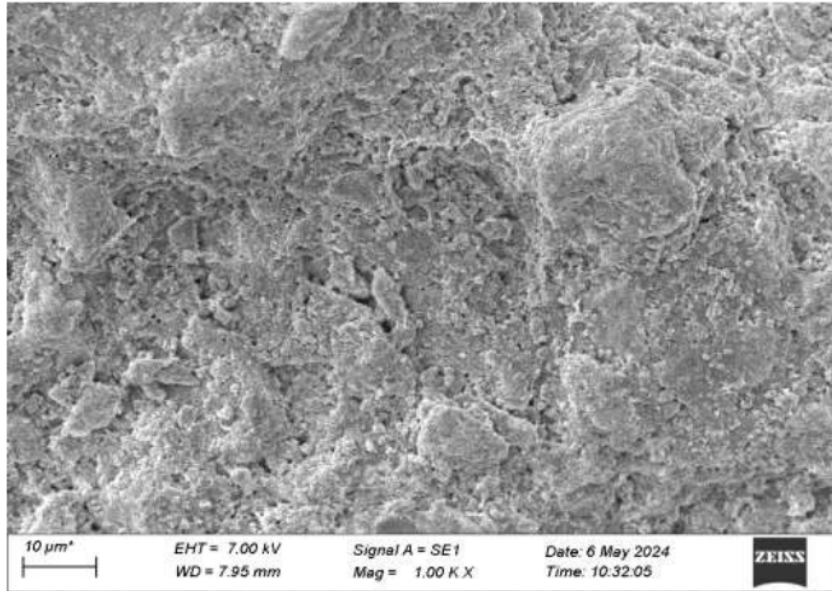


(a) Morfologi ZAL pada Perbesaran 1.00 KX

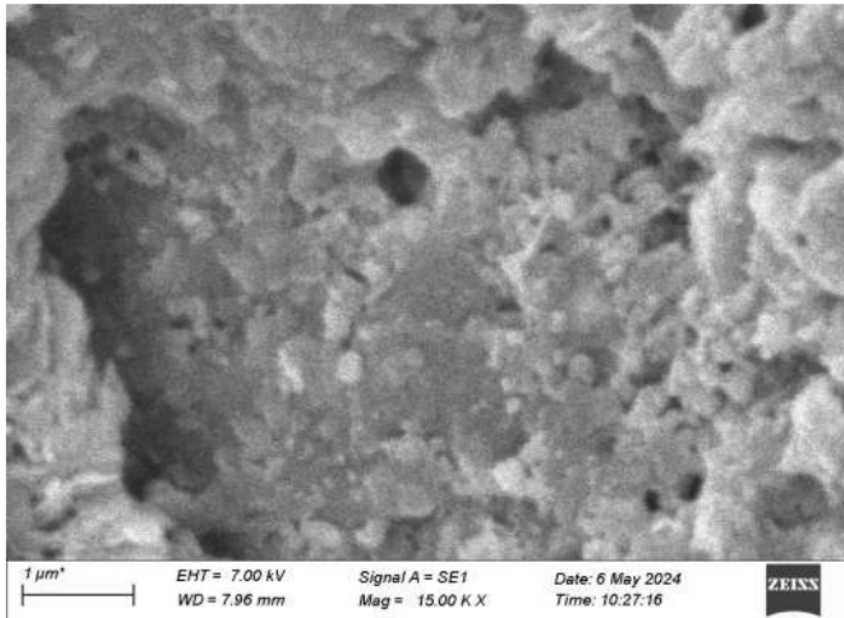


(b) Morfologi ZAL pada Perbesaran 15.00 KX

Gambar 4.2 Hasil SEM ZAL Sebelum Aktivasi



(c) Morfologi ZAL pada Perbesaran 1.00 KX



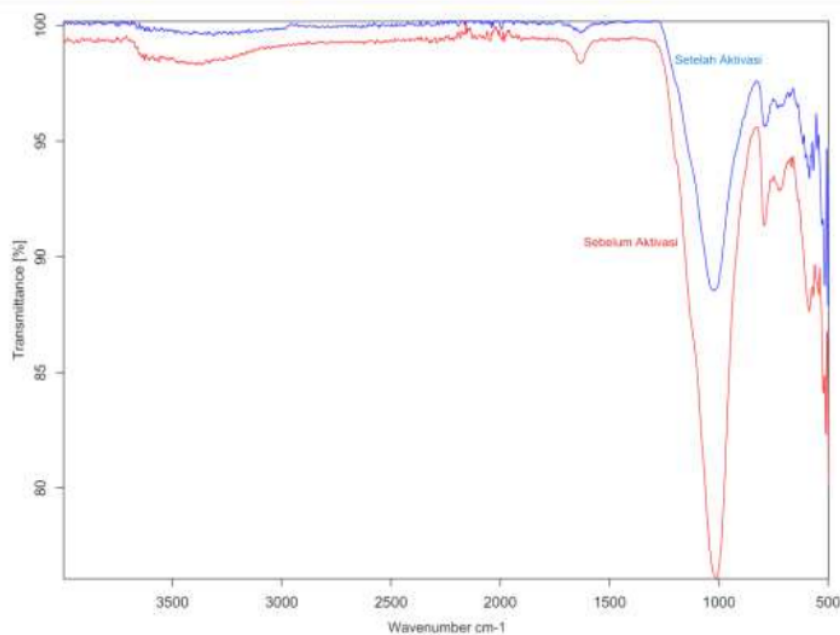
(d) Morfologi ZAL pada Perbesaran 15.00 KX

Gambar 4.3. Hasil SEM ZAL Setelah Aktivasi

Morfologi ZAL sebelum aktivasi merupakan suatu kristal berpori yang masih rapuh yang dapat dilihat dari bentuk struktur dari katalis pada **Gambar 4.2** sedangkan ZAL yang sudah diaktivasi terlihat lebih keras dan memiliki struktur lebih padat. ZAL diaktivasi dengan cara diasamkan menggunakan asam mineral HCl untuk menghilangkan senyawa anorganik yang menutup pori-pori pada zeolit serta mengurangi jumlah kation dalam zeolit. Pada proses aktivasi, ion H^+ akan bereaksi mengurai ikatan atom Al yang berada pada struktur ZAL. Ion H^+ ini akan menyerang atom oksigen yang terikat pada Si dan Al. Berdasarkan harga energi disosiasi ikatan Al-O (116 kJmol⁻¹) jauh lebih rendah dibandingkan energi disosiasi ikatan Si-O (190 kJmol⁻¹), maka ikatan Al-O jauh lebih mudah terurai jika dibandingkan dengan Si-O, sehingga ion H^+ akan cenderung menyebabkan terjadinya pemutusan ikatan Al-O dan akan membentuk gugus silanol. ZAL yang teraktivasi asam memiliki nilai keasaman paling rendah hal ini dapat terjadi karena ZAL sebelum teraktivasi jumlah pengotornya jauh lebih banyak dibandingkan setelah diaktivasi (Fatimah, N dan Budi U., 2017).

- Uji FTIR (*Fourier Transform IR*)

Analisis FTIR produk reaksi bertujuan untuk mengenali keberadaan gugus fungsi dalam Zeolit Alam Lampung.



Gambar 4.4. Spektrum FTIR ZAL Sebelum dan Setelah Aktivasi

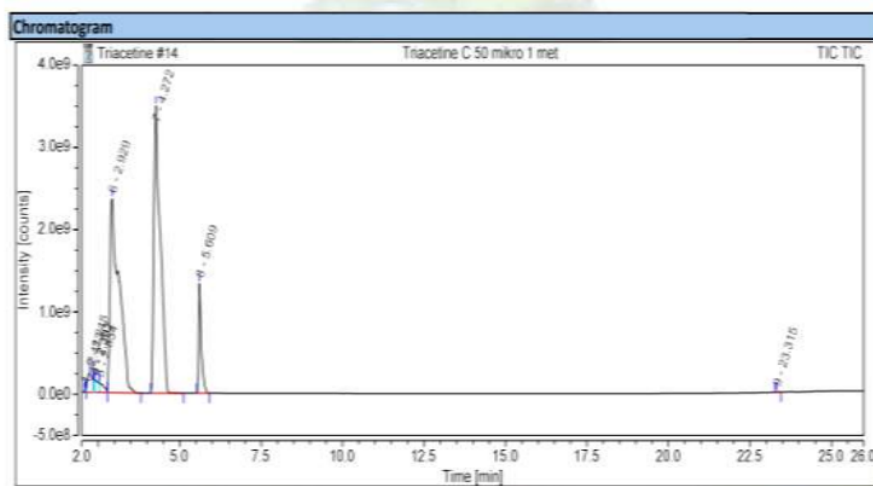
Gambar 4.4. menunjukkan spektrum FTIR dari sampel ZAL Hasil FT-IR sebelum aktivasi memperlihatkan panjang gelombang $1632,79\text{ cm}^{-1}$ untuk gugus O-H, $1011,41\text{ cm}^{-1}$ dan $792,69\text{ cm}^{-1}$ untuk gugus Al-O/Si-O mempunyai pita lebih lemah dibandingkan dengan hasil FT-IR ZAL setelah aktivasi pada panjang gelombang $1628,02\text{ cm}^{-1}$ untuk gugus O-H, $1029,96\text{ cm}^{-1}$ untuk gugus dan $784,24\text{ cm}^{-1}$ untuk gugus Al-O/SiO (Nsimba E.B dkk., 2015).

4.2 Karakteristik Triacetin

- Uji GC-MS

Hasil GC-MS dipergunakan dalam mengetahui komponen hasil dari reaksi serta kadar dari masing-masing dan juga diduga senyawa komponen berdasarkan data kelimpahan massa dan fragmentasi hal tersebut dapat dilihat pada

kromatogram produk sintesis triacetin **Gambar 4.5.**



Gambar 4.5. Kromatografi Triacetin dengan Perbandingan Pereaksi 1 :4 suhu 100°C dan Waktu Reaksi 4 jam

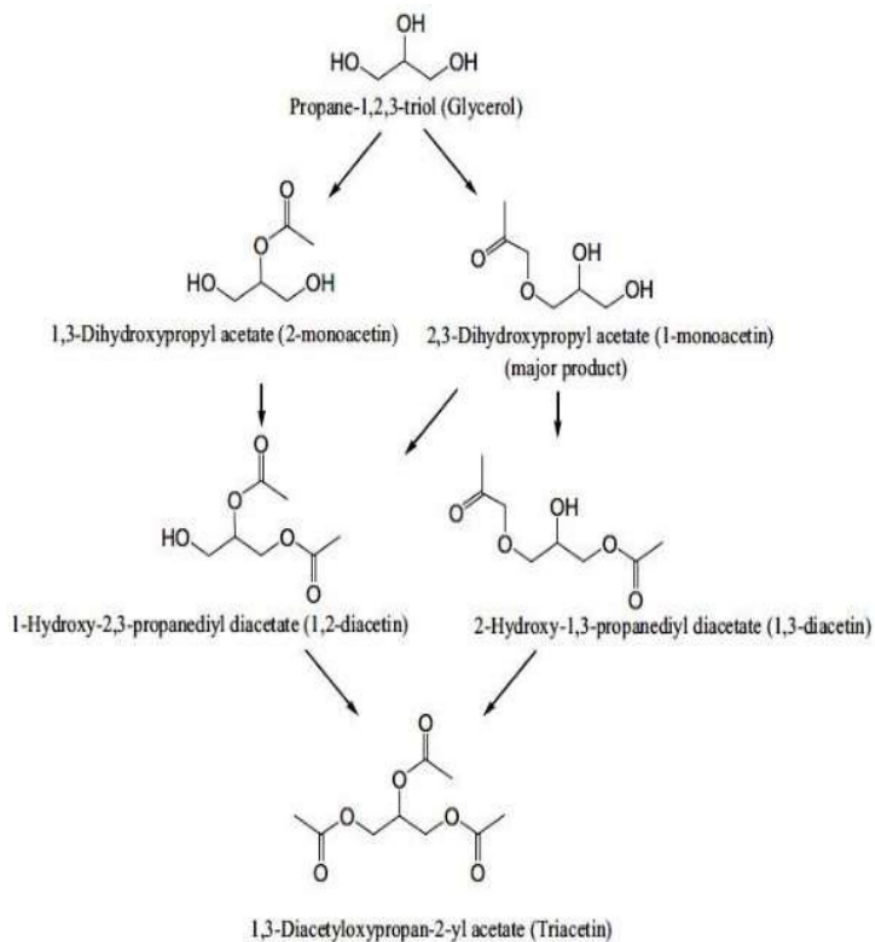
Tabel 4.1. Perhitungan Relative Area

No	Peak Name	Component	Retention Time (min)	Area Counts (min)	Height Counts	Relative Area (%)
1.	1	Asam Asetat	2,201	77419720,267	435303810,183	7,22
2.	3	Gliserol	2,919	493327889,895	3265960921,910	46,01
3.	6	Diacetin	4,320	414897718,293	3358712834,080	38,69
4.	7	Triacetin	5,599	51249931,272	1222301295,164	14,08

Gambar 4.5. dan **Tabel 4.1.** menunjukkan empat puncak dominan pada Rt 2,201, 2,919, 4,320, dan 5,599 yang berturut-turut mengindikasikan senyawa asam asetat, gliserol, diacetin, dan triacetin. Produk triacetin yang terbentuk sebesar 14,08 % dan produk antara diacetin sebesar 38,69 %. Sebagian besar adalah gliserol yang belum terkonversi sebesar 46,01 %. Pada saat reaksi esterifikasi gliserol,

gugus OCOCH_3 (grup asetil) menggantikan gugus -OH dengan proses asetilasi secara bertahap oleh kelompok -OH pada gliserol. Hal tersebut didukung dengan munculnya produk diacetin pada kromatogram produk sintesis. Dengan demikian mekanisme reaksi pembentukan triacetin sesuai dengan yang diusulkan pada

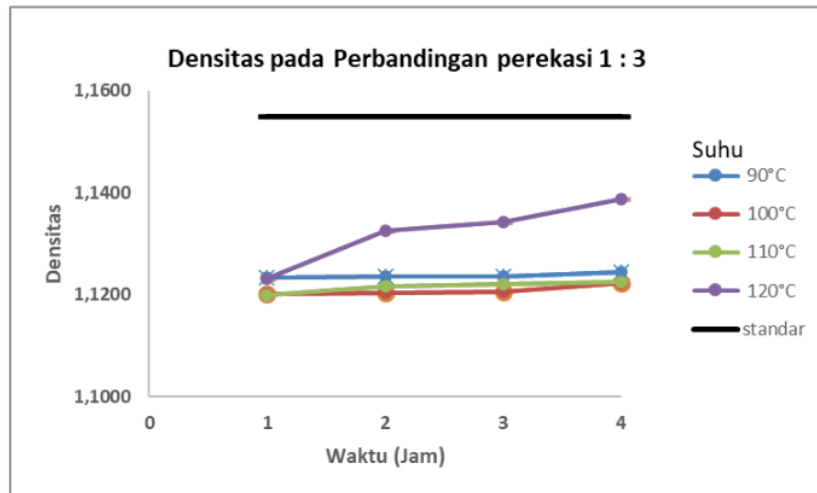
Gambar 4.6



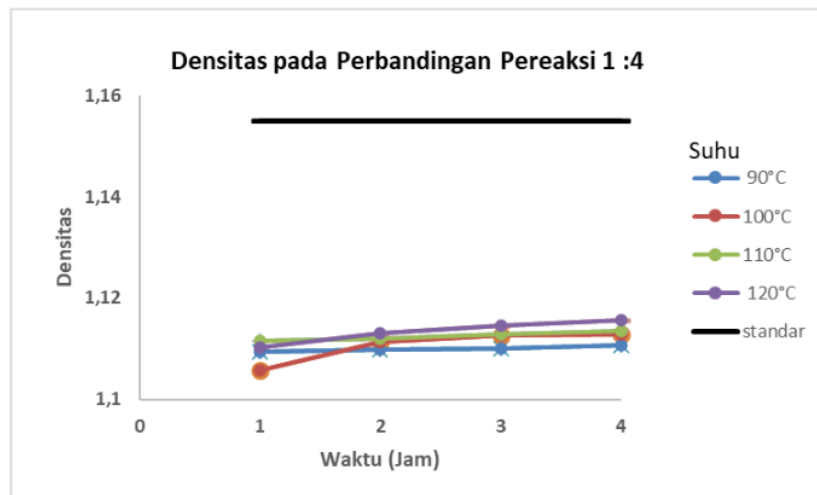
Gambar 4.6. Skema Asetilasi Gliserol Menjadi Triacetin (Konwal, L. J dkk., 2015)

- Densitas

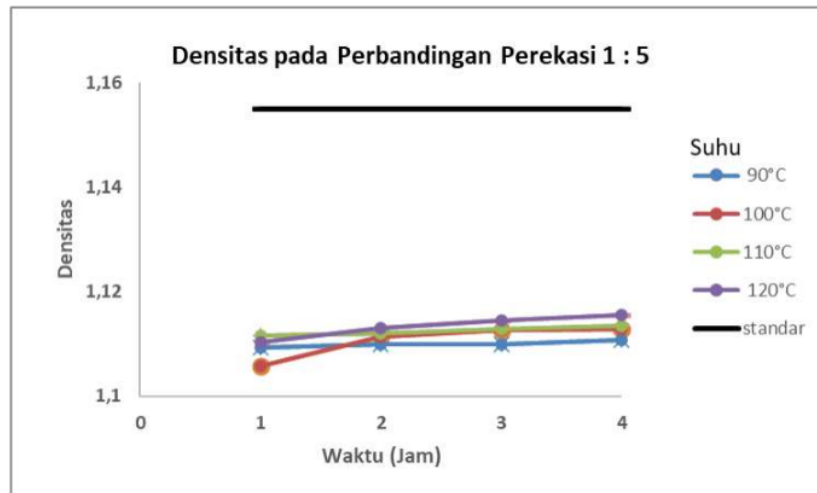
Seiring dengan bertambahnya suhu dan perbandingan pereaksi nilai densitas pun semakin meningkan hal tersebut terdapat pada Gambar 4.7-4.9.



Gambar 4.7. Densitas pada Perbandingan Pereaksi 1 : 3



Gambar 4.8. Densitas pada Perbandingan Pereaksi 1 : 4



Gambar 4.9. Densitas pada Perbandingan Pereaksi 1 : 5

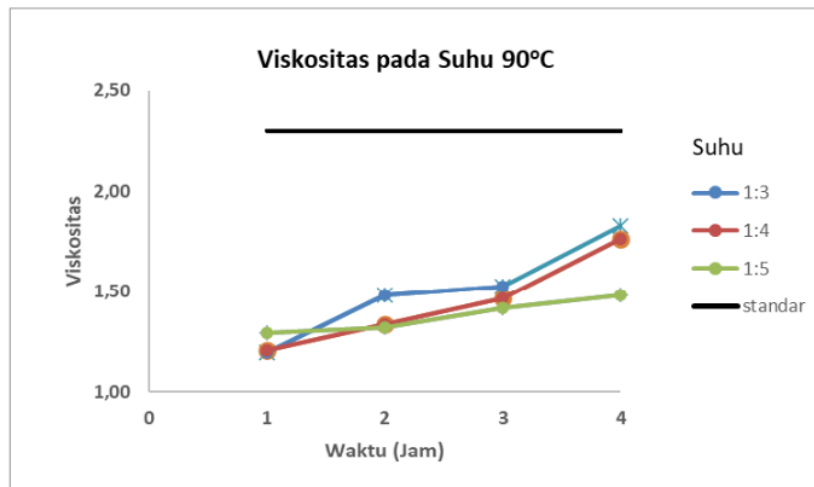
Densitas merupakan sifat dasar materi sebagai massa per satuan volume. Densitas triacetin pada temperatur ruang adalah 1,155 g/mL. Setiap zat memiliki nilai densitas tertentu sehingga densitas dapat menjadi salah satu indikator kemurnian zat. Pada penelitian ini dilakukan pengujian densitas setiap produk untuk melihat perbandingan profil produk dengan triacetin murni. Gambar 4.7 – 4.9 menunjukkan profil densitas produk-produk sintesis pada berbagai suhu dengan perbandingan reaksi (Zulfia, A dan M. Arianti., 2006).

Pengaruh perbandingan pereaksi gliserol : asam asetat terhadap densitas produk yang dihasilkan adalah pada pereaksi 1 : 3 (suhu 120°C) menunjukkan profil densitas yang paling tinggi (1,14 g/mL) dan mendekati nilai densitas triacetin standar (1,15 g/mL). Pada perbandingan pereaksi 1 : 4 dan 1 : 5 menunjukkan densitas produk yang jauh menurun hingga 1,115 g/mL. Hal ini mengindikasikan reaktan berlebih dapat mengurangi kemurnian produk.

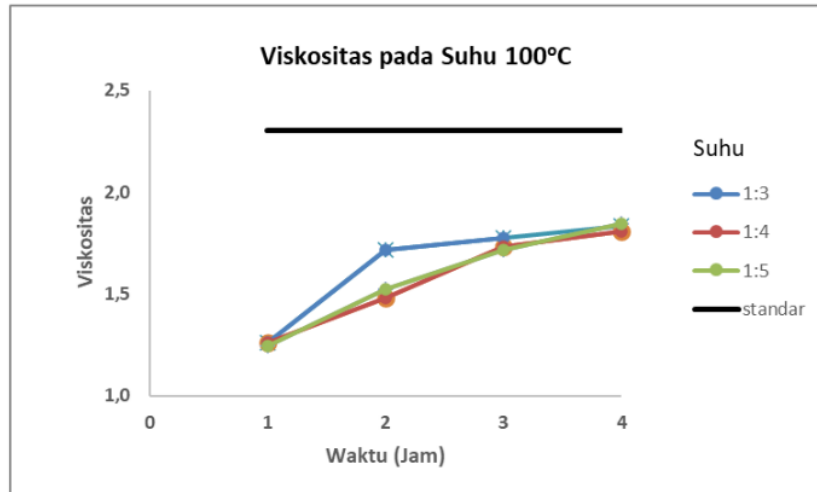
- Viskositas

Gambar 4.10-4.13 menunjukkan profil viskositas produk-produk dari reaksi pada berbagai variasi suhu dan perbandingan pereaksi. Secara umum, viskositas produk masih di bawah viskositas triacetin standar karena kurangnya tingkat kemurnian produk. Produk hasil reaksi pada variasi suhu paling tinggi (120°C) memiliki nilai viskositas (2,1) yang paling mendekati nilai viskositas triacetin standar (2,3). Hal ini menunjukkan faktor suhu sangat memengaruhi keberlangsungan reaksi dan pembentukan produk triacetin. Produk-produk hasil reaksi pada variasi suhu di bawah 120°C memiliki viskositas lebih kecil dari 2 yang mengindikasikan kurang optimalnya pembentukan triacetin.

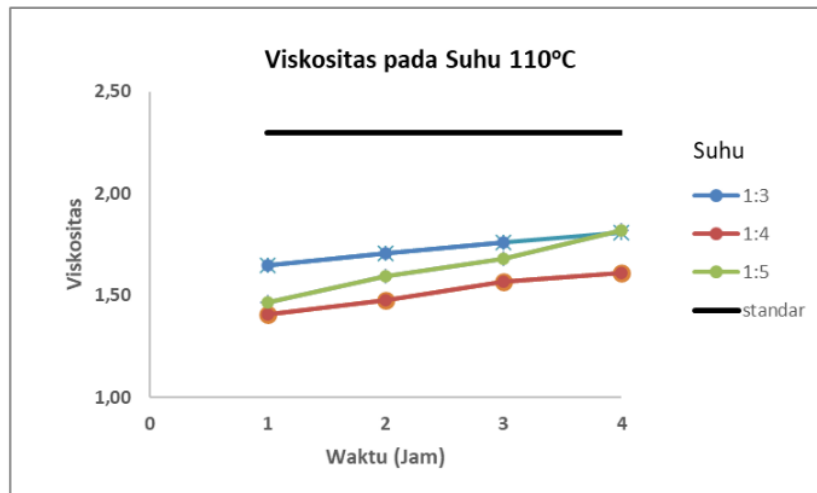
Secara umum, perbandingan pereaksi gliserol : asam asetat 1 : 3, pada berbagai variasi temperatur reaksi, menghasilkan produk dengan viskositas paling tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa reaktan berlebih yang terikut bersama produk akan menurunkan kemurnian produk.



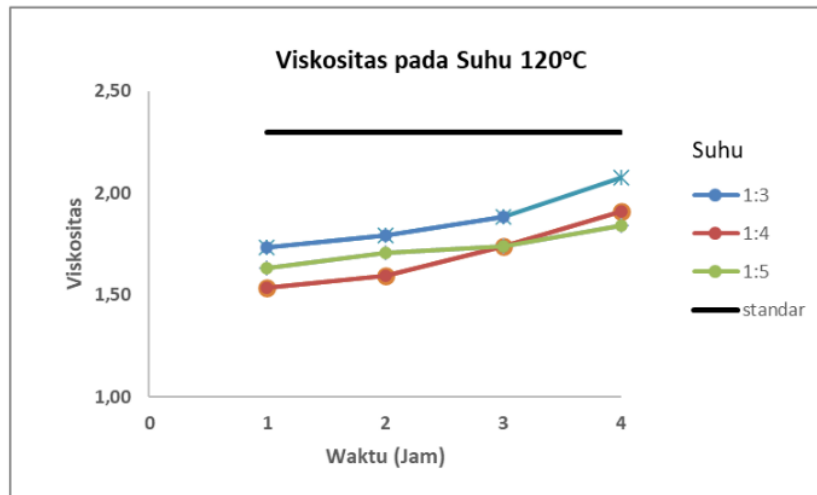
Gambar 4.10. Viskositas pada Suhu 90°C



Gambar 4.11. Viskositas pada Suhu 100°C



Gambar 4.12. Viskositas pada Suhu 110°C



Gambar 4.13. Viskositas pada Suhu 120°C

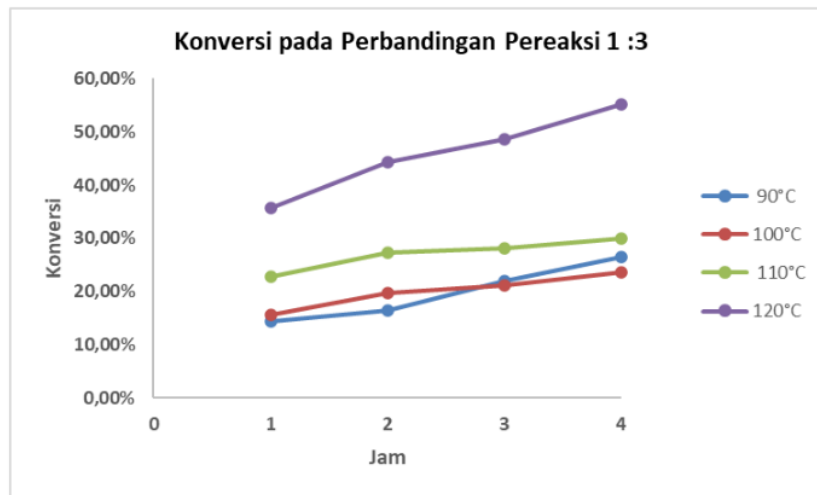
Nilai viskositas semakin naik seiring dengan naiknya konsentrasi Triacetin. Kenaikan viskositas ini disebabkan oleh konsentrasi larutan menyatakan banyaknya partikel zat yang terlarut tiap satuan volume. Partikel terlarut yang nilainya semakin banyak maka viskositasnya semakin tinggi pula yang disebabkan oleh gesekan antar partikel semakin tinggi (Lumbantoruan, P dan Erislah, 2016).

4.3 Pengaruh Suhu terhadap Sintesis Triacetin

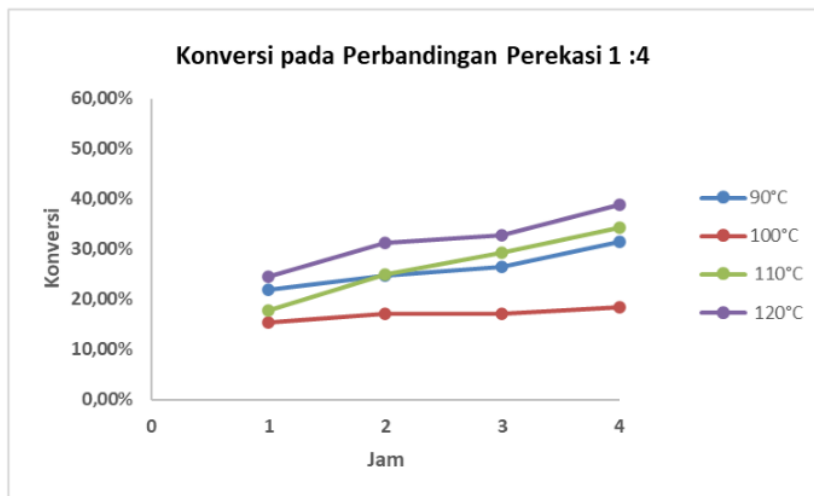
- Konversi

Suhu reaksi berpengaruh pada gerakan molekul-molekul maupun pada viskositas fluida yang ada pada sistem reaksi. Peningkatan suhu reaksi akan meningkatkan tumbukan molekul reaktan dan difusivitas reaktan ke sisi aktif katalistor (Fogler, H.S., 1999), dan diharapkan akan mampu menghasilkan konversi reaktan yang menjadikan produk semakin lebih besar. Beberapa peneliti yang telah melakukan kajian pengaruh suhu dalam suatu reaksi kimia adalah penelitian Satriadi,

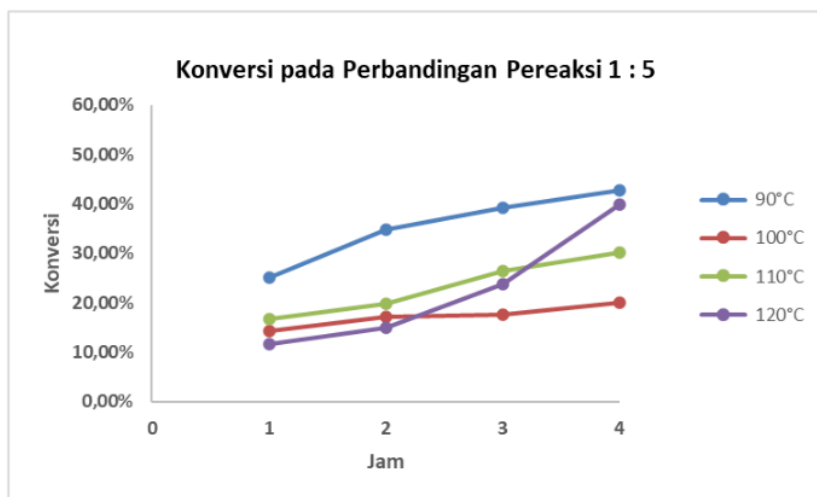
H (2015) 80°C-120°C kenaikan nilai konversi. Kecepatan reaksi akan semakin tinggi seiring dengan semakin tingginya suhu reaksi yang digunakan. Hal tersebut sesuai persamaan Arrhenius, dimana nilai konversi yang diperoleh semakin besar sebagai hasil dari kecepatan reaksi yang bertambah saat suhu reaksi juga semakin tinggi. Hal ini sesuai dengan hasil dari penelitian yang terdapat pada Gambar 4.14-4.16.



Gambar 4.14. Nilai Konversi Gliserol pada Perbandingan Pereaksi 1:3



Gambar 4.15. Nilai Konversi Gliserol pada Perbandingan Pereaksi 1:4



Gambar 4.16. Nilai Konversi Gliserol pada Perbandingan Pereaksi 1:5

Menurut Hidayati, N dkk., 2021 bahwa interaksi antara reaktan dan katalis meningkat seiring dengan meningkatnya suhu. 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 (Kulkarni dkk., 2020).

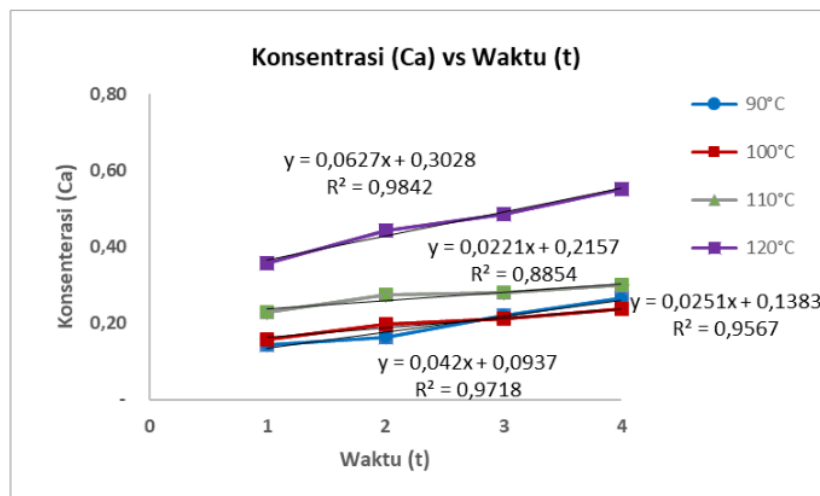
- Kinetika Reaksi

Model kinetika ini digunakan dalam menganalisis hasil dari penelitian yang telah dilakukan yaitu pada rasio pereaksi 1 : 3, 1:4, 1:5 dengan suhu yang digunakan adalah 90°C, 100 °C, 110 °C dan 120 °C. Analisis model kinetika ini dilakukan dengan menambahkan termometer ke dalam labu alas bulat leher tiga untuk menjaga suhu tetap konstan. Kinetika reaksi dianalisis menggunakan data konversi gliserol terhadap waktu yang disesuaikan untuk menentukan konstanta laju pada suhu yang berbeda menggunakan model kinetika orde 0, orde 1, dan orde 2.

Penentuan model yang dapat merepresentasikan hasil eksperimen dari proses esterifikasi pada sintesis triacetin, maka dapat dilihat dari nilai koefisien determinasi (R^2) dari setiap model kinetika yang digunakan. Suatu model kinetika dikatakan dapat merepresentasikan hasil eksperimen dengan baik apabila memiliki nilai R^2 yang mendekati 1 (Ansori, 2020). Kinetika reaksi Triacetin dapat dilakukan dengan pengujian terhadap model kinetika reaksi orde 0, orde 1, dan orde 2.

- Orde 0

Hubungan waktu (t) dengan konsentrasi dari hasil plot kedua varian tersebut diperoleh dengan perbandingan pereaksi 1:3 disajikan pada **Gambar 4.17**

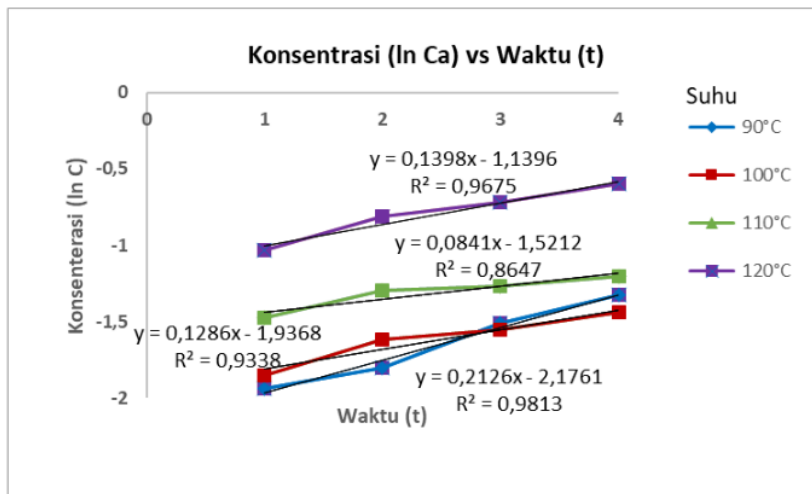


Gambar 4.17. Hubungan Konsentrasi (Ca) vs Waktu (t) dengan Perbandingan Pereaksi 1:3

Gambar 4.17 menunjukkan adanya pengaruh antara konsentrasi dengan waktu reaksi ini menunjukkan jika proses esterifikasi ini bukan merupakan orde reaksi 0 karena untuk orde reaksi 0 terjadi apabila waktu reaksi tidak dapat mempengaruhi besarnya konsentrasi.

- Orde Reaksi 1

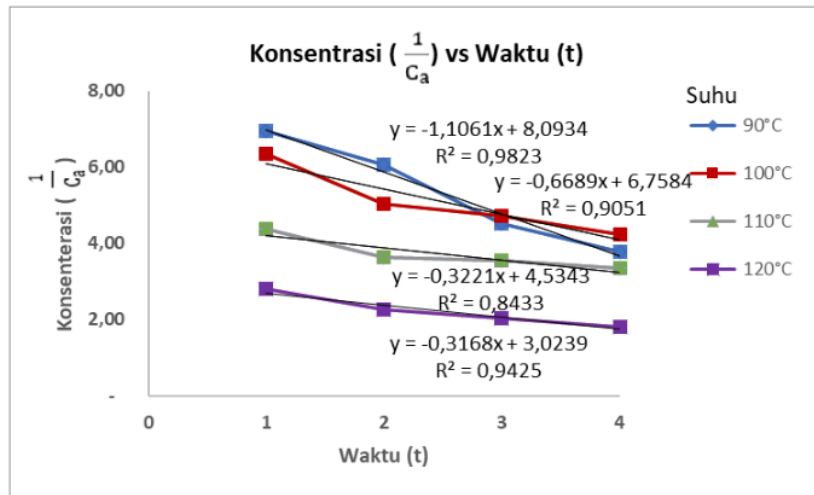
Hubungan waktu (t) dengan konsentrasi (ln Ca) dari hasil plot kedua varian tersebut dengan perbandingan pereaksi 1:3 disajikan pada **Gambar 4.18**.



Gambar 4.18. Hubungan Konsentrasi (ln Ca) vs Waktu (t) dengan Perbandingan Pereaksi 1:3

- Orde Reaksi 2

Hubungan waktu (t) dan konsentrasi $\frac{1}{Ca}$ dari hasil plot kedua varian dengan perbandingan pereaksi 1:3 disajikan pada **Gambar 4.19**.



Gambar 4.19. Hubungan Konsentrasi ($\frac{1}{C_a}$) vs Waktu (t) dengan Perbandingan Preaksi 1:3

Tabel 4.2. Nilai Koefisien Determinasi (R^2) Orde 1 dan Orde 2 pada Perbandingan Preaksi 1:3

Orde Reaksi	Suhu (T)	Koefisien Determinasi (R^2)
1	90°C	0,9813
	100 °C	0,9338
	110 °C	0,8647
	120 °C	0,9675
2	90°C	0,9823
	100 °C	0,9051
	110 °C	0,8433
	120 °C	0,9425

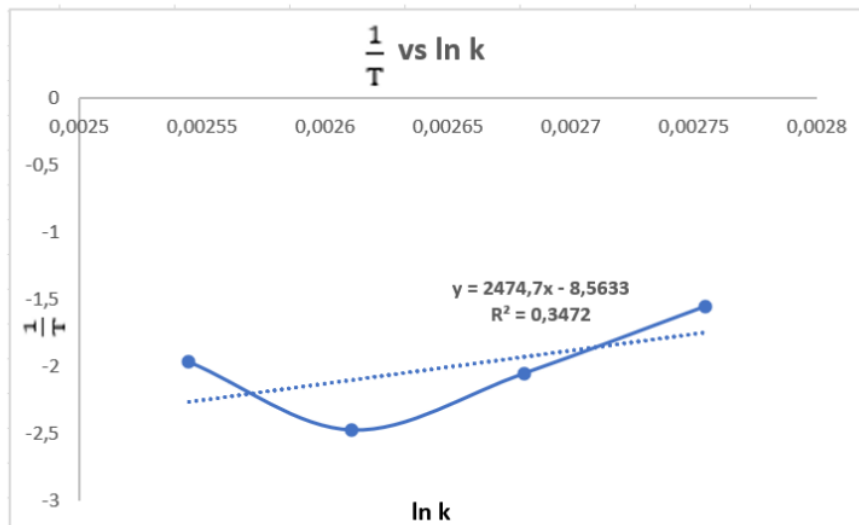
Tabel 4.3. Nilai Koefisien Determinasi (R^2) Orde 1 dan Orde 2 pada Suhu 110°C

Orde Reaksi	Perbandingan Pereaksi	Koefisien Determinasi (R^2)
1	1:3	0,8647
	1:4	0,9560
	1:5	0,9819
2	1:3	0,8433
	1:4	0,9106
	1:5	0,9742

Berdasarkan ¹ **Tabel 4.2.** dapat dilihat bahwa pada model kinetika orde 1 untuk reaksi esterifikasi pada rentang suhu 90-120°C dengan perbandingan pereaksi 1:3 ⁷⁸ memiliki nilai koefisien determinasi (R^2) yang lebih tinggi dibandingkan pada model kinetika orde 2. Begitu juga dengan perbandingan pereaksi yang berbeda misalnya saja pada suhu 110°C nilai R^2 lebih besar dibandingkan dengan orde reaksi ¹ 2. Sehingga dapat dikatakan bahwa model kinetika orde 1 dapat merepresentasikan secara baik hasil eksperimen dari reaksi esterifikasi sintesis triacetin. Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada **Gambar 4.19.** dengan variabel rasio mol gliserol/asetat asam 1:3 untuk perhitungan orde 1 pada rentang suhu 90°C mempunyai nilai regresi yang mendekati 1. Nilai terbesar dari k ditemukan pada perbandingan rentang suhu 90°C yaitu 0,2126 s⁻¹. Berdasarkan hal tersebut, konsentrasi reaktan yang besar ⁵ mengandung jumlah partikel yang lebih banyak, sehingga partikelnya lebih banyak tersusun rapat. Partikel yang mempunyai susunan padat ¹⁵ akan lebih sering bertumbukan sehingga berpeluang reaksi yang

terjadi semakin besar (Poosumas, J dkk., 2016).

Variasi suhu digunakan dalam proses penelitian yaitu 90°C, 100 °C, 110 °C, dan 120 °C. Nilai konversi akan semakin tinggi saat suhu pun menjadi lebih tinggi. Hal tersebut sesuai dengan persamaan Arrhenius. Pada suhu 90°C didapatkan konstanta kecepatan reaksi sebesar 0,2126 s⁻¹ , 100°C sebesar 0,1286 s⁻¹, 110°C sebesar 0,0841 s⁻¹, dan 120°C sebesar 0,1398 s⁻¹. Untuk mendapatkan nilai konstanta kecepatan reaksi maka dibuat grafik hubungan $1/T$ terhadap $\ln k$.



Gambar 4.20. Grafik Hubungan $1/T$ terhadap $\ln k$

Besarnya peningkatan laju reaksi yang dihasilkan akan berbanding secara eksponensial satu per satuan suhu reaksi. Suatu reaksi perubahan akan mulai berlangsung jika diberikan sejumlah energi minimum yaitu energi aktivasi (E_a) hal tersebut sesuai dengan teori aktivasi. Untuk menentukan energi aktivasi digunakan persamaan :

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{R} \times \frac{1}{T} \quad (25)$$

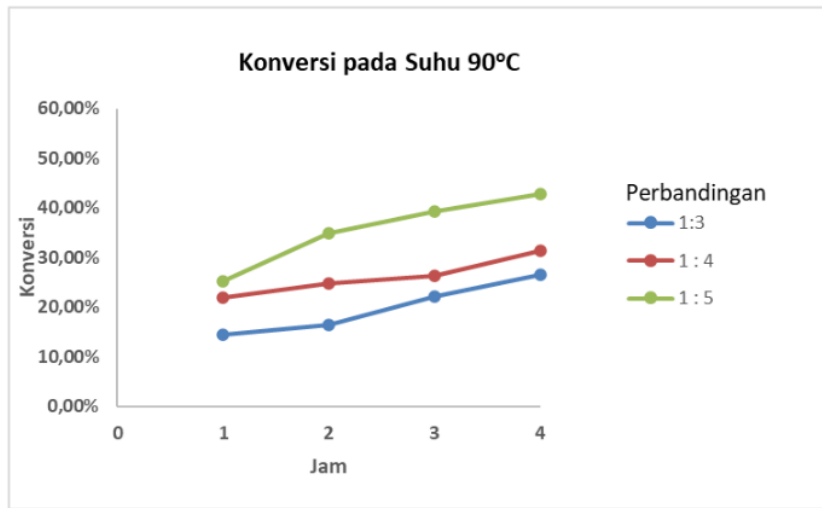
Kemudian terjadilah hubungan linier antara $\ln k$ (sumbu y) terhadap $\frac{1}{T}$ (sumbu x) dengan kemiringan $-E_a/RT$ dan potongan sumbu y sama dengan $\ln A$. Dari hasil perhitungan diperoleh persamaan $y = 2474,7x - 8,5633$ sehingga diperoleh nilai nilai energi aktivasi (E_a) sebesar $-20574,66$ J/mol atau $-20,57$ kJ/mol dan faktor tumbukan (A) sebesar $0,0002 \text{ s}^{-1}$ (orde 1). Energi aktivasi (E_a) merupakan energi minimum yang diperlukan oleh suatu reaktan agar mengalami perubahan menjadi produk (sehingga terjadilah reaksi). Energi aktivasi (E_a) pada penelitian ini bernilai sangat besar yaitu $-20,57$ kJ/mol hal tersebut dikarenakan semakin besar energi aktivasi maka laju reaksinya semakin lambat karena energi minimum untuk terjadi reaksi semakin besar. Faktor yang mempengaruhi energi aktivasi (E) yaitu suhu (T), faktor eksponensial (k_0). Semakin kecil harga $\ln k$ maka harga $\frac{1}{T}$ rata-rata semakin besar. Hal tersebut menunjukkan semakin tinggi suhu maka energi aktivasinya akan semakin kecil dan semakin sedikit waktu yang diperlukan sehingga akan memperbesar harga laju reaksi. Semakin banyak molekul yang memiliki probabilitas untuk dapat bereaksi membentuk produk dimana semakin tinggi suhu, produk esterifikasi semakin meningkat (Du, Y., 2021).

Pada reaksi reversibel dan eksotermik, jika suhu dinaikkan maka reaksi akan bergeser ke arah pembentukan reaktan. Kondisi ini perlu diantisipasi dengan beberapa cara agar keseimbangan tetap terjaga bergeser ke kanan untuk pembentukan produk. Hal ini sejalan dengan persamaan van't Hoff yang mengangkat keseimbangan konstanta sebanding dengan $\frac{1}{T}$. Dengan kata lain, $\ln k$

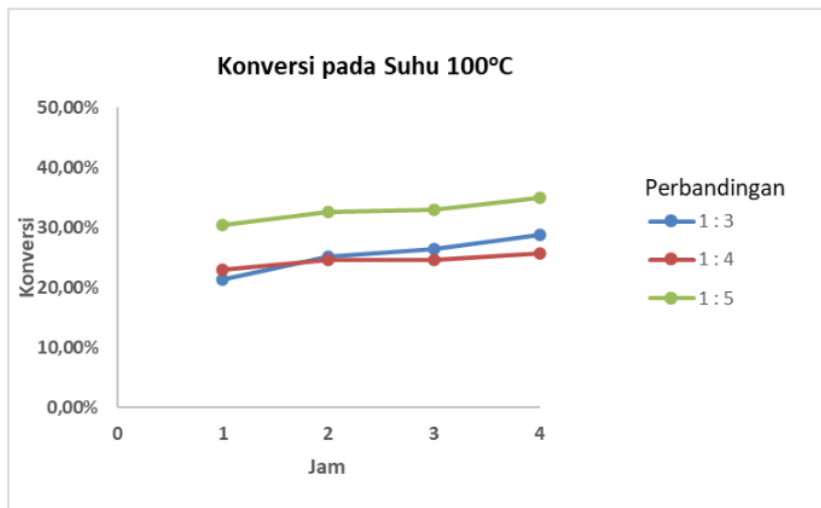
pada suhu reaksi menyebabkan penurunan (Atkins, P dan Paula, J. 2006) fenomena tersebut dapat dilihat pada **Gambar 4.20**. Energi aktivasi (E_a) suhu 120°C lebih kecil dibandingkan yang lain. Hal ini menandakan akan segera terbentuknya monoasetin berubah menjadi diasetin. Fenomena ini sejalan dengan kondisi produk diasetin lebih banyak dibandingkan triasetin (Mufrodi, Z dan Arief, B., 2012).

4.4 Pengaruh Perbandingan Pereaksi terhadap Sintesis Triasetin

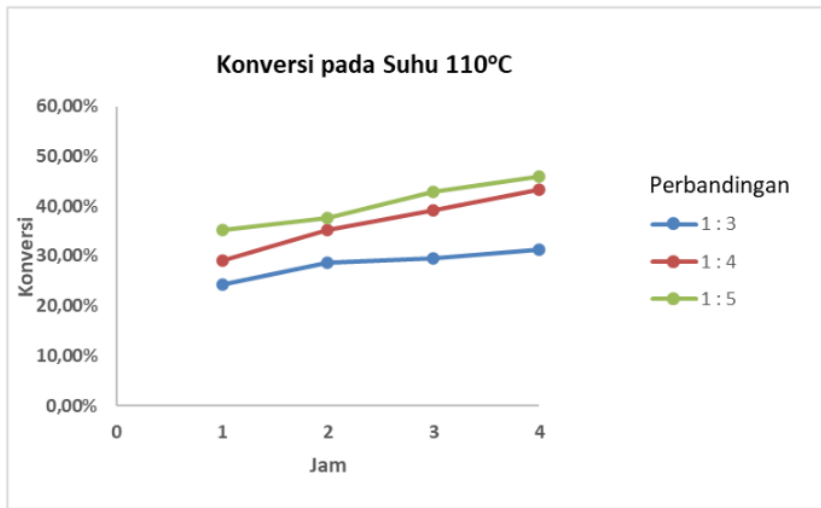
Menurut asas Le Chatelier dimana bila mol reaktan ⁹⁴ ditambahkan maka arah reaksi akan bergeser ke arah produk sehingga semakin besar asam asetat ¹ yang ditambahkan maka produk yang dihasilkan akan semakin besar, sehingga seharusnya perbandingan rasio mol yang lebih tinggi memiliki konversi yang lebih tinggi dibandingkan perbandingan rasio mol reaktan yang lebih rendah (Yulvianti, M dkk., 2016). Alasan dari penggunaan katalis dalam sintesis triasetin adalah untuk penurunan energi aktivasi (E_a), sehingga pereaksi mudah bereaksi dan produk pun mudah untuk terbentuk. Hal tersebut berlaku untuk reaksi esterifikasi dimana reaksi esterifikasi merupakan reaksi reversible ⁵² (Fessenden, R.J dan Fessenden, J.S., 1982), saat salah satu reaktan ³³ dibuat berlebih, maka reaksi akan bergeser ke arah kanan dan reaksi tumbukan antar molekul akan menjadi semakin besar juga sehingga nilai konversi menjadi lebih besar (McKetta, J. J, dan Cunningham, 1977). Hal tersebut dapat dilihat dari hasil penelitian yang terdapat pada ⁹ **Gambar 4.21-4.24**.



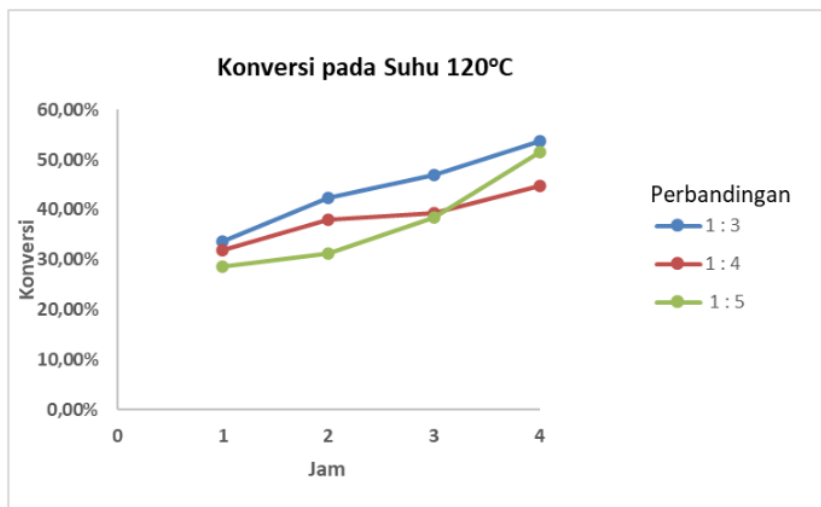
Gambar 4.21. Konversi Gliserol pada Suhu 90°C



Gambar 4.22. Konversi Gliserol pada Suhu 100°C



Gambar 4.23. Konversi Gliserol pada Suhu 110°C



Gambar 4.24. Konversi Gliserol pada Suhu 120°C

Hasil penelitian menunjukkan semakin besar perbandingan pereaksi akan semakin tinggi juga nilai konversinya akan tetapi pada suhu yang lebih tinggi yaitu 120°C konversi tertinggi dihasilkan oleh perbandingan pereaksi yang rendah. Perbandingan komposisi reaktan berpengaruh terhadap nilai konversi salah satunya

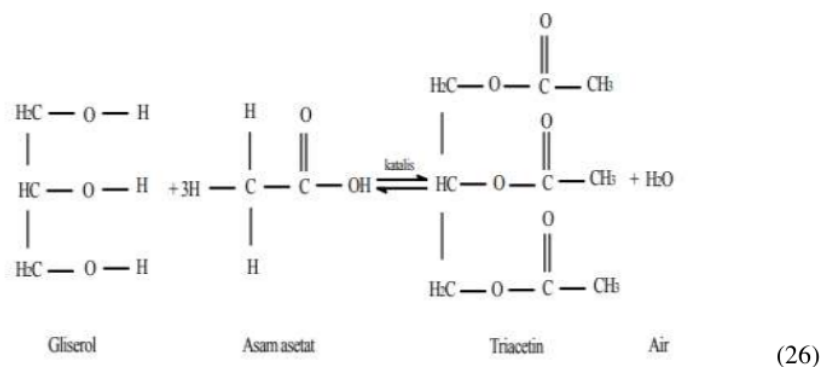
oleh Hamzah dkk (2019) nilai konversi reaktan pada rentang 76% sampai 100% bernilai baik. Dimana dalam penelitian adalah : 1:6 - 1:12 mol sering digunakan sebagai perbandingan antara gliserol dan asam asetat. Akan tetapi perbandingan 1:3 mol juga lebih sering digunakan karena komposisi pereaksi yang besar ini dapat mempersulit pemisahan antara reaktan dengan produk pada proses separasi, dan mengakibatkan semakin besar biaya operasinya serta perbandingan 1:3 menjadikan konversi pembentukan triacetin semakin meningkat (Nuryoto dkk., 2022).

Hal tersebut diperkuat oleh analisis dari Yulvianti, M (2016) konversi optimum yang diperoleh yaitu pada perbandingan ³¹ rasio mol reaktan 1 gliserol : 3 asam asetat sebesar 91.76%. Sedangkan untuk ³³ perbandingan rasio mol reaktan 1 gliserol : 5 asam asetat, dan 1 gliserol : 7 asam asetat mengalami penurunan konversi menjadi 86,73% dan 77,47%. Hal ini dapat disebabkan karena dengan peningkatan jumlah perbandingan mol asam asetat semakin banyak kadar air. Air ini merupakan tahanan bagi reaktan untuk berdifusi ke dalam sisi aktif katalisator sehingga dapat menurunkan kerja zeolit dan berdampak pada penurunan konversi asam asetat menjadi triacetin. Setiap tahap pembentukan triacetin menghasilkan 1 molekul air, sehingga dalam pembentukan triacetin dibutuhkan 1 molekul gliserol 3 molekul asam asetat dan 3 molekul air sebagai produk samping. Oleh sebab itu pada tahap awal reaksi akan semakin banyak air yang terbentuk dan asam asetat yang diperlukan untuk reaksi. Air yang merupakan tahanan bagi reaktan untuk berdifusi ke dalam sisi aktif katalisator menyebabkan pada reaksi tahap selanjutnya terjadi penurunan konversi asam asetat karena asam asetat tidak ikut bereaksi. Penurunan nilai konversi seiring dengan meningkatnya jumlah mol pereaksi juga sesuai dengan

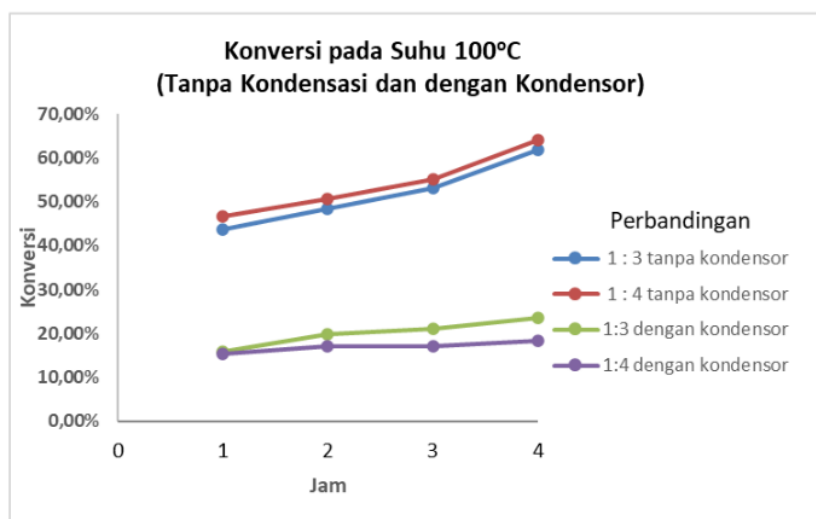
penelitian dari Yanti N.R dkk (2019) dimana terjadi penurunan konversi yang diperoleh ketika rasio ditingkatkan dari 1:8,9 menjadi 1:11,5 yaitu dari 91% menjadi 87% hal ini dapat disebabkan oleh kondisi saturasi pada tingginya rasio mol, sehingga perubahan yang terjadi tidak signifikan. Pada penelitian yang dilakukan oleh Gao, X dkk., 2015⁹² perbandingan mol gliserol:asam asetat yang meningkat dari 1:2 menjadi 1:6 menyebabkan peningkatan konversi, dikarenakan kelebihan asam asetat akan menggeser kesetimbangan ke arah produk sehingga meningkatkan pembentukan monoasetin dan diasetin.

4.5 Proses Sintesis Triacetin Tanpa Kondensasi

Reaksi esterifikasi pembentukan Triacetin dapat dilihat pada **Gambar 4.25**, dimana produk sampingnya merupakan air.



Proses sintesis Triacetin juga dilakukan tanpa proses kondensasi pada suhu 100°C hal ini dikarenakan air sebagai produk samping akan terbentuk lebih banyak. Hasil dari penelitian nilai konversi tanpa kondensasi dan dengan kondensor pada suhu 100°C disajikan pada **Gambar 4.25**.

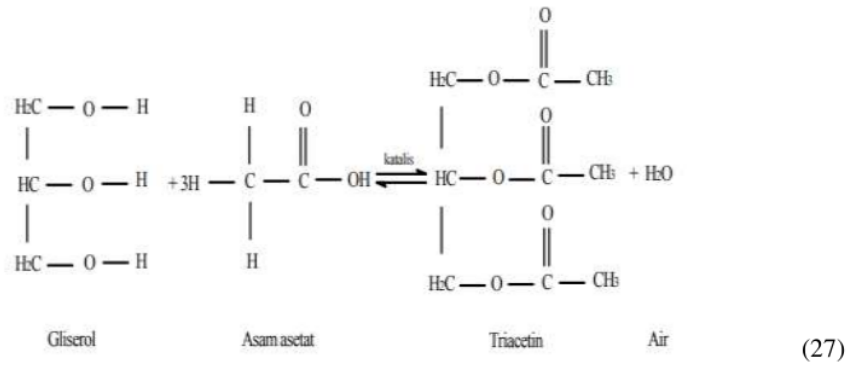


Gambar 4.25. Konversi pada Suhu 100°C (Tanpa Kondensasi dan dengan Kondensor)

Sintesis Triacetin dengan tanpa proses kondensasi memberikan nilai konversi yang semakin meningkat (disajikan pada **Gambar 4.26**) dibandingkan dengan proses kondensasi hal tersebut dikarenakan air sebagai produk samping dari reaksi ini cukup besar terbentuk sehingga nilai konversinya pun ikut naik. Air yg dihasilkan biasanya terabsorb di pori zeolit, sehingga bisa menggantikan isi pori yang dapat menyebabkan pertukaran pada saat reaksi aktivasi nya akan berkurang. (Sholeha, N.A., 2017). Daya adsorpsi zeolit aktif terhadap cairan maupun gas berkurang seiring dengan kadar air yang semakin tinggi. Zeolit aktif memiliki struktur yang berongga dan pori yang besar dan luas permukaan yang luas sehingga mudah menangkap serta menyerap air. Hal tersebut menunjukkan konversi tanpa kondensasi bernilai lebih tinggi dibandingkan dengan konversi dengan kondensasi dimana zeolit setelah melakukan proses aktivasi memiliki luas permukaan yang lebih luas sehingga mudah menyerap air yang terkandung di produk. (Nizar, A.A.S

dkk., 2018).

4.6 Konversi Kesetimbangan



$$\Delta H_{f, 298}^{\circ} = \Delta H_{f, \text{produk}}^{\circ} - \Delta H_{f, \text{reaktan}}^{\circ}$$

Diketahui data ΔH_{f}° standar

$$\Delta H_{f, 298}^{\circ} \text{ Gliserol} = -578800 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

$$\Delta H_{f, 298}^{\circ} \text{ Asam Asetat} = -445890 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

$$\Delta H_{f, 298}^{\circ} \text{ Triacetin} = -483880 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

$$\Delta H_{f, 298}^{\circ} \text{ Air} = -285830 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{298}^{\circ} &= (-483880 - 285830) \frac{\text{J}}{\text{mol}} - (-578800 - 445890) \frac{\text{J}}{\text{mol}} \\
 &= 254980 \frac{\text{J}}{\text{mol}}
 \end{aligned}$$

$$\Delta G_{f, 298}^{\circ} = \Delta G_{f, \text{produk}}^{\circ} - \Delta G_{f, \text{reaktan}}^{\circ}$$

$$\Delta G_{f, 298}^{\circ} \text{ Gliserol} = -475500 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

$$\Delta G_{f,298}^{\circ} \text{ Asam Asetat} = -324200 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

$$\Delta G_{f,298}^{\circ} \text{ Triacetin} = -530964 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

$$\Delta G_{f,298}^{\circ} \text{ Air} = -237129 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

$$\begin{aligned} \Delta G_{f,298}^{\circ} &= (530964 - 237129) \frac{\text{J}}{\text{mol}} - (-475500 - 324200) \frac{\text{J}}{\text{mol}} \\ &= 31607 \frac{\text{J}}{\text{mol}} \end{aligned}$$

Dari persamaan van't Hoff :

$$\Delta G_{f,298}^{\circ} = -R.T.kn \quad k$$

$$\ln K = \frac{(\Delta G_{f,298}^{\circ})}{R.T}$$

$$\ln K = \frac{31607 \frac{\text{J}}{\text{mol}}}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{K.mol}} \times 298 \text{ K}}$$

$$k = 2,88136 \text{ E-}06$$

$$\ln \frac{k}{k_{298}} = -\frac{\Delta H_{f,298}^{\circ}}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{298}} \right)$$

Untuk suhu reaksi $90^{\circ}\text{C} = 363 \text{ K}$ maka nilai k adalah

$$\ln \frac{k}{2,88136 \text{ E-}06} = \frac{254980 \frac{\text{J}}{\text{mol}}}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{K.mol}}} \left(\frac{1}{363 \text{ K}} - \frac{1}{298 \text{ K}} \right)$$

$$k = 1,0000531$$

Maka nilai Konversi Kesetimbangan (X_a) :

$$k = \frac{C_C C_D}{C_A C_B}$$

$$k = \frac{(C_{A0}x_a)(C_{A0}x_a)}{C_{A0}(1-x_a)(3 \times C_{A0}(1-x_a))}$$

$$1,0000531 = \frac{(x_a^2)}{3 \times (1-x_a)(1-x_a)}$$

$$x_a = 0,633981$$

Tabel 4.4. Konversi Kesetimbangan pada Beberapa Suhu

Suhu	Konversi
90°C	0,633981
100 °C	0,633982
110 °C	0,633983
120 °C	0,633984

Konversi kesetimbangan mengacu pada sejauh mana reaksi reversibel mencapai keadaan keseimbangan antara reaktan dan produk. Perhitungan nilai konversi kesetimbangan relative tetap pada rentang suhu 90°C-120°C karena reaksi sintesis triacetin bersifat eksoterm dimana suhu yang semakin tinggi maka nilai k semakin kecil, atau konversi maksimum reaksi eksoterm semakin kecil atau relative tetap pada suhu yang semakin tinggi (Constales, D dkk., 2017).

BAB V

SIMPULAN dan SARAN

5.1 SIMPULAN

Suhu dan rasio mol reaksi sangat berpengaruh dalam sintesis triacetin :

1. Kecepatan reaksi akan semakin tinggi seiring dengan semakin tingginya suhu reaksi yang digunakan, misalnya saja untuk konversi triacetin dengan kondensor untuk perbandingan pereaksi 1:3 pada suhu 90°C waktu reaksi 1 jam nilai konversi sebesar 14,41% seiring peningkatan suhu nilai konversi pun semakin naik yaitu pada suhu 100°C sebesar 15,74%, suhu 110°C sebesar 22,83%, dan suhu 120°C sebesar 35,68%. Namun demikian, peningkatan suhu lebih lanjut di atas 120°C diduga 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, dapat dilihat dari hasil penelitian pada suhu 120°C perbandingan pereaksi 1:4 , peningkatan nilai konversi tidak terlalu besar pada penambahan kurun waktu reaksi esterifikasi yaitu pada kurun waktu 3 jam sebesar 31,22% dan 3 jam reaksi sebesar 32,71%.
2. Peningkatan rasio molar antara asam asetat dan gliserol akan meningkatkan konversi gliserol tetapi tidak serta merata, misalnya saja untuk konversi triacetin dengan kondensor untuk perbandingan pereaksi 1:3 pada suhu 90°C waktu reaksi 4 jam bernilai 26,53%, pada suhu yang sama perbandingan pereaksi 1:4 sebesar 26,53%, dan perbandingan pereaksi 1:5 sebesar 31,35%. Penurunan nilai konversi seiring dengan meningkatnya jumlah mol pereaksi

dapat disebabkan oleh kondisi saturasi pada tingginya rasio mol, sehingga perubahan yang terjadi tidak signifikan, hal tersebut dapat dilihat pada suhu reaksi 100°C waktu reaksi 1 jam hasilnya semakin turun saat perbandingan pereaksi meningkat yaitu untuk perbandingan 1:3 sebesar 15,74%, perbandingan 1:4 sebesar 15,39%, dan perbandingan 1:5 sebesar 14,34%.

5.2 SARAN

Saran untuk penelitian selanjutnya :

1. Tekanan dalam reaksi sebagai variabel dalam penelitian harus disertakan karena tekanan merupakan salah satu yang menentukan laju reaksi.
2. Metode penelitian sebaiknya berbasis gas, sehingga katalis tidak terlarut dalam Asam Asetat dan Gliserol adalah dalam fasa gas, untuk aktivasi katalis sebaiknya dikaji ulang dalam proses nya, sehingga nilai tambah dari Zeolit Alam akan naik baik secara ekonomi dan pemanfaatannya di dunia industri.

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 DariLimbah 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
- Aprilianti, W., Nelly, W., danTitin, 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 Samping Biodiesel menjadi Triacetin. JOM FTEKNIK.2(2):1-8.

ESDM. 2006. *Blue Print Pengelolaan Energi Nasional 2006- 2025*. Kementerian ESDM.

Fadliyani, N. dan Atun, S. 2015. *Pemanfaatan Gliserol Hasil Samping Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah Sebagai Bahan Sintesis Gliserol Asetat*, 20, pp. 149–156.

Farida, F.I. 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. 3rd 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).

Jagadeeswaraiiah, 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 NH₃ 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*. Proseding Seminar Rekayasa Kimia dan Proses.

Nuryoto, N., Sulistyoy, 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 Engeerining. 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.
- Pagliari, 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-Propanediol : 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 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 (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.

LAMPIRAN

1. Contoh Perhitungan Asam Awal (A₀) dan Asam Bebas (A_b)

Suhu 90°C, Perbandingan Pereaksi 1:3 dan Waktu Reaksi 1 jam

Asam awal dan bebas

$$= \frac{40 \times (V_{\text{NaOH blanko}} - V_{\text{NaOH sampel}}) \times N_{\text{NaOH}}}{\text{berat sampel}} \times 100\%$$

$$\text{Asam awal} = \frac{40 \times (17,8 - 0,85) \text{ ml} \times 0,5225 \text{ N}}{1010,3 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$= 35,05\%$$

$$\text{Asam bebas} = \frac{40 \times V_{\text{HCl}} \times N_{\text{HCl}}}{\text{berat sampel}} \times 100\%$$

$$\text{Asam bebas} = \frac{40 \times 15,3 \text{ ml} \times 0,4964 \text{ N}}{1013,4 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$= 30,00\%$$

2. Contoh Perhitungan Konversi

$$\% \text{ konversi Gliserol} = \frac{\text{asam awal} - \text{asam bebas}}{\text{asam awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ konversi Gliserol} = \frac{35,05\% - 30,00\%}{35,05\%} \times 100\%$$

$$= 14,41 \%$$

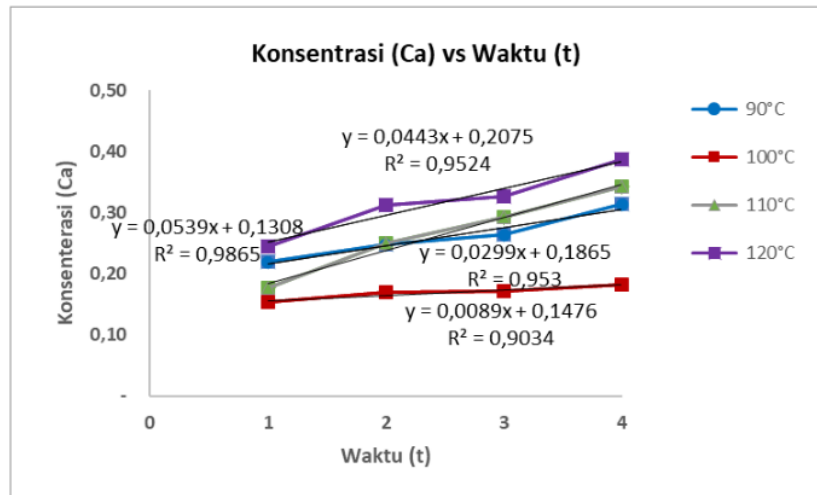
3. Perhitungan Kinetika Reaksi Perbandingan Pereaksi 1:4 dan 1:5

Perbandingan Pereaksi 1:4

- Orde 0

Hubungan konsentrasi (Ca) dengan waktu (t) dari hasil plot kedua varian tersebut

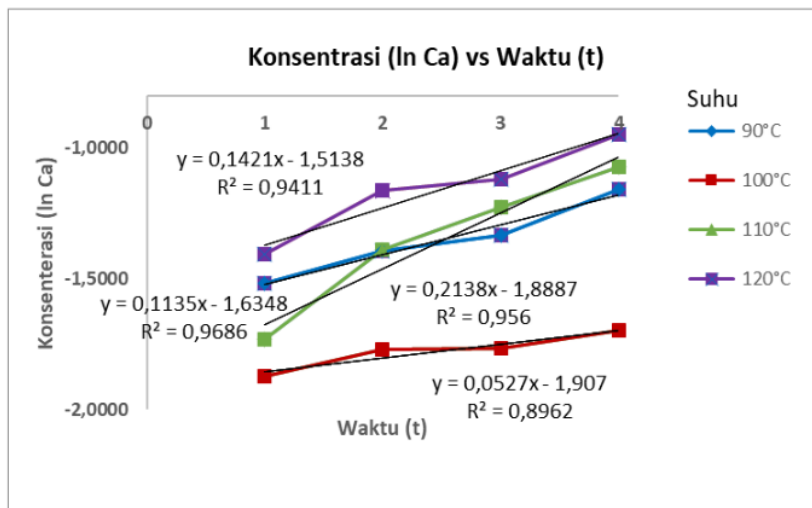
diperoleh dengan perbandingan pereaksi 1:3 disajikan pada **Gambar 7.1**



Gambar 7.1. Hubungan Konsentrasi (Ca) vs Waktu (t) dengan Perbandingan Perekasi 1:4

- Orde Reaksi 1

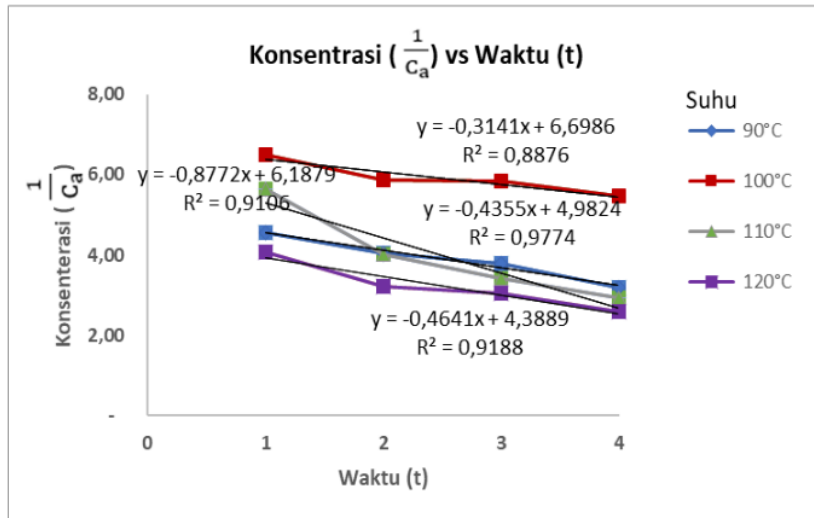
Hubungan konsentrasi (ln Ca) dengan waktu (t) dari hasil plot kedua varian tersebut dengan perbandingan pereaksi 1:4 disajikan pada **Gambar 7.2.**



Gambar 7.2. Hubungan Konsentrasi (ln Ca) vs Waktu (t) dengan Perbandingan Perekasi 1:4

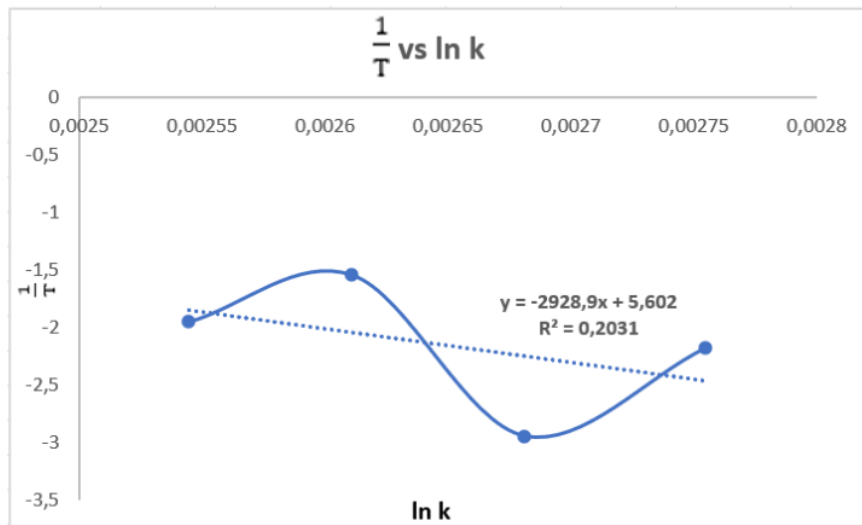
- Orde Reaksi 2

Hubungan konsentrasi $\frac{1}{C_a}$ dengan waktu (t) dari hasil plot kedua varian dengan perbandingan pereaksi 1:3 disajikan pada **Gambar 7.3**.



Gambar 7.3. Hubungan Konsentrasi ($\frac{1}{C_a}$) vs Waktu (t) dengan Perbandingan Pereaksi 1:4

Pada suhu 90°C didapatkan konstanta kecepatan reaksi sebesar $0,1135 \text{ s}^{-1}$, 100°C sebesar $0,0527 \text{ s}^{-1}$, 110°C sebesar $0,2138 \text{ s}^{-1}$, dan 120°C sebesar $0,1421 \text{ s}^{-1}$. Untuk mendapatkan nilai konstanta kecepatan reaksi maka dibuat grafik hubungan $\frac{1}{C_a}$ terhadap $\ln k$.



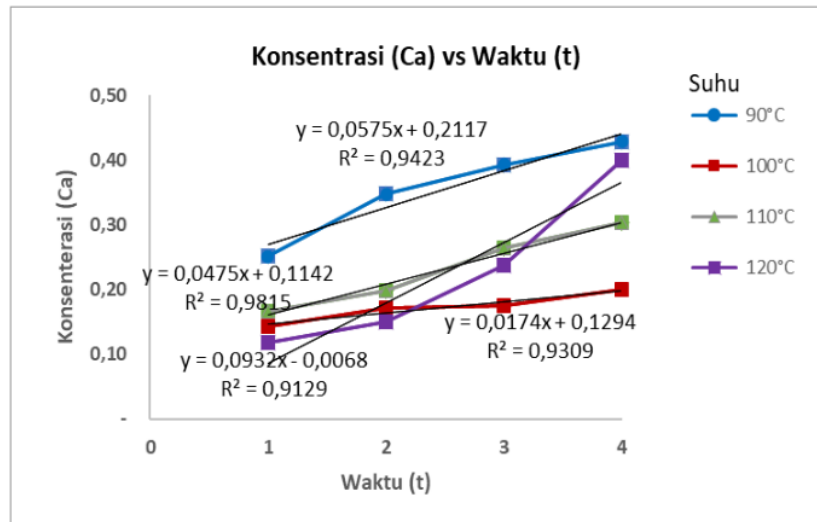
Gambar 7.4. Grafik Hubungan $\frac{1}{T}$ terhadap $\ln k$

Dari hasil perhitungan diperoleh persamaan $y = -2928,9x + 5,602$ sehingga diperoleh nilai nilai energi aktivasi (E_a) sebesar 24350,87 J/mol atau 24,35 kJ/mol dan faktor tumbukan (A) sebesar $270,9678 \text{ s}^{-1}$

Perbandingan Pereaksi 1:5

- Orde 0

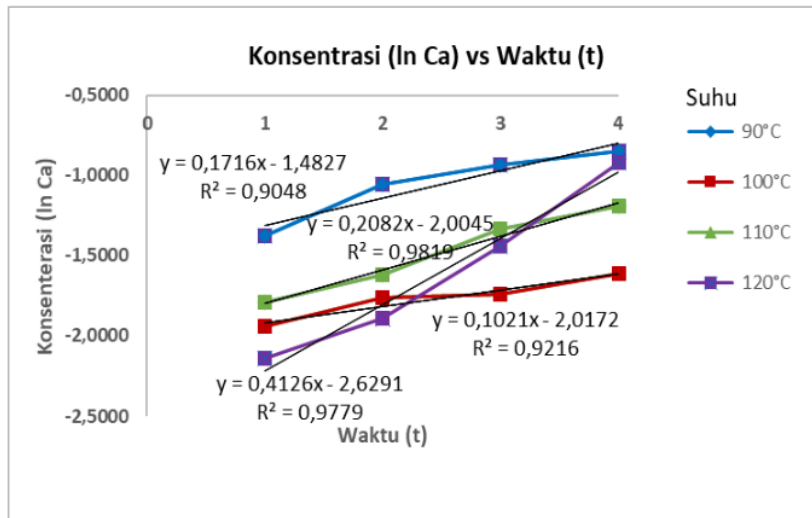
Hubungan konsentrasi (C_a) dengan waktu (t) dari hasil plot kedua varian tersebut diperoleh dengan perbandingan pereaksi 1:5 disajikan pada **Gambar 7.5**.



Gambar 7.5. Hubungan Konsentrasi (Ca) vs Waktu (t) dengan Perbandingan Pereaksi 1:5

- Orde Reaksi 1

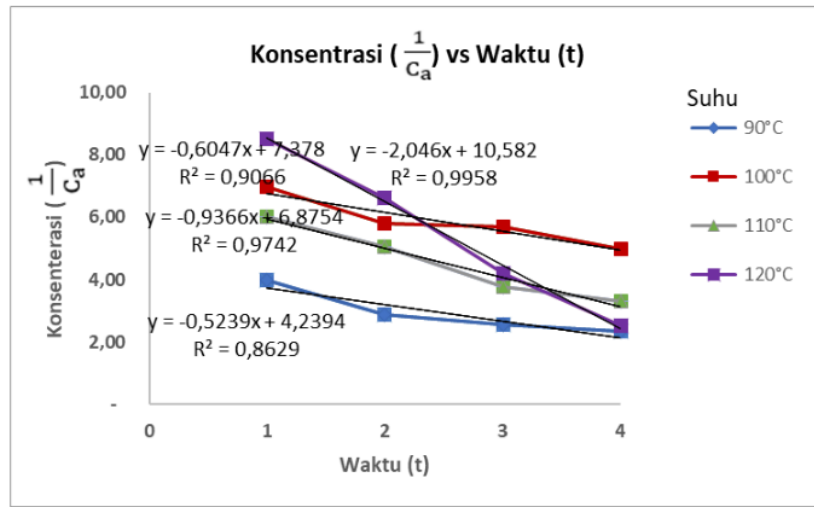
Hubungan konsentrasi ($\ln Ca$) vs waktu (t) dari hasil plot kedua varian tersebut dengan perbandingan pereaksi 1:5 disajikan pada **Gambar 7.6**.



Gambar 7.6 Hubungan Konsentrasi ($\ln Ca$) vs Waktu (t) dengan Perbandingan Pereaksi 1:3

- Orde Reaksi 2

Hubungan konsentrasi ($\frac{1}{C_a}$) dengan waktu (t) dari hasil plot kedua varian dengan perbandingan pereaksi 1:5 disajikan pada **Gambar 7.7**.

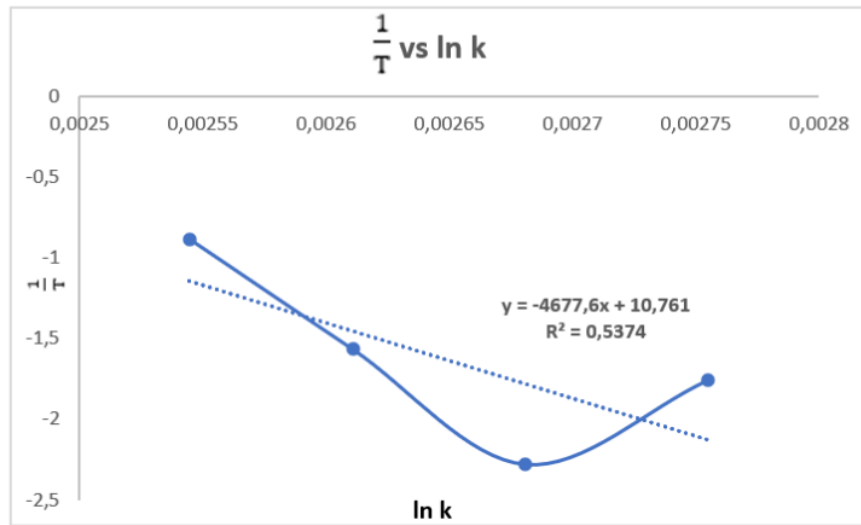


Gambar 7.7. Hubungan Konsentrasi ($\frac{1}{C_a}$) vs Waktu (t) dengan Perbandingan Pereaksi 1:5

Pada suhu 90°C didapatkan konstanta kecepatan reaksi sebesar $0,1716 \text{ s}^{-1}$, 100°C sebesar $0,1021 \text{ s}^{-1}$, 110°C sebesar $0,2082 \text{ s}^{-1}$, dan 120°C sebesar $0,4126 \text{ s}^{-1}$.

Untuk mendapatkan nilai konstanta kecepatan reaksi maka dibuat grafik hubungan

$\frac{1}{T}$ terhadap $\ln k$.



Gambar 7.8. Grafik Hubungan $\frac{1}{T}$ terhadap $\ln k$

Dari hasil perhitungan diperoleh persamaan $y = -4677,6 x + 10,761$ sehingga diperoleh nilai nilai energi aktivasi (E_a) sebesar 38889,5664 J/mol atau 38,89 kJ/mol dan faktor tumbukan (A) sebesar $47145,79 \text{ s}^{-1}$.

Dokumentasi Penelitian



Gambar 7.9 Preparasi Bahan dan Alat yang Digunakan



Gambar 7.10 Preparasi katalis Zeolit Alam Lampung

- Proses Sintesis Triacetin dengan Kondensasi









Gambar 7.11 Proses Sintesis Triacetin dengan Kondensasi

- Proses reaksi Triacetin Tanpa Kondensasi



Gambar 7.12 Proses reaksi Triacetin Tanpa Kondensasi



Gambar 7.13 Analisa A₀ dan A₆



Gambar 7.14 Uji XRD



Gambar 7.15 Uji GC-MS

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Soni Candra. Anak ketiga dari empat bersaudara pasangan Dudung Wardaya dan Asiah yang lahir di Kaliwadas, Kelurahan Lopang Kecamatan Serang, Kota Serang, Provinsi Banten, pada tanggal 07 Agustus 1977 dan beragama Islam dengan jenis kelamin laki-laki. Penulis mengawali pendidikan formalnya di SD Lopang Domba Serang 1984 - 1990 . Kemudian melanjutkan ke SMP Negeri 3 Serang Tahun 1991-1993, dan selanjutnya SMAN 1 Serang Tahun 1994-1996. Setelah lulus SMA memutuskan untuk bekerja di Perusahaan swasta, Pada tahun 2004 - 2009 Melanjutkan kuliah S1 di Universitas Mathlaul Anwar Pandeglang Jurusan kimia murni dibarengi bekerja di salah satu industri kimia di daerah Bojonegara Serang. Kemudian pada tahun 2009 -2012 setelah lulus Sarjana memutuskan pindah kerja ke Timur Tengah di perusahaan oil and gas (chevron Phillips). Pada Tahun 2012 kembali ke Indonesia untuk bergabung di salah perusahaan pemurnian liquid CO₂ di Cilegon.

Pada tahun 2021 melanjutkan untuk kuliah di Magister Teknik Kimia di Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, penulis bekerja sebagai CO₂ spesialis untuk purifikasi Liquid CO₂ Food Grade dari berbagai sumber bahan baku dan pengembangan produk liquid CO₂ Food Grade.

Dengan ketekunan, motivasi tinggi untuk terus belajar dan berusaha, penulis telah berhasil menyelesaikan pengerjaan tesis ini. Semoga dengan penulisan tesis ini mampu memberikan kontribusi positif bagi dunia pendidikan.

Akhir kata penulis mengucapkan rasa syukur yang sebesar-besarnya atas terselesaikannya tesis yang berjudul "**Studi Pengaruh Suhu dan Konsentrasi Katalis Zeolit Alam Jenis Klipnotilolit Pada Pembuatan Triacetin**"

ORIGINALITY REPORT

28%

SIMILARITY INDEX

28%

INTERNET SOURCES

5%

PUBLICATIONS

9%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	repository.its.ac.id Internet Source	2%
2	positori.uin-alauddin.ac.id Internet Source	2%
3	docplayer.info Internet Source	1%
4	jrk.fmipa.unand.ac.id Internet Source	1%
5	media.neliti.com Internet Source	1%
6	indochembull.com Internet Source	1%
7	digilib.unila.ac.id Internet Source	1%
8	www.researchgate.net Internet Source	1%
9	123dok.com Internet Source	1%

10	core.ac.uk Internet Source	1 %
11	Submitted to Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Student Paper	1 %
12	e-jurnal.lppmunsera.org Internet Source	1 %
13	text-id.123dok.com Internet Source	1 %
14	publikasiilmiah.unwahas.ac.id Internet Source	1 %
15	www.scribd.com Internet Source	1 %
16	etheses.uin-malang.ac.id Internet Source	1 %
17	eprints.uad.ac.id Internet Source	1 %
18	repository.ub.ac.id Internet Source	<1 %
19	adoc.pub Internet Source	<1 %
20	es.scribd.com Internet Source	<1 %
21	pdfcoffee.com	

Internet Source

<1 %

22

repo.usni.ac.id

Internet Source

<1 %

23

id.123dok.com

Internet Source

<1 %

24

konsultasiskripsi.com

Internet Source

<1 %

25

Submitted to Sriwijaya University

Student Paper

<1 %

26

Submitted to Badan PPSDM Kesehatan
Kementerian Kesehatan

Student Paper

<1 %

27

repository.unhas.ac.id

Internet Source

<1 %

28

journal.uny.ac.id

Internet Source

<1 %

29

id.m.wikipedia.org

Internet Source

<1 %

30

Submitted to RMIT University

Student Paper

<1 %

31

ejournal.unis.ac.id

Internet Source

<1 %

32

Submitted to Syiah Kuala University

Student Paper

<1 %

33

jurnal.upnyk.ac.id

Internet Source

<1 %

34

Submitted to UIN Maulana Malik Ibrahim
Malang

Student Paper

<1 %

35

repository.ar-raniry.ac.id

Internet Source

<1 %

36

Submitted to Forum Komunikasi
Perpustakaan Perguruan Tinggi Kristen
Indonesia (FKPPTKI)

Student Paper

<1 %

37

info-data.itenas.ac.id

Internet Source

<1 %

38

journal.ugm.ac.id

Internet Source

<1 %

39

digilib.uin-suka.ac.id

Internet Source

<1 %

40

journal.uii.ac.id

Internet Source

<1 %

41

opac.uad.ac.id

Internet Source

<1 %

42

id.scribd.com

Internet Source

<1 %

43	izindo.files.wordpress.com Internet Source	<1 %
44	pdfcookie.com Internet Source	<1 %
45	repository.bakrie.ac.id Internet Source	<1 %
46	www.neliti.com Internet Source	<1 %
47	jurnal.umsu.ac.id Internet Source	<1 %
48	repository.upnjatim.ac.id Internet Source	<1 %
49	jurnalmahasiswa.unesa.ac.id Internet Source	<1 %
50	www.authorstream.com Internet Source	<1 %
51	Submitted to Universitas Jember Student Paper	<1 %
52	repository.unsri.ac.id Internet Source	<1 %
53	Catur Budi Handayani, A. Intan Niken Tari, Afriyanti Afriyanti. "Umur Simpan Saos Tomat Pada Berbagai Konsentrasi Bahan Pengental",	<1 %

AGRISAINTEFIKA: Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian, 2019

Publication

54	jdih.maritim.go.id Internet Source	<1 %
55	jurnal.umj.ac.id Internet Source	<1 %
56	repository.uki.ac.id Internet Source	<1 %
57	repository.umi.ac.id Internet Source	<1 %
58	labproses.github.io Internet Source	<1 %
59	sahbatt.blogspot.com Internet Source	<1 %
60	elearning.mmr.umy.ac.id Internet Source	<1 %
61	Submitted to University of Nebraska, Lincoln Student Paper	<1 %
62	edoc.site Internet Source	<1 %
63	ejournal.unib.ac.id Internet Source	<1 %
64	Submitted to Universitas Mataram Student Paper	<1 %

65	kc.umn.ac.id Internet Source	<1 %
66	repository.itk.ac.id Internet Source	<1 %
67	repository.unej.ac.id Internet Source	<1 %
68	repository.upnvj.ac.id Internet Source	<1 %
69	cupdf.com Internet Source	<1 %
70	ejournal.undip.ac.id Internet Source	<1 %
71	eproceeding.itenas.ac.id Internet Source	<1 %
72	repositori.usu.ac.id Internet Source	<1 %
73	repository.lppm.unila.ac.id Internet Source	<1 %
74	Gupta, Mayank, and Naveen Kumar. "Scope and opportunities of using glycerol as an energy source", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012. Publication	<1 %

75	Syarifah Rabiatul Adawiah, Sutarno Sutarno, Suyanta Suyanta. "Studi Adsorpsi-Desorpsi Anion Fosfat Pada Bentonit Termodifikasi CTAB", Indo. J. Chem. Res., 2020 Publication	<1 %
76	akademik.uhn.ac.id Internet Source	<1 %
77	etd.repository.ugm.ac.id Internet Source	<1 %
78	garuda.ristekdikti.go.id Internet Source	<1 %
79	j-innovative.org Internet Source	<1 %
80	repo.bunghatta.ac.id Internet Source	<1 %
81	repository.fisip-untirta.ac.id Internet Source	<1 %
82	vdocuments.pub Internet Source	<1 %
83	eprints.utar.edu.my Internet Source	<1 %
84	etd.umy.ac.id Internet Source	<1 %
85	jurnal.untirta.ac.id Internet Source	<1 %

86	lib.unnes.ac.id Internet Source	<1 %
87	majalahpajak.net Internet Source	<1 %
88	repository.ums.ac.id Internet Source	<1 %
89	repository.unja.ac.id Internet Source	<1 %
90	slideplayer.info Internet Source	<1 %
91	teknikkimia.pascasarjana.untirta.ac.id Internet Source	<1 %
92	www.aptekim.id Internet Source	<1 %
93	www.bi.go.id Internet Source	<1 %
94	doku.pub Internet Source	<1 %
95	Nayef Ghasem. "Principles of Chemical Engineering Processes", CRC Press, 2019 Publication	<1 %
96	dietrichgerrytarigan.wordpress.com Internet Source	<1 %
97	repository.unair.ac.id	

Exclude quotes Off

Exclude matches Off

Exclude bibliography On