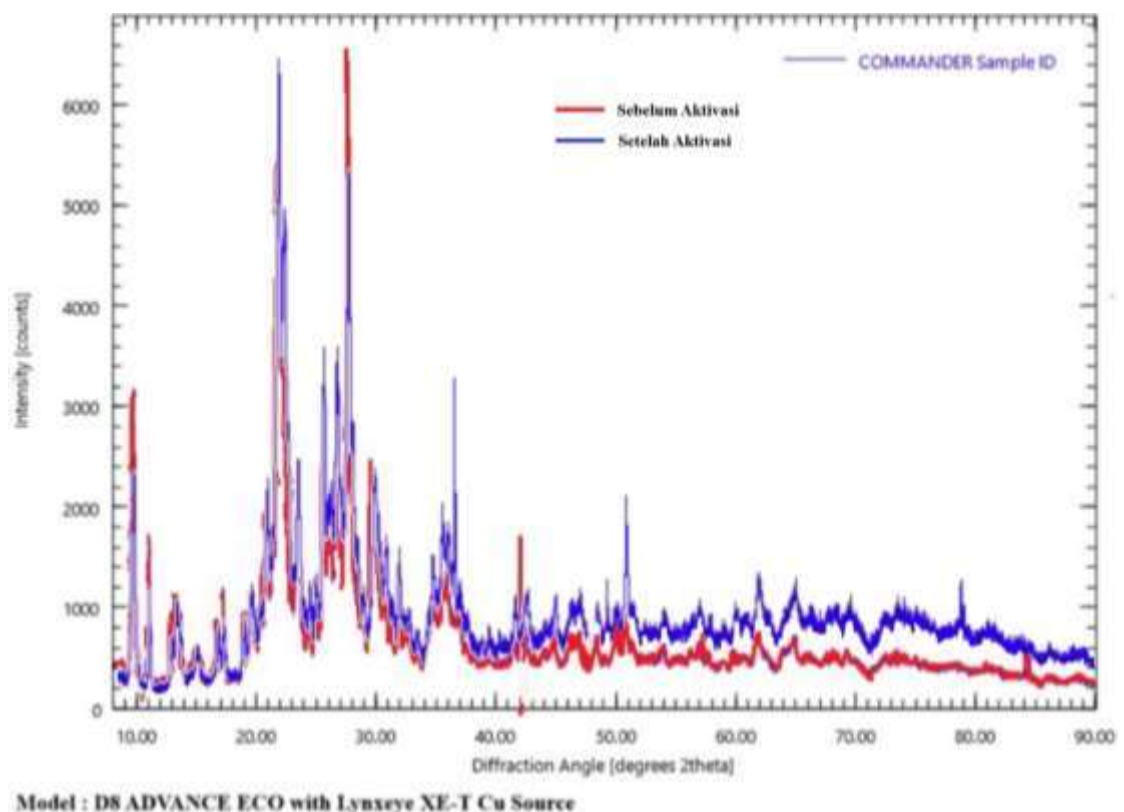


## BAB IV HASIL dan PEMBAHASAN

### 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

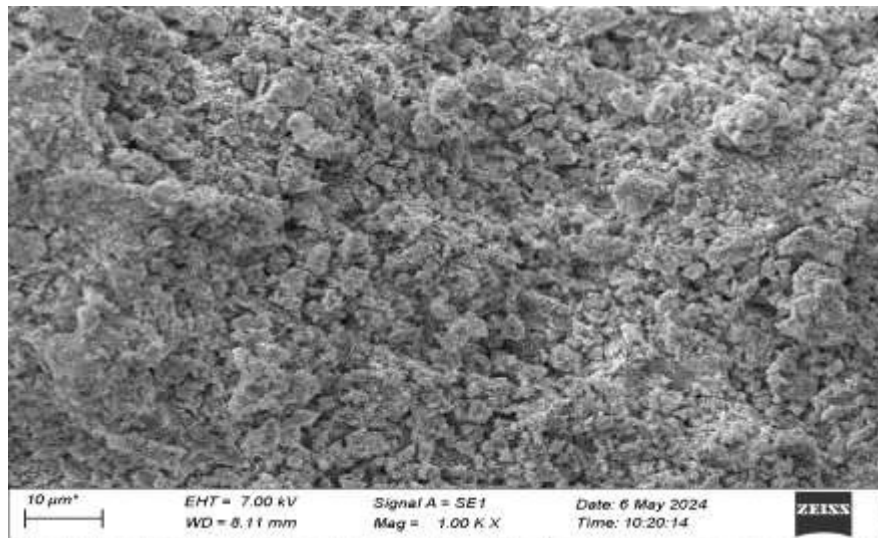
meningkat setelah diaktivasi. Fase amorf terbentuk pada puncak daerah 2 tetha disekitar  $0^{\circ} - 20^{\circ}$ . Sedangkan fase kristal di tandai dengan munculnya puncak puncak difraktogram pada daerah 2 tetha disekitar  $21^{\circ} - 31^{\circ}$ . Peningkatan intensitas peak pada spektrum XRD ZAL teraktivasi mendominasi pada sudut difraksi lebih dari  $30^{\circ}$ . 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  $200^{\circ}\text{C}$ . Hal tersebut sesuai dengan penelitian dari Yulistiono, H. S dan Swastanti, B (2018) dimana katalis dipanaskan pada suhu  $300^{\circ}\text{C}$  sampai  $500^{\circ}\text{C}$  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  $2\theta$  tidak ada perubahan yang utama komponen zeolit yaitu  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yang diidentifikasi di setiap zeolit sebelum dan setelah aktivasi. Difraktogram ZA sampel sebelum aktivasi (Gambar 4.1) menunjukkan utama puncaknya pada  $27,60$   $2\theta$  dan  $59,7$  untuk  $\text{SiO}_2$  dan  $33$  untuk  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Sedangkan sampel Zeolit Alam Lampung setelah aktivasi proses (Gambar 4.1) menghasilkan difraktogram dengan puncak utama pada  $21,86$   $2\theta$  dan  $101,5$  untuk  $\text{SiO}_2$  dan tidak ada (-) untuk  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . 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

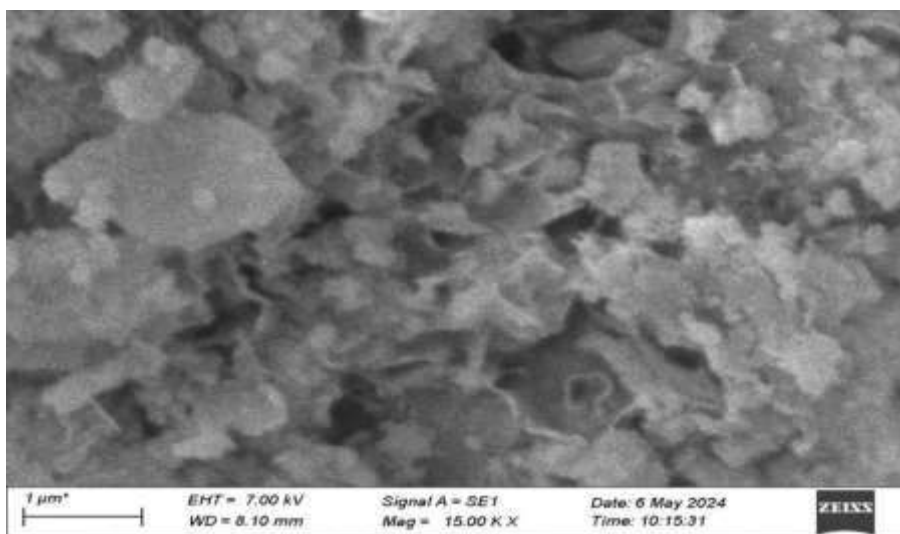
mengandung jenis mordenit dan klinoptilolit.

#### - 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.**

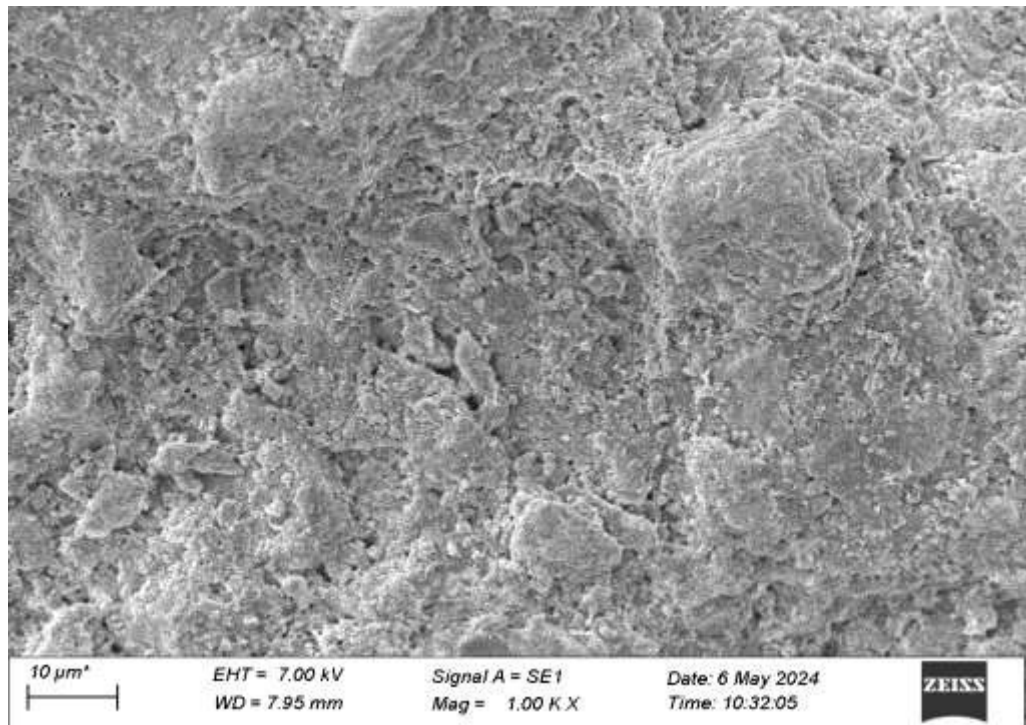


(a) Morfologi ZAL pada Perbesaran 1.00 KX

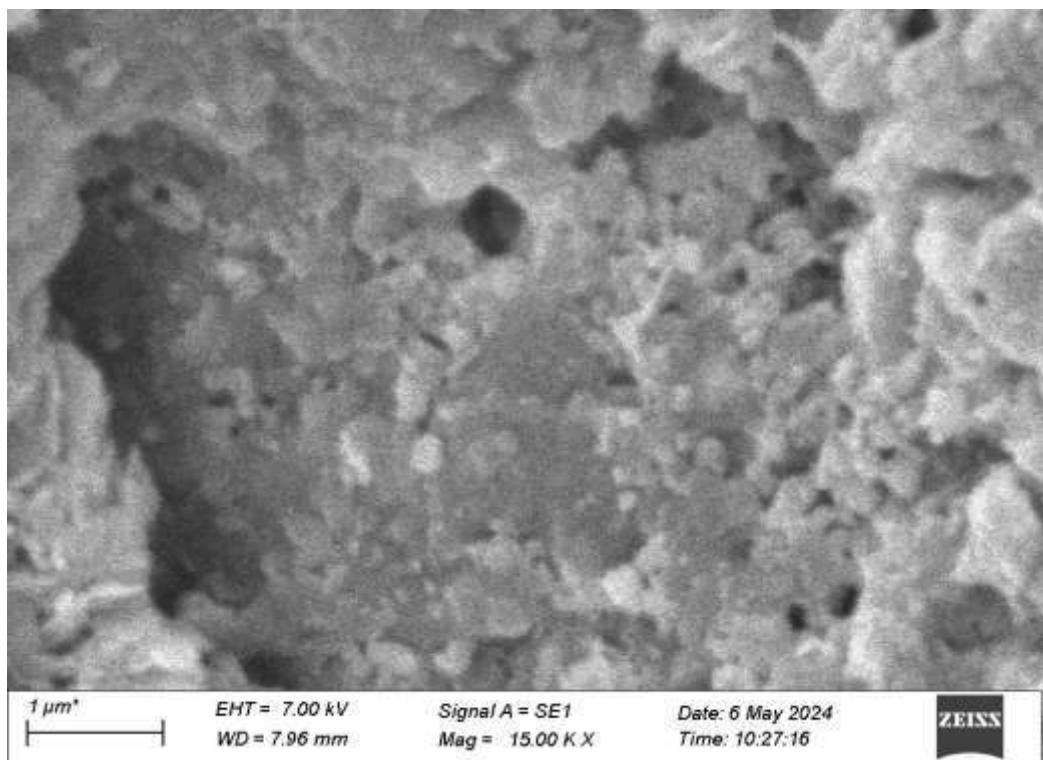


(b) Morfologi ZAL pada Perbesaran 15.00 KX

**Gambar 4.2** Hasil SEM ZAL Sebelum Aktivasi



(c) Morfologi ZAL pada Perbesaran 1.00 KX



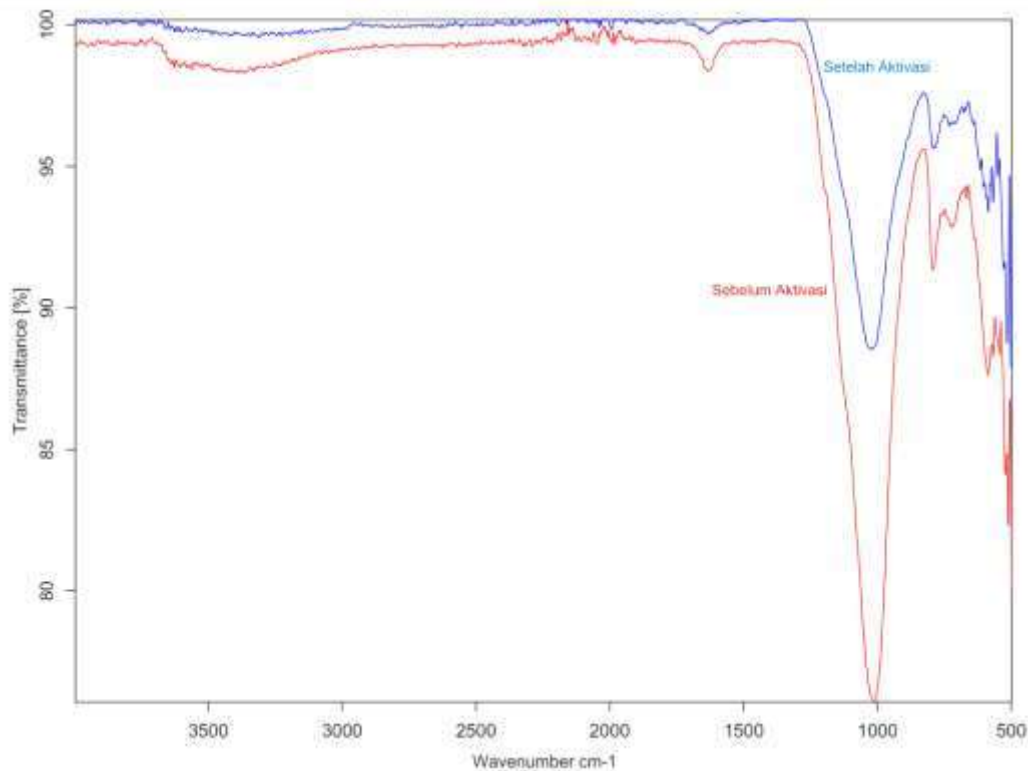
(d) Morfologi ZAL pada Perbesaran 15.00 KX

**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<sup>-1</sup>) jauh lebih rendah dibandingkan energi disosiasi ikatan Si-O (190 kJmol<sup>-1</sup>), 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 terbentuk 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

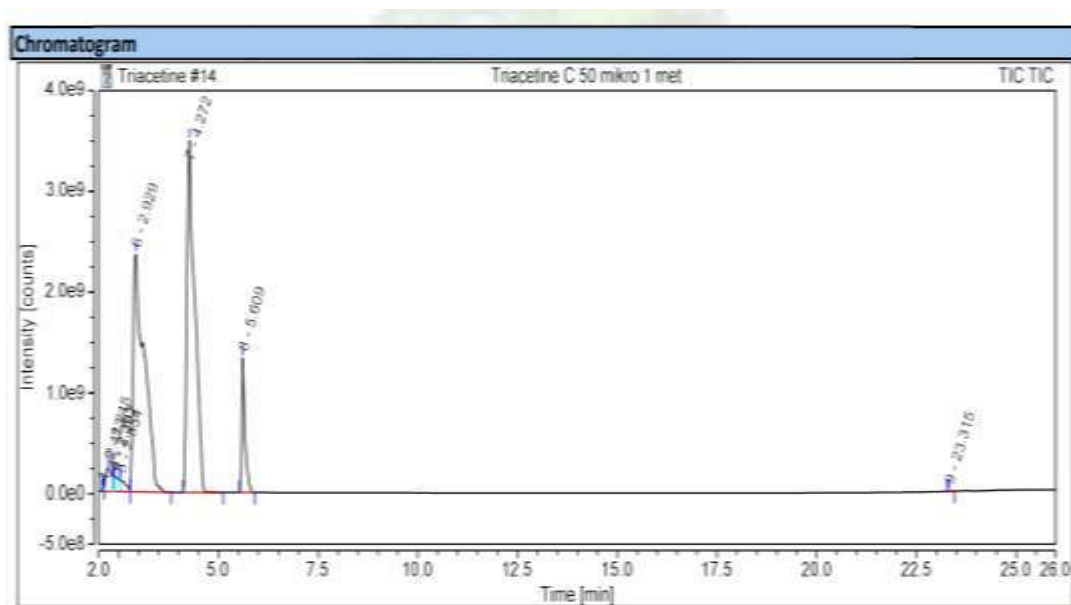
**Gambar 4.4.** menunjukkan spektrum FTIR dari sampel ZAL Hasil FT-IR sebelum aktivasi memperlihatkan panjang gelombang  $1632,79\text{ cm}^{-1}$  untuk gugus O-H,  $1011,41\text{ cm}^{-1}$  dan  $792,69\text{ cm}^{-1}$  untuk gugus Al-O/Si-O mempunyai pita lebih lemah dibandingkan dengan hasil FT-IR 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

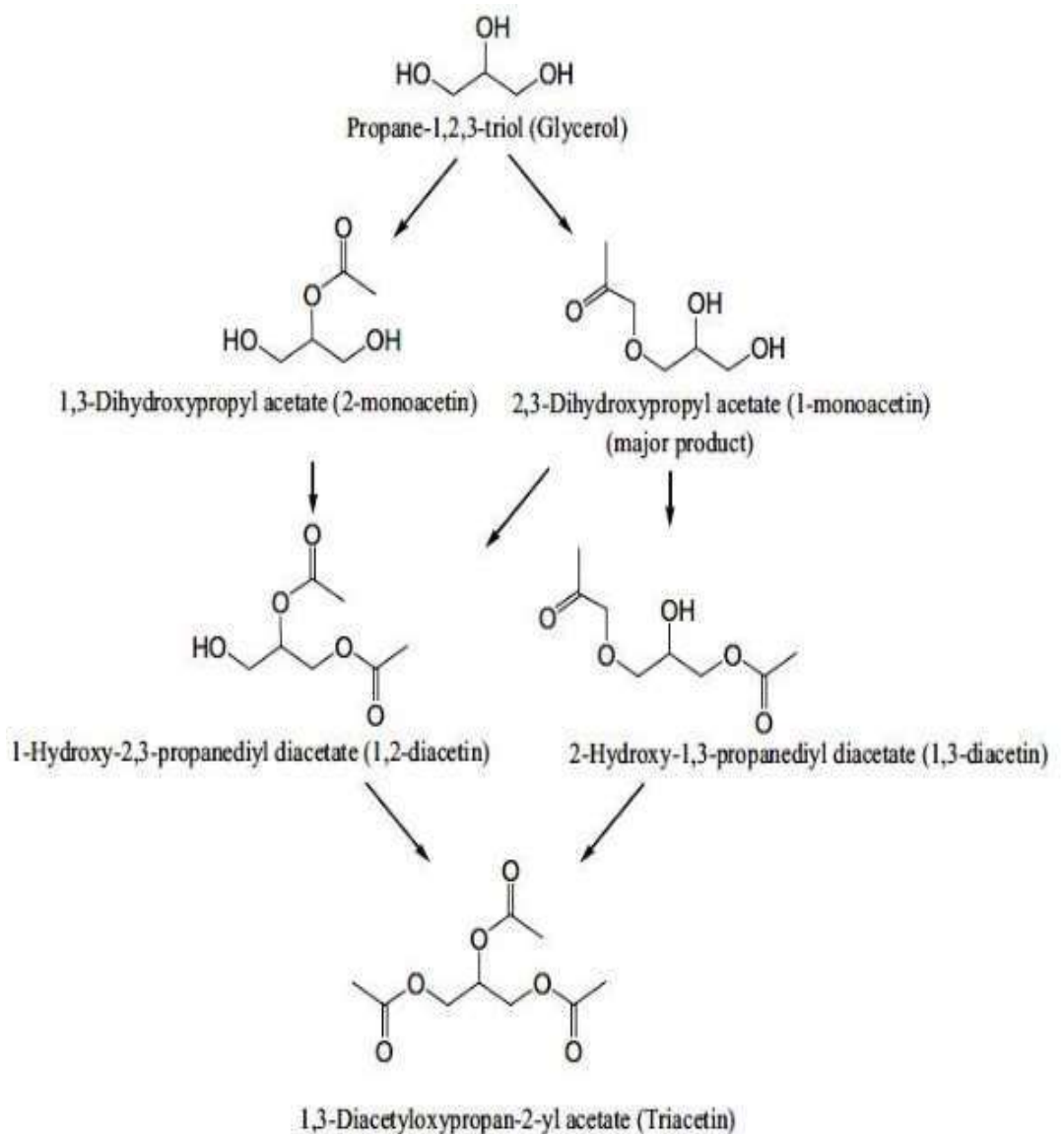
**Tabel 4.1.** Perhitungan Relative Area

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  $\text{OCOCH}_3$  (grup asetil) menggantikan gugus  $\text{-OH}$  dengan proses asetilasi secara bertahap oleh kelompok  $\text{-OH}$  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**

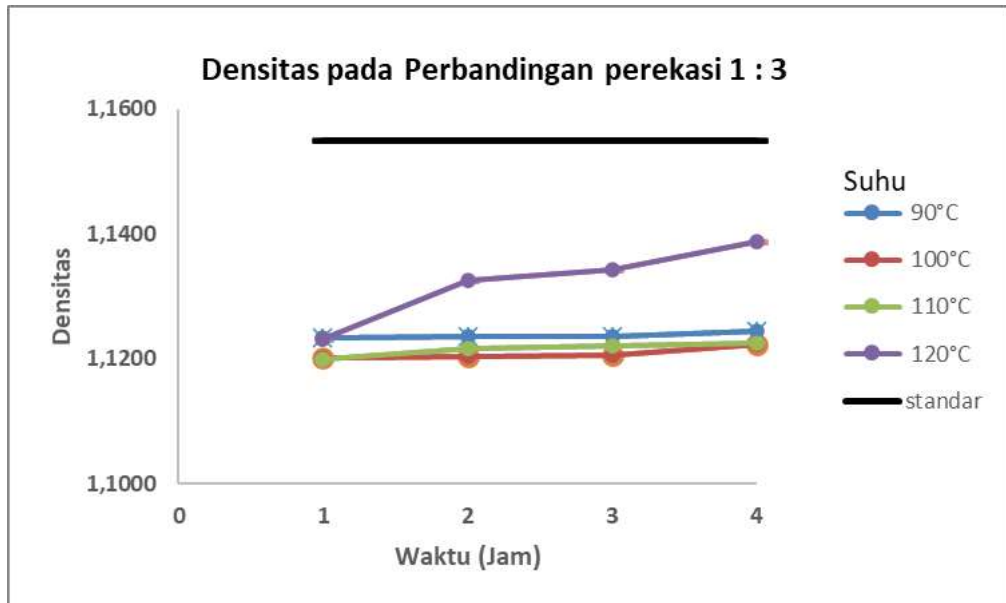


**Gambar 4.6.** Skema Asetilasi Gliserol Menjadi Triacetin (Konwal, L. J dkk., 2015)

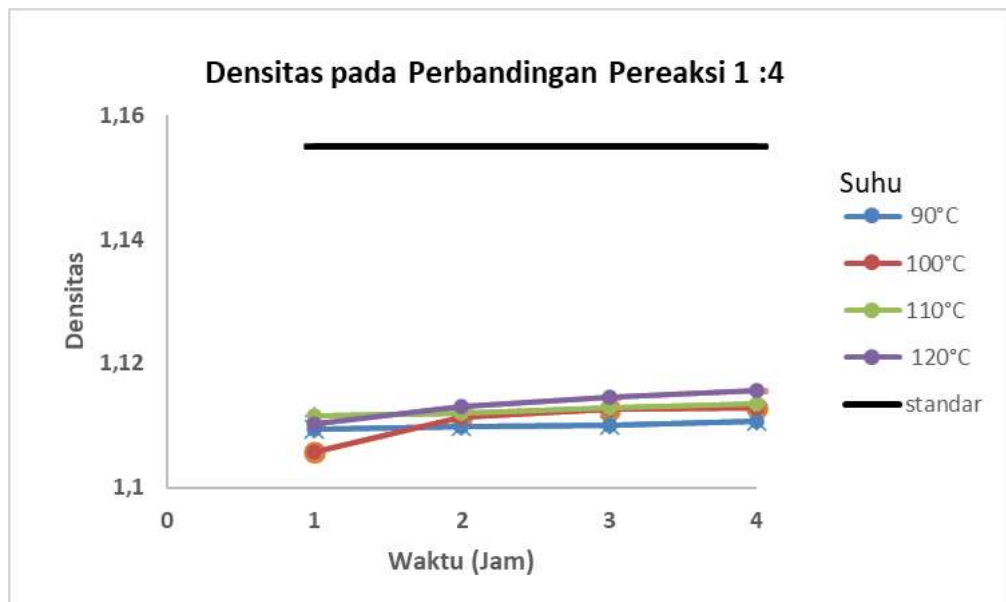


**- Densitas**

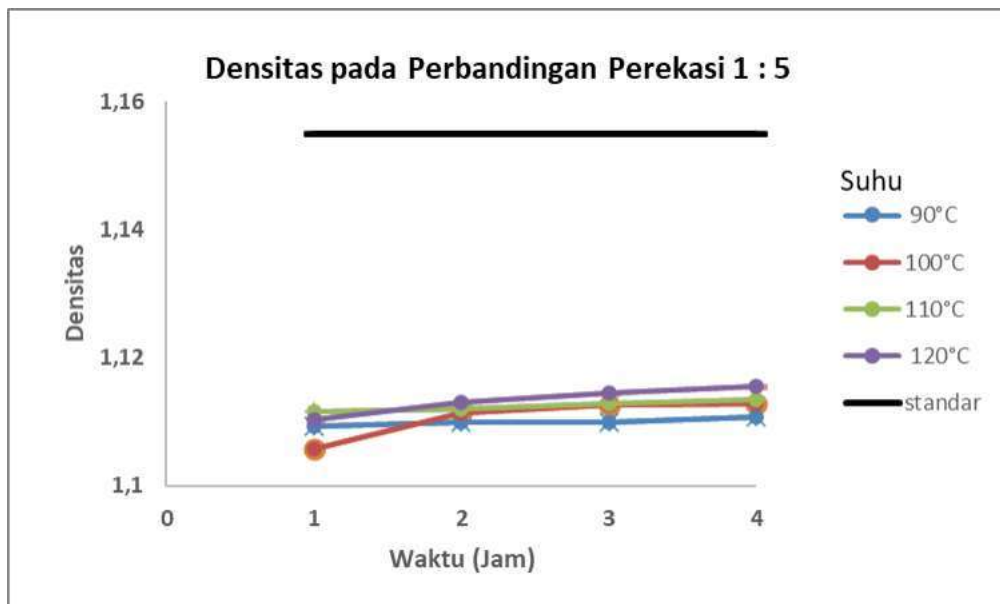
Seiring dengan bertambahnya suhu dan perbandingan pereaksi nilai densitas pun semakin meningkan hal tersebut terdapat pada **Gambar 4.7-4.9**.



**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

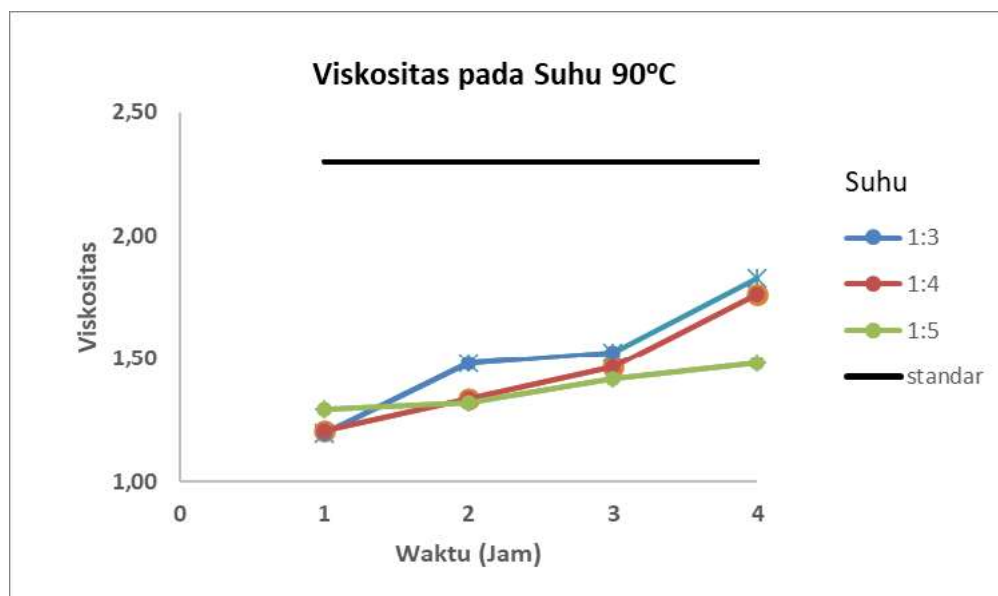
Densitas merupakan sifat dasar materi sebagai massa per satuan volume. Densitas triacetin pada temperatur ruang adalah 1,155 g/mL. Setiap zat memiliki nilai densitas tertentu sehingga densitas dapat menjadi salah satu indikator kemurnian zat. Pada penelitian ini dilakukan pengujian densitas setiap produk 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.

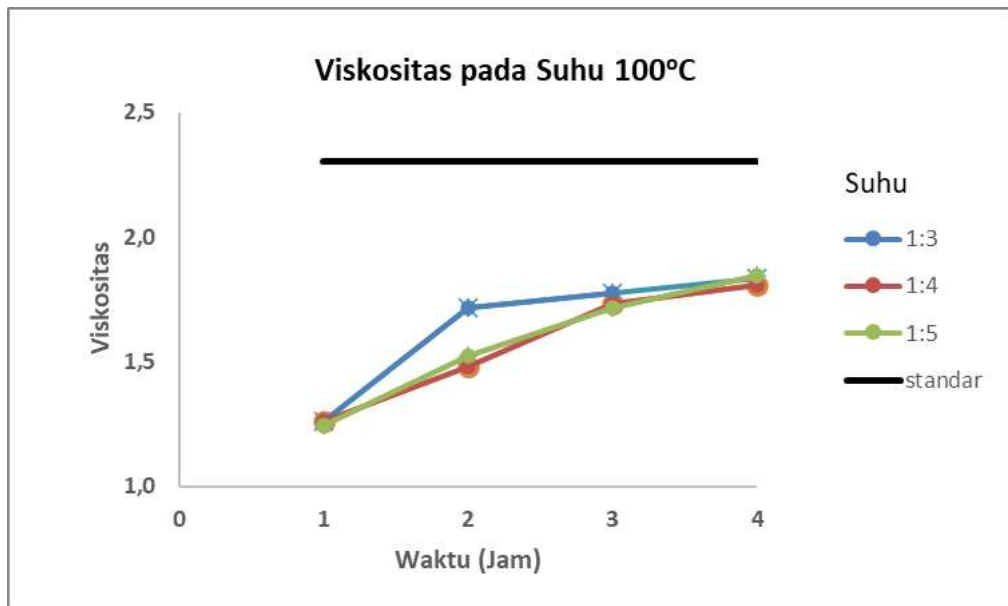
## - Viskositas

**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 ( $120^{\circ}\text{C}$ ) 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  $120^{\circ}\text{C}$  memiliki viskositas lebih kecil dari 2 yang mengindikasikan kurang optimalnya pembentukan triacetin.

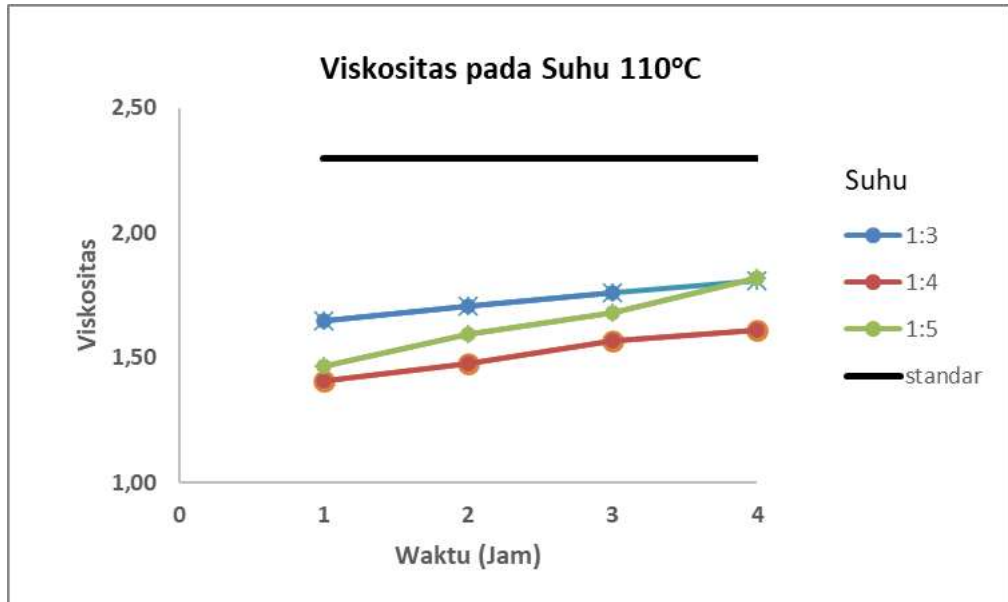
Secara umum, perbandingan pereaksi gliserol : asam asetat 1 : 3, pada berbagai variasi temperatur reaksi, menghasilkan produk dengan viskositas paling tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa reaktan berlebih yang terikat bersama produk akan menurunkan kemurnian produk.



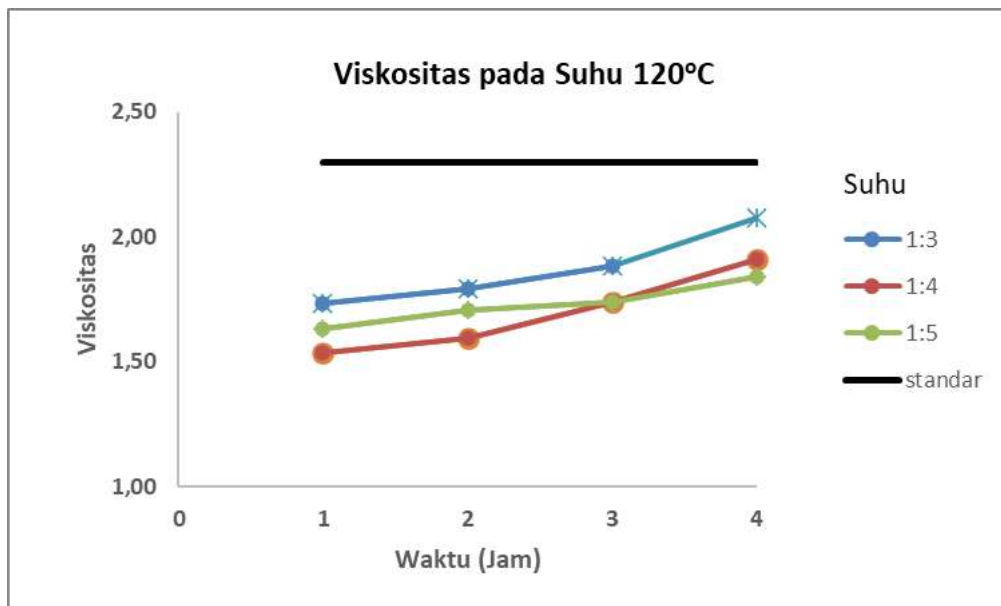
**Gambar 4.10.** Viskositas pada Suhu  $90^{\circ}\text{C}$



**Gambar 4.11.** Viskositas pada Suhu 100°C



**Gambar 4.12.** Viskositas pada Suhu 110°C



**Gambar 4.13.** Viskositas pada Suhu 120°C

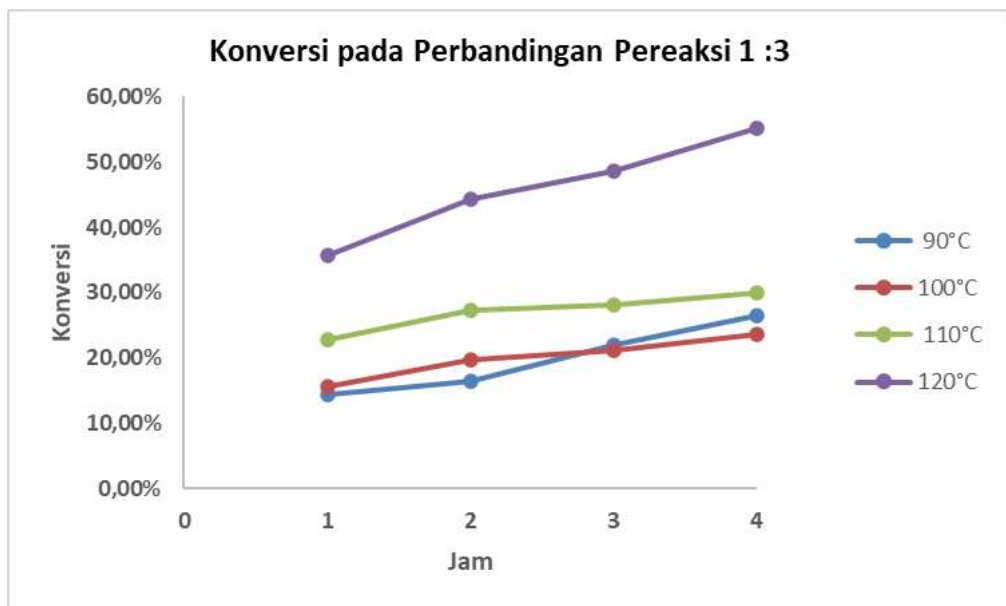
Nilai viskositas semakin naik seiring dengan naiknya konsentrasi Triacetin. Kenaikan viskositas ini disebabkan oleh konsentrasi larutan menyatakan banyaknya partikel zat yang terlarut tiap satuan volume. Partikel terlarut yang nilainya semakin banyak maka viskositasnya semakin tinggi pula yang disebabkan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

### **4.3 Pengaruh Suhu terhadap Sintesis Triacetin**

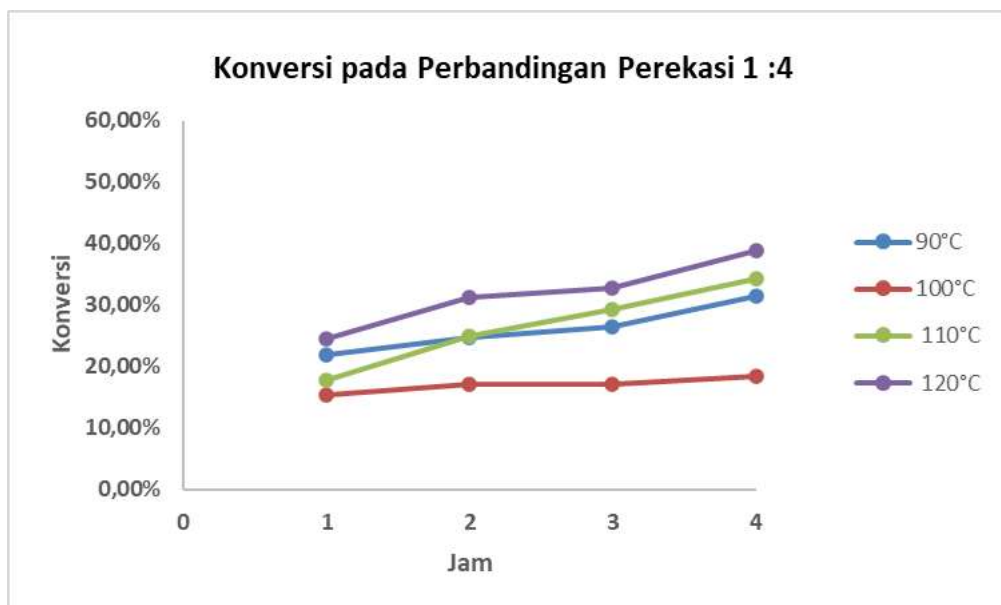
#### **- Konversi**

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,

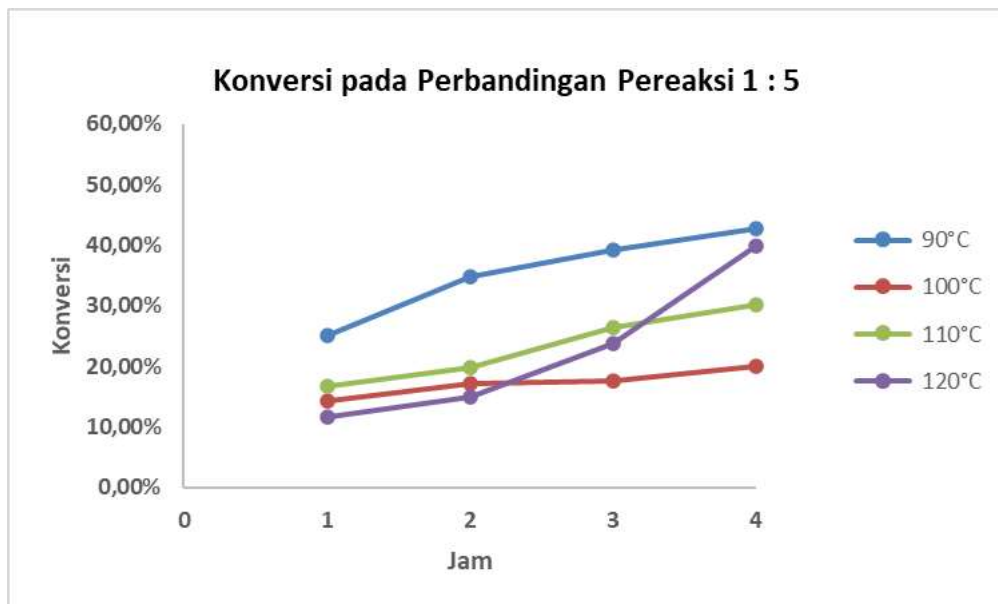
H (2015) 80°C-120°C kenaikan nilai konversi. Kecepatan reaksi akan semakin tinggi seiring dengan semakin tingginya suhu reaksi yang digunakan. Hal tersebut sesuai persamaan Arrhenius, dimana nilai konversi yang diperoleh semakin besar sebagai hasil dari kecepatan reaksi yang bertambah saat suhu reaksi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

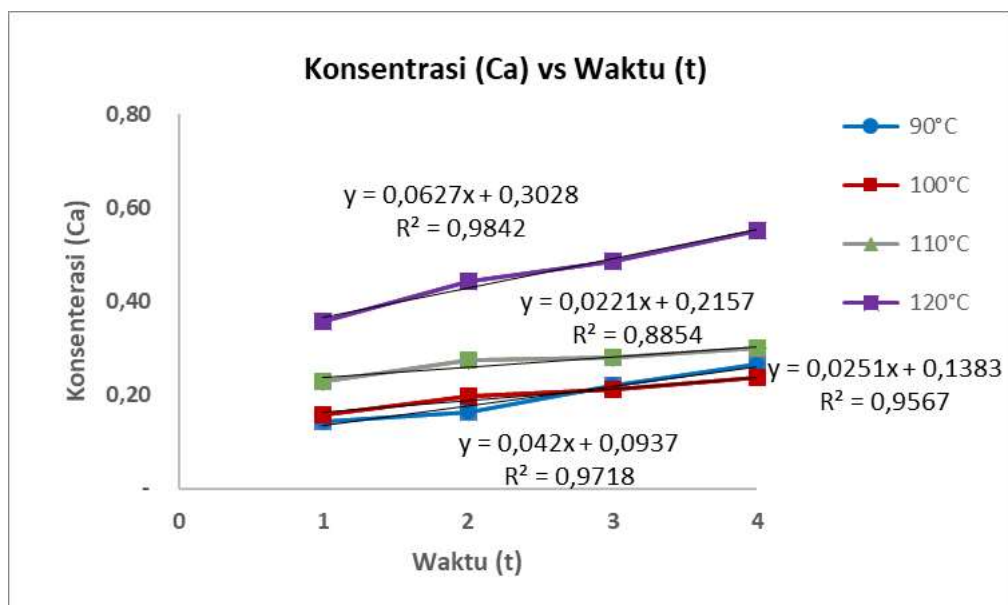
#### **- Kinetika Reaksi**

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**



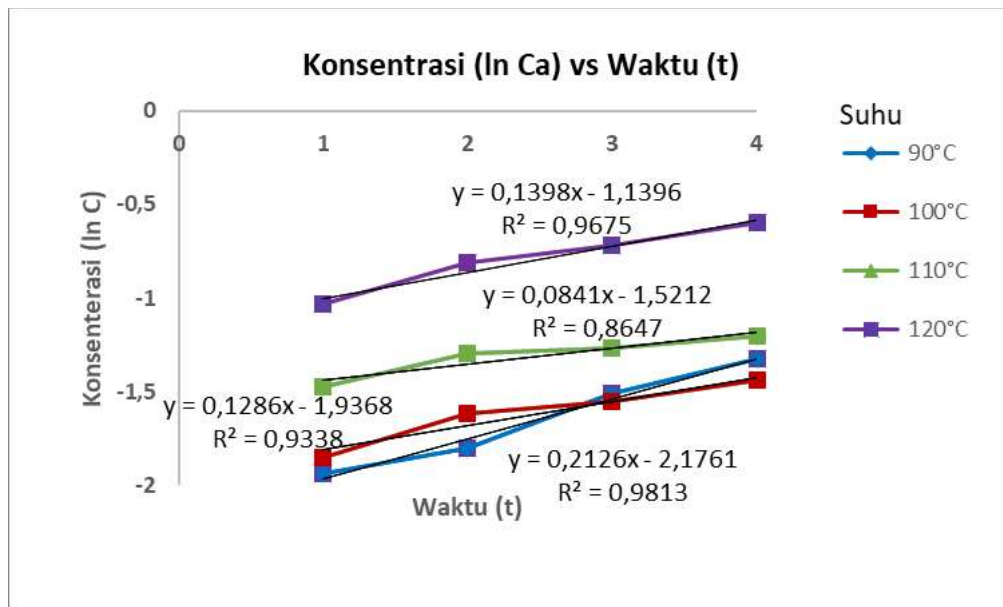
**Gambar 4.17.** Hubungan Konsentrasi (Ca) vs Waktu (t) dengan Perbandingan Pereaksi 1:3

**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

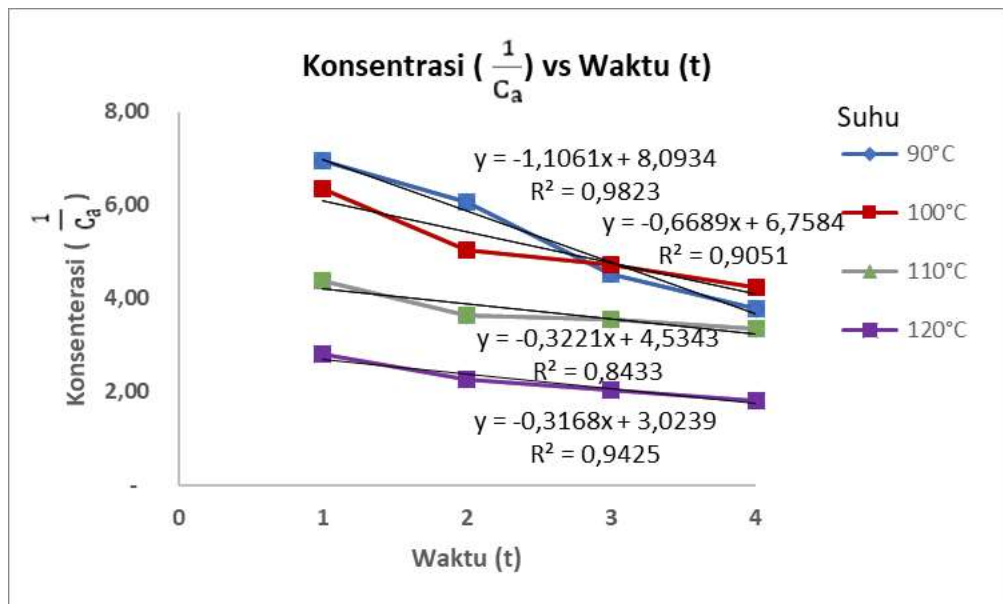
Hubungan waktu (t) dengan konsentrasi (ln Ca) dari hasil plot kedua varian tersebut dengan perbandingan pereaksi 1:3 disajikan pada **Gambar 4.18**.



**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 Pereaksi 1:3

**Tabel 4.2.** Nilai Koefisien Determinasi ( $R^2$ ) Orde 1 dan Orde 2 pada Perbandingan Pereaksi 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

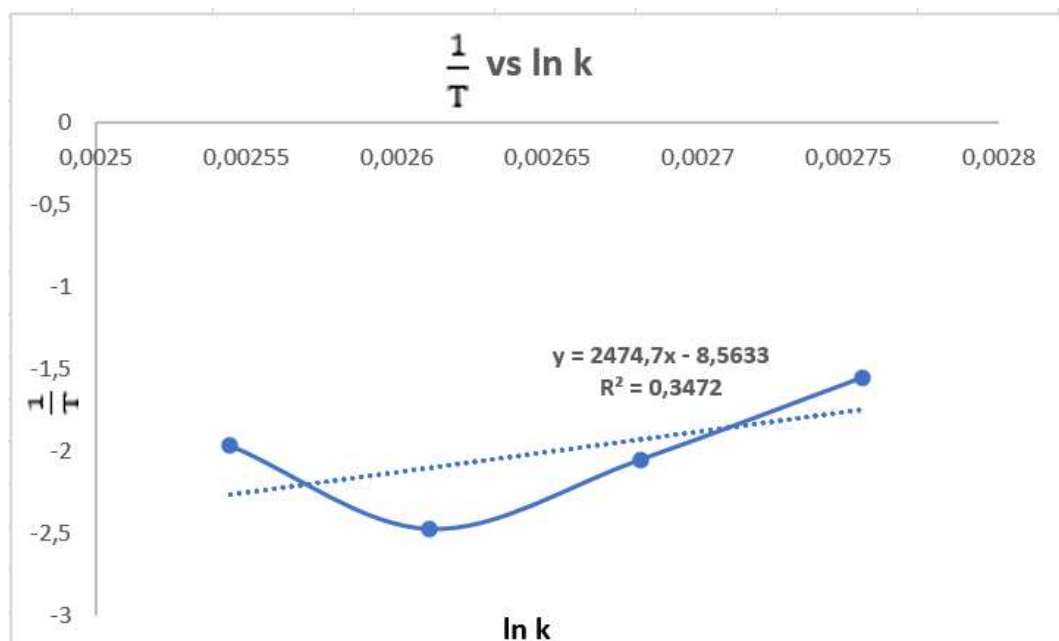
**Tabel 4.3.** Nilai Koefisien Determinasi ( $R^2$ ) Orde 1 dan Orde 2 pada Suhu 110°C

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 **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 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 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<sup>-1</sup>. Berdasarkan hal tersebut, konsentrasi reaktan yang besar mengandung jumlah partikel yang lebih banyak, sehingga partikelnya lebih banyak tersusun rapat. Partikel yang mempunyai susunan padat 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<sup>-1</sup> , 100°C sebesar 0,1286 s<sup>-1</sup>, 110°C sebesar 0,0841 s<sup>-1</sup>, dan 120°C sebesar 0,1398 s<sup>-1</sup>. Untuk mendapatkan nilai konstanta kecepatan reaksi maka dibuat grafik hubungan 1/T terhadap ln k.



**Gambar 4.20.** Grafik Hubungan  $\frac{1}{T}$  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 (Ea) hal tersebut sesuai dengan teori aktivasi. Untuk menentukan energi aktivasi digunakan persamaan :

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

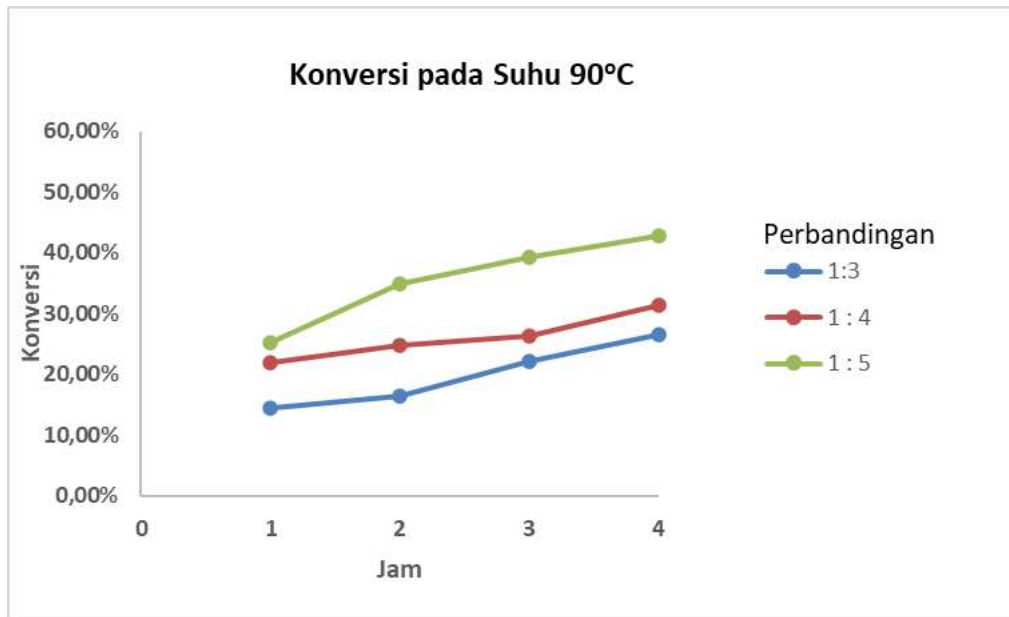
Kemudian terjadilah hubungan linier antara  $\ln k$  (sumbu y) terhadap  $\frac{1}{T}$  (sumbu x) dengan kemiringan  $-E_a/RT$  dan potongan sumbu y sama dengan  $\ln A$ . Dari hasil perhitungan diperoleh persamaan  $y = 2474,7x - 8,5633$  sehingga diperoleh nilai energi aktivasi ( $E_a$ ) sebesar  $-20574,66 \text{ J/mol}$  atau  $-20,57 \text{ kJ/mol}$  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  $-20,57 \text{ kJ/mol}$  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,  $\ln k$

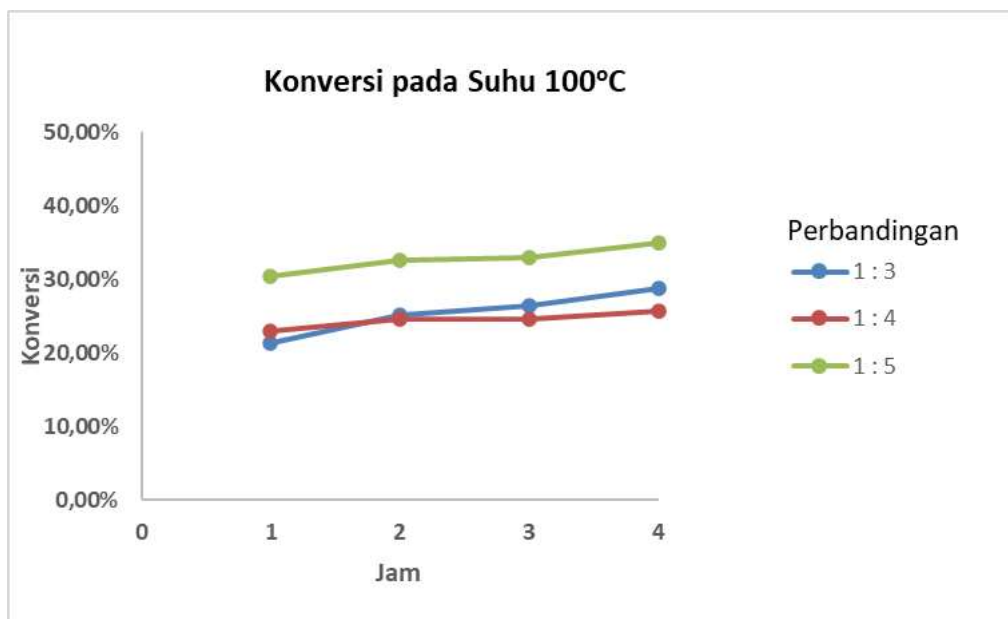
pada suhu reaksi menyebabkan penurunan (Atkins, P dan Paula, J. 2006) fenomena tersebut dapat dilihat pada **Gambar 4.20**. Energi aktivasi ( $E_a$ ) suhu 120°C lebih kecil dibandingkan yang lain. Hal ini menandakan akan segera terbentuknya monoasetin berubah menjadi diasetin. Fenomena ini sejalan dengan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

#### **4.4 Pengaruh Perbandingan Pereaksi terhadap Sintesis Triasetin**

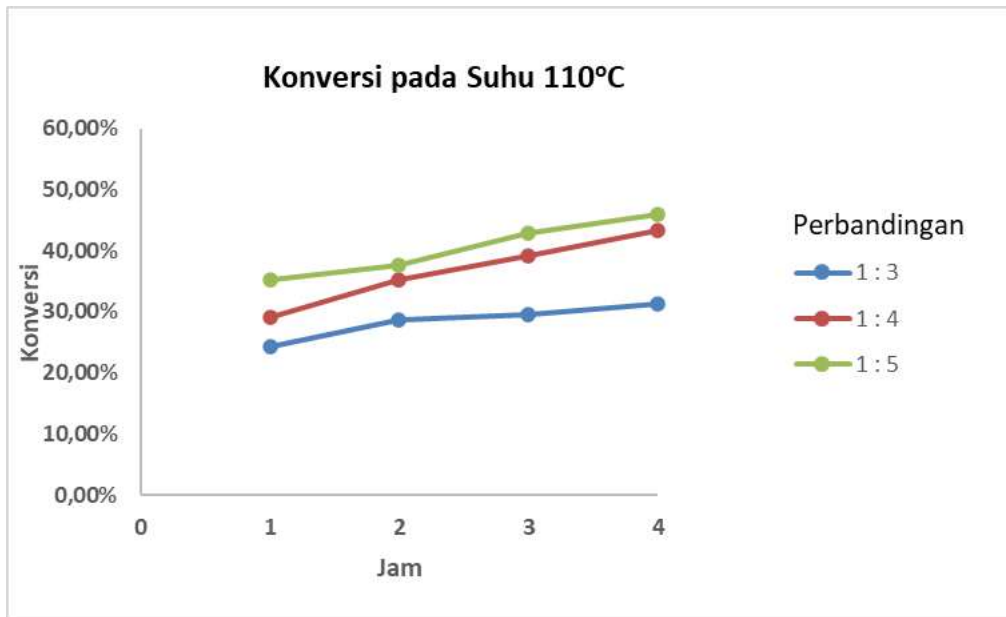
Menurut asas Le Chatelier dimana bila mol reaktan ditambahkan maka arah reaksi akan bergeser ke arah produk sehingga semakin besar asam asetat yang ditambahkan maka produk yang dihasilkan akan semakin besar, sehingga seharusnya perbandingan rasio mol yang lebih tinggi memiliki konversi yang lebih tinggi 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 (Fessenden, R.J dan Fessenden, J.S., 1982), saat salah satu reaktan 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 **Gambar 4.21-4.24**.



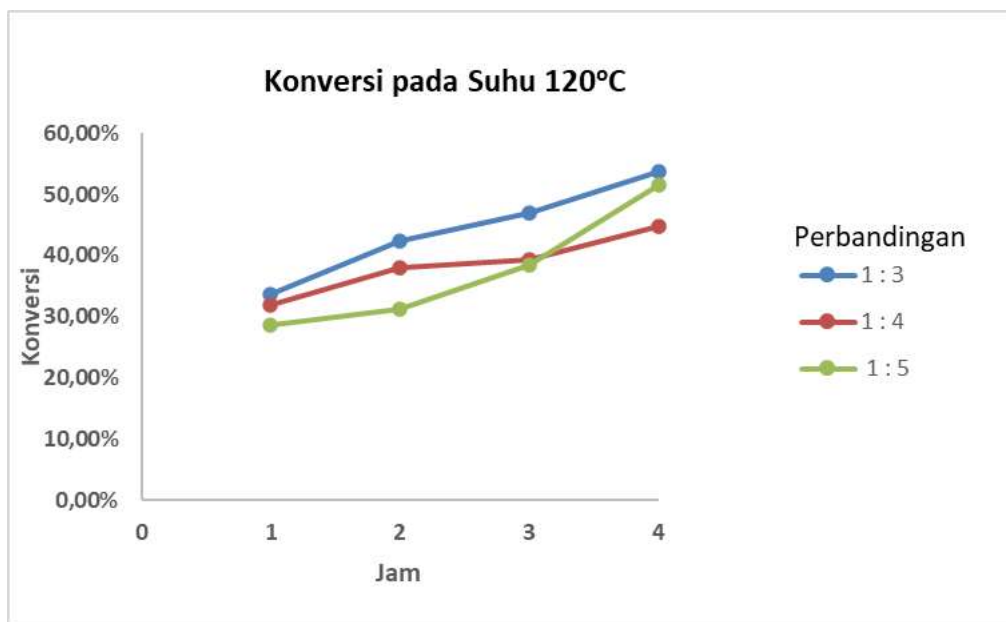
**Gambar 4.21.** Konversi Gliserol pada Suhu 90°C



**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



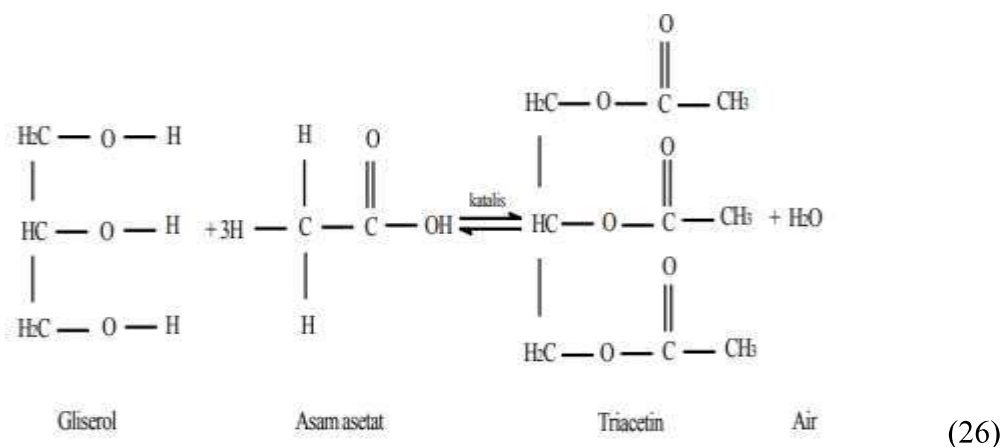
oleh Hamzah dkk (2019) nilai konversi reaktan pada rentang 76% sampai 100% bernilai baik. Dimana dalam penelitian adalah : 1:6 - 1:12 mol sering digunakan sebagai perbandingan antara gliserol dan asam asetat. Akan tetapi perbandingan 1:3 mol juga lebih sering digunakan karena komposisi pereaksi yang 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 rasio mol reaktan 1 gliserol : 3 asam asetat sebesar 91.76%. Sedangkan untuk 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

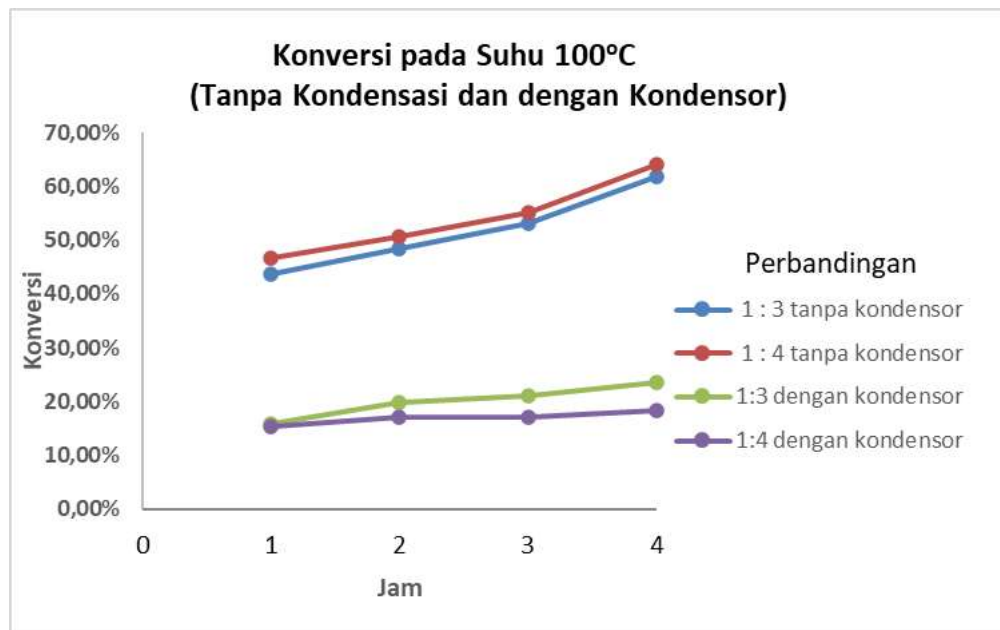
penelitian dari Yanti N.R dkk (2019) dimana terjadi penurunan konversi yang diperoleh ketika rasio ditingkatkan dari 1:8,9 menjadi 1:11,5 yaitu dari 91% menjadi 87% hal ini dapat disebabkan oleh kondisi saturasi pada tingginya rasio mol, sehingga perubahan yang terjadi tidak signifikan. Pada penelitian yang dilakukan oleh Gao, X dkk., 2015 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**.

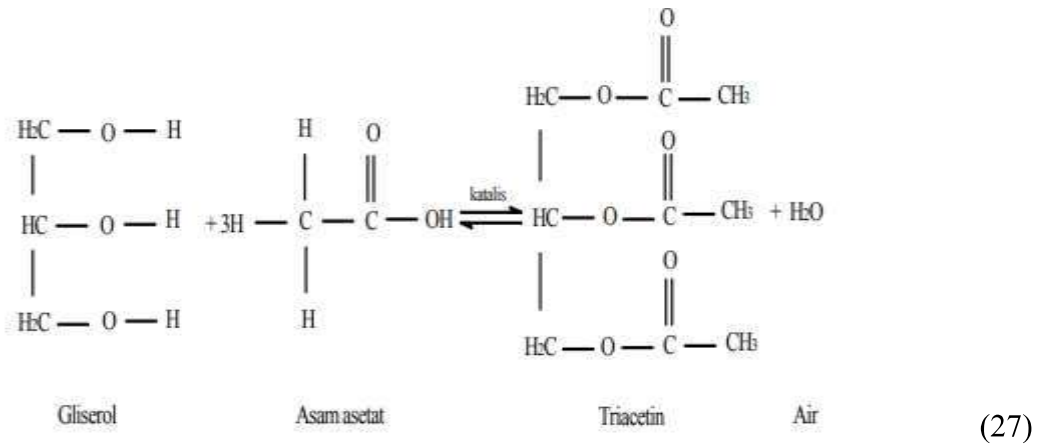


**Gambar 4.25.** Konversi pada Suhu 100°C (Tanpa Kondensasi dan dengan Kondensor)

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



$$\Delta H^{\circ}_{f\ 298} = \Delta H^{\circ}_{f\ \text{produk}} - \Delta H^{\circ}_{f\ \text{reaktan}}$$

Diketahui data  $\Delta H^{\circ}_{f}$  standar

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

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

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

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

$$\Delta H^{\circ}_{298} = (-483880 - 285830) \frac{\text{J}}{\text{mol}} - (-578800 - 445890) \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

$$= 254980 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

$$\Delta G^{\circ}_{f\ 298} = \Delta G^{\circ}_{f\ \text{produk}} - \Delta G^{\circ}_{f\ \text{reaktan}}$$

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

$$\Delta G^{\circ}_{f298} \text{ Asam Asetat} = -324200 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

$$\Delta G^{\circ}_{f298} \text{ Triacetin} = -530964 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

$$\Delta G^{\circ}_{f298} \text{ Air} = -237129 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

$$\Delta G^{\circ}_{f298} = (530964 - 237129) \frac{\text{J}}{\text{mol}} - (-475500 - 324200) \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

$$= 31607 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

Dari persamaan van't Hoff :

$$\Delta G^{\circ}_{f298} = -R.T.kn$$

$$\ln K = \frac{(\Delta G^{\circ}_{f298})}{R.T}$$

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

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

$$\ln \frac{k}{k_{298}} = -\frac{\Delta H^{\circ}_{f298}}{R} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_{298}} \right)$$

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).