



**KINETIKA REAKSI ESTERIFIKASI GLISEROL
DENGAN FFA (*Free Fatty Acid*) DENGAN KATALIS
ZEOLIT 3A**

SKRIPSI

**Skripsi ini ditulis sebagai salah satu syarat
Untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Kimia**

Oleh

Akhmad Zuhdi Willy Aryansyah

5213414009

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2019**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Akhmad Zuhdi Willy Aryansyah
NIM : 5213414009
Jurusan : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Kinetika Reaksi Esterifikasi Gliserol dengan FFA (*Free Fatty Acid*) dengan Katalis Zeolit 3A

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian skripsi Jurusan Teknik Kimia S-1 Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, Januari 2020

Pembimbing



Dr. Megawati, S.T., M.T.

NIP. 197211062006042001

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Kinetika Reaksi Esterifikasi Gliserol dengan FFA (*Free Fatty Acid*) dengan Katalis Zeolit 3A” telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal 28 bulan Januari 2020

Oleh :

Nama : Akhmad Zuhdi Willy Aryansyah
NIM : 5213414009
Jurusan : Teknik Kimia

Panitia:

Ketua Jurusan



Dr. Dewi Selvia Fardhyanti, S.T.,M.,T
NIP. 197103161999032002

Sekretaris Jurusan



Dr. Megawati, S.T.,M.T
NIP. 197211062006042001

Pembimbing I



Dr. Megawati, S.T., M.T.
NIP. 197211062006042001

Penguji I



Dr. Dewi S.F., S.T., M.T.
NIP. 197103161999032002

Penguji II



Bayu Triwibowo., S.T.,M.T.
NIP. 198811222014041001

Mengetahui:

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Nur Qudus, M.T
NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, Januari 2020

Yang membuat pernyataan,

Akhmad Zuhdi Willy Aryansyah



NIM. 5213414009

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

Ingatlah Allah saat hidup tak berjalan sesuai keinginanmu. Allah pasti punya jalan yang lebih baik untukmu.

PERSEMBAHAN

1. Allah SWT
2. Ibu, Bapak, Adik dan saudara-saudara yang memberikan dukungan moral dan spiritual
3. Dosen Teknik Kimia UNNES
4. Sahabat-sahabat yang selalu menyemangati
5. Teman seperjuangan Teknik Kimia angkatan 2014
6. Almamater UNNES tercinta

ABSTRAK

Aryansyah, A.Z.W., 2019. *Kinetika Reaksi Esterifikasi Gliserol dengan FFA (Free Fatty Acid) dengan Katalis Zeolit 3A*, Skripsi, Pembimbing Dr. Megawati, S.T., M.T. Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.

Perkembangan industri di Indonesia setiap tahunnya mengalami peningkatan. Di setiap industri pasti ada yang namanya limbah. Limbah yang tidak diolah dengan baik akan mengakibatkan pencemaran lingkungan yang baru. Salah satu limbah yang belum diolah dengan baik yaitu FFA (*Free Fatty Acid*) dan gliserol. Limbah tersebut dapat dimanfaatkan menjadi MDAG (*Monodiacylglycerol*) melalui proses esterifikasi menggunakan katalis zeolit 3A. Dalam percobaan tersebut, data yang dihasilkan diolah melalui perhitungan kinetika reaksi menggunakan model homogen dan heterogen untuk mendapatkan perhitungan desain reaktor yang baik. Pada percobaan tersebut menggunakan variabel bebas berupa suhu (60, 70, dan 80°C) dan jumlah rasio katalis (5, 10, dan 15%). Dari perhitungan kinetika reaksi didapatkan bahwa semakin tinggi suhu dan jumlah rasio katalis maka semakin tinggi hasil konversi. Dalam pemilihan permodelah kinetika reaksi bahwa pemilihan model orde dua adalah permodelan yang sangat cocok, karena memiliki ralat rerata error hanya 2%. Hasil konversi dari setiap suhu (60, 70, dan 80°C) tertinggi adalah 0,903, 0,907, dan 0,911. Nilai konstanta kecepatan reaksi Arrhenius pada suhu 60, 70, dan 80°C adalah 0,135, 0,136, dan 0,162 L/mol.menit. Energi aktivasi (E) sebesar 8688,13 J/mol.K dan faktor tumbukan (A) sebesar 0,3295 1/menit.

Kata Kunci : *Esterifikasi, FFA, Gliserol, Zeolit 3A, Kinetika*

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Kinetika Reaksi Esterifikasi Gliserol dengan FFA (*Free Fatty Acid*) dengan Katalis Abu Cangkang Telur Ayam. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang. Penelitian ini diangkat sebagai upaya untuk mengembangkan parameter kinetika reaksi terhadap sintesis MDAG yang merupakan senyawa baru kompleks.

Penyelesaian karya tulis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih serta penghargaan kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik.
3. Dr. Dewi Selvia Fardhyanti, S.T.,M.,T selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia yang telah memberi bimbingan dengan menerima kehadiran penulis setiap saat disertai kesabaran, ketelitian, masukan-masukan yang berharga untuk menyelesaikan karya ini.
4. Dr. Megawati, S.T.,M.T Dosen Pembimbing yang penuh perhatian dan atas perkenaan memberi bimbingan dan dapat dihubungi sewaktu-waktu disertai kemudahan dalam memberikan bahan dan menunjukkan sumber-sumber yang relevan serta membantu penulisan penelitian ini.
5. Dr. Dewi Selvia Fardhyanti, S.T.,M.,T dan Bayu Triwibowo, S.T.,M.T. sebagai Dosen Penguji yang telah memberi masukan yang sangat berharga berupa saran, ralat, perbaikan, pertanyaan, komentar, tanggapan, menambah bobot dan kualitas karya tulis ini.
6. Seluruh Dosen Teknik Kimia FT UNNES yang telah memberi bekal pengetahuan yang berharga.
7. Ibu dan Bapak serta seluruh keluarga yang selalu mendukung dan mendoakan kami selama menjalani perkuliahan hingga dapat menyelesaikan karya tulis. Peneliti berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi nusa dan bangsa dalam mengembangkan ilmu pengetahuan khususnya di bidang pemanfaatan limbah berbasis bahan alam terbarukan.

Semarang, Januari 2020

Peneliti

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR KEASLIAN KARYA ILMIAH	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2. Identifikasi Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.3 Rumusan Masalah.....	4
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Manfaat.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 <i>Free Fatty Acid</i> (FFA)	6
2.2 Gliserol	6

2.3 <i>Monodiacylglycerol</i> (MDAG)	8
2.4 Reaksi Esterifikasi	9
2.5 Katalis Zeolit 3A	10
2.6 Kinetika Reaksi.....	10
BAB III METODE PENELITIAN.....	18
3.1 Algoritma.....	18
3.2 Flowchart	19
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	20
1.1 Kinetika Reaksi dengan Pendekatan Homogen	20
4.1.1 Kinetika Reaksi Orde Satu	20
4.1.2 Kinetika Reaksi Orde Dua	25
4.1.3 Energi Aktivasi dan Faktor Tumbukan	29
4.2 Kinetika Reaksi dengan Pendekatan Heterogen.....	32
4.3 Perbandingan Model Homogen dan Heterogen.....	34
BAB V PENUTUP.....	36
5.1 Kesimpulan.....	36
5.2 Saran	36
DAFTAR PUSTAKA	37
LAMPIRAN.....	40

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Lemak Kakao.....	6
Tabel 4.1 Hasil Perhitungan untuk Orde Satu pada Suhu 60°C.....	21
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan untuk Orde Satu pada Suhu 70°C.....	21
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan untuk Orde Satu pada Suhu 80°C.....	22
Tabel 4.4 Nilai Konstanta Kecepatan Reaksi pada Orde Satu	23
Tabel 4.5 Konversi Asam Lemak Hasil Perhitungan Pendekatan Orde Satu	24
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan untuk Orde Dua pada Suhu 60°C	25
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan untuk Orde Dua pada Suhu 70°C	26
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan untuk Orde Dua pada Suhu 80°C	26
Tabel 4.9 Nilai Konstanta Kecepatan Reaksi pada Orde Dua	27
Tabel 4.10 Konversi Asam Lemak Hasil Perhitungan Pendekatan Orde Dua	28
Tabel 4.11 Perhitungan Data 1/T dan ln k	30
Tabel 4.12 Hasil Koefisien Difusi pada Berbagai Suhu pada Esterifikasi Gliserol dengan FFA Menggunakan Katalis Zeolit 3A 15% (Berat FFA 40 gram, rasio FFA:gliserol =1:6 (mol/mol); <i>tert</i> -butanol:FFA = 3:1 (v/b), katalis:FFA = 0,15:1)	33

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Rumus Molekul Gliserol.....	7
Gambar 2.2	Struktur Kimia MAG, DAG, TAG.....	8
Gambar 2.3	Orde Reaksi Satu.....	13
Gambar 2.4	Orde Reaksi Dua.....	14
Gambar 2.5	Elemen Volume Setebal Δr dalam Bola Berpori.....	15
Gambar 3.1	Flowchart Perhitungan Kinetika Reaksi.....	19
Gambar 4.1	Grafik Model Orde Satu Esterifikasi Gliserol dengan FFA Menggunakan Katalis Zeolit 5% pada suhu 60°C.....	22
Gambar 4.2	Grafik Model Orde Dua Esterifikasi Gliserol dengan FFA Menggunakan Katalis Zeolit 5% pada suhu 60°C.....	27
Gambar 4.3	Perbandingan Model Reaksi Orde Satu Esterifikasi Gliserol dengan FFA Menggunakan Katalis Zeolit 3A 15% Suhu 60°C.....	29
Gambar 4.4	Hubungan Antara $\ln k$ dengan $1/T$	31
Gambar 4.7	Hubungan Antara $\ln De$ dengan $1/T$	34
Gambar 4.8	Perbandingan Konversi antara Model Heterogen dan Homogen Orde Dua pada Esterifikasi Gliserol dengan FFA Menggunakan Katalis Zeolit 3A dengan Rasio 1:0,05 (b/b). (Berat FFA 40 gram, rasio FFA/Gliserol = 1:6 (mol/mol), rasio Zeolit 3A/FFA = 1:0,05 (b/b)) pada suhu 60°C	35

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Kinetika Reaksi Esterifikasi	40
Lampiran 2. Prosedur Kerja Perhitungan.....	43
Lampiran 3. Perbandingan Model Homogen dan Heterogen	44

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri di Indonesia setiap tahunnya mengalami peningkatan. Di setiap industri pasti ada yang namanya limbah. Limbah yang tidak diolah dengan baik akan mengakibatkan pencemaran lingkungan yang baru. Akan tetapi limbah dapat dimanfaatkan menjadi produk yang berguna jika diolah dengan benar. Salah satu limbah yang bisa dimanfaatkan adalah limbah dari industri coklat yaitu limbah biji kakao. Di Indonesia limbah biji kakao masih belum ditangani dengan baik. Limbah biji kakao masih dibiarkan menumpuk. Pada saat pengolahan biji kakao dapat menghasilkan limbah yang disebut *Free Fatty Acid* (FFA). Limbah FFA ini dapat menurunkan kualitas produk karena *Free Fatty Acid* (FFA) merupakan asam lemak yang dibebaskan dari proses hidrolisis trigliserida. Komponen yang terkandung di dalam FFA diantaranya asam stearat 33,2 %, asam oleat 32,6 %, dan asam palmitat 25,4 % (Indarti, 2007). Dalam hal ini, FFA dapat diperoleh dari hasil samping produksi biodiesel. Menurut Ahn et al. (1995) produksi biodiesel menghasilkan residu cukup besar yaitu kurang lebih 12% dari produk berupa gliserol kasar.

Secara umum MDAG dapat diproduksi dengan cara proses esterifikasi gliserol dan asam lemak bebas (O'Brien, 2009). MDAG merupakan campuran mono dan diasilgliserol, banyak digunakan dalam industri makanan, farmasi dan kosmetik sebagai emulsifer atau pengemulsi (Kittikum, 2008). Sifat pengemulsinya sangat baik, mempunyai bau dan rasa lemah, mudah terurai dan diakui cukup aman (GRAS). Emulsifer merupakan bahan yang dapat mengurangi tegangan permukaan pada interfasial dua fase yang dalam keadaan normal tidak saling bercampur sehingga menyebabkan keduanya dapat bercampur dan membentuk emulsi serta mempertahankan emulsi (Rohman, 2013). Sebagian besar produksi MDAG dilakukan dengan reaksi gliserolisis, karena bahan baku yang digunakan berupa minyak. Reaksi gliserol akan berjalan lambat jika dilakukan tanpa menggunakan katalis. Katalis ini digunakan untuk membantu

mendapatkan konversi yang tinggi dengan waktu yang relatif singkat. Dari pemilihan katalis, penelitian ini melihat dari beberapa penelitian sebelumnya, antara lain: Penelitian Eny tahun 2017 dan Nainggolan pada tahun 2014 yang menggunakan katalis abu cangkang telur sedangkan Tiara pada tahun 2017 menggunakan katalis MgO.

Dari beberapa penelitian sebelumnya penggunaan katalis yang baik adalah katalis heterogen. Tidak digunakannya katalis homogen karena proses memiliki kelemahan yaitu pemisahannya katalis dari produk yang cukup rumit. Sedangkan menggunakan katalis heterogen lebih efisien daripada katalis homogen karena lebih mudah untuk dipisahkan dari produk dan lebih murah (Hermawan, 2013). Katalis heterogen yang bersifat asam banyak dikembangkan untuk mengatasi permasalahan yang diakibatkan katalis homogen (Arifin, 2015). Zeolit didefinisikan sebagai kristal alumina silika berstruktur tiga dimensi, yang terbentuk dari tetrahedral alumina dan silika dengan rongga-rongga di dalam yang berisi ion-ion logam (Setiawan, 2015). Zeolit umumnya memiliki aktivitas katalitik yang rendah, stabilitas termal yang tidak terlalu tinggi, dan ukuran porinya tidak seragam. Oleh karena itu perlu diaktifasi terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai katalis (Handoko, 2002). Zeolit dibagi menjadi 2 yaitu zeolit alam dan zeolit sintetis. Zeolit sintetis memiliki karakter lebih baik daripada zeolit alami. Salah satu zeolit sintetis adalah zeolit 3A dimana zeolit ini dapat mengikat air dengan baik (Simo dkk, 2009). Selain itu Zeolit 3A dapat penurunan bilangan asam, bilangan peroksida dan kadar air, dan kenaikan bilangan Iod (Handayani, 2016).

Pada penelitian ini mol rasio dari setiap bahan sangat penting untuk komposisi produk akhir serta efisiensi esterifikasinya Menurut Retno Dian (2014) dalam produksi MDAG rasio minyak dan gliserol yang optimum adalah 1 : 6. Gliserol yang terlalu banyak dapat meningkatkan viskositas sistem reaksi serta menyebabkan sulit untuk menghilangkan air yang terbentuk dalam reaksi yang menghalangi perpindahan massa dan kecepatan reaksi (Wang, 2011). Rasio katalis yang digunakan adalah 5%, 10%, dan 15%. Sebagai informasi tambahan

bahwa, dalam kasus lain gliserol sangat sulit dilarutkan dalam minyak, sehingga dibutuhkan suatu pelarut (*co-solvent*) dalam membantu gliserol untuk memudahkan gliserol bereaksi dengan minyak. Pelarut yang sudah digunakan sebagai penelitian untuk pembuatan MDAG adalah tert-butanol (Yanuar dkk, 2014)

Pada penelitian ini, limbah FFA biji kakao dengan menggunakan pelarut tert-butanol dan katalis Zeolit 3A untuk menghasilkan MDAG. Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan nilai guna limbah FFA dari pengolahan biji kakao dengan diolah menjadi MDAG yang banyak dibutuhkan di industri. Selain itu, produksi MDAG dapat mengurangi pencemaran lingkungan akibat limbah FFA kakao.

Tujuan dari studi kinetika adalah untuk mengetahui pengendali laju reaksi dan konstanta difusi serta energi aktivasinya. Pengendalian laju suatu proses sangat penting untuk mengetahui langkah-langkah apa saja yang dapat diperbaiki (seperti peningkatan kecepatan pengadukan, peningkatan suhu, dan peningkatan konsentrasi reaktan) sehingga diperoleh laju proses yang lebih cepat dan efisien (Sumardi dkk,2014).

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dikemukakan maka dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut:

1. Limbah biji kakao yang menumpuk dan gliserol dapat dimanfaatkan untuk membuat MDAG.
2. Rasio jumlah katalis terhadap volume FFA, suhu, dan waktu terhadap variabel yang berpengaruh.
3. Nilai parameter – parameter kinetika esterifikasi gliserol dengan FFA menjadi MDAG.
4. Modul kinetika yang sesuai yaitu homogen atau heterogen untuk esterifikasi gliserol dengan FFA belum teridentifikasi.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. FFA limbah hasil pengolahan dari biji kakao yang diambil dari PT COCOA.
2. Katalis yang digunakan dalam penelitian ini adalah zeolit 3A
3. Rasio katalis yang digunakan yaitu 5%, 10%, dan 15%. Sedangkan rasio FFA dengan gliserol 1:6.
4. Model heterogen dan homogen di selesaikan dengan asumsi rekayasa reversibel.
5. Parameter-parameter kinetika yang akan dipelajari pada model heterogen adalah difusi dan transfer massa FFA dalam pori-pori katalis dan pada model homogen adalah parameter-parameter Arrhenius.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana model kinetika reaksi yang sesuai pada esterifikasi gliserol dengan FFA?
2. Bagaimana pengaruh suhu dan waktu terhadap parameter kinetika reaksi pada esterifikasi gliserol dengan FFA?

1.5 Tujuan

Penelitian ini bertujuan:

1. Mengetahui model kinetika reaksi yang sesuai dengan esterifikasi gliserol dengan FFA.
2. Mengetahui pengaruh suhu dan waktu terhadap parameter kinetika reaksi pada esterifikasi gliserol dan FFA.

1.6 Manfaat (ilmu dan masyarakat)

1. Ilmu

- Dapat mengetahui model kinetika reaksi esterifikasi gliserol dengan FFA untuk menjadi MDAG .
- Untuk Perhitungan desain reaktor esterifikasi.

2. Masyarakat

- Dapat menambah nilai guna dan ekonomis limbah biji kakao
- Memberikan kontribusi bagi perkembangan IPTEKS untuk dijadikan salah satu solusi untuk mengatasi keberadaan limbah di pabrik dan di lingkungan rumah tangga/industri rumah tangga.
- Memberikan solusi pencemaran lingkungan yang diakibatkan limbah FFA.
- Memberikan solusi tepat guna untuk mengolah FFA biji kakao yang sebelumnya hanya dijual kepada industri pengolah FFA lain.
- Mendukung upaya konservasi di bidang lingkungan .

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Free Fatty Acid* (FFA)

Free Fatty Acid (FFA) adalah salah satu limbah yang berasal dari Limbah industri biji kakao. FFA merupakan asam lemak yang terbebas dari trigliseridanya. Komposisi lemak kakao dapat dilihat pada Tabel 2.1, dengan asam lemak jenuh stearat (33,2%), palmitat (25,4%), dan asam lemak tak jenuh oleat (32,6%) (Indarti, 2007).

Tabel 2.1 Komposisi Lemak Kakao

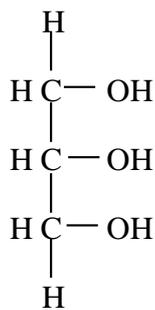
Sifat-sifat	Nilai Pengukuran
Bilangan iod	33 – 42
Bilangan penyabunan	188 – 198
Titik leleh	32 – 35 °C
Komposisi asam lemak	
Asam miristat (14:10)	0,1
Asam palmitat (16:0)	25,4
Asam palmitoleat (16:1)	0,2
Asam stearat (18:0)	33,2
Asam oleat (18:1)	32,6
Asam linoleat (18:2)	2,8
Asam linolenat (18:3)	0,1

Dari tabel komposisi asam lemak di atas disimpulkan bahwa asam lemak yang dominan terkandung di dalam lemak biji kakao meliputi asam palmitat, asam oleat dan asam stearat. Asam lemak yang diolah melalui proses pemecahan lemak dan minyak akan menghasilkan produk berupa surfaktan atau emulsifier seperti sabun, mono dan diasilgliseol, gula ester, alkanolamida dan poliglikol ester (Maag, 1984).

2.2 Gliserol

Gliserol ($C_3H_8O_3$) atau yang biasa kita sebut dengan gliserin mempunyai nama kimia 1,2,3-Propanetriol atau *trihydroxypropane* (JECFA, 2004). Gliserol pertama kali ditemukan pada tahun 1979 oleh

Scheel dari pemanasan minyak zaitun dan *litharge* yang kemudian mengekstraksinya dengan air. Dalam menguapkan air tersebut, Scheel mendapatkan cairan yang rasanya manis, setelah dipekatkan didapatkan trihidroksi alkohol (gliserol). . Gliserol merupakan suatu trihidroksi yang terdiri atas 3 atom karbon. Setiap atom karbon mempunyai gugus -OH. Adapun rumus molekul gliserin dapat ditunjukkan pada Gambar 2.1.



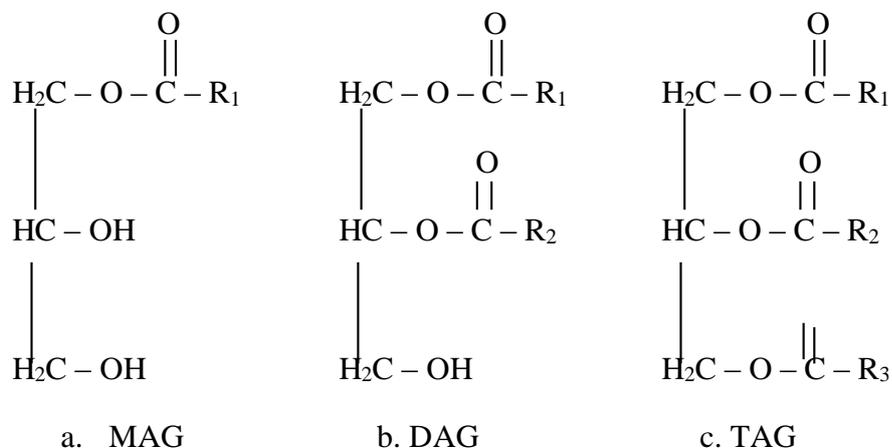
Gambar 2.1 Rumus Molekul Gliserol

Sifat fisik dari gliserol yaitu tidak berwarna, tidak berbau, merupakan cairan kental, mempunyai rasa manis, mempunyai densitas 1,261 g/mL, mempunyai titik lebur 18,2°C, dan mempunyai titik didih 290°C. Gliserol banyak terdapat di alam sebagai ester asam lemak pada lemak dan minyak (Mulyana, 2007). Gliserol sendiri dimanfaatkan untuk nilai tambah dalam pembuatan bahan kimia (Suyatmo, 2016). Gliserol digunakan dalam industri farmasi dan kosmetika sebagai bahan dalam preparat yang dihasilkan dan sebagai penghalus pada krim cukur, sabun, pelembab. Gliserol seringkali ditambahkan pada sediaan kosmetika untuk menjaga kelembaban kulit. Pada industri farmasi, banyak digunakan sebagai pelarut. Pada industri lem, gliserol digunakan untuk mencegah agar lem tidak cepat kering, dan pada industri makanan gliserol biasa digunakan sebagai pemanis. Gliserol larut baik dalam air dan tidak larut dalam eter. Selain itu gliserol juga berguna bagi sintesis lemak di dalam

tubuh. Gliserol didapat dari produk sampingan dalam produksi biodiesel melalui transesterifikasi trigliserida (Budhijanto, 2016).

2.3 *Monodiacylglycerol* (MDAG)

Monodiacylglycerol (MDAG) mulai setelah dilakukan produksi pada skala industri melalui reaksi gliserolisis trigliserida (Kurniasih, 2014), dimana MDAG dihasilkan dari reaksi antara trigliseridadan gliserol (Kurniasih, 2014). MDAG merupakan emulsifier (Wang, 2011). Emulsifier MDAG merupakan salah satu bahan tambahan yang dibutuhkan industri pangan dan non-pangan. MDAG digunakan pada industri pangan seperti pada industri roti dan kue untuk memberikan stabilitas emulsi, mengendalikan polimorfisme lemak, memperbaiki tekstur produk, melembutkan tekstur *crumb*, memperkuat adonan, membantu proses ekstruksi dan meningkatkan aglomerasi lemak (Dziezak, 1988). MDAG mempunyai nilai ekonomi yang baik. Kebutuhan MDAG sebagai emulsifier diprediksi paada era pasar global dunia berkisar 132.000 ton/tahun. Saat ini kebutuhan MDAG masih banyak yang diperoleh dari impor (Tirto, 2007). Berikut struktur kimia monoasilgliserol, diasilgliserol, trigliserida



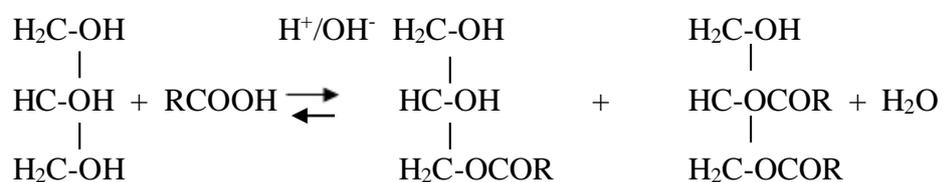
Gambar 2.2 Struktur Kimia MAG, DAG, TAG

2.4 Reaksi Esterifikasi

Reaksi esterifikasi adalah suatu reaksi antara asam karboksilat dan alkohol membentuk ester. Turunan asam karboksilat membentuk ester asam karboksilat. Ester asam karboksilat ialah suatu senyawa yang mengandung gugus $-\text{COO R}$ dengan R dapat berupa alkil maupun aril. Esterifikasi dikatalisis asam dan bersifat dapat balik (Fessenden, 1981). Reaksi esterifikasi mengkonversi asam lemak bebas yang terkandung di dalam trigliserida menjadi metil ester. Namun, membentuk campuran metil ester dan trigliserida.

Reaksi esterifikasi langsung terjadi antara ester asam lemak dengan gliserol dan dilakukan pada suhu tinggi dan waktu yang cukup lama. Penggunaan suhu tinggi sangat dihindari karena akan terjadi reaksi sekunder yaitu polimerisasi gliserol, dehidrasi gliserol dengan pembentukan akrolein (Banu dkk, 1983). Penggunaan suhu tinggi dapat dihindari dengan penambahan pelarut. Pelarut yang digunakan adalah pelarut tert-terbutanol. Digunakan pelarut tersebut karena penelitian terdahulu oleh sodara Eny pada tahun 2017 dan sodara Nainggolan ada tahun 2014 karena memperoleh pembentukan MDAG yang tinggi.

Pembentukan MDAG sendiri asam lemak adalah sebagai berikut (Hasenhuettl, 2008).



Gambar 2.3 Pembentukan MDAG

Berdasarkan reaksi di atas, air yang merupakan hasil samping dari reaksi esterifikasi ini dapat dihilangkan agar reaksi yang sebenarnya bersifat *reversible* menjadi *irreversible*. Digunakan katalis zeolit 3A sangat berguna dalam menghilangkan air karena dapat mengikat air dengan baik (Simo dkk, 2009).

2.6 Katalis Zeolit 3A

Zeolit sintetik adalah zeolit yang dibuat secara rekayasa yang sedemikian rupa sehingga didapatkan karakter yang lebih baik dari zeolit alam. Prinsip dasar produksi zeolit sintetik adalah komponennya yang terdiri dari silika dan alumina sehingga dapat disintesis dari berbagai bahan baku yang mengandung kedua komponen di atas.

Pemilihan zeolit 3A dalam penelitian ini sebagai katalis adalah untuk mempercepat reaksi dan untuk menghilangkan air dalam hasil reaksi (Simo dkk, 2009). Dihilangkannya air agar reaksi yang sebenarnya bersifat *reversible* menjadi *irreversible*. Penggunaan Zeolit dalam proses esterifikasi juga sudah dilakukan penelitian oleh sodara Rahmiati pada tahun 2010 dan didapatkan hasil produk yang tinggi. Selain itu Zeolit 3A dapat penurunan bilangan asam, bilangan peroksida dan kadar air, dan kenaikan bilangan Iod (Handayani, 2016). Zeolit 3A memiliki keunggulan dapat mengikat senyawa lain seperti gliserol dengan baik (Tian dkk, 2004). Namun sebelum digunakannya zeolit sebagai katalis, zeolit terlebih dahulu diaktifasi karena memiliki banyak pengotor seperti Na^+ , K^+ , Ca^+ , dll (Aziza, 2014).

2.7 Kinetika Reaksi

Studi kinetika dilakukan untuk mengetahui pengendalian laju reaksi suatu proses agar mengetahui langkah-langkah apa saja yang dapat diperbaiki sehingga diperoleh laju proses esterifikasi yang lebih cepat dan lebih efisien. Persamaan reaksi esterifikasi dapat ditulis dalam bentuk yang lebih sederhana, yaitu sebagai berikut:



Keterangan : AL = Asam Lemak

G = Gliserol

Produk yang diinginkan dari reaksi di atas adalah MDAG yang merupakan campuran dari MAG dan DAG. Air yang merupakan hasil samping dari reaksi esterifikasi ini dihilangkan agar reaksi menjadi bersifat *irreversible*, maka persamaan reaksi (2.8) dapat ditulis menjadi:



Dimana k_1 merupakan konstanta kecepatan reaksi untuk *forward reaction*.

Sehingga laju reaksi menjadi:

$$-\frac{d[AL]}{dt} = k_1[AL][G] \quad (2.3)$$

Secara umum persamaan laju reaksi 2.10 dapat ditulis menjadi :

$$-\frac{dC_{AL}}{dt} = k_1 C_{AL}^a C_G^b = -r_A \quad (2.4)$$

Beberapa pendekatan untuk penyederhanaan sebagai berikut:

1. Persamaan kinetika reaksi berdasarkan reaksi bersifat *irreversible*.
2. Persamaan laju reaksi berdasarkan konsentrasi bilangan asam (A) sebagai reaktan pembatas.
3. Komposisi gliserol berlebih maka dianggap tidak mengalami pengurangan komposisi dalam reaksi.

Maka persamaan (2.4) dapat ditulis menjadi:

$$-r_A = -\frac{dC_{AL}}{dt} = kC_{AL}\alpha \quad (2.5)$$

Penurunan persamaan (2.5) jika mengikuti orde satu, maka persamaan 2.5 jika diketahui $\alpha=1$, dapat ditulis menjadi:

$$-r_A = -\frac{dC_{AL}}{dt} = kC_{AL}\alpha = kC_{AL} \quad (2.6)$$

Jika diketahui :

$$X_{AL} = \frac{C_{ALo} - C_{AL}}{C_{AL}} \quad (2.7)$$

$$X_{AL} = 1 - \frac{C_{AL}}{C_{ALo}} \quad (2.8)$$

$$\frac{C_{AL}}{C_{ALo}} = 1 - X_{AL} \quad (2.9)$$

$$C_{AL} = C_{ALo}(1 - X_{AL}) \quad (2.10)$$

Maka persamaan (2.10) disubstitusikan ke persamaan (2.16) menjadi :

$$\frac{-d[C_{ALo}(1-X_{AL})]}{dt} = k(C_{ALo}(1 - X_{AL})) \quad (2.11)$$

$$-C_{ALo} \frac{d(1-X_{AL})}{dt} = kC_{ALo}(1 - X_{AL}) \quad (2.12)$$

$$-\frac{d[C_{ALo}(1-X_{AL})]}{dt} = k(1 - X_{AL}) \quad (2.13)$$

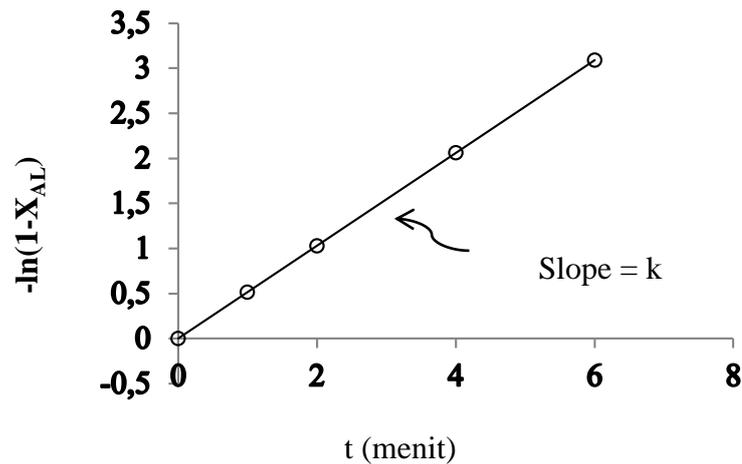
Persamaan (2.12) diselesaikan dengan integrasi menjadi:

$$-\int_0^{X_{AL}} \frac{1}{(1-X_{AL})} dX_{AL} = \int_0^t kt \quad (2.14)$$

Integrasi dari persamaan (2.10) menghasilkan persamaan (2.15) :

$$-\ln(1 - X_{AL}) = kt \quad (2.15)$$

Nilai $-\ln(1 - X_{AL})$ sebagai sumbu y, t sebagai sumbu x dan k sebagai nilai dari *slope*. *Ploting* tersebut akan membentuk garis lurus jika model tersebut tepat. *Ploting* ditunjukkan pada Gambar 2.2:



Gambar 2.2. Orde Reaksi Satu

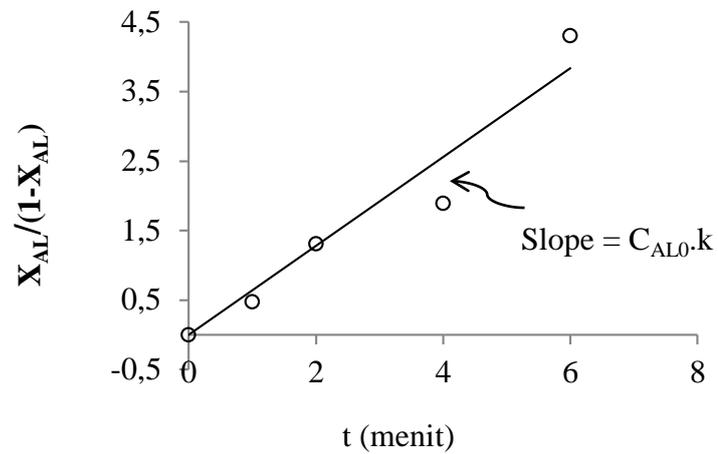
Sedangkan jika mengikuti orde dua, dengan menggunakan asumsi yang sama di atas maka persamaan (2.5) dapat dituliskan sebagai persamaan:

$$-r_{AL} = -\frac{dC_{AL}}{dt} = kC_{AL}^2 \quad (2.16)$$

dengan cara integrasi yang sama di atas akan didapatkan persamaan:

$$\frac{1}{C_{AL}} - \frac{1}{C_{ALo}} = \frac{1}{C_{ALo}} \frac{X_{AL}}{(1-X_{AL})} = kt \quad (2.17)$$

jika $\frac{X_{AL}}{(1-X_{AL})}$ sebagai sumbu y dan t sebagai sumbu x maka $C_{ALo}k$ sebagai slope, *ploting* ditunjukkan pada Gambar 2.3:



Gambar 2.3. Orde Reaksi Dua

(Sumber : Levenspiel, 1999)

Konstanta kecepatan reaksi dari persamaan (2.3) dan (2.17) secara umum didefinisikan sebagai fungsi Arrhenius yang dirumuskan sebagai berikut:

$$k = A \exp^{-\frac{E_a}{RT}} \quad (2.18)$$

dimana k adalah konstanta kecepatan reaksi, A adalah bilangan Arrhenius (faktor tumbukan), E_a adalah energi aktivasi (J mol^{-1}), R adalah konstanta gas ideal ($8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$) dan T adalah suhu reaksi (K). Jika nilai k dari persamaan Arrhenius telah didapat, maka nilai A dan E pada suhu dapat dihitung.

a. Model Heterogen

Difusi dan Reaksi Kimia dalam Katalis Padat Berbentuk Bola Berpori (Neraca Massa dan Proses Kecepatan)

Reaksi fasa liquid orde satu:



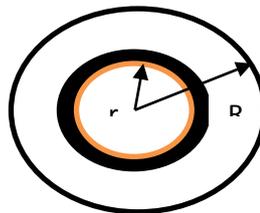
Reaksi berlangsung di permukaan pori katalis padat berbentuk bola, dengan jari-jari R . Kondisi selama reaksi dianggap isotermis. Konsentrasi A pada fasa liquid di permukaan luar bola = C_{AS} . Liquid A mendifusi ke dalam bola melalui pori katalis sambil sebagian bereaksi di permukaan pori katalis. Kecepatan difusi A melalui pori dianggap mengikuti persamaan yang mirip dengan difusi gas, yaitu:

$$N_A = \left(\frac{gmol A}{waktu} \right) = -D_e (luas) \frac{dC_A}{d(jarak)} \quad (2.19)$$

Kecepatan reaksi di permukaan pori katalis mengikuti persamaan:

$$r_A = \left(\frac{gmol A}{(waktu)(luas\ pori)} \right) = k C_A$$

Luas dinding pori tiap volume bola = a . Ingin disusun persamaan matematis yang bisa dipakai untuk mencari konsentrasi A pada berbagai posisi dalam bola pada keadaan *steady* $\{C_A = f(r)\}$.



Gambar 2.4 Elemen Volume Setebal Δr dalam Bola Berpori

Neraca massa A pada elemen volum:

Rate of input – rate of output = rate of accumulation

$$\left(-D_e 4\pi r^2 \frac{dC_A}{dr} \Big|_r\right) - \left(-D_e 4\pi (r + \Delta r)^2 \frac{dC_A}{dr} \Big|_{r+\Delta r}\right) = \left(k \frac{dC_A}{dt} a 4\pi \bar{r}^2 \Delta r\right) \quad (2.20)$$

$4\pi r^2 \Delta r$ menyatakan volum dari elemen volum, yaitu luasnya $4\pi r^2$ dan tebalnya Δr ; \bar{r} menyatakan r rata-rata.

Manipulasi persamaan 2.21 menghasilkan:

$$(r + \Delta r)^2 \frac{dC_A}{dr} \Big|_{r+\Delta r} - r^2 \frac{dC_A}{dr} \Big|_r - \frac{k a}{D_e} (\bar{r}^2) \frac{dC_A}{dt} = 0 \quad (2.21)$$

Jika diambil $\Delta r \rightarrow 0$, maka menurut definisi matematika diperoleh:

$$\frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dC_A}{dr} \right) - \frac{k a}{D_e} r^2 \frac{dC_A}{dt} = 0 \quad (2.22)$$

$$r^2 \frac{d^2 C_A}{dr^2} + 2r \frac{dC_A}{dr} - \frac{k a}{D_e} r^2 \frac{dC_A}{dt} = 0 \quad (2.23)$$

$$\frac{d^2 C_A}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dC_A}{dr} - \frac{k a}{D_e} \frac{dC_A}{dt} = 0 \quad (2.24)$$

Keadaan batas untuk peristiwa ini adalah:

$$r = R; C_A = C_{As}$$

$$r = 0; \frac{dC_A}{dr} = 0 \quad (2.25)$$

Persamaan (2.24) dapat diselesaikan secara analitis menggunakan *separate variable*, menghasilkan Persamaan (2.26), yang menyatakan konsentrasi FFA di pori katalis.

$$C(r, t) = \frac{2 C_{Ao} R}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n \sin\left(\frac{n\pi r}{R}\right)}{n} e^{-\left(\frac{n\pi}{R}\right)^2 A t} \quad (2.26)$$

$$\text{Dimana : } A = \frac{D_e}{k}$$

Sementara itu, bila diturunkan untuk menghitung konversi FFA yang bereaksi, persamaannya menjadi seperti Persamaan (2.26).

$$\tau = 1 - \frac{6}{\mu^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} e^{(-\beta n^2 t)} \quad (2.27)$$

$$\text{Dengan: } \beta = \frac{\mu^2 De}{R^2 k} \quad (2.28)$$

Nilai beta dicoba-coba sampai mendapatkan nilai konversi yang mendekati data percobaan. Nilai β yang diambil adalah yang memberikan nilai ralat rerata konversi antara data dan perhitungan paling rendah. Hasil nilai β berbagai suhu selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai koefisien difusi (De). Nilai konstanta kecepatan reaksi (k) diambil dari nilai k pada pendekatan orde dua. Konversi esterifikasi setiap waktu diamati dan dihitung dari selisih bilangan asam FFA yang berkurang.

BAB 3

METODE PENELITIAN

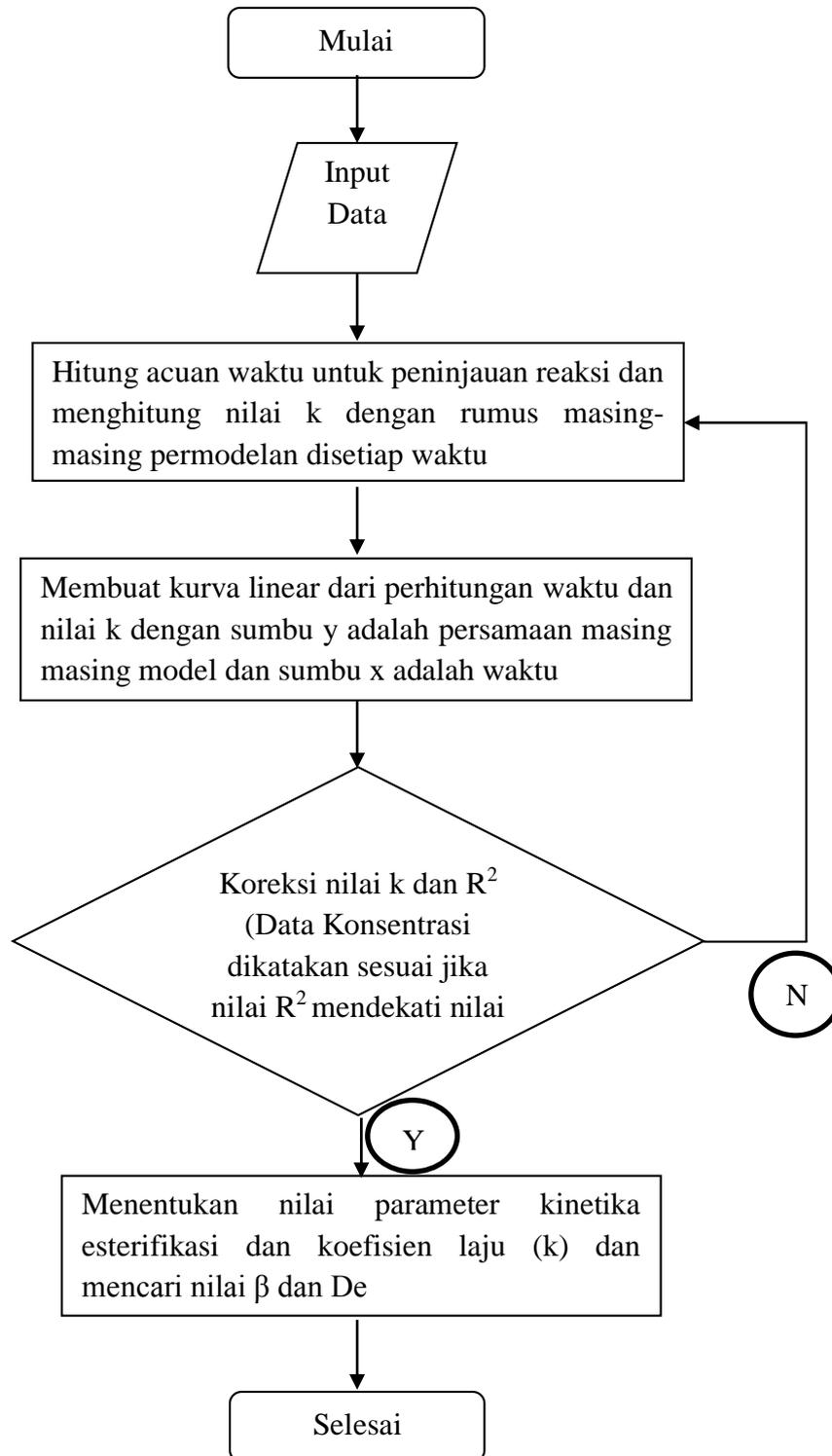
3.1 Algoritma

Hasil esterifikasi gliserol dengan FFA menggunakan katalis zeolite 3A yang sudah menghasilkan produk. Produk selanjutnya dianalisis, kemudian dari hasil analisis didapatkan nilai bilangan asam dan konsentrasi asam lemak yang digunakan untuk memperoleh model kinetika reaksi, energy aktivasi (E_a) dan factor tumbukan (A).

Langkah-langkah yang harus dilakukan:

1. Mencari nilai waktu konversi rata-rata asam lemak yang konstan, untuk menjadikan acuan sebagai pengeplotan data dalam peninjauan kinetika reaksi. Melalui rumus masing-masing pemodelan
2. Setelah mendapatkan acuan waktu, buat kurva dengan sumbu y adalah perhitungan pemodelan dan sumbu x adalah waktu. Untuk mendapatkan nilai K.
3. Kurva tersebut juga digunakan untuk mengoreksi nilai R^2 yang diperoleh.
4. Model kinetika reaksi dikatakan sesuai apabila nilai R^2 yang diperoleh mendekati 1.

3. 2 Flowchart



Gambar 3.1 Flowchart Algoritma Kinetika Reaksi Esterifikasi

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, dilakukan perhitungan kinetika reaksi esterifikasi gliserol dengan limbah FFA biji kakao menggunakan katalis zeolit 3A. Hal ini dilakukan untuk mengetahui perhitungan desain reaktor. Dalam perhitungan ini, digunakan data percobaan berdasarkan penurunan keasaman selama bereaksi. Dari data percobaan tersebut diperoleh nilai konversi tiap waktunya dengan variasi suhu dan katalis yang berbeda, sehingga diperoleh konstanta laju reaksi. Dalam percobaan ini diatur suhu 60, 70, dan 80 °C dan jumlah katalis 5%, 10%, dan 15% dari berat FFA. Menurut Masduki dkk, konversi reaksi hasil hitungan akan dibandingkan nilai Sum of Squares of Errors (SSE). Semakin kecil SSE maka perhitungan kinetika semakin baik.

4.1 Kinetika Reaksi dengan Pendekatan Homogen

4.1.1 Kinetika Reaksi Orde Satu

Dalam percobaan ini, konsentrasi asam lemak bebas awal $C_{AL0} = 3,792$ mol/L. Melalui perhitungan dari volume bahan baku 40,5 ml dan FFA 0,153 mol. Konversi (X_{AL}) diperoleh berdasarkan data eksperimen pengambilan sampel tiap waktu. Berikut adalah data hasil perhitungan untuk orde satu disetiap variasi suhu dan waktu tertentu.

Tabel 4.1. Hasil Perhitungan untuk Orde Satu pada Suhu 60°C

Waktu (menit)			Katalis 5%	Katalis 10%	Katalis 15%
	X_{AL}	$1 - X_{AL}$	$-\ln(1 - X_{AL})$	$-\ln(1 - X_{AL})$	$-\ln(1 - X_{AL})$
0	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
5	0,780	0,220	1,515	1,515	1,515
10	0,866	0,134	2,009	2,038	2,038
15	0,877	0,123	2,096	2,096	2,159
20	0,899	0,101	2,297	2,297	2,335
25	0,899	0,101	2,297	2,335	2,335
30	0,903	0,097	2,335	2,335	2,335
45	0,903	0,097	2,335	2,335	2,335
60	0,892	0,108	2,226	2,221	2,226
75	0,892	0,108	2,226	2,226	2,192
90	0,888	0,112	2,192	2,226	2,192

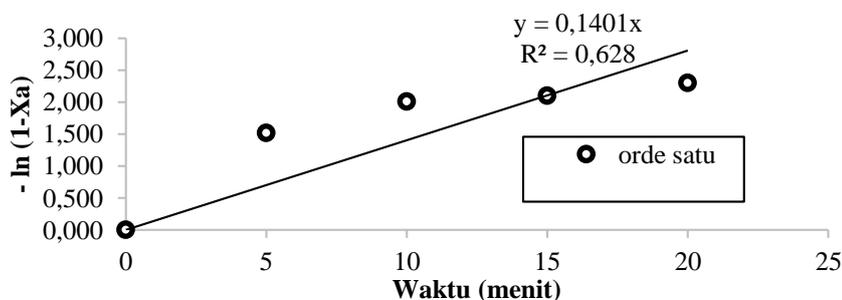
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan untuk Orde Satu pada Suhu 70°C

Waktu (menit)			Katalis 5%	Katalis 10%	Katalis 15%
	X_{AL}	$1 - X_{AL}$	$-\ln(1 - X_{AL})$	$-\ln(1 - X_{AL})$	$-\ln(1 - X_{AL})$
0	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
5	0,780	0,220	1,567	1,567	1,567
10	0,866	0,134	1,982	2,038	2,038
15	0,877	0,123	2,159	2,192	2,159
20	0,899	0,101	2,335	2,335	2,335
25	0,899	0,101	2,335	2,374	2,374
30	0,903	0,097	2,374	2,374	2,374
45	0,903	0,097	2,297	2,335	2,274
60	0,892	0,108	2,226	2,226	2,297
75	0,892	0,108	2,192	2,226	2,192
90	0,888	0,112	2,159	2,226	2,127

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan untuk Orde Satu pada Suhu 80°C

Waktu (menit)	Katalis 5%					Katalis 10%					Katalis 15%				
	X_{AL}	$1 - X_{AL}$	$-\ln(1 - X_{AL})$	$-\ln(1 - X_{AL})$	$-\ln(1 - X_{AL})$	X_{AL}	$1 - X_{AL}$	$-\ln(1 - X_{AL})$	$-\ln(1 - X_{AL})$	$-\ln(1 - X_{AL})$	X_{AL}	$1 - X_{AL}$	$-\ln(1 - X_{AL})$	$-\ln(1 - X_{AL})$	$-\ln(1 - X_{AL})$
0	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
5	0,780	0,220	1,623	1,623	1,681	0,780	0,220	1,623	1,681	1,701	0,780	0,220	1,623	1,701	1,701
10	0,866	0,134	2,159	2,159	2,127	0,866	0,134	2,159	2,127	2,226	0,866	0,134	2,159	2,226	2,226
15	0,877	0,123	2,261	2,261	2,297	0,877	0,123	2,261	2,297	2,415	0,877	0,123	2,261	2,415	2,415
20	0,899	0,101	2,374	2,374	2,415	0,899	0,101	2,374	2,415	2,415	0,899	0,101	2,374	2,415	2,415
25	0,899	0,101	2,374	2,374	2,415	0,899	0,101	2,374	2,415	2,415	0,899	0,101	2,374	2,415	2,415
30	0,903	0,097	2,374	2,374	2,226	0,903	0,097	2,374	2,226	2,112	0,903	0,097	2,374	2,112	2,112
45	0,903	0,097	2,297	2,297	2,226	0,903	0,097	2,297	2,226	2,192	0,903	0,097	2,297	2,192	2,192
60	0,892	0,108	2,297	2,297	2,192	0,892	0,108	2,297	2,192	2,227	0,892	0,108	2,297	2,227	2,227
75	0,892	0,108	2,192	2,192	2,038	0,892	0,108	2,192	2,038	2,127	0,892	0,108	2,192	2,127	2,127
90	0,888	0,112	2,096	2,096	2,038	0,888	0,112	2,096	2,038	2,127	0,888	0,112	2,096	2,127	2,127

Dari Tabel 4.1 sampai Tabel 4.3 dapat dilihat konversi asam lemak memiliki titik konstan pada menit 20. Dari hasil konversi tersebut dibuat grafik untuk mendapatkan nilai slope dari regresi linear. Nilai slope ini sebagai nilai k. Gambar 4.1 merupakan hasil regresi untuk orde satu pada suhu 60 °C dengan katalis 5%. Gambar tersebut menunjukkan bahwa model orde satu kurang bagus ($R^2 = 0,628$).



Gambar 4.1. Grafik Model Orde Satu Esterifikasi Gliserol dengan FFA menggunakan Katalis Zeolit 5% pada suhu 60°C

Berdasarkan perhitungan, nilai k setiap variasi suhu dan katalis berbeda disajikan pada Tabel 4.4 Berdasarkan Tabel 4.4. Semakin tinggi suhu nilai k yang diperoleh semakin meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu maka semakin reaksi terjadi reaksi.

Tabel 4.4 Nilai Konstanta Kecepatan Reaksi pada Orde Satu

Suhu (°C)	Katalis (%)	Konstanta Kecepatan Reaksi (1/menit)
60	5	0,14
	10	0,141
	15	0,142
70	5	0,142
	10	0,143
	15	0,143
80	5	0,148
	10	0,149
	15	0,153

Kesesuaian model orde satu untuk semua variasi suhu dan katalis dihitung nilai *Sum Square of Errors* (SSE) dan ralat rerata. Masing-masing nilai tersebut menggunakan persamaan (4.1) dan (4.2) dan hasil perhitungan disajikan pada Tabel 4.5. Berdasarkan Tabel 4.5 bahwa persen ralat rerata untuk pendekatan reaksi orde satu mempunyai nilai hampir sama yaitu sekitar 9%.

$$SSE = \sum (X_{AL}(\text{hitung}) - X_{AL}(\text{data}))^2 \quad (4.1)$$

Sementara itu persen ralat rerata dihitung menggunakan persamaan (4.2).

$$\text{persen ralat rerata} = \frac{\sum (X_{AL}(\text{hitung}) - X_{AL}(\text{data}))}{N \text{ data}} \quad (4.2)$$

Tabel 4.5 Konversi Asam Lemak Hasil Perhitungan pada Pendekatan Orde Satu

T (menit)	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)					
	60		70		80	
	SSE	ralat rerata (%)	SSE	ralat rerata (%)	SSE	ralat rerata (%)
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	7,393	27,190	7,875	28,063	8,000	28,284
10	1,240	11,136	1,187	10,896	1,178	10,853
15	0,001	0,338	0,000	0,161	0,013	1,138
20	0,148	3,841	0,157	3,957	0,181	4,250
	8,782	8,501	9,219	8,615	9,371	8,905

4.1.2 Kinetika Reaksi Orde Dua

Seperti pada perhitungan orde satu, untuk orde dua konsentrasi asam lemak bebas awal $C_{AL0} = 3,792$ mol/L. Volume bahan baku 40,5 ml dan FFA 0,153 mol. Konversi (X_{AL}) diperoleh berdasarkan data eksperimen pengambilan sampel tiap waktu. Berikut adalah data hasil perhitungan untuk orde satu disetiap variasi suhu dan waktu tertentu.

Tabel 4.6. Hasil Perhitungan untuk Orde dua pada Suhu 60°C

Waktu (menit)			Katalis 5%	Katalis 10%	Katalis 15%
	X_{AL}	$1 - X_{AL}$	$X_{AL} / (1 - X_{AL})$	$X_{AL} / (1 - X_{AL})$	$X_{AL} / (1 - X_{AL})$
0	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
5	0,780	0,220	3,551	3,671	3,551
10	0,866	0,134	6,458	6,671	6,671
15	0,877	0,123	7,136	7,138	7,661
20	0,899	0,101	8,944	8,944	9,327
25	0,899	0,101	8,944	9,327	9,327
30	0,903	0,097	9,327	9,327	9,327
45	0,903	0,097	9,327	9,327	9,327
60	0,892	0,108	8,259	8,589	8,259
75	0,892	0,108	8,259	8,259	7,950
90	0,888	0,112	7,950	8,259	7,950

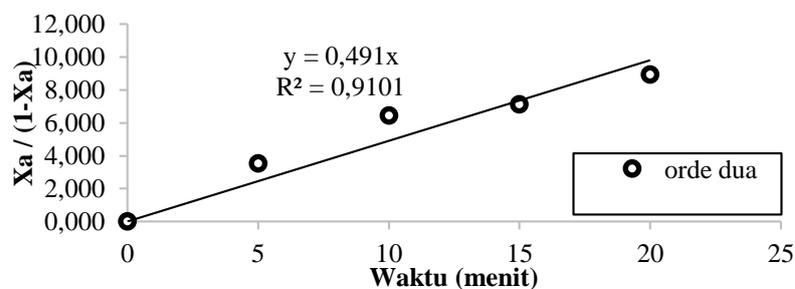
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan untuk Orde dua pada Suhu 70°C

Waktu (menit)			Katalis 5%	Katalis 10%	Katalis 15%
	X_{AL}	$1 - X_{AL}$	$X_{AL} / (1 - X_{AL})$	$X_{AL} / (1 - X_{AL})$	$X_{AL} / (1 - X_{AL})$
0	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
5	0,780	0,220	3,795	3,795	3,785
10	0,866	0,134	6,257	6,671	6,671
15	0,877	0,123	7,661	7,950	7,661
20	0,899	0,101	9,327	9,327	9,327
25	0,899	0,101	9,327	9,740	9,740
30	0,903	0,097	9,740	9,740	9,740
45	0,903	0,097	8,944	9,327	9,740
60	0,892	0,108	8,259	8,259	8,944
75	0,892	0,108	7,950	8,259	7,950
90	0,888	0,112	7,661	8,259	7,391

Tabel 4. 8. Hasil Perhitungan untuk Orde dua pada Suhu 80°C

Waktu (menit)			Katalis 5%	Katalis 10%	Katalis 15%
	X_{AL}	$1 - X_{AL}$	$X_{AL} / (1 - X_{AL})$	$X_{AL} / (1 - X_{AL})$	$X_{AL} / (1 - X_{AL})$
0	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
5	0,780	0,220	4,066	4,370	4,1480
10	0,866	0,134	7,661	7,391	8,259
15	0,877	0,123	8,589	8,944	10,188
20	0,899	0,101	9,740	10,188	10,188
25	0,899	0,101	9,740	10,188	10,188
30	0,903	0,097	9,740	8,259	7,950
45	0,903	0,097	8,944	8,259	7,950
60	0,892	0,108	8,944	7,950	7,391
75	0,892	0,108	7,950	6,671	7,391
90	0,888	0,112	7,136	6,671	7,391

Dari Tabel 4.6 sampai Tabel 4.8 dapat dilihat konversi asam lemak memiliki titik konstan pada menit 20. Langkah-langkah perhitungan untuk orde dua sama dengan orde satu. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 4.2 untuk suhu 60°C dengan katalis 5%. Gambar tersebut memiliki nilai $R^2 = 0,9101$. Berarti, hasil orde dua ini lebih sesuai dari pada orde satu ($R^2 = 0,628$).



Gambar 4.2. Grafik Model Orde Dua Esterifikasi Gliserol dengan FFA menggunakan katalis Zeolit 5% pada suhu 60°C

Hasil regresi pada keseluruhan variasi suhu dan katalis memberikan nilai k yang disajikan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9. Nilai Konstanta Kecepatan Reaksi pada Orde Dua

Suhu (°C)	Katalis (%)	Konstanta Kecepatan Reaksi (1/menit)
60	5	0,129
	10	0,130
	15	0,135
70	5	0,134
	10	0,137
	15	0,136
80	5	0,147
	10	0,152
	15	0,162

Berdasarkan Tabel 4.9. Semakin tinggi suhu nilai k yang diperoleh semakin meningkat. Hal ini disampaikan oleh Nainggolan dkk. bahwa semakin tinggi suhu maka kinetika reaksi semakin cepat.

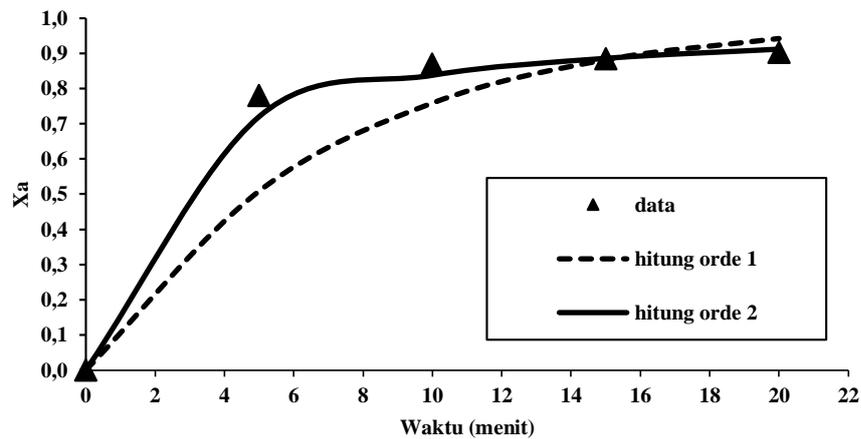
Hasil perhitungan SSE dan ralat rerata untuk orde dua disajikan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10. Konversi Asam Lemak pada Pendekatan Orde Dua disetiap suhu dengan katalis 15%

t (menit)	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)					
	60		70		80	
	SSE	ralat rerata (%)	SSE	ralat rerata (%)	SSE	ralat rerata (%)
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	0,364	6,037	0,501	7,076	0,396	6,290
10	0,106	3,251	0,102	3,198	0,101	3,185
15	0,000	0,065	0,000	0,104	0,007	0,841
20	0,007	0,818	0,007	0,850	0,020	1,420
	0,477	2,034	0,610	2,246	0,524	2,347

Berdasarkan Tabel 4.10 dapat dilihat bahwa persen ralat rerata untuk pendekatan reaksi orde dua mempunyai nilai hampir sama yaitu sekitar 2%. Nilai ini menunjukkan bahwa orde dua lebih sesuai dari pada orde satu (Ralat rerata = 9%).

Gambar berikut adalah hubungan konversi esterifikasi gliserol dengan FFA menggunakan katalis zeolit 3A menunjukkan hasil percobaan dan hasil perhitungan terhadap waktu reaksi esterifikasi pada orde satu dan dua menggunakan katalis 15% dengan suhu 60°C



Gambar 4.3. Perbandingan Model Reaksi Orde Satu dan Dua pada Esterifikasi Gliserol dengan FFA menggunakan Katalis Zeolit 3A 15% Suhu 60°C

Dari perhitungan kinetika serta gambar grafik dan nilai minimasi SSE di atas dapat disimpulkan, bahwa perhitungan permodelan orde satu diperoleh nilai SSE sekitar 8% sedangkan nilai SSE permodelan orde dua sebesar 2%. Menurut Sawitri dkk, menyatakan bahwa nilai minimasi error SSE dibawah 25%. Sehingga perhitungan menggunakan permodelan orde satu dan dua memenuhi syarat. Akan tetapi, permodelan orde dua memiliki nilai ralat relata yang kecil dibandingkan orde satu. Sehingga model kinetika orde dua lebih sesuai untuk mendeskripsikan mekanisme reaksi esterifikasi gliserol dan FFA menggunakan katalis zeolit 3A. Dari perhitungan di atas selanjutnya digunakan untuk menghitung faktor tumbukan (A) dan energi aktivasi (E_a) dengan menggunakan persamaan Arrhenius.

4.1.3 Energi Aktivasi dan Faktor Tumbukan

Nilai k yang didapatkan dari perhitungan di atas digunakan dalam mencari faktor tumbukan (A) dan Energi Aktivasi (E_a). dalam menghitungnya menggunakan persamaan Arrhenius. Berikut persamaan Arrhenius:

$$k = A \exp^{-\frac{Ea}{RT}} \quad (4.3)$$

(Sumber : Levenspiel, 1999)

Untuk mempermudah perhitungan maka Persamaan (4.3) dilinierkan menjadi Persamaan (4.4) :

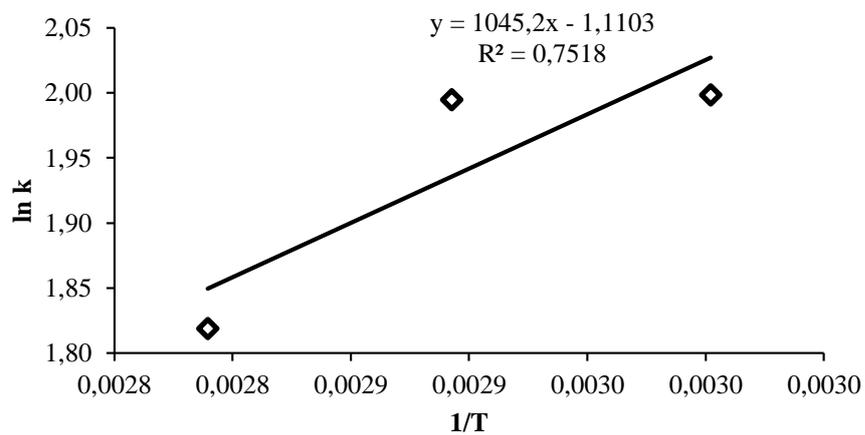
$$\ln k = \ln A - \frac{Ea}{RT} \quad (4.4)$$

Persamaan Arrhenius merupakan gradien (*slope*) grafik antara k dengan (1/T). Sehingga untuk menyelesaikan Gambar 4.3 Persamaan (4.4) dilakukan *plotting* nilai 1/T dengan *ln k* ke dalam grafik. Nilai ln (k) pada setiap suhu dengan katalis 15% disajikan pada Tabel 4.23.

Tabel 4.11. Perhitungan Data 1/T dan ln k

T (K)	1/T	k (L/mol.menit)	ln k
333,15	0,0030	0,135	-1,9985
343,15	0,0029	0,136	-1,9946
353,15	0,0028	0,162	-1,8191

Faktor tumbukan (A) dan $-(Ea/R)$ diperoleh dari regresi linear pengeplotan data pada Tabel 4.23, dimana 1/T sebagai sumbu x dan ln k sebagai sumbu y yang ditunjukkan oleh Gambar 4.6 berikut:



Gambar 4.4. Hubungan antara $\ln k$ dengan $1/T$

Dari Gambar 4.4. diperoleh suatu persamaan garis $y = a - bx$, sesuai dengan persamaan:

$$y = -1,110 - 1045x \quad (4.5)$$

sehingga;

$$A = e^{-1,11} \quad (4.6)$$

$$A = 0,3295 \text{ }^1/\text{menit}$$

Maka,

$$b = \left(\frac{Ea}{R}\right) = -1045 \quad (4.7)$$

$$R = 8,314 \text{ J/mol.K}$$

sehingga;

$$Ea = 1045 \times 8,314 \quad (4.8)$$

$$Ea = 8688,13 \text{ J/mol}$$

Dimana : A = Faktor tumbukan,
 Ea = Energi aktivasi dan
 R = konstanta gas (8,314 J/mol.K).

Dengan demikian faktor tumbukan (A) diperoleh sebesar 0,3295 ¹/menit dan energi aktivasi diperoleh sebesar 8688,13 J/mol dengan nilai konstanta R = 8,314 J/mol.K.

4.2 Kinetika Reaksi dengan Pendekatan Heterogen

Permodelan kinetika heterogen menggunakan persamaan berikut dengan terlebih dahulu mencari batas untuk reaksi esterifikasi

$$\text{Dengan: } \beta = \frac{\Pi^2 De}{R^2 k} \quad (4.9)$$

(Sumber: Bird, 1960).

Nilai beta dicoba-coba sampai mendapatkan nilai konversi yang mendekati data percobaan. Dalam perhitungan ini, menggunakan bantuan solver pada ms. Excell. Berikut Tabel (4.12) berikut menampilkan hasil nilai β berbagai suhu.

Tabel 4.12. Koefisien Difusi pada Berbagai Suhu pada Esterifikasi Gliserol dengan FFA Menggunakan Katalis Zeolit 3A 15% (Berat FFA 40 gram, rasio FFA:gliserol =1:6 (mol/mol); *tert*-butanol:FFA = 3:1 (v/b), katalis:FFA = 0,15:1)

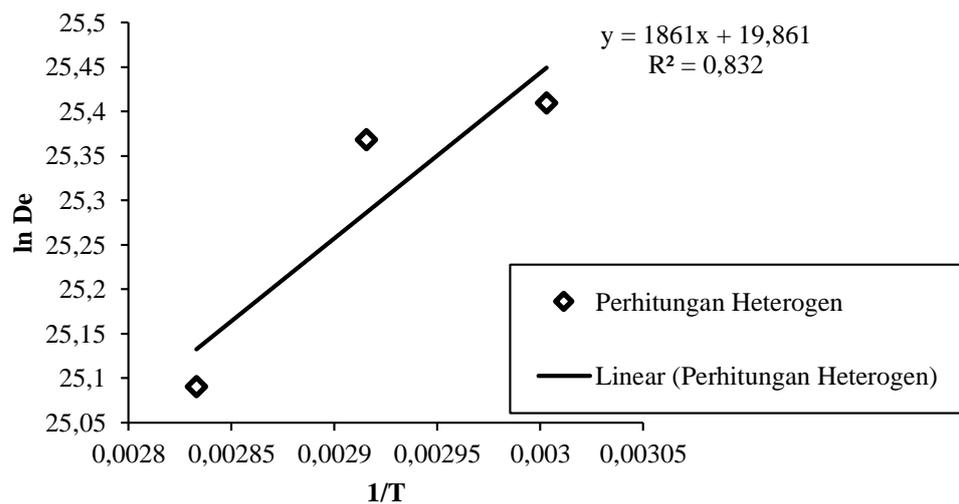
Suhu (K)	β	D _E
333	0,24337302	9,2217E-12
343	0,25255386	9,6068E-12
353	0,279840488	1,2687E-11

Didapatkannya nilai β digunakan dalam menghitung koefisien difusi (De). Sehingga didapatkan nilai seperti tabel 4.24. Selanjutnya dari nilai De digunakan dalam menghitung nilai faktor tumbukan difusivitas (Ad) dan energi difusivitas (Ed). Dengan persamaan sebagai berikut:

$$De = Ad e^{\left(-\frac{E_d}{RT}\right)} \quad (2.28)$$

(Sumber: Levenspiel, 1999).

Untuk menyelesaikan persamaan (2.28) dilakukan *plotting* nilai $1/T$ dengan $\ln De$ ke dalam grafik. Berikut grafik nilai De pada setiap suhu dengan katalis 15%:

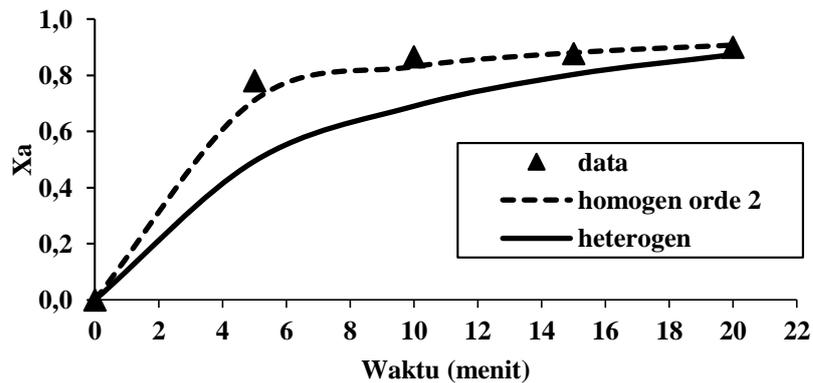


Gambar 4.5 Hubungan antara $\ln De$ dengan $1/T$

Faktor tumbukan difusi (Ad) dan E_d diperoleh dari regresi linear pengeplotan data pada Gambar 4.7. sehingga didapatkan Nilai-nilai $Ad : 2,37089 \times 10^{-9} \text{m}^2/\text{s}$ dan $E_d : 15,472 \text{ kJ/mol}$.

4.3 Perbandingan Model Homogen dan Heterogen

Perbandingan ini ditujukan untuk melihat model apa yang cocok digunakan dalam melakukan perhitungan desain reaktor. Dari perhitungan di atas bisa kita lihat perbedaan data hitung yang diperoleh dari masing-masing model. Berikut salah satu perbandingan model homogen orde dua dan model heterogen di setiap suhu dan rasio katalis yang sama dapat dilihat pada Grafik 4.6 dengan suhu 60°C dengan katalis 5%.



Gambar 4.6. Perbandingan Konversi antara Model Heterogen dan Homogen Orde Dua pada Esterifikasi Gliserol dengan FFA Menggunakan Katalis Zeolit 3A dengan Rasio 1:0,05 (b/b). (Berat FFA 40 gram, rasio FFA/Gliserol = 1:6 (mol/mol), rasio Zeolit 3A/FFA = 1:0,05 (b/b)) pada suhu 60⁰C

Dari grafik tersebut dapat disimpulkan, bahwa pendekatan orde dua lebih cocok digunakan karena berdasarkan perhitungan permodelan dan pengamatan grafik orde 2 terbilang sangat mendekati data eksperimen. Menurut Masduki (2013), nilai minimum SSE dengan nilai error yaitu 25%. Sedangkan nilai SSE orde 2 dari perhitungan diatas yaitu 2%. Menurut penelitian terdahulu dari Megawati tentang Kinetika Reaksi Esterifikasi Gliserol dengan FFA menggunakan Katalis CaO, perhitungan kinetika dalam penelitian menggunakan pendekatan model kinetika homogen orde dua. Namun untuk konversi MDAG yang didapatkan hanya 86% sedangkan untuk penelitian yang kita lakukan mendapatkan konversi sebesar 90,3%.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan dan analisis yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

- a. Kinetika reaksi esterifikasi gliserol dengan FFA (*Free Fatty Acid*) dengan katalis zeolit 3A dapat didekati dengan model homogen orde dua dengan di dapatkan nilai SSE dengan nilai error sebesar 2%.
- b. Semakin tinggi suhu dan katalis reaksi maka kinetika esterifikasi gliserol dengan FFA semakin tinggi (konversi tertinggi pada suhu 80°C dengan katalis 15% dengan konversi sebesar 90,3%)

5.2 Saran

- a. Dalam melakukan treatment pada limbah FFA biji kakao pada proses reaksi sebaiknya suhu dijaga sekitar 40-50 °C agar FFA tidak membeku kembali.
- b. Supaya MDAG dapat dimanfaatkan secara langsung maka MDAG yang dihasilkan perlu dipisahkan dan dimurnikan dari reaktan-reaktan sisa.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahn E, Koncar M, Mittelbach M, Marr R. 1995. A low-waste process for the production of biodiesel. *Separation Science and Technol.* 10 (7-8): 2021-2023.
- Arifin,; Latifah. 2015. SINTESIS BIODIESEL DARI MINYAK GORENG BEKAS DENGAN MENGGUNAKAN KATALIS ZEOLIT ALAM TERMODIFIKASI. *Indonesian Journal of Chemical Science* 4(2) (2015), Universitas Negeri Semarang.
- Aziza F.n.*); Latifah,; dan Kusumastuti E. 2014. PEMANFAATAN ZEOLIT ALAM TERAKTIVASI AMMONIUM NITRAT UNTUK MENURUNKAN SALINITAS AIR SUMUR PAYAU. *Indonesian Journal of Chemical Science* 3(3) (2014), Universitas Negeri Semarang.
- Banu C. dkk. 1983. *Produsele Alimentare si Inocuitatea lor*. Ed. Tehnica, Bucuresti 400-402. Di dalam: *Mono and Diglycerides – Synthesis and Uses*. Adina Jomuta Gevrila et.al. 12th Romanian International Conference on Chemistry and Chemical Engineering.
- Budhijanto,; Wirata D.; Kurniawan. 2017. Glyptal Synthesis from Glycerol and Phthalic Anhydride Using Activated Zeolite as Heterogeneous Catalyst and Its Comparison to Homogeneous p-Toluenesulfonic Acid Catalyst, *JBAT* 6(2) (2017) 175-182.
- Handayani S.; Enjarlis. 2016. Pemurnian Virgin Coconut Oil Menggunakan Zeolit 3A Sebagai Bahan Baku Obat Kulit, *JBAT* 5(2) (2016) 61-67.
- Hasenhuettl, Gerard L *et al.* 2008. *Synthesis and Commercial Preparation of Food Emulsifiers*. *Food Emulsifiers and Their Applications*. Springer Science, Business Media. LLC.
- Hermawan E.*), Cahyono E. dan Supartono. 2013. UJI AKTIVITAS KATALIS Zn^{2+} ZEOLIT BETA PADA REAKSI SIKLISASI-ASETILASI R-(+) SITRONELAL MENJADI ISOPULEGIL ASETAT. *Indonesian Journal of Chemical Science* 2(3) (2013), Universitas Negeri Semarang

- H-Kittikun A, Kaewthong W, Cheirsilp B. Continuous production of monoacylglycerols from palm olein in packed-bed reactor with immobilized lipase. *Biochem Eng Journal*. 2008; 40 (1) : 116–120.
- Indarti, Eti. 2007. *Efek Pemanasan terhadap Rendemen Lemak Proses Pengepresan Biji kakao*. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. Vol. 6. No. 2: 50-54. Universitas Syiah Kuala. Aceh.
- Kurniasih, Eka. 2014. *Sintesa Mono-Digliserida melalui Reaksi Gliserolisis Enzimatis*. *Jurnal Teknologi*. Vol. 14. No. 1: 25-48. Politeknik Negeri Lhokseumawe. Aceh.
- Maag, H. 1984. *Fatty Acid Derivatives: Important Surfactans for Household, Cosmetic and Industrial Purposes*. *JAOCS*. Vol. 61. No. 2. West Germany
- Masduki, Sutijan et al. 2013. Kinetika Reaksi Palm Fatty Acid Distilate (PFAD) menjadi Biodiesel dengan katalis zeolit Zirkonia Tersulfatasi. *Jurnal Rekayasa Proses*. Vol. 7, no. 2. UGM, Yogyakarta
- Mulyana, Rahmat. 2007. *Sintesis Mono dan Diasilgliserol dari Minyak Kelapa dengan cara Gliserolisis Kimia*. Skripsi. IPB. Bogor.
- Nainggolan, Margareth et.al. 2014. *Pengaruh Rasio Pelarut Tert-Butanol Terhadap Minyak dan Suhu Reaksi Gliserolisis Pada Pembuatan Mono dan DiasilGliserol (MDAG) Menggunakan Katalis Abu Cangkang Telur Ayam*. *Jurnal Teknik Kimia USU*, Vol. 3, No. 4. USU. Medan.
- Nurhayati, E, Wati DS. . Reaksi Esterifikasi gliserol dengan FFA dengan Katalis Abu Cangkang Telur (CaO). Skripsi. UNNES.
- O'Brien RD. 2009. *Fats and Oil: Formulating and Processing for Application*. Edisi ke-3. Boca Raton (US): CRC Pr.
- Retno, dkk,. 2014. Pengaruh Rasio Pelarut Tert-Butanol Terhadap Minyak dan Suhu Reaksi Gliserolisis Pada Pembuatan Mono dan Diasilgliserol (MDAG) Menggunakan Katalis Abu Cangkang Telur Ayam. *Indonesian Journal of Chemical Science* 3(3) (2013), Universitas Negeri Semarang
- Rohman, A, Yaakob B, Che Man and Eka Noviana. Analysis of Emulsifer in Food Using Chromatographic Techniques. *J.Food Pharm.Sci*. 2013; 1 ; 54-59.

- Rumondang, Irma et.al. 2016. *Sintesis Monodiasilgliserol Berbasis Gliserol dan Palm Fatty Acid Distillate*. Jurnal Kimia dan Kemasan, Vol. 38, No. 1: 1-6. IPB. Bogor.
- Sawitri, D. R., Kinetika esterifikasi pada produksi biodiesel dari palm fatty acid distilate (PFAD) dengan katalis zirkonia tersulfatasi. Tesis diajukan pada program pasca sarjana UGM, Yogyakarta.
- Setiawan H.; Kusumo E. 2015. Pembuatan Bioetanol dari Jerami Padi dengan Bantuan Enzim Selulase Dari Jamur Tiram. Indonesian Journal of Chemical Science 4(2) (2015), Universitas Negeri Semarang.
- Simo M.; Sivashanmugam S.; Brown, C. J.; Hlavacek, V. Adsorption/Desorption of Water and Ethanol on 3A Zeolite in Near-Adiabatic Fixed Bed Ind. Eng. Chem. Res. 2009, 48, 9247–9260.
- Suyatmo R. I. D, Sulisty H, Sediawan W.D. 2017 The Synthesis of Glycerol Carbonate from Biodiesel By product Glycerol and Urea over Amberlyst 15, JBAT 6(2) (2017) 143-149.
- Tiara. . Reaksi Esterifikasi gliserol dengan FFA dengan Pelarut Tert-Butanol dan Katalis MgO. Skripsi. UNNES.
- Wang, Lili et al. 2011. *Preparation of Diacylglycerol-Enriched Oil from Free Fatty Acids Using Lecitase Ultra-Catalyzed Esterification*. Journal Am OilChem Soc, 88: 1557-1565. Springer AOCS Maag, H. 1984. *Fatty Acid Derivatives: Important Surfactants for Household, Cosmetic and Industrial Purposes*. JAOCS. Vol. 61. No. 2. West Germany.
- Widyastuti C.R., dan Ayu Candra Dewi. 2015. Sintesis Biodiesel Dari Minyak Mikroalga *Chlorella Vulgaris* Dengan Reaksi Transesterifikasi Menggunakan Katalis Koh, JBAT 4(1) (2015) 29-33.
- Yanuar. Proses Gliserolisis CPO Menjadi Mono dan Diacyl Gliserol dengan Pelarut Tert-Butanol dan Katalis MgO. Skripsi. Universitas Diponegoro.
- Yuliusman, Widodo WP, Yulianto SN, Yuda P. 2010. Preparasi Zeolit Alam Lampung Dengan Larutan Hf, HCl Dan Kalsinasi Untuk Adsorpsi Gas CO. Prosiding Seminar Rekayasa Kimia dan Proses. ISSN: 1411-4216. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang

LAMPIRAN 1

KINETIKA REAKSI ESTERIFIKASI

1. Perhitungan C_{AL0}

Diketahui :

a. Menghitung Densitas FFA

Diketahui : berat piknometeer kosong = 11,34 gram

Berat piknometer kosong + FFA = 16,17 gram

Kalibrasi piknometer = 4,915 ml

$$\text{Densitas FFA} = \frac{16,17-11,34}{4,915} = 0,983 \text{ gram/ml}$$

b. Kemurnian FFA

Konsentrasi komponen dalam FFA:

Asam palmitat = 49,24 %

Metil stearat = 1,05 %

Asam oleat = 25,39 %

Asam stearat = 24,32 %

Kemurnian FFA = (49,24 + 25,39 + 24,32) x % = 0,99 %

c. Menghitung volume bahan baku

$$v = \frac{\text{massa FFA}}{\text{Densitas FFA}} = \frac{40 \text{ gram}}{0,983 \text{ gram/ml}} = 40,704 \text{ ml}$$

d. Menghitung mol FFA

$$\begin{aligned} n_{FFA} &= \frac{\text{massa FFA} \times \text{kemurnian FFA}}{BM_{FFA}} = \frac{(40 + v \cdot 0,99) \text{ gram}}{256,4241 \text{ gram/mol}} \\ &= 0,154 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\text{Konsentrasi FFA} = C_{AL0} = \frac{\text{mol FFA}}{\text{volume bahan baku}} = \frac{0,154 \text{ mol}}{40,704 \text{ ml}} = 0,04 \frac{\text{mol}}{\text{ml}}$$

$$= 3,792 \text{ mol/L}$$

2. Perhitungan Kinetika Reaksi dengan Metode Homogen

a. Kinetika Reaksi Orde Satu

Persamaan kinetika reaksi orde satu:

$$-\ln(1 - X_{AL}) = kt$$

Keterangan :

$$-\ln(1 - X_{AL}) = \text{sumbu y}$$

$$t = \text{sumbu x}$$

$$k = \text{slope}$$

b. Kinetika Reaksi Orde Dua

Persamaan kinetika reaksi orde dua:

$$\frac{1}{C_{AL}} - \frac{1}{C_{AL0}} = \frac{1}{C_{AL0}} \frac{X_{AL}}{(1 - X_{AL})} = kt$$

Keterangan:

$$\frac{X_{AL}}{(1 - X_{AL})} = \text{sumbu y}$$

$$t = \text{sumbu x}$$

$$C_{AL0}k = \text{slope}$$

Sum Square of Error (SSE)

Sum Square of Error (SSE) dihitung menggunakan persamaan:

$$SSE = \sum (X_{AL}(\text{hitung}) - X_{AL}(\text{data}))^2$$

Sementara itu % ralat rerata dihitung menggunakan persamaan:

$$\% \text{ ralat rerata} = \frac{\sum (X_{AL}(\text{hitung}) - X_{AL}(\text{data}))}{N \text{ data}}$$

3. Pendekatan Model Heterogen

Kondisi batas untuk peristiwa yang terjadi:

$$r = R; C_A = C_{AS}$$

$$r = 0; \frac{dC_A}{dr} = 0$$

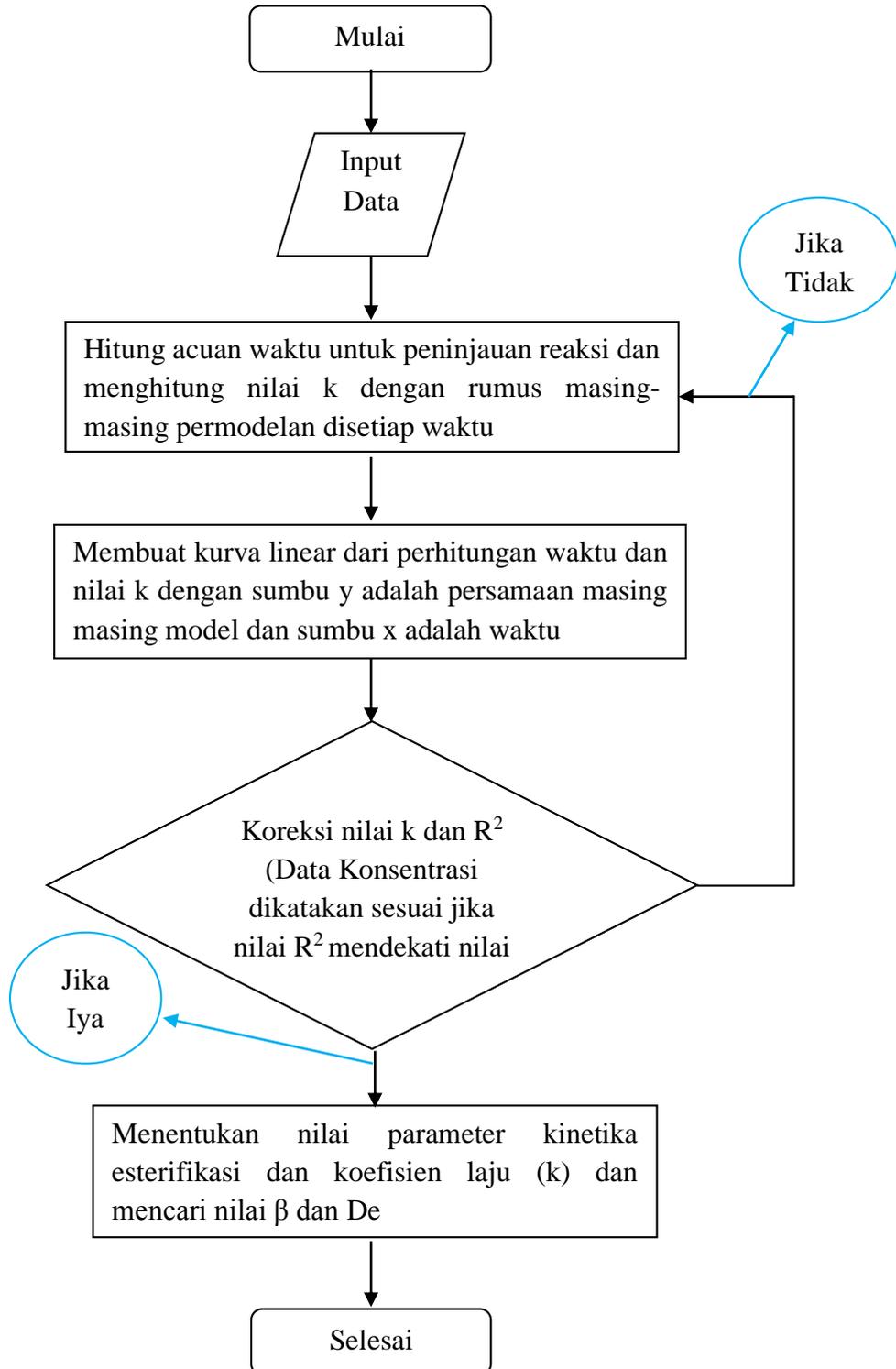
Konversi FFA yang bereaksi dapat diketahui menggunakan persamaan:

$$\eta = 1 - \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} e^{(-\beta n^2 t)}$$

$$\text{Dengan: } \beta = \frac{\pi^2 D e}{R^2 k}$$

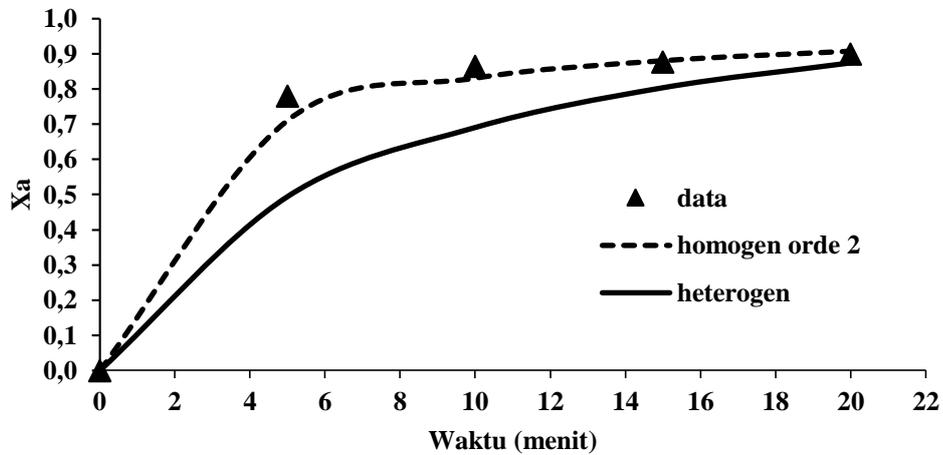
LAMPIRAN 2

Flowchart

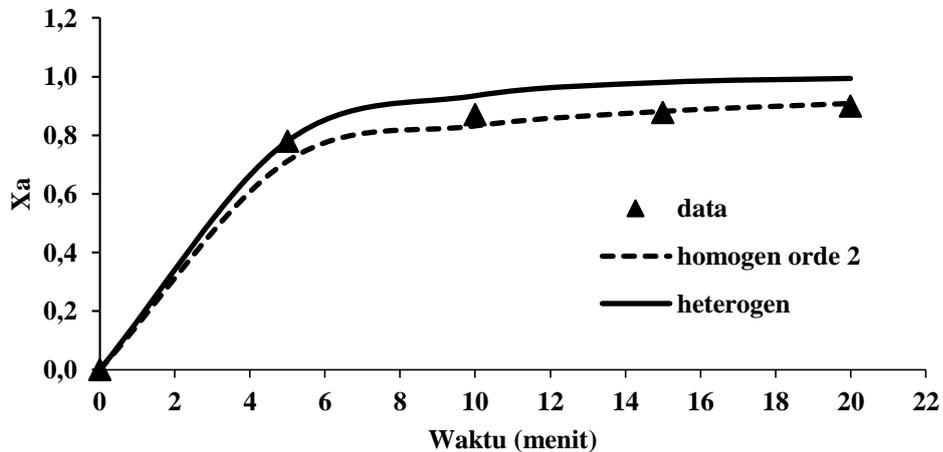


Gambar 3.1 Flowchart Algoritma

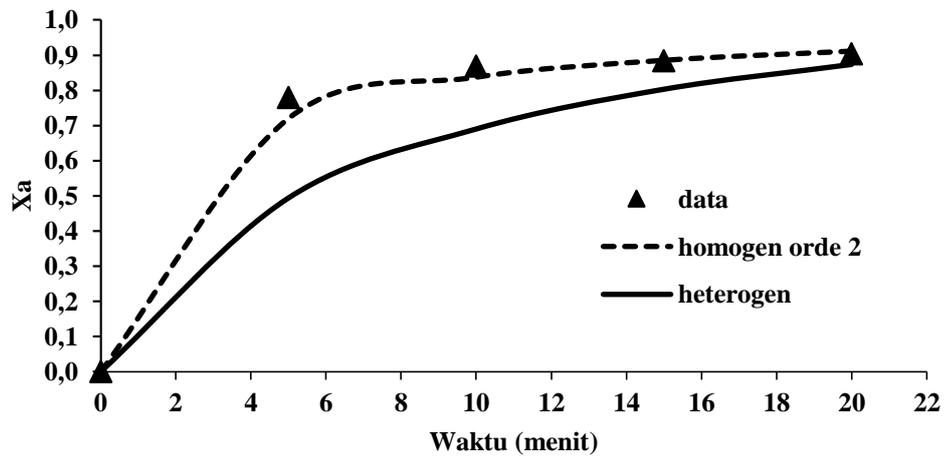
Lampiran 3



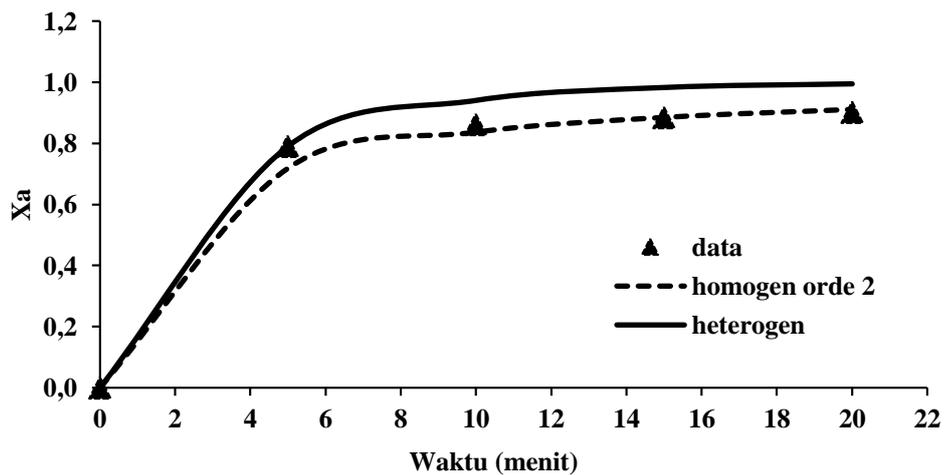
Gambar 4.6. Perbandingan Konversi antara Model Heterogen dan Homogen Orde Dua pada Esterifikasi Gliserol dengan FFA Menggunakan Katalis Zeolit 3A dengan Rasio 1:0,05 (b/b). (Berat FFA 40 gram, rasio FFA/Gliserol = 1:6 (mol/mol), rasio Zeolit 3A/FFA = 1:0,05 (b/b)) pada suhu 60°C



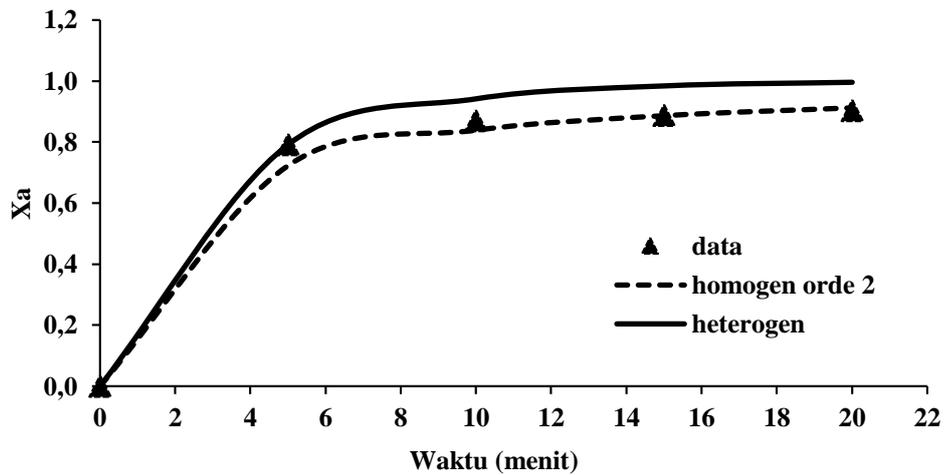
Gambar 4.7 Perbandingan Konversi antara Model Heterogen dan Homogen Orde Dua pada Esterifikasi Gliserol dengan FFA Menggunakan Katalis Zeolit 3A dengan Rasio 1:0,1 (b/b). (Berat FFA 40 gram, rasio FFA/Gliserol = 1:6 (mol/mol), rasio Zeolit 3A/FFA = 1:0,1 (b/b)) pada suhu 60°C



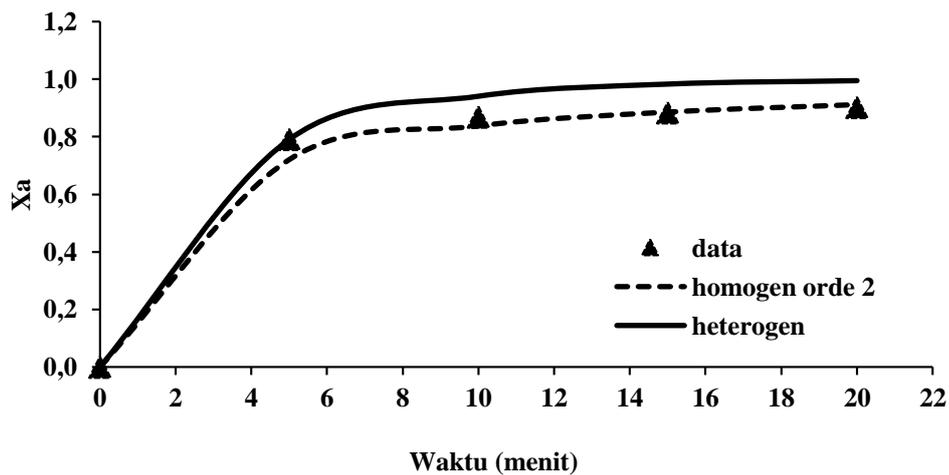
Gambar 4.8 Perbandingan Konversi antara Model Heterogen dan Homogen Orde Dua pada Esterifikasi Gliserol dengan FFA Menggunakan Katalis Zeolit 3A dengan Rasio 1:0,15 (b/b). (Berat FFA 40 gram, rasio FFA/Gliserol = 1:6 (mol/mol), rasio Zeolit 3A/FFA = 1:0,15 (b/b)) pada suhu 60⁰C



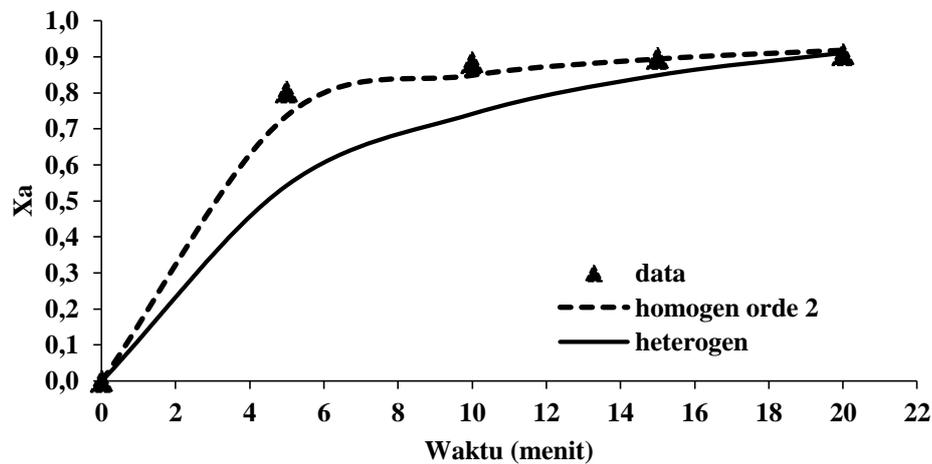
Gambar 4.9. Perbandingan Konversi antara Model Heterogen dan Homogen Orde Dua pada Esterifikasi Gliserol dengan FFA Menggunakan Katalis Zeolit 3A dengan Rasio 1:0,05 (b/b). (Berat FFA 40 gram, rasio FFA/Gliserol = 1:6 (mol/mol), rasio Zeolit 3A/FFA = 1:0,05 (b/b)) pada suhu 70⁰C



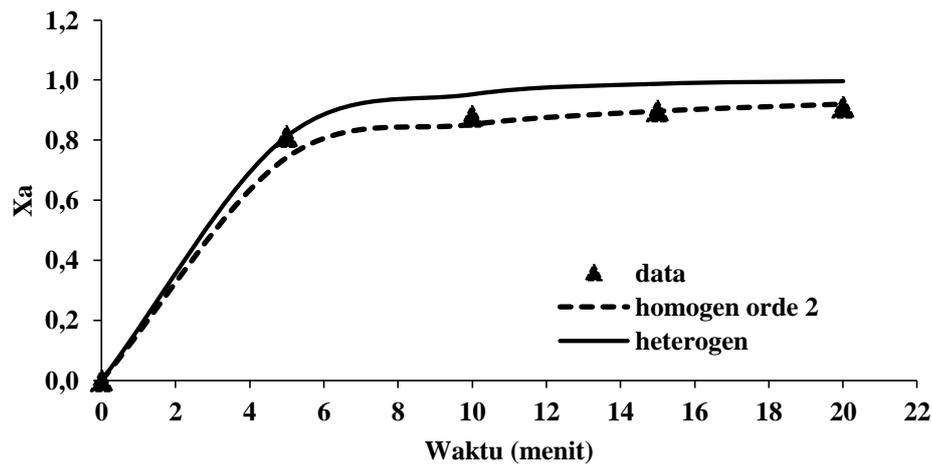
Gambar 4.10. Perbandingan Konversi antara Model Heterogen dan Homogen Orde Dua pada Esterifikasi Gliserol dengan FFA Menggunakan Katalis Zeolit 3A dengan Rasio 1:0,1 (b/b). (Berat FFA 40 gram, rasio FFA/Gliserol = 1:6 (mol/mol), rasio Zeolit 3A/FFA = 1:0,1 (b/b)) pada suhu 70⁰C



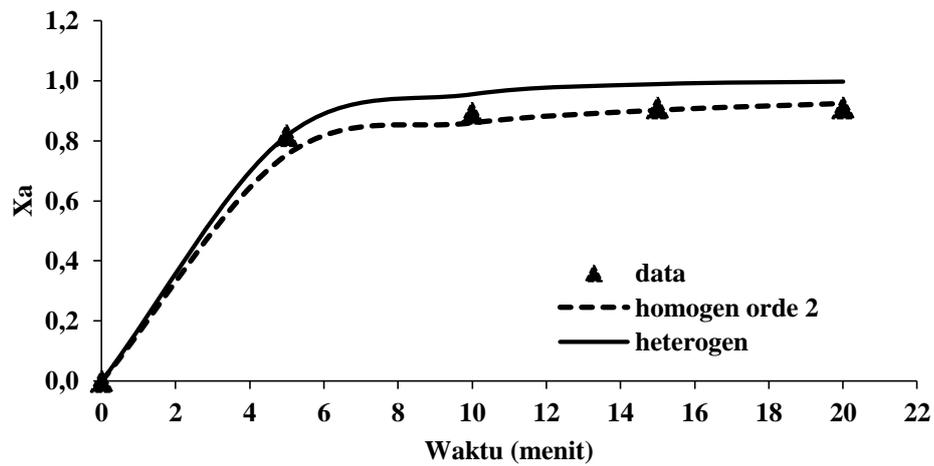
Gambar 4.11. Perbandingan Konversi antara Model Heterogen dan Homogen Orde Dua pada Esterifikasi Gliserol dengan FFA Menggunakan Katalis Zeolit 3A dengan Rasio 1:0,15 (b/b). (Berat FFA 40 gram, rasio FFA/Gliserol = 1:6 (mol/mol), rasio Zeolit 3A/FFA = 1:0,15 (b/b)) pada suhu 70⁰C



Gambar 4.12 Perbandingan Konversi antara Model Heterogen dan Homogen Orde Dua pada Esterifikasi Gliserol dengan FFA Menggunakan Katalis Zeolit 3A dengan Rasio 1:0,05 (b/b). (Berat FFA 40 gram, rasio FFA/Gliserol = 1:6 (mol/mol), rasio Zeolit 3A/FFA = 1:0,05 (b/b)) pada suhu 80°C



Gambar 4.13. Perbandingan Konversi antara Model Heterogen dan Homogen Orde Dua pada Esterifikasi Gliserol dengan FFA Menggunakan Katalis Zeolit 3A dengan Rasio 1:0,1 (b/b). (Berat FFA 40 gram, rasio FFA/Gliserol = 1:6 (mol/mol), rasio Zeolit 3A/FFA = 1:0,1 (b/b)) pada suhu 80°C



Gambar 4.14. Perbandingan Konversi antara Model Heterogen dan Homogen Orde Dua pada Esterifikasi Gliserol dengan FFA Menggunakan Katalis Zeolit 3A dengan Rasio 1:0,15 (b/b). (Berat FFA 40 gram, rasio FFA/Gliserol = 1:6 (mol/mol), rasio Zeolit 3A/FFA = 1:0,15 (b/b)) pada suhu 80⁰C