

Kinetika Transesterifikasi Minyak Biji Kemiri (*Aleurites moluccanus*) menjadi *Fatty Acid Methyl Ester*

MUTIARA RENGGANI S NURUL PUTRI AZHARI, HELGANANTA ADIRYA
SABIAN

Universitas Jember, Indonesia
Email: 201910401065@mail.unej.ac.id

ABSTRAK

Minyak biji kemiri dapat digunakan sebagai metil ester. Metil ester dapat diproduksi dengan satu metode transesterifikasi atau dengan menggabungkan metode transesterifikasi dan esterifikasi menggunakan katalis untuk mempercepat reaksi. Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh metil ester asam lemak dari minyak biji kemiri dengan proses transesterifikasi menggunakan variabel suhu 30°C, 40°C, 50°C pada waktu 40, 50, 60, 70, 80, 90 menit. Proses refluks dilakukan dengan variabel suhu yang telah ditentukan dan pengambilan sampel dilakukan pada waktu yang telah ditentukan. Pengeringan dilakukan pada titik didih etanol. Studi kinetika reaksi transesterifikasi minyak biji kemiri dapat didekati dengan orde 1 dan orde 1 semu. Nilai energi aktivasi untuk orde 1 dan orde 1 semu didapatkan sebesar 51008,05 kJ/mol.K. R^2 pada orde 1 dan orde 1 semu adalah 0,9982.

Kata kunci: minyak biji kemiri, metil ester, refluks, studi kinetika, transesterifikasi

ABSTRACT

Candlenut seed oil can be used as methyl ester. Methyl esters can be produced by a single transesterification method or by combining transesterification and esterification methods using a catalyst to speed up the reaction. This research was carried out to obtain fatty acid methyl esters from candlenut seed oil by transesterification process using variable temperatures of 30°C, 40°C, 50°C at 40, 50, 60, 70, 80, 90 minutes. methyl ester. The reflux process is carried out with a predetermined temperature variable and sampling is carried out at a predetermined time. Drying is carried out at the boiling point of ethanol. The study of the kinetics of the transesterification reaction of candlenut seed oil can be approached with order 1 and pseudo order 1. The activation energy value for order 1 and pseudo order 1 is found to be 51008,05 kJ/mol.K. R^2 at order 1 and pseudo order 1 is 0,9982.

Keywords: candlenut oil, methyl ester, reflux, kinetic studies, transesterification

1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara yang memiliki perkebunan yang sangat luas. Perkebunan kemiri merupakan salah satu perkebunan yang dimiliki oleh Indonesia. Kemiri (*Aleurites moluccanus*) merupakan komoditas tanaman industri yang mempunyai nilai ekonomi cukup tinggi untuk masyarakat Indonesia. Kemiri dapat dimanfaatkan menjadi berbagai macam produk, umumnya bagian dari kemiri yang paling banyak dimanfaatkan adalah bijinya. Biji kemiri dapat dimanfaatkan menjadi minyak kemiri dan dapat dijadikan sebagai rempah-rempah. Indonesia memiliki luas keseluruhan perkebunan tanaman kemiri sebesar 205.532 hektar yang dapat memproduksi 74.319 ton. Luas perkebunan kemiri mengalami peningkatan dari tahun ketahun (Murad et al., 2023). Menurut Arlene et al (2013), tanaman kemiri merupakan tanaman tropis yang subur dapat ditanaman di tanah berpasir dan dapat juga di tanah yang kurang subur pada ketinggian 150-1000 meter di atas permukaan laut (Arlene & Ariono, 2013).

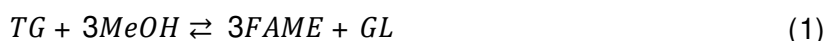
Menurut Subroto et al (2017), minyak yang berasal dari biji kemiri dapat digunakan sebagai pembersih, sabun, dan obat-obatan (Subroto et al., 2017). Biji dari tanaman kemiri merupakan bagian dari tanaman kemiri yang mengandung minyak cukup tinggi sekitar 55-65%. Berbagai macam metode yang dapat digunakan untuk mendapatkan minyak kemiri dari yang paling sederhana hingga yang paling kompleks (Faiznur & Wan, 2019). Ekstraksi merupakan metode untuk memperoleh minyak kemiri yang murni tanpa adanya komponen senyawa lain, karena dengan metode ini komponen lain yang terkandung di dalam biji kemiri tidak ikut larut (Novianto & Fuadi, 2023). Minyak kemiri memiliki kandungan asam lemak jenuh yang relatif sedikit. Asam lemak yang terkandung di dalam minyak kemiri berjenis asam palmitat, asam stearat, asam oleat, asam linoleat, dan asam linoleat (Novianto & Fuadi, 2023). Menurut Shoviantari et al (2019), asam lemak tak jenuh yang terkandung di dalam minyak kemiri sangat tinggi. Kandungan terbesar yang ada di dalam minyak kemiri yakni asam linoleat sebanyak 66,2% (Shoviantari et al., 2019). Asam linoleat mengandung Omega-6 dan Omega-3. Minyak kemiri memiliki sifat yang mudah menguap dan teroksidasi, hal ini disebabkan karena minyak kemiri memiliki bilangan iodine yang tinggi sebesar 136-167 (Munandar Erawati et al., 2023).

Metil ester adalah bahan baku yang dapat digunakan untuk memproduksi berbagai macam produk. Metil ester dapat digunakan sebagai bahan baku dari biodiesel, surfaktan, dan produk kosmetik (Makalalag, 2018). Metil ester juga dapat disebut sebagai biodiesel yang merupakan bahan bakar mesin diesel. Metil ester memiliki beberapa kelebihan jika diolah menjadi bahan bakar mesin diesel, yakni dari bahan baku yang digunakan berasal dari sumber daya terbarukan, emisi yang dihasilkan lebih sedikit, mudah untuk terurai sehingga toksisitasnya tidak tinggi, dan biodiesel dapat digunakan sebagai pemasukan perekonomian. Akan tetapi terdapat beberapa tantangan dalam pengolahan metil ester menjadi biodiesel yakni biaya bahan baku yang digunakan dan pemilihan teknologi yang sesuai agar dapat menghasilkan produk biodiesel yang berkualitas (Gebremariam & Marchetti, 2017).

Terdapat beberapa cara untuk mendapatkan metil ester salah satunya menggunakan metode transesterifikasi dengan bantuan katalis untuk mempercepat terjadinya reaksi serta meningkatkan hasil yield yang didapat (Purnomo et al., 2020). Transesterifikasi memiliki tujuan untuk mengubah (tri, di, mono) gliserida terdapat pada minyak kemiri menjadi ester dan gliserol (Suleman et al., 2019). Faktor terpenting yang dinilai dapat mempengaruhi proses transesterifikasi adalah jenis dan konsentrasi dari katalis (Suleman et al., 2019). Katalis yang digunakan merupakan katalis yang bersifat basa karena katalis basa lebih cepat bereaksi jika dibandingkan dengan menggunakan katalis asam. Reaksi transesterifikasi

merupakan pertukaran senyawa ester menjadi alkohol yang terjadi pada larutan yang bersifat asam atau basa, untuk reaksinya merupakan reaksi berjenis reversibel (Kolo et al., 2016).

Beberapa studi telah mencatat bahwa transesterifikasi trigliserida dan alkohol merupakan reaksi dengan orde kedua. Dalam penelitian ini, reaksi dikendalikan dengan menggeser ke arah kanan menggunakan kelebihan metanol, sehingga diharapkan reaksi menjadi ireversibel. Katalis basa KOH digunakan dalam reaksi ini. Persamaan reaksi yang diasumsikan adalah sebagai berikut



Diasumsikan persamaan reaksi menjadi:



Model persamaan reaksi orde 1 semu dari persamaan diatas sebagai berikut:

$$r_{TG1} = -\left(\frac{dc_{TG}}{dt}\right)_1 = k_1 C_{TG} C_M \quad (3)$$

Juga diuji reaksi dengan orde 1 dengan asumsi kelebihan reaktan sehingga konsentrasinya dianggap konstan selama reaksi berlangsung dan reaksi yang ireversibel, sehingga persamaan laju reaksinya dapat dituliskan sebagai berikut (Daryono et al., 2022):

$$r = -\frac{d(TG)}{dt} = k(TG) \quad (4)$$

Digunakan persamaan Arrhenius untuk menentukan nilai energi aktivasi dan nilai k (Angelia et al., 2022)

$$k = Ae^{-\frac{Ea}{RT}} \quad (5)$$

Persamaan (1.7) didapatkan dari hasil plot nilai $\ln k$ vs $1/T$ berupa persamaan garis lurus sebagai berikut:

$$y = -ax + b \quad (6)$$

Nilai $-ax$ merupakan nilai $-\frac{Ea}{RT}$ dan nilai b merupakan nilai $\ln A$

Energi aktivasi didapatkan dari:

$$Ea \times R \quad (7)$$

R merupakan nilai ketetapan gas 8,314 kJ/mol.K

Tabel 1. State of the art

No.	Bahan	Kondisi Operasi	Hasil	Referensi
1.	Minyak Biji Kemiri	Pada penelitian ini menggunakan katalis H_2SO_4 dan KOH. Reaksi esterifikasi menggunakan perbandingan minyak dengan metanol (3:1) selama 2 jam. Reaksi transesterifikasi dilakukan dengan variasi konsentrasi katalis KOH (0,5; 1,0; 1,5; 2,0% berat minyak), rasio minyak dengan metanol 1:1, 1:2, 1:3 (berat/berat). Suhu reaksi sebesar $65^\circ C$ dan waktu yang dibutuhkan selama 1 jam. <i>Yield</i> dan sifat biodiesel diamati dengan menggunakan Gas Kromatografi dan ASTM D 6751.	<i>Yield</i> yang didapatkan sebesar 96,91% pada kondisi konsentrasi KOH 1% berat minyak, rasio minyak dengan metanol 1:1 (berat/berat) dan suhu reaksi $65^\circ C$.	(Anggraini, 2018)
2.	Minyak Biji Kemiri	Pada penelitian ini menggunakan katalis CaO/SiO_2 dan H_2SO_4 . Kadar asam lemak bebas minyak kemiri sunan divariasi pada tahap esterifikasi selama 1 jam; 1,5 jam; 2 jam dengan menggunakan katalis H_2SO_4 . Pada tahap transesterifikasi menggunakan katalis CaO/SiO_2 sebanyak 3%, dilakukan pada suhu $60^\circ C$ dengan lama reaksi selama 2 jam dan rasio minyak dengan metanol (1:9).	Dihasilkan kadar asam lemak bebas mampu turun dari 12,5% menjadi 0,65%; 0,58%; dan 0,54% dengan waktu 1 jam; 1,5 jam; dan 2 jam.	(Haryono et al., 2020)
3.	Minyak Biji Kemiri	Pada penelitian ini menggunakan katalis pada K_2O/C . Katalis K_2O/C digunakan dalam reaksi transesterifikasi dari minyak biji kemiri dengan reaktor <i>batch</i> .	Menghasilkan biodiesel tertinggi 98,68% ketika katalis yang digunakan 4% terhadap minyak, rasio minyak dengan metanol 1:8, waktu reaksi 1,5 jam	(Zaki et al., 2020)
4.	Minyak Biji Kemiri	Pada penelitian ini menggunakan katalis NaOH 0,75% dan KOH 1%. Proses <i>pretreatment degumming</i>	Dihasilkan densitas $0,89 g/cm^3$ dan viskositas	(Garusti et al., 2020)

No.	Bahan	Kondisi Operasi	Hasil	Referensi
		dilakukan transesterifikasi sebelum berhasil menurunkan angka asam.	kinematik suhu 40°C adalah 5,45°C.	
5.	Minyak Kedelai	Pada penelitian ini menggunakan katalis CaO dengan suhu reaksi 60°C, berat katalis 3% dan waktu reaksi 180 menit. Metanol yang teradsorpsi di permukaan katalis kemudian bereaksi pada minyak kedelai saat fase cair.	Menghasilkan model persamaan reaksi transesterifikasi minyak kedelai dengan metanol menggunakan katalis CaO yakni: $\frac{4.7901(0.7240C_A C_B - \frac{C_C C_D}{248.2845})}{0.7240C_B + \frac{C_C}{2.4342} + 1}$	(Pratigto & Istadi, 2019)
6	Minyak Biji Jarak	Pada penelitian ini menggunakan katalis KOH. Proses yang dilakukan dengan tahap <i>degumming</i> , esterifikasi dan transesterifikasi. Suhu reaksi yang digunakan adalah 30°C, 40°C dan 60°C. Variasi waktu reaksi 10 hingga 90 menit.	Menghasilkan konsentrasi FAME 99,52% pada reaksi transesterifikasi dengan katalis KOH pada suhu reaksi 60°C dan waktu reaksi 45 menit. Reaksi transesterifikasi orde 2 dengan nilai K suhu 30-60°C adalah 0.008-0.015 L ³ /mol.menit dan Ea 4239.49 kal/mol.	(Daryono et al., 2022)

Berdasarkan fakta yang telah diuraikan pada latar belakang tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui kinetika transesterifikasi minyak biji kemiri menjadi *fatty acid methyl ester*. Pada penelitian ini menggunakan proses reaksi transesterifikasi dengan menggunakan pelarut metanol dan katalis KOH. Perbandingan minyak dengan metanol yang digunakan yakni 1:2. Metode yang digunakan adalah metode refluks dengan suhu 30°, 40° dan 50°C dan dilakukan pengambilan sampel pada menit ke 40, 50, 60, 70, 80, 90.

2. METODE

2.1 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi: etanol 97% (C₂H₅OH), kalium hidroksida (KOH), metanol (CH₃OH), minyak kemiri, es batu, alumunium foil.

2.2 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini meliputi: beakerglass ukuran 100 ml dan 250 ml, batang pengaduk, bulb pipet, botol vial kosong, corong pisah, gelas ukur ukuran 100 ml, hotplate, kaca arloji, kondensor refluks, labu leher tiga, magnetic stirrer, neraca analitik, pipet ukur 10 ml, pipet tetes, piknometer 10 ml, spatula, statif dan klem, stopwatch, termometer, oven, pompa.

2.3 Uji FFA

Proses uji kadar FFA mengacu pada referensi Hananto et al. (2023), terlebih dahulu ditimbang sebanyak 28,2 gr sampel minyak kemiri dan ditambahkan dengan etanol 97% sebanyak 50

ml. Dipanaskan larutan tersebut hingga mendidih, setelah mendidih didiamkan hingga suhunya turun dan ditambahkan dengan 2 ml indikator PP. Dilakukan titrasi larutan tersebut menggunakan larutan KOH 0,1 M sebagai titrannya hingga larutan minyak tersebut berubah warna menjadi merah muda.

$$FFA = \frac{ml\ KOH \times M\ KOH \times BM\ bahan}{10 \times massa\ minyak\ sampel\ (gr)} \quad (8)$$

Dengan:

$ml\ KOH$ = volume KOH sebagai titran

$M\ KOH$ = molaritas larutan KOH (mol/L)

$BM\ bahan$ = berat molekul asam lemak yang dominan pada sampel minyak (Hananto & Rosdiana, 2023)

2.4 Metode Eksperimen

Diukur minyak kemiri sebanyak 65 ml dan dilakukan penimbangan massa dengan neraca analitik untuk mengetahui berat massa dari minyak kemiri yang digunakan. Dilarutkan KOH sebanyak 1% dari berat 65 ml minyak kemiri dengan menggunakan metanol. Perbandingan minyak dengan metanol yakni 1:2 sehingga metanol yang digunakan sebanyak 130 ml. Dilarutkan KOH pada metanol hingga homogen, jika KOH dengan metanol telah homogen maka dapat dicampurkan dengan minyak di dalam labu tiga leher yang telah terpasang kondensor refluks. Dilakukan refluks selama 90 menit dengan suhu 30°, 40° dan 50°C. Dilakukan pengambilan sampel metil ester sebanyak 10 ml ketika waktu 40, 50, 60, 70, 80, dan 90 menit. Dari hasil reaksi transesterifikasi akan terbentuk dua lapisan yakni pada bagian atas merupakan lapisan sisa metanol dan gliserol sedangkan lapisan bawah merupakan lapisan metil ester. Dilakukan pemisahan dengan menggunakan corong pisah untuk mendapatkan metil ester. Metil ester yang telah didapatkan dicuci dengan menggunakan etanol 97%. Pencucian dilakukan sebanyak dua kali, banyaknya etanol yang digunakan untuk pencucian sebanyak 10 ml. Metil ester yang sudah bersih selanjutnya dioven selama 60 menit pada suhu 78°C untuk menghilangkan pelarut yang masih tersisa di dalam metil ester.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Proses Transesterifikasi

Transesterifikasi merupakan proses reaksi trigliserida menjadi ester dan gliserol. Satu mol trigliserida akan bereaksi dengan tiga mol alkohol sehingga membentuk satu mol gliserida dan tiga mol metil ester (Aurunnisa et al., 2023). Prinsip kerjanya minyak dipanaskan dengan suhu tertentu dan ditambahkan dengan pelarut, suhu dipertahankan selama waktu pengadukan. Selanjutnya larutan didiamkan hingga terbentuk 2 fasa, yakni gliserol dan metil ester kemudian dipisahkan antara metil ester dan gliserol (Kharis et al., 2019). Setelah melakukan uji kandungan FFA dari minyak biji kemiri didapatkan kadar FFA sebesar 1,78% oleh karena itu untuk memperoleh senyawa metil ester dapat menggunakan proses transesterifikasi. Jika kadar FFA >2% perlu melalui tahap proses esterifikasi terlebih dahulu untuk menurunkan kadar % FFA, karena jika kadar FFA terlalu tinggi dapat mengganggu terjadinya pembentukan metil ester (Mukminin et al., 2022).

3.2 Orde 1

Diasumsikan menggunakan konsentrasi metanol yang berlebih sehingga dianggap konstan selama reaksi, sehingga persamaan orde 1:

$$r = -\frac{d(TG)}{dt} = k(TG) \tag{9}$$

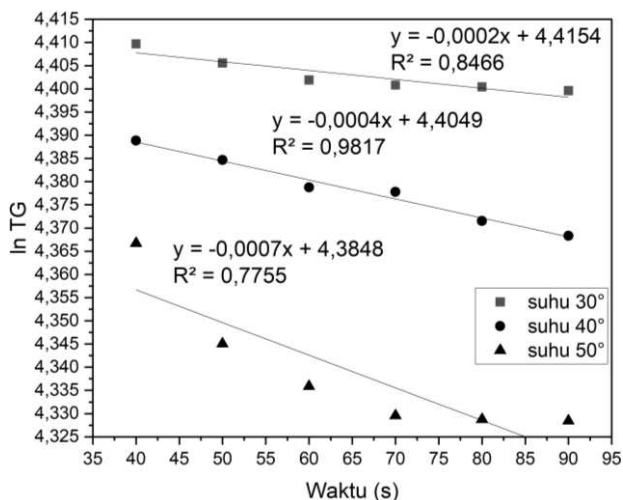
$$\frac{d(TG)}{TG} = -kdt \tag{10}$$

Diintegrasikan kedua sisi persamaan (3.2) menjadi:

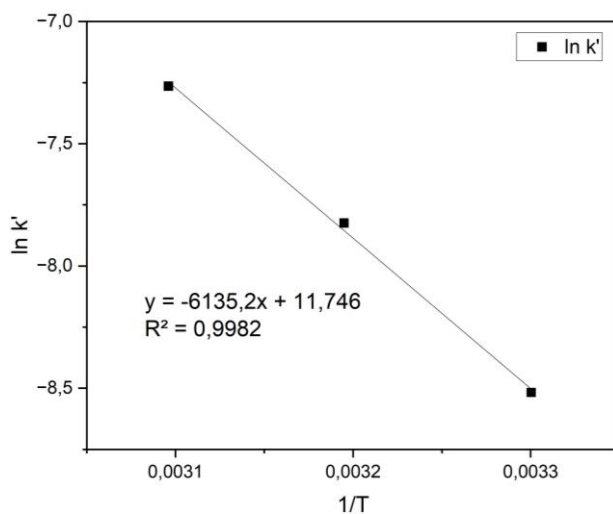
$$\int \frac{d(TG)}{TG} = -k \int dt \tag{11}$$

Sehingga dihasilkan persamaan untuk orde 1:

$$\ln|TG| = -kt + C \tag{12}$$



Gambar 1. Laju reaksi orde 1



Gambar 2. Hubungan ln k' dengan 1/ T

Tabel 2. Hubungan $\ln k'$ dengan $1/T$

T (°C)	k'	$\ln k'$	T (°K)	1/T
30	0,0002	-8,51719	303	0,0033
40	0,0004	-7,82405	313	0,003195
50	0,0007	-7,26443	323	0,003096

Gambar 1. menunjukkan hubungan antara nilai $\ln k'$ dengan nilai $1/T$. Suhu mempengaruhi nilai k' , suhu yang semakin tinggi mengakibatkan konstanta laju reaksi (k') semakin besar, yang berarti bahwa kecepatan reaksi semakin meningkat seiring meningkatnya suhu reaksi (Satwikanitya et al., 2023). Didapatkan persamaan $y = -6135,2x + 11,746$. Nilai $-E_a/RT$ yang merupakan *slope* sebesar -6135,2 dan untuk nilai *intercept* sebesar 11,746. Digunakan persamaan *Arrhenius* untuk mendapatkan nilai energi aktivasi pada reaksi transesterifikasi. Dimana nilai R merupakan nilai ketetapan gas 8,314 kJ/mol.K sehingga didapatkan nilai energi aktivasi (E_a) sebesar 51008,05 kJ/mol.K. Energi aktivasi merupakan energi minimum yang diperlukan supaya reaksi dapat berjalan (Putri et al., 2022). Persamaan tetapan laju reaksi pada orde 1 ini adalah $k = 1,26 \times 10^5 e^{-\left(\frac{51008,05}{T}\right)}$.

3.2 Orde 1 Semu

Model persamaan laju reaksi orde 1 semu sebagai berikut:

$$r_{TG1} = -\left(\frac{dc_{TG}}{dt}\right)_1 = k_1 C_{TG} C_M \quad (13)$$

dimana nilai k merupakan harga konstanta kecepatan reaksi berdasarkan hasil percobaan.

Jika M merupakan rasio molar metanol dengan trigliserida $M = C_M / C_{TG}$:

$$r_{TG} = \frac{-dC_{TG}}{dt} = k \cdot C_{TG0}^2 (1 - X_{TG})(M - 3X_{TG}) \quad (14)$$

Integrasi dari persamaan (3.9) menghasilkan persamaan:

$$\ln \frac{C_M C_{TG0}}{C_{M0} C_{TG}} = \ln \frac{M - 3X_{TG}}{M(1 - X_{TG})} = C_{TG0}(M - 3)KT \quad (15)$$

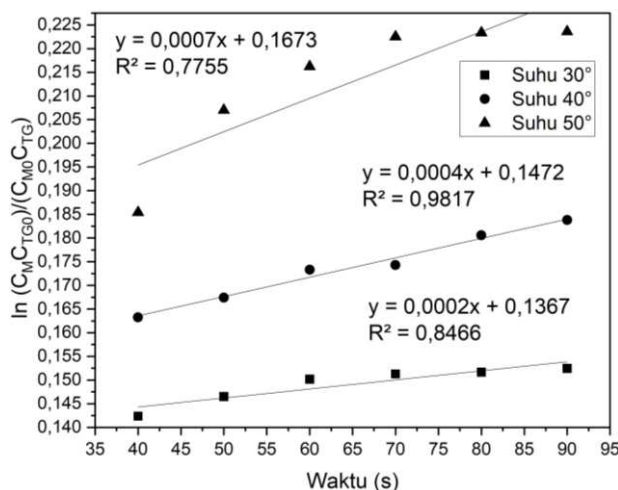
Jika $M = 53,5/1 = 53,5$, maka:

$$\ln \frac{C_M C_{TG0}}{C_{M0} C_{TG}} = 50,5 C_{TG0} \cdot kt = 50,5kt \quad (16)$$

Plot $\ln \frac{C_M C_{TG0}}{C_{M0} C_{TG}}$ vs t untuk membuktikan bahwa reaksi transesterifikasi minyak kemiri menjadi FAME merupakan orde 1 semu.

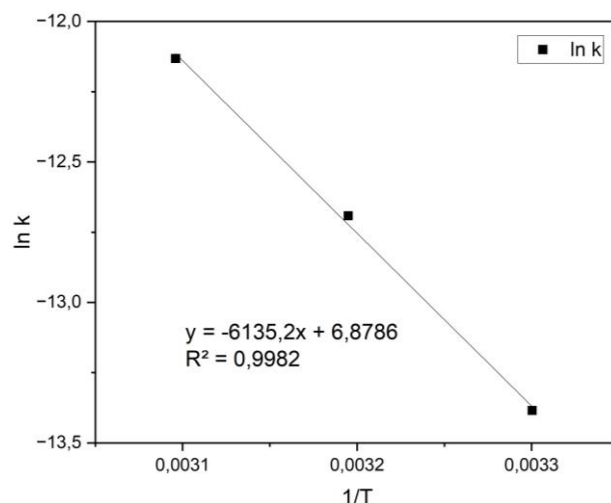
Karena reaksi transesterifikasi minyak kemiri menjadi FAME diasumsikan menggunakan metanol yang berlebih dan metanol yang berkurang sangat sedikit bahkan jika diamati metanol tidak berkurang setelah bereaksi maka C_M dan C_{M0} dianggap konstan, sehingga:

$$k = \frac{k'}{C_M} \quad (17)$$



Gambar 3. Laju reaksi orde 1 semu

Gambar 1. dan gambar 3. merupakan grafik hubungan laju reaksi transesterifikasi minyak kemiri orde 1 dan orde 1 semu dengan variasi suhu dan waktu reaksi. Menurut data yang didapatkan nilai R^2 bernilai sama karena proses reaksi transesterifikasi minyak kemiri menggunakan katalis KOH merupakan reaksi yang dapat didekati oleh orde 1 dan orde 1 semu. Reaksi orde 1 semu merupakan reaksi orde dua yang mirip seperti orde 1. Hal ini terjadi ketika salah satu zat yang bereaksi memiliki jumlah yang sangat berlebih atau tetap pada kadar tertentu. Oleh karena itu, laju reaksi ditentukan oleh satu reaktan walaupun terdapat dua reaktan, karena tidak terjadi perubahan kadar yang signifikan (Napitupulu et al., 2018). Pada gambar 1. nilai $\ln TG$ mengalami penurunan karena trigliserida terkonversi menjadi FAME seiring lamanya waktu reaksi dan suhu yang semakin meningkat. Semakin tinggi suhu reaksi yang digunakan maka akan semakin besar FAME yang dihasilkan. Hal ini terjadi karena suhu yang semakin meningkat akan meningkatkan energi yang ada untuk melakukan kontak dengan molekul-molekul reaktan. Terjadinya kontak tersebut menimbulkan semakin cepatnya reaksi pemutusan ikatan (Sucipto et al., 2019). Selain itu, semakin lama waktu reaksi maka laju reaksi semakin besar, hal ini disebabkan karena kesempatan molekul-molekul untuk bereaksi semakin lama. Hasil yang didapatkan berbanding lurus dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Fiyansah et al. (2021), peningkatan suhu dan waktu mengakibatkan peningkatan nilai laju reaksi karena terjadi peningkatan energi kinetik partikel sehingga kemungkinan terjadinya tumbukan yang efektif (Fiyansah et al., 2021). Kondisi optimal menghasilkan konsentrasi FAME yang paling besar terjadi pada waktu 90 menit dengan suhu reaksi sebesar 50°C.

Gambar 4. Hubungan $\ln k$ dengan $1/T$ Tabel 3. Hubungan $\ln k$ dengan $1/T$

T (°C)	k	ln k	T (°K)	1/T
30	$1,53846 \times 10^{-6}$	-13,3847	303	0,0033
40	$3,07692 \times 10^{-6}$	-12,6916	313	0,003195
50	$5,38462 \times 10^{-6}$	-12,132	323	0,003096

Gambar 4. menunjukkan hubungan antara nilai $\ln k$ dengan nilai $1/T$. Suhu mempengaruhi nilai k , suhu yang semakin tinggi mengakibatkan konstanta laju reaksi (k) semakin besar, yang berarti bahwa kecepatan reaksi semakin meningkat seiring meningkatnya suhu reaksi (Satwikanitya et al., 2023). Didapatkan persamaan $y = -6135,2x + 6,8786$. Nilai $-E_a/RT$ yang merupakan *slope* sebesar -6135,2 dan untuk nilai *intercept* sebesar 6,8786. Digunakan persamaan *Arrhenius* untuk mendapatkan nilai energi aktivasi pada reaksi transesterifikasi. Dimana nilai R merupakan nilai ketetapan gas 8,314 kJ/mol.K sehingga didapatkan nilai energi aktivasi (E_a) sebesar 51008,05 kJ/mol.K. Energi aktivasi merupakan energi minimum yang diperlukan supaya reaksi dapat berjalan (Putri et al., 2022). Persamaan tetapan laju reaksi pada orde 2 ini adalah $k = 9,71 \times 10^2 e^{-\left(\frac{51008,05}{T}\right)}$.

Tabel 4. Perbandingan hasil orde 1 dan orde 1 semu

No.	Keterangan	Orde 1	Orde 1 Semu
1.	Nilai R^2	0,9982	0,9982
2.	Energi Aktivasi	51008,05 kJ/mol.K	51008,05 kJ/mol.K
3.	Persamaan tetapan laju reaksi	$k = 1,26 \times 10^5 e^{-\left(\frac{51008,05}{T}\right)}$	$k = 9,71 \times 10^2 e^{-\left(\frac{51008,05}{T}\right)}$

Tabel 4. Merupakan perbandingan hasil orde 1 dengan orde 1 semu. Pada tabel tersebut didapatkan nilai R^2 yang sama antara orde 1 dan orde 1 semu yakni sebesar 0,9982. Nilai energi aktivasi yang didapatkan antara kedua orde tersebut bernilai sama yakni 51008,08 kJ/mol.K. sedangkan persamaan tetapan laju reaksi dari setiap orde tersebut berbeda, orde 1 didapatkan persamaan $k = 1,26 \times 10^5 e^{-\left(\frac{51008,05}{T}\right)}$ sedangkan untuk orde 1 semu didapatkan persamaan $k = 9,71 \times 10^2 e^{-\left(\frac{51008,05}{T}\right)}$.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- Reaksi transesterifikasi minyak kemiri dengan menggunakan katalis KOH merupakan reaksi yang dapat didekati dengan reaksi orde 1 dan orde 1 semu
- Nilai energi aktivasi untuk orde 1 didapatkan sebesar 51008,05 kJ/mol.K dan persamaan tetapan laju reaksi $k = 1,26 \times 10^5 e^{-\left(\frac{51008,05}{T}\right)}$. Nilai energi aktivasi untuk orde 1 semu didapatkan sebesar 51008,05 kJ/mol.K dan persamaan tetapan laju reaksi $k = 9,71 \times 10^2 e^{-\left(\frac{51008,05}{T}\right)}$
- Nilai R^2 dari orde 1 dan orde 1 semu didapatkan 0,9982.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ucapkan terimakasih kepada seluruh civitas akademik program studi Teknik Kimia di Universitas Jember, khususnya bapak Ir. Boy Arief Fachri, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing utama penelitian dan ibu Ir. Meta Rizki Fitriana, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing anggota penelitian yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Angelia, D., Permatasari, G. P. W., & Redjeki, S. (2022). *Kinetics Transesterification Reaction Of Waste Cooking Oil Into Biodiesel With Modified Cao*. 16(2), 93–100.
- Anggraini, S. D. (2018). Rekayasa Produksi Biodiesel Dari Minyak Kemiri Sunan (Reutialis Trisperma Oil) Sebagai Alternatif Bahan Bakar Mesin Diesel. *Jati Unik: Jurnal Ilmiah Teknik Dan Manajemen Industri*, 2(1), 1–13. <https://doi.org/10.30737/Jatiunik.V2i1.272>
- Arlene, A., & Ariono, D. (2013). Pengaruh Ukuran Biji Dan Metode Praperlakuan Panas Terhadap Ekstraksi Mekanik Minyak Kemiri. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, 11(6), 275–282.
- Aurunnisa, A. N., Nabila, A. R., & Mahfud. (2023). Pra Desain Pabrik Biodiesel Dari Biji Nyamplung Dengan Proses Esterifikasi Dan Transesterifikasi. *Jurnal Teknik Its*, 12(2), B89–B94.
- Daryono, E. D., Dewi, R. K., & Hudha, M. I. (2022). Pengaruh Suhu Dan Waktu Pada Kinetika Reaksi Transesterifikasi Minyak Jarak Pagar Menjadi Metil Ester Dengan Katalis Koh. *Prosiding Seniati*, 6(1), 113–122. <https://doi.org/10.36040/Seniati.V6i1.4918>
- Faiznur, M. F., & Wan, A. A. W. A. (2019). Kinetics Of Oil Extraction From Candlenut (*Aleurites Moluccana*). *Asm Science Journal*, 12, 1–8. <https://doi.org/10.32802/Asmscj.2019.291>
- Fiyansah, T. O., Fadarina, & Aznury, M. (2021). Kinetika Reaksi Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Menjadi Metil Ester Dengan Katalis Cao/ Abu Terbang Batubara. *Jurnal Kinetika*, 12(03), 38–43. <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index>

- Garusti, G., Khuluq, A. D., Hartono, J., Riajaya, P. D., & Purwati, R. D. (2020). Karakteristik Biodiesel Kemiri Sunan Dengan Katalis Naoh Dan Koh. *Buletin Tanaman Tembakau, Serat & Minyak Industri*, 12(2), 78–85. <https://doi.org/10.21082/Btsm.V12n2.2020.78-85>
- Gebremariam, S. N., & Marchetti, J. M. (2017). Biodiesel Production Technologies: Review. In *Aims Energy* (Vol. 5, Issue 3). <https://doi.org/10.3934/energy.2017.3.425>
- Hananto, Y., & Rosdiana, J. (2023). Penurunan Kadar Ffa (Free Fatty Acid) Minyak Jelantah Menggunakan Adsorben Arang Aktif Ampas Tebu Pada Proses Pembuatan Biodiesel. *Journal Of Engineering Science And Technology*, 1(1), 8–17. <https://doi.org/10.47134/Jesty.V1i1.1>
- Haryono, Yuliyati, Y. B., Noviyanti, A. R., Rizal, M., & Nurjanah, S. (2020). Characterization Of Biodiesel Made From Kemiri Sunan Oil Using Heterogeneous Silica Catalyst Impregnated By Calcium Oxide. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 38(1), 1–68. <http://ejournal.fordamof.org/ejournal-litbang/index.php/jphh/article/view/5476>
- Kharis, N., Sutjahjono, H., Arbiantara, H., Setyawan, D. L., & Ilminnafik, N. (2019). Karakteristik Biodiesel Dari Minyak Biji Randu (Ceiba Pentandra) Dengan Proses Transesterifikasi Menggunakan Katalis Naoh. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 12(1), 37–40. <https://doi.org/10.24843/Jem.2019.V12.101.P07>
- Kolo, S. M. D., Siburian, R. A. F., & Lulan, T. Y. K. (2016). Produksi Biodiesel Dari Minyak Biji Jarak Pagar (Jatropha Curcas L.). *Jurnal Pendidikan Biologi*, 1(1), 6–8.
- Makalalag, A. (2018). Pembuatan Metil Ester Dari Minyak Kelapa. *Jurnal Penelitian Teknologi Industri*, 10(2), 67–74. <http://ejournal.kemenperin.go.id/files010483/journals/11/articles/4375/public/4375-17407-2-pb.pdf>
- Mukminin, A., Megawati, E., Warsa, I. K., Yuniarti, Umoro, W. A., & Islamiati, D. (2022). Analisis Kandungan Biodiesel Hasil Reaksi Transesterifikasi Minyak Jelantah Berdasarkan Perbedaan Konsentrasi Katalis Naoh Menggunakan Gc-MS. *Jurnal Ilmiah Universitas Muhammadiyah Buton*, 8(1), 146–158. https://id.wikipedia.org/wiki/Sang_Pencerah#/Media/Berkas:Sang_Pencerah.jpg
- Munandar Erawati, T., Rosita, N., & Rachmania, I. (2023). The Activity Of Candelnut Oil In The Nanostructured Lipid Carrier System On Hair Growth In Rats. *Journal Of Public Health In Africa*, 14(S1). <https://doi.org/10.4081/jphia.2023.2519>
- Murad, Sukmawaty, Ansar, Sabani, R., & Ayu, H. (2023). Introduksi Ttg Pengerian Tipe Batch Pada Ikm Kemiri Dalam Menghadapi Era New Normal. *Jurnal Abdi Mas Tpb*, 5(1), 1–7.
- Napitupulu, H. Y. S., Azis, Y., & Komalasari. (2018). Pengaruh Temperatur Terhadap Kinetika Reaksi Pembentukan Hidroksiapatit (Hap) Dari Precipitated Calcium Carbonate (Pcc) Cangkang Telur Itik Melalui Proses Presipitasi. *Jurnal Ftteknik*, 5(2), 1–6.
- Novianto, L., & Fuadi, A. M. (2023). Pengaruh Jenis Pelarut Dan Waktu Ekstraksi Dengan Metode Soxhletasi Pada Pengambilan Minyak Kemiri (Aleurites Moluccanus). *Jurnal Teknik Kimia Vokasional (Jimsi)*, 3(1), 22–27. <https://doi.org/10.46964/jimsi.V3i1.365>
- Pratigto, S., & Istadi, I. (2019). Kinetika Reaksi Transesterifikasi Minyak Kedelai Menjadi Biodiesel Dengan Katalis Cao. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 22(5), 213–219. <https://doi.org/10.14710/jksa.22.5.213-219>
- Purnomo, V., Hidayatullah, A. S., In'am, A. J., Prastuti, O. P., Septiani, E. L., & Herwoto, R. P. (2020). Biodiesel From Jatropha Oil With Subcritical Methanol Transesterification. *J. Teknik Kimia*, 14(2), 73–79.
- Putri, Q. U., Augustin, D., & Hasanudin, H. (2022). Kinetika Esterifikasi Asam Lemak Bebas Dari Sludge Industri Crude Palm Oil (Cpo) Menggunakan Katalis Komposit Montmorillonite/Karbon Tersulfonasi Dari Tetes Tebu. *Alchemy Jurnal Penelitian Kimia*, 18(1), 48–57. <https://doi.org/10.20961/alchemy.18.1.50470.48-57>
- Satwikanitya, P., Saputra, A., Sya'bani, M. W., Pambudi, W., & Agustian, M. F. (2023). Studi Pengaruh Penggunaan Plasticizer Dari Minyak Jelantah Epoksi Terhadap Kinetika

- Vulkanisasi Karet. *Jurnal Penelitian Karet*, 41(1), 33–46.
<https://doi.org/10.22302/ppk.jpk.v41i1.855>
- Shoviantari, F., Liziarmeilia, Z., Bahing, A., & Agustina, L. (2019). Uji Aktivitas Tonik Rambut Nanoemulsi Minyak Kemiri (*Aleurites Moluccana* L.). *Jurnal Farmasi Dan Ilmu Kefarmasian Indonesia*, 6(2), 69–73. <https://e-journal.unair.ac.id/jfiki/article/view/12452/7995>
- Subroto, E., Widjojokusumo, E., Veriansyah, B., & Tjandrawinata, R. R. (2017). Supercritical Co₂ Extraction Of Candlenut Oil: Process Optimization Using Taguchi Orthogonal Array And Physicochemical Properties Of The Oil. *Journal Of Food Science And Technology*, 54(5), 1286–1292. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2542-7>
- Sucipto, L., Rustyawan, W., Jumaeri, Alighiri, D., & Wahyuni, S. (2019). Pengaruh Temperatur Dan Rasio H₂ /Hidrokarbon Menggunakan Katalis Como/- Al₂O₃ Pada Hydrotreating Combined Gas Oi. *Indonesian Journal Of Chemical Science*, 8(3), 185–190.
- Suleman, N., Abas, & Papatungan, M. (2019). Esterifikasi Dan Transesterifikasi Stearin Sawit Untuk Pembuatan Biodiesel. *Jurnal Teknik*, 17(1), 66–77.
<https://doi.org/10.37031/jt.v17i1.54>
- Zaki, M., Asnawi, T. M., Husin, H., Rumli, S., Sofyan, Hasfita, F., & Karo, J. A. K. (2020). Transesterifikasi Minyak Kemiri Sunan Menjadi Biodiesel Menggunakan Katalis Padat K₂O/C. *Jurnal Litbang Industri*, 10(2), 83–88.