



Research Articles

Optimasi Sintesis Biodiesel dari Minyak Biji Nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) Melalui Reaksi Transesterifikasi Menggunakan Katalis TiO₂

Optimization of Biodiesel Synthesis from Nyamplung Seed Oil (*Calophyllum inophyllum*) Through Transesterification Reaction with TiO₂ Catalyst

Erma Arlia, Erin Ryantin Gunawan*, Murniati, Sri Seno Handayani, Dedy Suhendra

Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram,
Jl. Majapahit No. 62, Tel. +620370641648

**corresponding author, email: erinryantin@unram.ac.id*

Manuscript received: 09-01-2025. Accepted: 22-02-2025

ABSTRAK

Ketergantungan terhadap kebutuhan solar dapat diatasi dengan beralih ke energi yang dapat diperbaharui yaitu biodiesel. Biodiesel dapat disintesis dari minyak nabati non pangan salah satunya minyak biji nyamplung dengan bantuan katalis. Tujuan dari penelitian ini yaitu mengoptimasi sintesis biodiesel dari minyak biji nyamplung melalui reaksi transesterifikasi menggunakan katalis TiO₂. Variasi kondisi reaksi meliputi rasio mol minyak : metanol, massa katalis, waktu reaksi dan suhu reaksi. Kondisi optimum sintesis biodiesel diperoleh pada rasio mol minyak : metanol 1:8; katalis 0,15 g; waktu reaksi 150 menit dan suhu reaksi 60°C dengan rendemen rata-rata sebesar 76,54%. Karakteristik biodiesel yang didapatkan meliputi densitas 0,877 g/mL, viskositas 3,9 cSt, bilangan asam 2,1 mg NaOH/g dan bilangan penyabunan 234,217 mg KOH/g. Komposisi kimia biodiesel hasil GC-MS yaitu metil palmitat, metil oleat dan metil stearat.

Kata kunci: Kondisi optimum; minyak nyamplung; transesterifikasi; biodiesel; TiO₂

ABSTRACT

Dependence on solar power needs can be overcome by switching to renewable energy, namely biodiesel. Biodiesel can be synthesized from non-food vegetable oil, namely nyamplung seed oil, with the help of a catalyst. The aim of this research is to optimize the synthesis of biodiesel from nyamplung seed oil through a transesterification reaction using a TiO₂ catalyst. Variations in reaction conditions include the mole ratio of oil: methanol, catalyst mass, reaction time and reaction temperature. The optimum conditions for biodiesel synthesis were obtained at mole ratio of oil: methanol 1:8; catalyst 0.15 g; reaction time 150 minutes and reaction temperature 60°C with an average yield of 76.54%. The characteristics of the biodiesel obtained include 0.877 g/mL of density, 3.65 cSt of viscosity, 234.217

mg KOH/g of saponification value, and 2.1 mg NaOH/g of acid value. The chemical composition of biodiesel resulting from GC-MS is methyl palmitate, methyl oleate and methyl stearate.

Key words: Optimum conditions; nyamplung oil; transesterification; biodiesel; TiO₂

PENDAHULUAN

Kebutuhan konsumsi energi saat ini masih didominasi oleh BBM (Bahan Bakar Minyak) seperti avgas, avtur, bensin, minyak tanah, dan minyak solar. Total konsumsi energi pada tahun 2018 sebesar 875 juta SBM (Setara Barel Minyak) (BPPT, 2020). Jumlah tersebut meningkat pada tahun 2019 menjadi 989,9 juta SBM (BPPT, 2021). Kebutuhan tersebut diperkirakan akan terus meningkat, dikarenakan penggunaan teknologi peralatan BBM lebih efisien dibandingkan peralatan lainnya. Sementara, cadangan minyak bumi semakin menurun dari 3,2 miliar standar barel tangki (Bstb) (SKK Migas, 2018), menjadi 2,5 Bstb (SKK Migas, 2019). Oleh karena itu, diperlukan solusi guna mengurangi ketergantungan pada BBM, yakni dengan menggunakan bahan bakar terbarukan yang bersumber dari makhluk hidup (Mahfud, 2018).

Biodiesel dapat menjadi alternatif bahan bakar terbarukan. Biodiesel dapat digunakan dalam berbagai sektor seperti transportasi, industri, serta pembangkit listrik. Biodiesel diproduksi dari lemak tumbuhan dan hewani melalui reaksi transesterifikasi (Mathiyazhagan dan Ganapathi, 2011; Suhendra *et al.*, 2017), yaitu reaksi trigliserida dengan alkohol (metanol atau etanol) dengan bantuan katalis (Adhani *et al.*, 2016). Bahan baku pembuatan biodiesel dapat diperoleh dari minyak nabati seperti minyak kelapa sawit (Suleman *et al.*, 2019), dan minyak kelapa (Hidayanti *et al.*, 2015). Minyak tersebut merupakan bahan baku komersial serta digunakan sebagai bahan pangan (*edible oil*). Alternatif lain yaitu dengan menggunakan bahan baku yang bukan pangan (*non edible*), salah satunya minyak biji nyamplung. Biji nyamplung memiliki rendemen minyak yang cukup tinggi yakni sebesar 40-70% (Suyono *et al.*, 2017), serta memiliki kandungan asam lemak yang sama dengan minyak *edible* seperti asam palmitat 18,46%, asam oleat 58,13%, asam linoleat 12,26% dan asam stearat 12,30% (Rasyid *et al.*, 2018).

Sintesis biodiesel memerlukan bantuan katalis, seperti katalis asam, basa yang berfasa homogen maupun heterogen, dan katalis enzim. Katalis homogen merupakan katalis yang fasanya sama dengan reaktan. Penggunaan katalis enzim memiliki kelemahan diantaranya membutuhkan biaya yang tinggi dan tidak dapat digunakan kembali dikarenakan sifat enzim yang mudah larut dalam air (Aznury *et al.*, 2022). Sedangkan, katalis homogen memiliki beberapa kelemahan yaitu dapat menyebabkan korosi, terbentuknya sabun dan limbah dalam jumlah yang banyak dan sulit dipisahkan dari produk karena fasanya yang sama dengan reaktan. Kelemahan-kelemahan tersebut, dapat diatasi dengan penggunaan katalis heterogen, karena jenis katalis ini mudah didapatkan, mudah dipisahkan dengan reaktan, ramah lingkungan serta rendah untuk terjadinya korosi (Zuhra *et al.*, 2015).

Sintesis biodiesel menggunakan minyak biji nyamplung telah banyak dikaji dan menunjukkan potensi yang tinggi. Penggunaan katalis homogen NaOH mencapai rendemen 80,89% (Rezki *et al.*, 2017) hingga 83,40% (Muderawan dan Daiwataningsih, 2016), dan penggunaan katalis KOH mencapai rendemen sebesar 88,27% (Sarwono *et al.*, 2017). Sedangkan, penggunaan katalis heterogen seperti CaO mencapai rendemen 98,907% (Ansoni

et al., 2019), dan katalis Al-MCM-41 sebesar 98,15% (Juwono *et al.*, 2017). Perbandingan hasil rendemen antara penggunaan katalis homogen dengan katalis heterogen menunjukkan katalis heterogen lebih berpotensi untuk mensintesis minyak biji nyamplung menjadi biodiesel dengan persen rendemen yang lebih tinggi.

Katalis heterogen yang berpotensi menghasilkan rendemen yang tinggi dalam mensintesis biodiesel salah satunya adalah nanopartikel TiO₂, katalis ini mudah didapatkan, ramah lingkungan dan tahan lama (Zahed *et al.*, 2021). Selain itu, katalis ini memiliki luas area dan stabilitas kimia yang tinggi serta interaksi logam yang kuat (Carlucci *et al.*, 2019). Beberapa penelitian menunjukkan penggunaan katalis heterogen nanopartikel TiO₂ dapat menghasilkan rendemen biodiesel mencapai 93,4 % (Qamar *et al.*, 2023), hingga 95% (Jan *et al.*, 2022). Juniar dan Rahayu. (2019) mensintesis biodiesel menggunakan minyak biji kapuk randu (*Ceiba pentandra* L.) dengan parameter pengaruh waktu reaksi mendapatkan rendemen maksimum sebesar 51,9%, dimana hasil ini masih tergolong rendah, sehingga pada penelitian ini akan dikaji mengenai optimasi sintesis biodiesel minyak biji nyamplung menggunakan katalis TiO₂ dengan menggunakan parameter reaksi yang lebih banyak yaitu variasi rasio mol minyak dengan metanol, massa katalis, waktu reaksi, dan suhu reaksi.

BAHAN DAN METODE

Lokasi dan waktu penelitian

Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan melakukan percobaan di laboratorium. Penelitian ini dilakukan dari bulan Februari sampai September 2024, di Laboratorium Kimia Lanjut dan Laboratorium Kimia Analitik, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Mataram.

Alat dan bahan penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah peralatan gelas kimia dan gelas ukur, alat soklet, alat refluks, batu didih, *chamber*, *centrifuge*, desikator, GC-MS (Shimadzu, Jepang), kolom kromatografi vakum, oven, *magnetic stirrer*, timbangan analitik (DC-600 A, Genius, Jakarta), *hot plate*, statif dan klem, piknometer, pipet kapiler, *rotary evaporator* (B-ONE RE-1000VN, Cina), vakum, viscometer Ostwald 1 mL (Pyrex, Jakarta) dan *waterbath shaker*. Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak biji buah nyamplung, *n*-heksana *pro anlysis*, indikator fenoltalein, metanol *pro anlysis*, NaOH 0,1 N, TiO₂, KOH alkoholis 0,5 N, HCl 0,5 N, etanol 96 %, aquades, dietil eter (Merck, Jerman), silika gel, plat KLT, kertas saring *whatman*, dan standar VCO (*Virgin Coconut Oil*).

Prosedur kerja

1. Sintesis Biodiesel

Reaksi transesterifikasi dengan katalis TiO₂ menggunakan metode yang dikembangkan oleh Juniar dan Rahayu. (2019), yang dimodifikasi. Minyak biji nyamplung 14,5 mL ditambahkan Katalis TiO₂ sebanyak 0,25 g dan metanol 6 mL, dishaker selama 120 menit pada suhu 65°C dan kecepatan 180 rpm. Setelah reaksi selesai, campuran didinginkan dan ditambahkan sejumlah tertentu *n*-heksana, dibiarkan selama 24 jam hingga terbentuk dua lapisan. Lapisan atas merupakan biodiesel dan lapisan bawah adalah gliserol, kemudian dipisahkan. Selanjutnya, pencucian biodiesel dilakukan dengan menambahkan sejumlah air

hangat dan didiamkan selama 24 jam. Pemurnian biodiesel dilakukan dengan memanaskan biodiesel pada suhu 110°C sampai didapatkan berat yang konstan. Uji pendahuluan KLT dilakukan dengan mengelusi lembaran KLT ke sistem pelarut *n*-heksan-eter (8,5:1,5v/v), kemudian identifikasi adanya ester dengan memberikan uap iodium pada plat KLT yang kemudian akan membentuk spot berwarna coklat. Optimasi biodiesel dilakukan menggunakan parameter antara lain : rasio mol minyak : metanol (1:7; 1:8; 1:9; dan 1:10 mol/mol), massa katalis (0,10; 0,15; 0,20; dan 0,25 g), waktu reaksi (90, 120, 150, dan 180 menit), dan suhu reaksi (50, 55, 60, dan 65°C). Perhitungan rendemen biodiesel dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Rendemen} = \frac{W_a - W_b}{W_a} \times 100\%$$

dengan W_a adalah berat minyak (bahan baku), W_b adalah berat biodiesel.

2. Uji Sifat Fisik Kimia Biodiesel

Uji sifat fisik kimia biodiesel meliputi uji densitas, viskositas, bilangan asam, dan bilangan penyabunan. Pengujian dilakukan berdasarkan metode pada SNI 7431:2015.

3. Analisis GC-MS

Identifikasi biodiesel yang terbentuk dianalisis dengan kromatografi gas spektroskopi massa (GC-MS) merek Shimadzu, dengan kolom Rastek RXi-5MS (30 m × 0,25 mm) pada rentang suhu kolom 40-280°C dengan suhu *injector* 290°C. Detektor yang digunakanyakni *FID* (*Flame Ionization Detector*) dan gas pembawa Helium (Gunawan *et al.*, 2014).

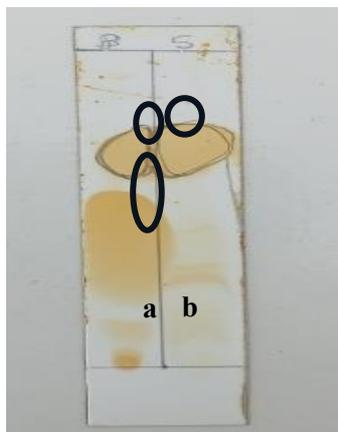
HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis biodiesel melalui reaksi transesterifikasi

Biodiesel (metil ester) terbentuk dari reaksi antara trigliserida dengan metanol menghasilkan metil ester dan gliserol yang disebut sebagai reaksi transesterifikasi. Keberadaan katalis dalam reaksi bertujuan untuk mempercepat laju reaksi dengan cara menurunkan energi pengaktifan. Reaksi transesterifikasi terjadi melalui beberapa tahapan yaitu adsorpsi katalis TiO_2 terhadap reaktan, dalam hal ini katalis menyediakan situs asam bermuatan positif yang kemudian memudahkan trigliserida untuk teradsorpsi dan terikat dengan situs aktif katalis TiO_2 sehingga elektrofilitas dari gugus karbonilnya meningkat. Serangan nukleofilik yang berasal dari metanol terhadap gugus karbonil akan mengakibatkan pemutusan ikatan ester pada trigliserida sehingga alkil ester terbentuk. Mekanisme yang sama akan terjadi secara berkelanjutan hingga seluruh molekul gliserida terputus membentuk produk akhir metil ester dan gliserol (Hosseini, 2022).

Uji pendahuluan Kromatografi Lapis Tipis (KLT) pada biodiesel bertujuan untuk mengetahui secara kualitatif bahwa biodiesel telah terbentuk. Analisis biodiesel pada penelitian ini menggunakan metil oleat sebagai standar. Penggunaan standar tersebut karena komposisi minyak nyamplung terbesar adalah asam lemak oleat yakni sebesar 32,90% (Azhar *et al.*, 2024). Nilai R_f biodiesel pada percobaan ini sebesar 0,75 sedangkan nilai R_f standar metil oleat sebesar 0,76, sehingga selisih yang didapatkan sebesar 0,01. Menurut Agustin *et al.* (2021),

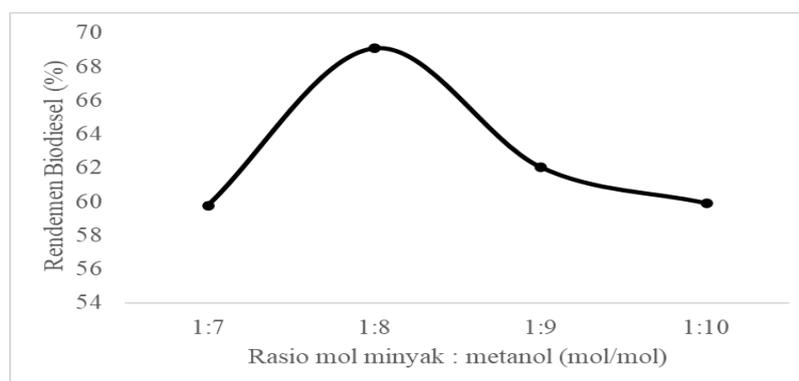
sampel dikatakan memiliki kandungan yang sama dengan standar jika selisih harga $R_f \leq 0,05$. Sehingga, biodiesel pada penelitian ini telah berhasil disintesis.



Gambar 1. Hasil uji KLT a) Biodiesel dan b) Metil oleat eluen *n*-heksan : dietil eter (8,5:1,5 v/v)

Optimasi sintesis biodiesel

Faktor-faktor yang memengaruhi hasil sintesis biodiesel antara lain rasio mol minyak dan metanol, massa katalis, waktu reaksi, dan suhu reaksi. Rasio mol minyak dengan metanol adalah parameter utama untuk mendapatkan produk biodiesel karena minyak dan metanol berperan sebagai reaktan. Pengaruh rasio mol minyak dengan metanol terhadap rendemen biodiesel dapat dilihat pada gambar 2.



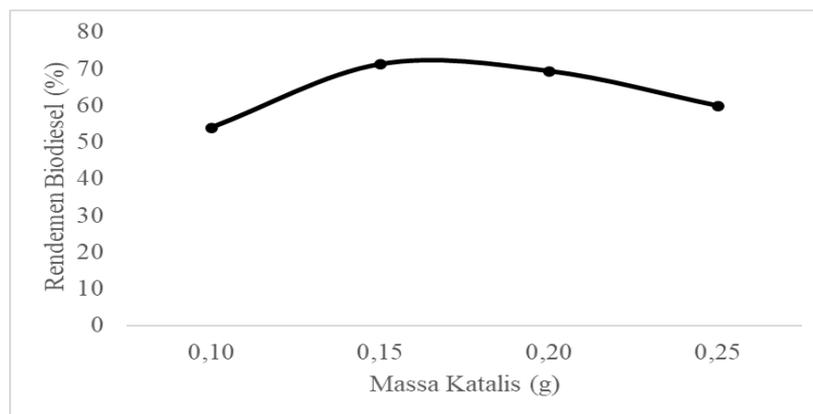
Gambar 2. Pengaruh rasio mol minyak : metanol terhadap rendemen biodiesel, kondisi reaksi: waktu 120 menit, massa katalis 0,25 g, suhu 65°C

Grafik di atas memperlihatkan kondisi optimum sintesis biodiesel pada rasio mol minyak dengan metanol 1:8 mol/mol dengan rendemen sebesar 69,11%. Ketika reaksi dilakukan pada rasio mol minyak dengan metanol 1:9 dan 1:10 mol/mol menunjukkan penurunan rendemen biodiesel. Umumnya stoikiometri pembentukan metil ester terjadi pada rasio minyak dengan metanol 1:3 (Oko *et al.*, 2021). Tujuan penambahan metanol yang berlebih pada dasarnya untuk menggeser arah kesetimbangan ke arah produk, akan tetapi kelebihan metanol juga dapat menurunkan rendemen biodiesel dikarenakan terjadinya reaksi balik metil ester dengan gliserol menjadi monoasilgliserol (Gunawan *et al.*, 2014).

Hasil pada penelitian ini berbeda dengan Hartono *et al.* (2021), yang mendapatkan kondisi optimum pada perbandingan 1:6 mol/mol dengan rendemen yang lebih rendah yaitu

62%. Hal ini disebabkan karena jumlah mol metanol yang rendah dapat mengakibatkan trigliserida belum terkonversi secara menyeluruh (Oko *et al.*, 2021). Selain itu, jenis minyak yang berbeda dalam mensintesis biodiesel juga memengaruhi jumlah mol metanol yang dibutuhkan, minyak nonpangan membutuhkan metanol yang lebih tinggi dibandingkan minyak pangan (Musa, 2016)

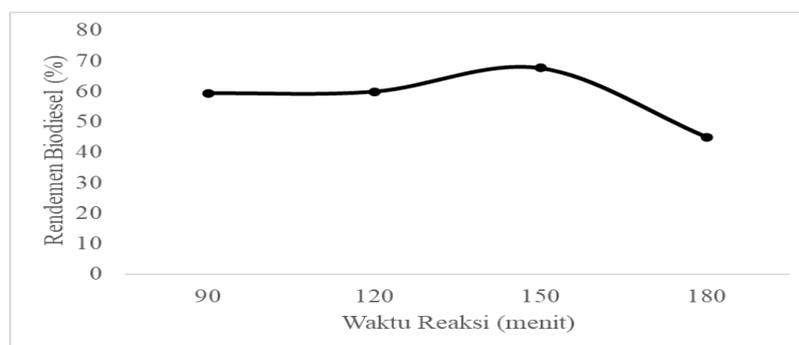
Keberadaan katalis dalam suatu reaksi sangat penting dikarenakan katalis berpengaruh dalam mempercepat laju reaksi dengan cara menurunkan energi pengaktifan. Grafik pengaruh massa katalis terhadap rendemen biodiesel dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh massa katalis terhadap rendemen biodiesel, kondisi reaksi: rasio mol minyak : metanol = 1:10 mol/mol, waktu 120 menit, suhu 65°C

Berdasarkan grafik di atas dapat diamati kondisi optimum biodiesel didapatkan pada massa katalis 0,15 g dengan rendemen sebesar 71,18%. Hasil ini tidak jauh berbeda dengan penelitian Jan *et al.* (2022), yang mendapatkan rendemen mencapai 70% dengan massa katalis yang sama. TiO_2 berfungsi sebagai katalis heterogen yang mampu menyediakan situs aktif untuk reaksi transesterifikasi. Struktur anastase dari TiO_2 yang memiliki aktivitas katalitik tinggi, berkontribusi dalam mempercepat reaksi. Namun peningkatan massa katalis dalam penelitian ini menunjukkan penurunan rendemen biodiesel, hal ini dikarenakan massa katalis yang tinggi akan mempermudah reaksi dengan asam lemak bebas yang mengakibatkan terbentuknya sabun, sehingga sulit untuk memisahkan produk yang didapatkan (Bani *et al.*, 2022).

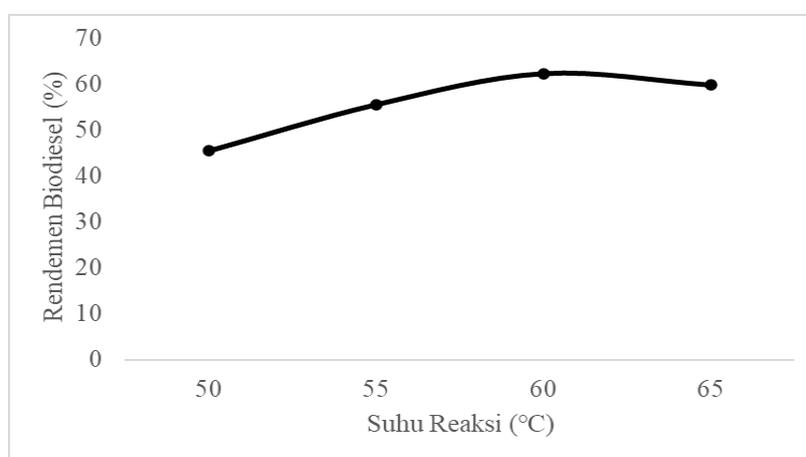
Waktu reaksi berperan dalam membantu terjadinya reaksi yang menyeluruh. Grafik pengaruh waktu reaksi terhadap rendemen biodiesel dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh waktu reaksi terhadap rendemen biodiesel, kondisi reaksi: rasio mol minyak : metanol = 1:10 mol/mol, massa katalis 0,25 g, suhu 65°C

Berdasarkan grafik di atas dapat diamati bahwa rendemen biodiesel meningkat seiring bertambahnya waktu reaksi. Rendemen optimum yang dihasilkan yakni ketika reaktan direaksikan selama 150 menit dengan rendemen sebesar 67,66%. Ketika reaksi dilakukan selama 90 dan 120 menit reaksi yang terjadi belum maksimal sehingga rendemen yang dihasilkan lebih rendah. Hasil pada penelitian ini berbeda dengan penelitian Raharjo *et al.* (2019), yang mendapatkan kondisi optimum ketika reaksi dilakukan selama 180 menit, sedangkan Purnomo dkk. (2020), kondisi optimum yang diperoleh dengan waktu yang lebih lama yaitu 360 menit. Menurut Nurhayati *et al.* (2014), lamanya waktu reaksi dipengaruhi oleh kualitas bahan baku (minyak) kandungan asam lemak bebas yang tinggi pada minyak dan kandungan air yang tinggi memerlukan waktu yang lebih lama untuk bereaksi.

Suhu berperan untuk meningkatkan energi kinetik dalam berlangsungnya reaksi. Pengaruh suhu reaksi terhadap rendemen biodiesel yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh suhu reaksi terhadap rendemen biodiesel, kondisi reaksi: rasio mol minyak : metanol = 1:10 mol/mol, massa katalis 0,25 g, waktu 120 menit.

Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa kondisi optimum diperoleh pada suhu 60°C dengan rendemen sebesar 62,7%. Kondisi optimum yang diperoleh pada penelitian ini sama dengan Mesak *et al.* (2022), dan lebih rendah dari penelitian Mawarni dan Suryanto. (2018), yang mendapatkan kondisi optimum reaksi pada suhu 50°C. Ketika suhu reaksi terjadi pada suhu 50 dan 55°C rendemen yang dihasilkan lebih sedikit dikarenakan belum terjadinya reaksi yang maksimal (Nurhayati *et al.*, 2014). Sedangkan, pada suhu melebihi kondisi optimum yaitu pada suhu 65°C, dimana suhu ini mendekati titik didih metanol sehingga dimungkinkan terjadinya penguapan yang mengakibatkan penurunan rendemen biodiesel (Fawziah dan Siswani, 2018).

Sintesis biodiesel pada kondisi optimum

Biodiesel disintesis kembali pada kondisi optimum masing-masing parameter optimasi yaitu pada rasio mol minyak dan metanol 1:8 mol/mol, massa katalis 0,15 g, waktu reaksi 150 menit dan suhu reaksi 60°C. Rendemen yang didapatkan yaitu sebesar 76,5%. Hasil tersebut menunjukkan terjadinya peningkatan yang signifikan dibandingkan dengan rendemen hasil optimasi-optimasi yang telah dilakukan.

Pengujian sifat fisik kimia biodiesel

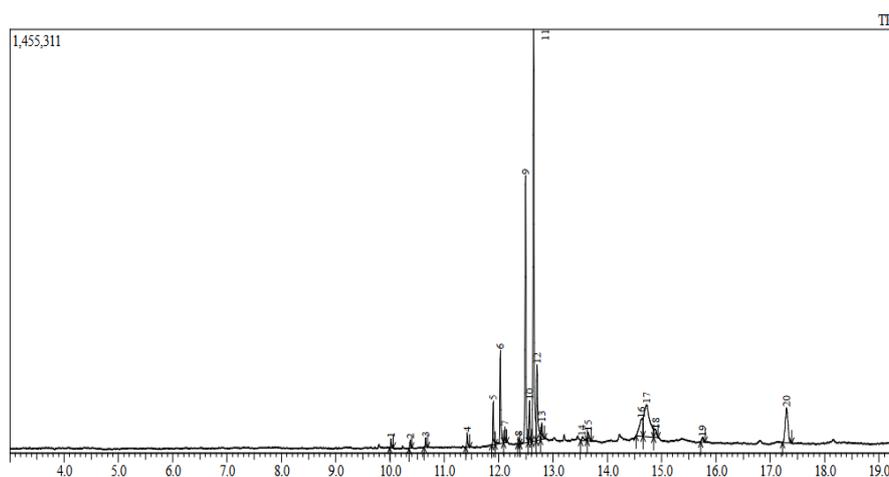
Hasil pengujian sifat fisik kimia biodiesel dari minyak biji nyamplung meliputi uji viskositas, densitas, bilangan asam, dan bilangan penyabunan. Sifat fisik kimia biodiesel dapat dilihat pada tabel 1. Berdasarkan tabel terlihat bahwa parameter sifat kimia biodiesel untuk bilangan asam belum memenuhi SNI, salah satu faktor yang memengaruhi nilai bilangan asam biodiesel yaitu rekasi yang berjalan tidak sempurna dan berakibat asam lemak bebas tidak terkonversi secara keseluruhan (Holilah *et al.*, 2013).

Tabel 1. Hasil karakterisasi sifat fisik kimia biodiesel

No	Parameter	Satuan	Nilai	Pembanding Biodiesel SNI 7182: 2015
1	Densitas	g/mL	0,877	0,85-0,89
2	Viskositas	cSt	3,9	2,3-6,0
3	Bilangan Asam	mg KOH/g	2,1	Maks. 0,5
4	Bilangan Penyabunan	mg NaOH/g	234,217	-

Analisis biodiesel menggunakan GC-MS

Analisis hasil transesterifikasi minyak biji nyamplung menggunakan instrumen GC-MS bertujuan untuk mengetahui komponen senyawa hasil sintesis berdasarkan fragmentasi senyawa yang teridentifikasi pada spektrum massa. Hasil analisis komponen sampel biodiesel minyak biji nyamplung dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Kromatogram biodiesel minyak biji nyamplung

Berdasarkan kromatogram di atas teridentifikasi adanya senyawa metil ester minyak biji nyamplung. Peak 5 menunjukkan senyawa metil palmitat dengan berat molekul 270 g/mol, keberadaan senyawa ini berdasarkan data spektrum massa ditunjukkan dengan munculnya peak $m/z = 74$ yang merupakan hasil pelepasan senyawa $C_{14}H_{28}$ berdasarkan mekanisme penataulangan *McLafferty* dan peak $m/z = 43$ menunjukkan adanya pelepasan senyawa radikal oksigen yang terikat dengan metil. Peak 9 menunjukkan senyawa metil oleat dengan berat molekul sebesar 296 g/mol, keberadaan senyawa ini terlihat dari kemunculan peak $m/z = 264$ yang merupakan hasil dari fragmentasi metil oleat membentuk ion asilium. fragmentasi

lanjutan dari ion asilium dengan melepaskan gugus alkil sehingga terbaca pada spektrum massa peak $m/z = 222$ dan peak $m/z = 207$. Peak 10 menunjukkan senyawa metil stearat dengan berat molekul 298 g/mol. Fragmentasi metil oleat diawali dengan pelepasan senyawa C_3H_7 yang memunculkan peak $m/z = 255$, diikuti oleh kemunculan peak $m/z = 181$ yang merupakan hasil dari pelepasan senyawa enol. Fragmen $m/z 181$ terjadi pembelahan alkil secara berkelanjutan sehingga terbaca peak m/z (153, 125, 197, 183, 69, 55, 41). Hasil GC-MS sampel biodiesel dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 2. Hasil GC-MS biodiesel

No	Metil Ester	t_R (menit) Biodiesel	Jumlah (%)
1	Metil Palmitat	11.898	2.70
2	Metil Oleat	12.493	18.81
3	Metil Stearat	12,566	2.39

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa kondisi optimum sintesis biodiesel dari minyak biji nyamplung menggunakan katalis TiO_2 yaitu pada rasio mol minyak : metanol 1:8; katalis 0,15 g; waktu reaksi 150 menit dan suhu reaksi $60^\circ C$ dengan rendemen sebesar 76,5%. Karakteristik biodiesel yang didapatkan yaitu densitas 0,877 g/mL, viskositas 3,9cSt, bilangan asam 2,1 mg NaOH/g, dan bilangan penyabunan 234,217 mg KOH/g.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhani, L., Aziz, I., Nurbayti, S., and Octavia, C. A. 2016. Pembuatan Biodiesel dengan Cara Adsorpsi dan Transesterifikasi dari Minyak Goreng Bekas. *Jurnal Kimia Valensi*. 2(1): 71–80.
- Agustin, R., Oktaviantari, D.E and Feladita, N. 2021. Identifikasi Hidrokuinon dalam Sabun Pemutih Pembersih Wajah di Tiga Klinik Kecantikan Dengan Metode Kromatografi Lapis Tipis dan Spektrofotometri UV-Vis. *Jurnal Analis Farmasi*. 6(1): 95-101.
- Azhar, B., Gunawan, S., Muharja, M., Avian, G., Satrio, D., and Aparamarta, H.W. 2024. Optimization of Microwave-assisted Extraction in the Purification of Triglycerides from Non-edible Crude *Calophyllum inophyllum* Oil as Biodiesel Feedstock Using Artificial Intelligence. *South African Journal of Chemical Engineering*. 47(1): 312-321.
- Aznury, M., Zikri, A., Junaidi, R., Lupikawaty, M., and Oktariyensi, C. 2022. Pengaruh Metanol dalam Produksi Biodiesel dari Tamanu Oil Menggunakan Katalis Lipase. *Jurnal Selulosa*. 12(01): 33-40.
- Badan Standarisasi Nasional. 2015. Biodiesel, Standar Nasional Indonesia (SNI) 7182:2015, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2015. Mutu dan Metode Uji Minyak Nabati Murni unyuk Bahan Bakar Motor Putaran Sedang, Standar Nasional Indonesia (SNI) 7431:2015, Jakarta.
- (BPPT) Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. 2020. Outlook Energi Indonesia 2020, Dampak Pandemi COVID-19, Jakarta.

- Bani, O., David., and Febianto, T. 2022. Pengujian Kualitas Biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit Dengan Katalis Heterogen Abu Daun Kucai (*Alliu, schoenoprasum*): Parameter Berat Katalis, Rasio Mol Minyak Terhadap Metanol dan Waktu Reaksi. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 11(2): 80–88.
- Carlucci, C., Degennaro, L., and Luisi, R. 2019. Titanium Dioxide as a Catalyst in Biodiesel Production. *Catalysts*. 9(1): 75.
- Fawziah, R & Siswani, E.D. (2018). Sintesis Biodiesel dari Biji Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.) pada Variasi Suhu dan Rasio Metanol/Minyak Proses Transesterifikasi. *Jurnal Kimia Dasar*, 7(3): 1-9.
- Gunawan, E. R., Wulandari, S. A., Yuanita, E., and Suhendra, D. 2014. Sintesis Biodiesel dari Minyak Biji Kapuk (*Ceibapentandra*) Melalui Proses Transesterifikasi Kimiawi dan Fragmentasi Ion Metil Ester. *ALCHEMY*. 10(2): 104–115.
- Hidayanti, N., Arifah, N., Jazilah, R., Suryanto, A., and Mahfud, D. 2015. Produksi Biodiesel dari Minyak Kelapa dengan Katalis Basa Melalui Proses Transesterifikasi Menggunakan Gelombang Mikro (*Microwave*). In *Jurnal Teknik Kimia*. 10(1): 13-18.
- Holilah., Utami., T and Prasetyo, D. 2013. Sintesis dan Karakterisasi Biodiesel dari Minyak Kemiri Sunan (*Reutealis trisperma*) dengan Variasi Konsentrasi Katalis NaOH. *Jurnal MIPA*, 36(1): 51-59.
- Jan, H. A., Saqib, N. U., Khusro, A., Sahibzada, M. U. K., Rauf, M., Alghamdi, S., Almeahmadi, M., Khandaker, M. U., Emran, T. Bin, and Mohafez, H. 2022. Synthesis of biodiesel from *Carthamus tinctorius* L. oil using TiO₂ nanoparticles as a catalyst. *Journal of King Saud University – Science*. 34(8): 1-8.
- Juniar, H., and Rahayu, I. 2019. Transesterifikasi Biodiesel dari Minyak Biji Kapuk RanduT (*Ceiba pentandra* L.) dengan Menggunakan Katalis Titanium Oksida (TiO₃). *Jurnal Redoks*. 4(2): 17-24.
- Juwono H., Triyono, T., Sutarno, S., Wahyuni, E. T., Ulfin, I., and Kurniawan, F. 2017. Production of Biodiesel from Seed Oil of Nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) by Al-MCM-41 and Its Performance in Diesel Engine. *Indonesian Journal of Chemistry*. 17(2): 316.
- Mahfud. 2018. Biodiesel Perkembangan Bahan Baku & Teknologi, Putra Media Nusantara.
- Mawarni, D.I and Suryanto, H. 2018. Pengaruh Suhu Pengadukan Terhadap Yield Biodiesel dari Minyak Jelantah. *Jurnal Simetris*. 9(1): 49-54.
- Mathiyazhagan, M., and Ganapathi, A. 2011. Factors Affecting Biodiesel Production. *Research in Plant Biology*. 1(2): 1–5.
- Muderawan, W., Ketut, N., and Daiwataningsih, P. 2016. Pembuatan Biodiesel dari Minyak Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.) dan Analisis Metil Esternya dengan GC-MS. *Prosiding Seminar Nasional MIPA*, 1(1): 324-331.
- Musa, I.A. 2016. The Effect of Alcohol to Oil Molar Ratios and The Type of Alcohol on Biodiesel Production Using Transesterification Process. *Egyptian Journal of Petroleum*, 25(1): 21-31.
- Nurhayati., Mukhtar, A., and Gapur, A. 2014. Transesterifikasi Crude Palm (CPO) dari Cangkang Kerang Darah (*Anadara Granosa*) Kalsinasi 900°C. *Indonesian Chemia Acta*. 5(1): 23-29.

- Oko, S., Mustafa., Kurniawan, A and Putri, K.N.E. 2021. Sintesis Biodiesel dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis NaOH/ CaO/ C dari Cangkang Telur. *Jurnal Riset Teknologi Industri*. 15(2): 147-156.
- Purnomo, V., Hidayatullah, A.S., In'am, A., Prastuti, O.P., Septiani, E.L., and Herwono, R.P. 2020. Biodiesel dari Minyak Jarak Pagar Dengan Transesterifikasi Metanol Subkritis. *Jurnal Teknik Kimia*. 14(2): 73-79.
- Raharjo, P., Oktavianto, F.R., and Jaya, D. 2019. Pengaruh Perbandingan Mol Reaktan dan Waktu Reaksi Terhadap Pembuatan Biodiesel dari Minyak Sapi. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia*. 1(1): 1-7.
- Rasyid, R., Malik, R., Kusuma, H. S., Roesyadi, A., and Mahfud, M. 2018. Triglycerides Hydrocracking Reaction of Nyamplung Oil with Non-sulfided CoMo/ γ -Al₂O₃ Catalysts. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*. 13(2): 196–203.
- Rezki, Musta, R., and Haetami, A. 2017. Biodiesel of The Transesterification Product of *Calophyllum inophyllum* Seed Oil Kendari Using Ethanol Solution. *Indonesian Journal of Chemical Research*. 4(2): 406–412.
- Sarwono, E., Erzha, N., and NiningWidarti, B. 2017. Pengolahan Biodiesel dari Biji Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L) Menggunakan Katalis KOH. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi*. 1(1): 34-40.
- (SKK Migas) Satuan Kerja Khusus Pelaksana Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas Bumi. 2019. Laporan Tahunan 2018, Good Governance Foundation For Better Future, Jakarta.
- (SKK Migas) Satuan Kerja Khusus Pelaksana Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas Bumi. 2019. Laporan Tahunan 2019, Meningkatkan Investasi Menuju Produksi 1 Juta BOPD, Jakarta.
- Suhendra, D., Gunawan, E., Nurita, A.D., Komalasari, D., and Ardianto, T. 2017. Optimization of the Enzymatic Synthesis of Biodiesel from *Terminalia cattapa* L. Ketnel Oil Using Response Surface Methodology. *Journal of Oleo Science*. 66(3): 209-215.
- Suleman, N., Abas, and Papatungan, M. 2019. Esterifikasi dan Transesterifikasi Stearin Sawit untuk Pembuatan Biodiesel. *Jurnal Teknik* 17(1): 66–77.
- Suyono, S., Hartanti, N. U., Wibowo, A., & Narto, N.(2017). Biodisel dari Mangrove Jenis Nyamplung (*Callophylum inophyllum*) sebagai Alternatif Pengganti Bahan Bakar Minyak Fosil. *Biosfera*, 34(3): 123.
- Zahed, M. A., Revayati, M., Shahcheraghi, N., Maghsoudi, F., and Tabari, Y. 2021. Modeling and optimization of biodiesel synthesis using TiO₂–ZnO nanocatalyst and characteristics of biodiesel made from waste sunflower oil. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*. 4(1): 100223.
- Zuhra, Z., Husin, H., Hasfita, F., and Rinaldi, W. 2015. Preparasi Katalis Abu Kulit Kerang untuk Transesterifikasi Minyak Nyamplung Menjadi Biodiesel. *Jurnal Agritech*. 35(01): 69.