SINTESIS BIODIESEL DARI MINYAK *PLIEK U* MENGGUNAKAN NANOKATALIS CaO/NCC/PVA DENGAN *REUSABILITY* NANOKATALIS

SKRIPSI

Diajukan Oleh:

MASYITHAH FAUZI
NIM 210704001

Mahasiswi Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Kimia

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
2025 M/1447 H

LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI

SINTESIS BIODIESEL DARI MINYAK *PLIEK U* MENGGUNAKAN NANOKATALIS CaO/NCC/PVA DENGAN *REUSABILITY* NANOKATALIS

SKRIPSI

Diajukan Kepada Fakultas Sains Dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai Salah Satu Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana (S1)
Dalam Ilmu Kimia

Oleh:

MASYITHAH FAUZI
NIM 210704001
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry
Mahasiswa Program Studi Kimia

Disetujui untuk Dimunaqasyah Oleh:

Pembimbing I	Pembimbing II
Dr. Khairun Nisah, M.Si.	**Muammar Yulian, M.Si.**
NIDN 2016027902	**NIDN 2030118401**

Mengetahui,
Ketua Program Studi Kimia

Muhammad Ridwan Harahap, M.Si.
NIDN 2027118603

جامعة الرانري
AR-RANIRY

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

SINTESIS BIODIESEL DARI MINYAK PLIEK U MENGGUNAKAN NANOKATALIS CaO/NCC/PVA DENGAN *REUSABILITY* NANOKATALIS

SKRIPSI

Telah diuji oleh Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry dan dinyatakan Lulus
Serta diterima sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)
Dalam Prodi Kimia

Pada Hari/Tanggal: Rabu, 10 Desember 2025
19 Jumadil Akhir 1447 H
di Darussalam, Banda Aceh

Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir/Skripsi

Ketua,	Sekretaris,
Dr. Khairun Nisah, M.Si.	**Muammar Yulian, M.Si.**
NIDN 2016027902	**NIDN 2030118401**
Penguji I,	Penguji II,
Bhayu Gita Bhernama, M.Si.	**Muslem, M.Sc.**
NIDN 2023018901	**NIDN 2006069004**

Mengetahui:
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Ar-Raniry Banda Aceh

Prof. Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU
NIDN 0002106203

جامعة الرانري
AR-RANIRY

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Masyithah Fauzi
NIM	: 210704001
Program Studi	: Kimia
Fakultas	: Sains dan Teknologi
Judul Skripsi	: Sintesis Biodiesel dari Minyak *Pliek U* Menggunakan Nanokatalis CaO/NCC/PVA dengan *Reusability* Nanokatalis

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan skripsi ini, saya:

1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggungjawabkan;
2. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpamenyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya;
4. Tidak memanipulasi dan memalsukan data;
5. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab atas karya ini.

Bila kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Banda Aceh, 10 Desember 2025

Yang Menyatakan

(Masyithah Fauzi)

ABSTRAK

Nama	:	Masyithah Fauzi
NIM	:	210704001
Program Studi	:	Kimia
Judul	:	Sintesis Biodiesel dari Minyak *Pliek U* Menggunakan Nanokatalis CaO/NCC/PVA dengan *Reusability* Nanokatalis
Jumlah Halaman	:	114
Pembimbing I	:	Dr. Khairun Nisah, S.T., M.Si.
Pembimbing II	:	Muammar Yulian, M.Si.
Kata Kunci	:	Biodiesel, Minyak *Pliek u,* CaO/NCC/PVA, Transesterifikasi, *Reusability*

Produksi biodiesel dari sumber lokal merupakan langkah strategis dalam menghadapi krisis energi fosil. Minyak *Pliek u* memiliki potensi tinggi sebagai bahan baku karena dominasi asam lemak jenuhnya, namun efisiensi konversinya masih terhambat oleh penggunaan katalis homogen yang tidak stabil dan tidak dapat digunakan ulang. Penelitian ini mengevaluasi kinerja nanokatalis CaO/NCC/PVA dalam sintesis biodiesel dari minyak *Pliek u* serta menilai pengaruh variasi konsentrasi katalis terhadap rendemen, mutu biodiesel, dan *reusability* nanokatalis. Proses meliputi esterifikasi untuk menurunkan FFA, diikuti transesterifikasi menggunakan 0,5–2 wt% katalis dan rasio metanol minyak 1:6–1:12. Biodiesel dikarakterisasi melalui uji densitas, viskositas, bilangan asam, kadar air, titik nyala, dan GC-MS. *Reusability* diuji hingga lima siklus. Kondisi optimum tercapai pada katalis 1 wt% dan rasio metanol 1:9 dengan rendemen 98,33%. Biodiesel memenuhi SNI 7182:2015 (densitas 876,22 kg/m³; viskositas 4,1086 *cSt*; bilangan asam 0,169 mg-KOH/g; kadar air 0,0179%; titik nyala 150 °C). GC-MS menunjukkan dominasi metil laurat, metil kaprilat, dan metil miristat. Nanokatalis tetap aktif hingga siklus kelima dengan rendemen menurun moderat (98,33% menjadi 91,10%). Hasil ini menunjukkan bahwa CaO/NCC/PVA merupakan katalis heterogen yang efektif dan memiliki reusability tinggi untuk produksi biodiesel berbasis minyak *Pliek u*

ABSTRACT

Name	:	*Masyithah Fauzi*
Student ID	:	*210704001*
Study Program	:	*Chemistry*
Title	:	*Biodiesel Synthesis from Pliek U Oil Using a CaO/NCC/PVA Nanocatalyst with Nanocatalyst Reusability*
Total Pages	:	*114*
Advisor I	:	*Dr. Khairun Nisah, S.T., M.Si.*
Advisor II	:	*Muammar Yulian, M.Si.*
Keywords	:	*Biodiesel, Pliek u oil, CaO/NCC/PVA, Transesterification, Reusability*

The production of biodiesel from local sources is a strategic step in addressing the fossil energy crisis. Pliek u oil has high potential as a feedstock due to the dominance of its saturated fatty acids, but its conversion efficiency is still hampered by the use of homogeneous catalysts that are unstable and cannot be reused. This study evaluates the performance of the CaO/NCC/PVA nanocatalyst in the synthesis of biodiesel from Pliek u oil and assesses the effect of variations in catalyst concentration on yield, biodiesel quality, and nanocatalyst reusability. The process includes esterification to reduce FFA, followed by transesterification using 0.5–2 wt% catalyst and methanol oil ratios of 1:6–1:12. The biodiesel was characterized through density, viscosity, acid value, water content, flash point, and GC-MS analyses. Reusability was tested for up to five cycles. Optimal conditions were achieved with 1 wt% catalyst and a methanol–oil ratio of 1:9, yielding 98,33%. The biodiesel met SNI 7182:2015 (density 876.22 kg/m³; viscosity 4.1086 cSt; acid value 0.169 mg-KOH/g; water content 0.0179%; flash point 150 °C). GC-MS showed the dominance of methyl laurate, methyl caprylate, and methyl myristate. The nanocatalyst remained active until the fifth cycle, with yield decreasing moderately (from 98,33% to 91.10%). These results show that CaO/NCC/PVA is an effective heterogeneous catalyst with high reusability for biodiesel production based on Pliek u oil.

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmannirrahim

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan Al-Qur'an sebagai petunjuk hidup bagi seluruh umat manusia serta rahmat bagi seluruh alam semesta. Dengan keberkahan-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat dan salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga, sahabat, dan umatnya yang istiqomah hingga akhir zaman. Pada kesempatan ini, penulis mengangkat judul skripsi "Sintesis Biodiesel dari Minyak *Pliek U* Menggunakan Nanokatalis CaO/NCC/PVA dengan *Reusability* Nanokatalis". Penulisan skripsi ini bertujuan untuk memenuhi tugas akademik serta persyaratan kelulusan di Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan dalam penyelesaian skripsi ini, terutama kepada kedua orang tua dan keluarga yang senantiasa memberikan dukungan penuh serta doa yang tak henti-hentinya. Penulis juga merasa sangat beruntung memperoleh ilmu dan wawasan yang sangat berguna sepanjang proses ini. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, MT., IPU., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
2. Bapak Muhammad Ridwan Harahap, M.Si., selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
3. Ibu Dr. Khairun Nisah, S.T., M.Si., selaku dosen Pembimbing I Skripsi ini.
4. Bapak Muammar Yulian, M.Si., selaku dosen Pembimbing II Skripsi.
5. Ibu Bhayu Ghita Bhernama M.Si., selaku dosen Penguji I Skripsi.
6. Bapak Muslem, M.Sc., selaku dosen Penguji II Skripsi.
7. Seluruh Ibu/Bapak Dosen dan Staf Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
8. Ibu Nizar Mauliza, S.Si, selaku laboran Program Studi Kimia, Laboratorium Multifungsi yang telah membantu penulis selama penelitian.

9. Orang tua yang turut memberikan dukungan dalam penyusunan skripsi ini. Penulis mengucapkan terima kasih atas bimbingan serta motivasi yang diberikan, yang memungkinkan penulis menyelesaikan skripsi ini.

Banda Aceh, 25 Desember 2025

Penulis

Masyithah Fauzi

جامعة الرانري
AR-RANIRY

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI ..... **i**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI ..... **.ii**

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI ..... **iii**

ABSTRAK ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

KATA PENGANTAR ..... **vi**

DAFTAR ISI ..... **viiiii**

DAFTAR GAMBAR ..... **x**

DAFTAR TABEL ..... **xi**

DAFTAR LAMPIRAN ..... **xii**

BAB I PENDAHULUAN **1**

I.1 Latar Belakang 1

I.2 Rumusan Masalah 4

I.3 Tujuan Penelitian 4

I.4 Manfaat Penelitian 5

I.5 Batasan Masalah 5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA **6**

II.1 Biodiesel 6

II.2 Minyak *Pliek U* 8

II.3 Nanokatalis 9

II.4 Kalsium Oksida (CaO) 10

II.5 Nanokristal Selulosa 11

II.6 PVA 13

II.7 Reaksi Esterifikasi dan Transesterifikasi Biodiesel 14

II.8 Karakterisasi Analisis Biodiesel 15

II.8.1 *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS)..... 16
II.8.2 *Reusability* Katalis 17
II.8.3 Densitas 18
II.8.4 Viskositas 19
II.8.5 Bilangan Asam 19
II.8.6 Kadar Air 20
II.8.7 Titik Nyala.....20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 21
III.1 Waktu dan Tempat 21
III.2 Alat dan Bahan 21
III.3 Prosedur kerja 21
III.3.1. Pencampuran Nanokatalis CaO/NCC/PVA..... 21
III.3.2. Analisis Asam Lemak Bebas..... 22
III.3.3. Sintesis Biodiesel (Reaksi Esterifikasi dan Transesterifikasi) 22
III.3.4. Identifikasi dan Interpretasi Sampel..... 23
III.3.5. Uji Biodiesel dari Minyak *Pliek U* dan Katalis CaO/NCC/PVA 24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 27
IV.1 Data Hasil Pengamatan 27
IV.2 Pembahasan.....39
BAB V PENUTUP.....53
V.1 Kesimpulan 53
V.2 Saran.....53
DAFTAR PUSTAKA.....51
LAMPIRAN.....62

جامعة الرانري
AR-RANIRY

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Struktur Selulosa 12

Gambar II. 2 Reaksi Esterifikasi dengan Nanoselulosa/Fe_2O_3/ZrO_2 12

Gambar II. 3 Reaksi Esterifikasi 14

Gambar II. 4 Reaksi Transesterifikasi dengan Nanokatalis CaO/CNC/PVA .....
Error! Bookmark not defined.

Gambar II. 5 Prinsip Kerja FTIR 17

Gambar II. 6 Prinsip Kerja GC-MS 28

Gambar IV.1 Spektra FTIR minyak Pliek u, biodiesel 31

Gambar IV. 2 Kromatogram GC-MS biodiesel dari minyak *Pliek U*.....32

Gambar IV.3 Kromatogram GC-MS biodiesel 34

Gambar IV.4 Kromatogram GC-MS biodiesel siklus kelima 36

Gambar IV.6 Mekanisme CaO bereaksi dengan gliserol 47

Gambar IV.7 Perbandingan *reusability* CaO/NCC/PVA dengan CaO.....48

جامعة الرانري
AR-RANIRY

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1 Standar Biodiesel Berdasarkan SNI 7182:2015 7

Tabel II. 2 Komposisi Asam Lemak Minyak *Pliek u* 8

Tabel II. 3 Hasil Spektrun FTIR..... 17

Tabel IV.1 Rendemen biodiesel pada variasi nanokatalis dan rasio metanol.....29

Tabel IV.2 Parameter mutu biodiesel pada variasi nanoakatalis 29

Tabel IV.3 Spektrum FTIR minyak *Pliek u* 31

Tabel IV.4 Spektrum FTIR biodiesel optimum 31

Tabel IV.5 Spektrum FTIR biodiesel pada rasio methanol (1:6)..... 32

Tabel IV.6 Senyawa FAME teridentifikasi pada biodiesel minyak *Pliek u*..... 33

Tabel IV.7 Senyawa FAME teridentifikasi pada biodiesel (rasio metanol 1:6) ... 35

Tabel IV.8 Rendemen biodiesel pada uji reusability nanokatalis 37

Tabel IV.9 Senyawa FAME teridentifikasi pada biodiesel siklus kelima..... 38

جامعة الرانري
AR-RANIRY

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Alir Penelitian 62

Lampiran 2. Diagram Alir Skema Penelitian 63

Lampiran 3. Perhitungan 66

Lampiran 4. Gambar Proses dan Hasil Penelitian 87

Lampiran 5. Syarat Mutu SNI 7182:2015 Biodiesel 92

Lampiran 6. Kromatogram GC-MS Biodiesel Minyak *Pliek U* 93

Lampiran 7. Kromatogram GC-MS Biodiesel (Rasio 1:6) 96

Lampiran 8. Kromatogram GC-MS Biodiesel Siklus 5 97

Lampiran 9. Spektrum FTIR Biodiesel 99

Lampiran 10. Biografi Penulis 100

جامعة الرانري
AR-RANIRY

SINGKATAN	Nama	Pemakaian pertama kali pada halaman
CaO	*Calsium Oxide*	2
NCC	*Cellulose Nanocrystal*	2
FAME	*Fatty Acid Metil Ester*	1
FFA	*Free Fatty Acid*	14
wt%	*weight percent*	28
GCMS	*Gas Chromatography Mass Spektroscopy*	16
KOH	*potassium hydroxide*	2
NaOH	*Sodium hydroxide*	2
PP	*Phenolphthalein*	26
PVA	*Polyvinyl Alcohol*	3
SNI	Standar Nasional Indonesia	4
WCO	*Waste Cooking Oil*	4
LAMBANG		
W_1:	Berat cawan kosong	26
W_2	Berat cawan + sampel sebelum oven	26
W_3	Berat cawan + sampel sesudah oven	26
m	Massa minyak	26
Mr	Massa molekul relative (g mol-1)	29
C	Konsentrasi KOH	26
V	Volume KOH	26
v	Volume piknometer	25
w1	Berat piknometer kosong	25
w2	Berat piknometer dan sampel	25

BAB I
PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Beberapa tahun terakhir, masalah lingkungan terkait tentang emisi gas rumah kaca dan penurunan ketersediaan bahan bakar fosil konvensional semakin meningkat akibat konsumsi global terhadap bahan bakar fosil (Alsharifi dkk., 2017). Bahan bakar yang umumnya dipasok oleh minyak bumi, batu bara, dan gas alam, kini mulai menghadapi tantangan besar, karena ketersediaannya yang semakin terbatas dan dampak lingkungan yang ditimbulkan dari penggunaannya (Farooq dan Ramli, 2015). Oleh karena itu, diperlukan usaha untuk mencari solusi alternatif dalam memenuhi kebutuhan energi yang berkelanjutan.

Jenis bahan bakar alternatif yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan adalah Metil Ester Asam Lemak (FAME), atau lebih dikenal sebagai biodiesel (Priscilla dkk., 2024). Biodiesel umumnya diproduksi melalui reaksi transesterifikasi, yaitu reaksi kimia antara trigliserida dan alkohol yang menghasilkan metil ester (biodiesel) serta gliserol. Sebagai energi terbarukan, biodiesel berasal dari bahan baku organik seperti minyak nabati (Ardiansah dkk., 2020).

Aspek ekonomis yang menguntungkan, aksesibilitas lokal, dampak positif terhadap lingkungan, dan kemampuan menyesuaikan diri dengan berbagai situasi menjadi pilihan yang menarik untuk produksi biodiesel yang berkelanjutan. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Aryani (2022) menunjukkan bahwa limbah sisa ampas kelapa dapat diproses menjadi minyak *Pliek u* yang dapat digunakan sebagai bahan baku untuk biodiesel. Pemanfaatan minyak *Pliek u* juga dapat meningkatkan nilai ekonomi produk lokal. Minyak yang didapatkan dari sisa ampas kelapa banyak digunakan di daerah-daerah tertentu di Indonesia, terutama di Aceh.

Minyak *Pliek u* diketahui kaya akan asam lemak jenuh, terutama asam laurat. Ariza (2024) melaporkan komposisi metil ester hasil analisis GC-MS, yaitu metil laurat sebesar 59,99%, metil kaprilat 12,94%, dan metil miristat 18,21%. Kandungan trigliserida dalam minyak ini berpotensi dikonversi menjadi biodiesel melalui proses esterifikasi dan transesterifikasi. Pada kondisi tersebut, asam lemak bebas (FFA) terlebih dahulu diturunkan melalui esterifikasi, kemudian trigliserida

dikonversi menjadi biodiesel. Jalma dan Zachreini (2016) menyebutkan bahwa mekanisme ini efektif menghasilkan biodiesel dan gliserol. Berdasarkan penelitian Alfizatunnisa (2023), penggunaan minyak *Pliek u* sebagai bahan baku dengan penambahan katalis CaO sebesar 3 wt% menghasilkan rendemen biodiesel tertinggi sebesar 74,16%.

Reaksi transesterifikasi dapat berlangsung lebih cepat dengan penambahan katalis. Katalis basa homogen yang umum digunakan dalam produksi biodiesel antara lain natrium hidroksida (NaOH) dan kalium hidroksida (KOH). Penelitian yang dilakukan oleh Syafitri dan Mustikaningru (2024) menunjukkan bahwa pemanfaatan biji mahoni sebagai bahan baku biodiesel dengan menggunakan katalis KOH menghasilkan rendemen biodiesel sebesar 71%. Hasil rendemen kurang mencapai 90% karena katalis ini mempunyai beberapa batasan, diantaranya yaitu ketidakstabilan, sensitivitas terhadap asam lemak bebas dalam bahan baku yang membuat asam lemak bebas membentuk sabun hingga menurunkan rendemen biodiesel, serta kesulitan dalam memisahkannya dari campuran reaksi. Situasi ini membuat katalis tidak bisa digunakan kembali dan terbuang bersama limbah, yang dapat berdampak buruk bagi lingkungan (Oko dkk., 2018).

Upaya untuk mengatasi keterbatasan dalam produksi biodiesel dapat dilakukan melalui pemanfaatan katalis basa heterogen. Katalis ini memiliki masa pakai lebih panjang, dapat digunakan kembali (*reusable*), serta mampu meningkatkan rendemen sehingga lebih efisien dan ramah lingkungan. Salah satu katalis heterogen yang banyak diteliti adalah kalsium oksida (CaO). Penelitian Miskah dkk. (2020) melaporkan bahwa CaO hasil sintesis dari tulang ayam mampu menghasilkan rendemen biodiesel sebesar 92%. Sementara itu, Azzahro & Broto (2022) menyatakan bahwa CaO yang diperoleh dari limbah cangkang memberikan hasil 78,1% pada minyak jelantah. Meskipun demikian, kinerja CaO konvensional masih terbatas, sehingga pengembangan ke skala nano menjadi relevan.

CaO berukuran nano memiliki luas permukaan lebih besar dan jumlah situs aktif lebih banyak, sehingga mempercepat reaksi katalitik dan meningkatkan konversi minyak menjadi biodiesel (Abou El-Nour dkk., 2010). Lebih lanjut, Bharti dkk. (2019) melaporkan bahwa rendemen biodiesel dapat mencapai 95% pada rasio molar metanol terhadap minyak 11:1 dengan penggunaan nanokatalis CaO sebesar

3,67 wt%. Namun, dalam penerapannya, katalis CaO cenderung bereaksi dengan CO_2 dan H_2O dari udara, yang dapat menurunkan aktivitas katalitiknya. Akibatnya, ketika CaO berskala nano digunakan kembali (*reusable*), terjadi penurunan signifikan terhadap rendemen biodiesel (Febriana, 2022). Penurunan ini juga terlihat pada penelitian Khalifeh & Esmaeili (2020), di mana rendemen biodiesel menurun drastis dari 93.72% menjadi 72% setelah empat kali penggunaan ulang.

Oleh karena itu, dilakukan modifikasi CaO murni berukuran nano dengan penambahan material lain agar dapat memperbanyak situs aktif basanya dan memperkuat struktur katalisnya. Material seperti *Nanocrystal Cellulose* (NCC) sebagai kelas nanomaterial baru memiliki sejumlah besar gugus hidroksil di permukaannya. Selama proses pembentukan NCC melalui hidrolisis dengan menggunakan asam sulfat, terbentuk gugus ester sulfat pada permukaannya yang membantu menstabilkan nanopartikel. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Khosa ddk. (2024), diperoleh yield biodiesel sebesar 84% dengan menggunakan rasio metanol terhadap minyak sebesar 20:1 dan katalis CaO/NCC sebanyak 3 wt%. Penggunaan rasio metanol yang tinggi bertujuan untuk mendorong reaksi transesterifikasi agar berjalan secara lebih sempurna. Hasil uji *reusability* menunjukkan bahwa setelah lima kali pengulangan, katalis hanya mengalami penurunan yield biodiesel dari 84% menjadi 79%. Nanokomposit CaO/NCC memiliki lebih banyak situs aktif membantu mendistribusikan partikel CaO secara merata di permukaannya dan melindungi katalis dari kelembapan lingkungan yang akan meningkatkan efisiensi transesterifikasi dan memperpanjang umur katalis (Zik dkk., 2020)

Sifat selulosa alami yang kaku saat kering mendorong pencampuran dengan polimer sintetis untuk meningkatkan sifat mekanik dan fleksibilitasnya (Reddy dkk., 2021). Salah satu polimer sintetis yang dapat dicampur untuk mengatasi masalah ini adalah *Polyvinyl Alcohol* (PVA). PVA dicirikan sebagai material yang tidak berbau, memiliki kekuatan tarik yang tinggi, fleksibel, transparan, serta tahan terhadap berbagai bahan kimia (Gaaz dkk., 2015). Penggunaan katalis CaO/PVA pada proses transesterifikasi menghasilkan yield biodiesel sebesar 95% pada kondisi optimum, yaitu rasio molar metanol terhadap minyak sebesar 12:1 dengan konsentrasi katalis CaO/PVA sebesar 2,29 wt% (Talha

dan Sulaiman, 2018). Sementara itu, katalis CaO/NCC yang didukung oleh PVA telah berhasil digunakan untuk produksi biodiesel dari *Waste Cooking Oil* (WCO) dalam reaktor *packed bed*, dengan rendemen biodiesel mencapai 98,35% pada rasio metanol terhadap minyak sebesar 6:1 dan konsentrasi katalis sebesar 0,5 wt% (Zik dkk., 2020). Dalam penelitian tersebut, PVA berperan sebagai agen pengikat yang membantu memperkuat interaksi antarpartikel serta meningkatkan kestabilan struktur katalis, sehingga mendukung distribusi yang merata.

Berdasarkan hasil-hasil tersebut, penggunaan katalis berbasis nano, khususnya CaO/NCC/PVA dapat menjadi solusi yang lebih baik. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mensintesis biodiesel dari minyak *Pliek u* menggunakan nanokatalis CaO/NCC/PVA, serta menganalisis uji *reusability* katalis tersebut untuk mengetahui seberapa banyak siklus reaksi yang dapat dijalani tanpa menurunkan rendemen biodiesel secara signifikan. Hasil dari studi ini diharapkan mampu memproduksi biodiesel yang memenuhi standar SNI 04-7182-2015.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan maka dapat disimpulkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Apakah variasi konsentrasi nanokatalis CaO/NCC/PVA (0,5 wt%; 1 wt%; 1,5 wt%; 2 wt%) berpengaruh terhadap rendemen biodiesel?
2. Apakah biodiesel yang dihasilkan dari variasi konsentrasi nanokatalis sesuai dengan standar SNI 7182:2015 berdasarkan parameter mutu (densitas, viskositas, bilangan asam, kadar air, dan uji nyala)?
3. Apakah nanokatalis CaO/NCC/PVA dapat digunakan kembali (*reusable*) dalam sintesis biodiesel tanpa mengalami penurunan aktivitas katalitik yang signifikan?

I.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, dapat disimpulkan bahwa tujuan penelitian ini yaitu:

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi nanokatalis CaO/NCC/PVA (0,5; 1; 1,5; 2 wt%) terhadap rendemen biodiesel yang dihasilkan.

2. Untuk mengevaluasi kesesuaian parameter mutu biodiesel hasil sintesis (densitas, viskositas, bilangan asam, kadar air, dan uji nyala) dengan standar SNI 7182:2015.
3. Untuk menilai kemampuan reusabilitas nanokatalis CaO/NCC/PVA dalam sintesis biodiesel, dengan fokus pada kehilangan aktivitas katalitik yang terjadi selama pemakaian ulang.

I.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Menjadikan minyak *Pliek u* sebagai bahan baku biodiesel alternatif yang ramah lingkungan
2. Memberikan data ilmiah mengenai pengaruh variasi konsentrasi nanokatalis CaO/NCC/PVA (0,5; 1; 1,5; 2 wt%) terhadap rendemen biodiesel serta kesesuaian parameter mutunya (densitas, viskositas, kadar air, bilangan asam, dan uji nyala) dengan standar SNI 7182:2015
3. Penggunaan kembali (*reusable*) nanokatalis CaO/NCC/PVA yang dapat mengurangi dampak lingkungan terkait dengan pembuangan katalis, menjadikannya solusi yang lebih efisien dan berkelanjutan dalam industri biodiesel.

I.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang diperoleh dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Berfokus pada penggunaan minyak *Pliek u* komersil sebagai bahan alternatif sintesis biodiesel dan metanol sebagai agen esterifikasi dan transerifikasi
2. Berfokus pada penggunaan nanokatalis CaO/NCC/PVA yang sudah diimpregnasi dari penelitian sebelumnya.
3. Karakterisasi yang dilakukan sesuai standar SNI 04-7182-2015 yang meliputi uji viskositas, densitas, bilangan asam, kadar air, dan uji nyala.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Biodiesel

Biodiesel merupakan salah satu sumber energi alternatif yang memiliki potensi besar. Biodiesel bersifat ramah lingkungan, tidak adanya dampak negatif pada kesehatan, dan bisa digunakan sebagai bahan bakar kendaraan yang mampu mengurangi emisi. Terdapat beberapa manfaat biodiesel yang mendasari pengembangan lebih lanjut hingga saat ini, di antaranya adalah sifatnya yang dapat terurai secara alami, tidak menyebabkan pencemaran lingkungan, dapat digunakan secara berkelanjutan dalam jangka panjang, diperoleh dari sumber daya yang dapat diperbaharui seperti limbah organik, menghasilkan emisi gas buang yang lebih rendah secara keseluruhan, memiliki titik nyala yang lebih tinggi, sehingga meningkatkan aspek keselamatan dalam transportasi dan penyimpanan. Karakteristik ini juga membuka peluang yang lebih luas untuk pemanfaatannya sebagai energi terbarukan berbasis produk pertanian (Ramadhani dkk., 2017).

Biodiesel dibuat melalui reaksi antara trigliserida dan alkohol, dengan trigliserida sebagai bahan baku yang ditemukan terutama pada tumbuhan dan hewan. Secara umum, tumbuhan dibagi menjadi dua kategori yaitu minyak nabati yaitu minyak kelapa sawit dan biji-bijian seperti kedelai, dan kacang tanah (Suzihaque dkk., 2022). Program biodiesel di Indonesia saat ini berada dalam fase pertumbuhan dan pengembangan sesuai yang tertera dalam peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 32 Tahun 2008. Aturan ini telah diperbarui secara berkala hingga di tahun 2013 menjadi Peraturan Nomor 25. Perubahan pertama diikuti oleh Peraturan Nomor 20/2014 sebagai amandemen kedua, dan dilanjutkan dengan Peraturan Nomor 12/2015 yang menjadi amandemen ketiga masih menjadi rujukan sampai saat ini. Aturan mengenai penggunaan biodiesel yang terdapat dalam Permen ESDM Nomor 12/2015 menyebutkan bahwa biodiesel murni (B100) bisa diterapkan sebagai campuran dalam bahan bakar solar untuk memenuhi syarat penggunaan minimum biodiesel (Romadhona dkk., 2024). Berikut ini standar biodiesel Indonesia:

Tabel II. 1 Standar Biodiesel Berdasarkan SNI 7182:2015

Parameter	SNI 7182:2015
Massa Jenis pada Suhu 40℃ (kg/m^3)	850-890
Viskositas Kinematik pada Suhu 40℃ (cSt)	2,3-6,0
Angka Asam (mg-KOH/g)	0,5
Kadar Air (% volume)	0,05
Titik Nyala (℃)	100
Metil Ester (%)	96,5

(Handayani dkk., 2022)

Metil Ester Asam Lemak (FAME), nama lain untuk biodiesel, biasanya dibuat dengan transesterifikasi lemak nabati atau hewani dengan metanol. Esterifikasi dan transesterifikasi merupakan proses utama dalam produksi biodiesel. Khosa dkk. (2024) memfokuskan penelitian pada jalur transesterifikasi minyak goreng bekas dengan bantuan nanokatalis CaO/NCC, yang menghasilkan biodiesel dengan sifat fisikokimia baik. Hasil penelitian ini dengan tegas mengungkapkan bahwa minyak goreng bekas dapat menjadi sumber non makanan yang bernilai bagi industri biodiesel. Aspek ekonomis yang menguntungkan, aksesibilitas lokal, dampak positif terhadap lingkungan, dan kemampuan menyesuaikan diri dengan berbagai situasi membuatnya menjadi pilihan yang menarik untuk produksi biodiesel yang berkelanjutan. Menurut Efendi dkk. (2018), penggunaan minyak kelapa sawit secara berlebihan menyebabkan timbulnya limbah minyak goreng, yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan untuk biodiesel. Di samping itu, penelitian yang dilakukan oleh Aryani dkk. (2022) menunjukkan bahwa sisa ampas kelapa dapat diproses menjadi minyak *Pliek u* yang dapat digunakan untuk bahan baku untuk biodiesel. Pemanfaatan minyak *Pliek u* juga dapat meningkatkan nilai ekonomi produk lokal serta mendukung konsep energi terbarukan yang bersumber dari kekayaan alam

Indonesia, sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan mengurangi risiko krisis energi di masa depan.

II.2 Minyak *Pliek U*

Minyak *Pliek u* merupakan minyak kelapa khas aceh yang diperoleh melalui proses fermentasi daging buah kelapa (Putra dkk., 2022). *Pliek u* merupakan hasil samping dari daging buah kelapa yang telah mengalami fermentasi, kemudian diekstraksi dan dipanaskan untuk mendapatkan minyak. Produk ini telah menjadi komponen penting dalam masakan tradisional yang berasal dari Aceh. Sebagian besar kandungan dalam ekstrak minyak *Pliek u* terdiri dari asam lemak beserta turunannya, yang mencakup asam laurat, miristat, kaprilat, kaprat, palmitat, stearat, oleat, linoleat (Jalma dan Zachreini, 2016). Rincian tentang kandungan asam lemak di dalam minyak *Pliek u* dapat dilihat pada tabel di bawah ini.:

Tabel II. 2 Komposisi Asam Lemak Minyak *Pliek U*

Komposisi	Kandungan Asam Lemak (%)
Asam laurat	39,13
Asam miristat	13,78
Asam palmiat	6,60
Asam oleat	4,81
Asam stearat	3,90

(Al-Hamid dkk., 2020)

Kandungan utama asam lemak jenuh seperti asam laurat dan miristat menyebabkan minyak *Pliek u* memiliki kestabilan oksidatif yang tinggi dan angka cetana yang lebih besar dibandingkan minyak nabati lain seperti minyak sawit. Hal ini karena asam lemak jenuh meningkatkan kemampuan pembakaran dan ketahanan terhadap oksidasi, sehingga biodiesel yang dihasilkan dari minyak kelapa cenderung memiliki performa pembakaran yang lebih baik serta penyimpanan yang lebih tahan lama (Sharma dkk., 2021; Knothe, 2009; Sidjabat, 2013).

Berdasarkan penelitian (Ariza, 2024) menggunakan minyak *Pliek u* sebagai bahan baku biodiesel dengan menggunakan katalis $CaO/ZnCl_2$ dengan menghasilkan randemen 67%. Hasil identifikasi katalis 2:1 menggunakan *Gas Chromathography-Mass Spectrometry* (GC-MS) menunjukkan adanya metil ester dan karakterisasi berupa kadar air 0,3 %, angka asam 0,5 Mg/KOH per gram, massa jenis 887,94 kg/m^3 dan viskositas 3,60 kg/m^3. Hasil ini menunjukkan bahwa pembuatan biodiesel dari minyak *Pliek u* diolah dengan katalis CaO/ZnCl2 sesuai dengan standar SNI 7182:2015.

II.3 Nanokatalis

Nanokatalis adalah jenis katalis dengan ukuran partikel pada skala nanometer yang memiliki luas permukaan sangat besar, sehingga menyediakan banyak situs aktif untuk mempercepat reaksi kimia. Luas permukaan yang tinggi memungkinkan nanokatalis meningkatkan interaksi antara katalis dengan molekul reaktan, sehingga mempercepat laju reaksi transesterifikasi trigliserida menjadi metil ester asam lemak (FAME) dalam sintesis biodiesel (Septianti dkk., 2022; Pramanik dkk., 2023).

Katalis homogen, seperti NaOH atau KOH, cenderung bereaksi dengan asam lemak bebas dan membentuk sabun, sehingga menyulitkan pemurnian biodiesel dan menghasilkan limbah tambahan. Sebaliknya, katalis heterogen, termasuk nanokatalis, menawarkan kemudahan pemisahan dari produk reaksi dan stabilitas aktivitas katalitik yang lebih tinggi. Keunggulan ini menjadikan nanokatalis lebih praktis dan ekonomis, sekaligus mendukung proses produksi biodiesel yang lebih ramah lingkungan (Fadhillah dan Sari, 2023; Awogbemi & Kallon., 2024).

Stabilitas termal dan mekanik nanokatalis memungkinkan kinerjanya tetap optimal meskipun digunakan dalam beberapa siklus reaksi, sehingga mengurangi kebutuhan katalis baru dan biaya produksi. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa nanokatalis berbasis oksida logam, seperti CaO, dapat mempertahankan aktivitas katalitik tinggi dan memberikan hasil konversi biodiesel yang signifikan. Penelitian Khalifeh & Esmaeili (2020) melaporkan bahwa penggunaan nanokatalis CaO menghasilkan biodiesel dari lemak kambing dengan yield sebesar 93,72% dan tetap efektif hingga tiga siklus reaksi berturut-turut, menunjukkan kestabilan katalis

dan kemampuannya untuk digunakan kembali (*reusability*). Hal ini menegaskan potensi nanokatalis CaO dalam produksi biodiesel yang efisien dan berkelanjutan.

II.4 Kalsium Oksida (CaO)

Kalsium oksida (CaO) merupakan salah satu katalis heterogen yang paling banyak diteliti karena aktivitasnya yang tinggi dalam proses transesterifikasi, ketersediaannya yang melimpah, harga yang terjangkau, serta asalnya dari mineral alami. Oksida logam seperti CaO, yang merupakan senyawa anorganik hasil pembakaran senyawa kalsium karbonat ($CaCO_3$), telah banyak dikaji sebagai katalis heterogen dalam produksi biodiesel. Katalis pada fase padat ini tidak terlibat dalam reaksi dengan cara terlarut, sehingga dapat dengan gampang dipisahkan dari produk akhir. Akibatnya, produk yang dihasilkan bebas dari kontaminasi oleh katalis dan pengeluaran biaya pada proses pemisahan akhir dapat dikurangi secara signifikan. Katalis ini dapat diregenerasi juga untuk digunakan kembali dan lebih ramah lingkungan karena tidak memerlukan perlakuan asam pada tahap pemisahan (Rabie dkk., 2019).

Hidayati (2017) melakukan penelitian mengenai pengaruh rasio metanol, minyak goreng bekas, dan katalis CaO terhadap produksi biodiesel. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa yield tertinggi, sebesar 53%, diperoleh pada rasio metanol:minyak:katalis sebesar 15:1:3 dengan waktu reaksi selama 2 jam. Rendemen yang lebih rendah pada kondisi lain dikaitkan dengan keterbatasan interaksi antara reaktan dan katalis heterogen, karena CaO berada pada fase padat sedangkan minyak dan metanol berada pada fase cair. Akibatnya, reaksi transesterifikasi hanya berlangsung di permukaan katalis, sehingga pencampuran yang kurang optimal membatasi kontak antara molekul reaktan dan situs aktif katalis. Selain itu, jumlah situs aktif yang terbatas pada permukaan katalis membatasi laju konversi trigliserida menjadi metil ester asam lemak (FAME), sehingga memengaruhi efisiensi produksi biodiesel. Temuan ini menegaskan pentingnya desain katalis dan optimasi kondisi reaksi untuk meningkatkan hasil transesterifikasi menggunakan katalis heterogen berbasis CaO (Wahyuningsih dkk., 2018).

Pembuatan partikel kalsium oksida dalam skala nano atau 10^{-9} m bertujuan untuk memaksimalkan luas permukaan dan kemampuan adsorpsi katalis.

Efektivitas aktivitas katalis heterogen ini bisa ditingkatkan melalui pendekatan rekayasa ukuran partikel menggunakan nanoteknologi. Ukuran partikel katalis diperkecil hingga dibawah 100 nm, sesuai dengan standar SNI ISO/TS 80004-4:2013 (First dkk., 2019). Salah satu teknik untuk menghasilkan nanokalsium adalah metode presipitasi. Metode ini melibatkan pencampuran larutan asam dan basa untuk menciptakan endapan kristal nanokalsium dan air (Mangkuasih dan Rohmawati, 2021). Dalam studi oleh First dkk. (2019), nanokalsium dari tulang ayam dibuat dengan metode presipitasi menggunakan larutan HCl 1 N dan NaOH 3 N serta variasi waktu pencampuran, menghasilkan peningkatan rendemen pada sampel.

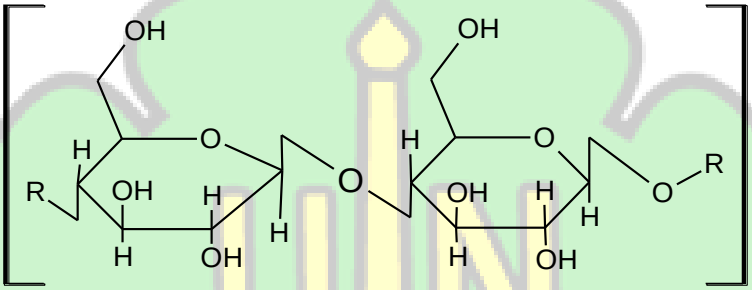
Di antara berbagai jenis katalis alami, bahan-bahan yang berasal dari ayam seperti tulang, maupun kulit telur telah menunjukkan efektivitas tinggi dalam produksi biodiesel, dengan hasil rendemen yang dapat melebihi 90%. Tulang ayam, yang mudah diperoleh dan belum banyak dimanfaatkan, mengandung mineral kalsium yang berpotensi sebagai sumber kalsium oksida (CaO). Umumnya, kalsium dalam tulang ditemukan dalam bentuk senyawa kalsium fosfat (hidroksiapatit) dan kalsium karbonat. Melalui proses kalsinasi pada temperatur tinggi, hidroksiapatit dapat berubah menjadi *tricalcium phosphate* (β-$Ca_3(PO_4)_2$), dan kalsium oksida (CaO) yang berfungsi sebagai katalis basa dalam reaksi transesterifikasi untuk sintesis biodiesel (Al-Ghifari dan Samik, 2023).

Farooq & Ramli (2015) melaporkan bahwa katalis heterogen yang disintesis dari tulang ayam menunjukkan aktivitas katalitik yang sangat baik dalam reaksi transesterifikasi minyak jelantah, dengan rendemen biodiesel maksimum mencapai 89,33% pada kondisi optimum, yaitu 5,0 g katalis, rasio molar metanol terhadap minyak 15:1, suhu 65 °C, dan waktu reaksi 4 jam. Kinerja tinggi tersebut dikaitkan dengan tingginya kepadatan situs basa aktif pada permukaan katalis, yang meningkatkan efisiensi konversi minyak menjadi biodiesel.

II.5 Nanokristal Selulosa

Zik dkk. (2020) melaporkan bahwa nanokristal selulosa (NCC) memiliki karakteristik unggul, seperti densitas rendah, kekuatan mekanik tinggi, struktur yang sangat berpori dan luas permukaan besar, serta biokompatibilitas dan kemampuan regenerasi yang baik. Ciri-ciri densitas rendah ini memberikan manfaat

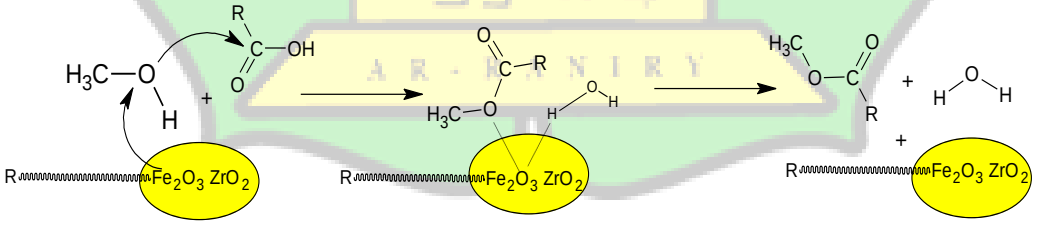
dalam penggunaan komposit dan materi pendukung katalis, karena memungkinkan pembuatan struktur yang ringan namun kokoh serta meningkatkan luas permukaan spesifik. Katalis yang berukuran nano menunjukkan tingkat konversi yang 30 kali lebih efektif dibandingkan katalis berukuran meso, disebabkan oleh pori yang lebih besar, lebih tinggi rasio luas permukaan terhadap volume, aktivitas katalitik yang lebih optimal, waktu reaksi yang lebih singkat, kebutuhan katalis yang lebih sedikit, kemudahan dalam pemisahan, proses pemulihan yang lebih efisien yang artinya menggunakan ulang katalis sehingga bisa digunakan lagi.



Gambar II. 1 Struktur Selulosa

(Sumber: Pribadi)

Helmiyati dkk. (2021) melaporkan produksi biodiesel melalui metode esterifikasi dengan selulosa sebagai katalis heterogen. Katalis tersebut menunjukkan *reusability* hingga lima siklus tanpa kehilangan aktivitas yang signifikan, dengan hasil biodiesel pada siklus kelima masih mencapai 80,0%.



Gambar II. 2 Reaksi Esterifikasi Asam Laurat dengan Nanoselulosa/Fe_2O_3/ZrO_2

(Sumber: Helmiyati dkk., 2021)

Meranti merupakan tipe kayu berasal dari genera *Shorea* dalam *famili dipterocarpaceae*. Di Indonesia, terutama di Kalimantan, kelompok ini mencakup

kurang lebih 67% dari total pohon yang ada. Meranti adalah salah satu spesies pohon yang memiliki peran krusial dalam pasar kayu global karena kayunya menjadi komoditi utama untuk produksi interior, seni ukir, dan furniture. Proses pembuatan furnitur ini, menurut *Center for International Forestry Research* (CIFOR) dan *International Tropical Organization* (ITTO) tahun 2009, mampu menghasilkan limbah kayu meranti mencapai 44%. Oleh karena itu, limbah serbuk meranti mulai digunakan sebagai sumber xylose, bahan penyerap limbah air dan logam biochar, serta sumber selulosa.

Secara mekanik, selulosa memiliki kekuatan yang baik dalam menahan gaya atau beban, serta modulus regangan tinggi sehingga tidak mudah mengalami peregangan atau deformasi permanen saat diberi tekanan atau tarikan. Namun, selulosa bersifat rapuh dan kaku dalam kondisi kering karena fleksibilitasnya yang rendah. Selulosa dengan mudah terdegradasi secara alami, sehingga membantu menurunkan emisi. Dengan demikian, selulosa memiliki banyak potensi aplikasi, termasuk sebagai bahan baku untuk produksi kertas, bioetanol, nanokomposit, membran, dan aplikasi biomedis. Terkait dengan kayu meranti, diketahui bahwa kayu meranti mengandung sekitar 41% selulosa. Dengan kandungan selulosa yang tinggi, meranti sangat cocok dijadikan sebagai sumber selulosa. Namun, serbuk meranti juga terdiri dari 33% lignin dan juga 32% hemiselulosa yang dapat menurunkan kristalinitas selulosa, akibatnya mempengaruhi kemurnian selulosa tersebut. Oleh karena itu, ekstraksi selulosa harus dilakukan (Tajalla dkk., 2019).

II.6 PVA

Polivinil alkohol (PVA) adalah polimer sintetis larut air yang diproduksi melalui hidrolisis polivinil asetat. PVA dikenal memiliki kemampuan membentuk serat dengan baik, biokompatibilitas, ketahanan terhadap bahan kimia, serta biodegradabilitas, sehingga banyak digunakan dalam penelitian nanokomposit. Selain itu, PVA dipandang sebagai alternatif ramah lingkungan dibandingkan polimer *non-biodegradabel* seperti polietilena, dengan keunggulan tambahan berupa stabilitas termal dan mekanik yang baik (Sulaiman dkk., 2019).

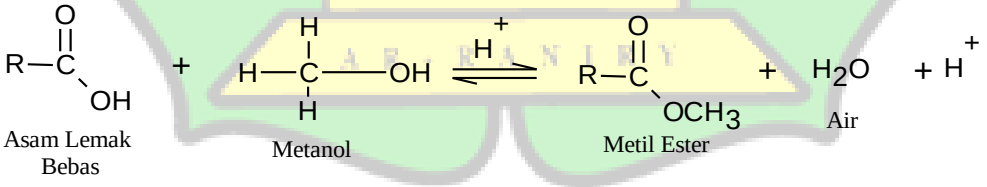
Zik dkk. (2020) melaporkan bahwa PVA berfungsi sebagai matriks polimer yang mendukung sekaligus mendistribusikan partikel nanokatalis, seperti CaO dan NCC, dalam campuran reaksi biodiesel. Karakteristik partikel nano yang

cenderung mengalami aglomerasi dapat menyebabkan penurunan jumlah permukaan aktif dan menurunkan efisiensi katalisis. Selain itu, sifat NCC yang kaku ketika kering dan kecenderungan CaO untuk bergumpal semakin memperbesar risiko terbentuknya aglomerasi. Pemanfaatan PVA sebagai binder sekaligus matriks pendukung mampu mencegah penggumpalan tersebut, menjaga keterikatan partikel tetap stabil, dan memastikan dispersi yang merata. Dengan demikian, aksesibilitas reaktan (minyak dan metanol) ke situs aktif katalis meningkat, yang pada akhirnya menghasilkan konversi biodiesel lebih optimal dalam proses transesterifikasi.

II.7 Reaksi Esterifikasi dan Transesterifikasi Biodiesel

Cahyati dkk. (2017) menyatakan bahwa untuk proses transesterifikasi, sangat penting untuk menggunakan minyak dengan kemurnian yang tinggi (dengan kandungan FFA kurang dari 2%). Kadar FFA yang tinggi dapat mengganggu proses transesterifikasi karena terjadinya reaksi pembentukan sabun antara katalis dan FFA. Konsentrasi asam lemak bebas dalam minyak nabati harus di bawah 1%. Salah satu metode yang digunakan untuk mengurangi asam lemak bebas adalah dengan mereaksikannya dengan alkohol dengan adanya katalis asam sulfat. Reaksi ini disebut sebagai esterifikasi.

Esterifikasi adalah proses kimia di mana asam karboksilat bereaksi dengan alkohol untuk menghasilkan ester dan air. Asam karboksilat tersebut dapat berasal dari asam lemak bebas yang terdapat dalam minyak nabati atau dari sulingan asam lemak minyak sawit (Harahap dkk., 2021).



Gambar II. 3 Reaksi Esterifikasi

(Sumber: Pribadi)

Minyak nabati berpotensi besar sebagai sumber bahan bakar alternatif untuk mesin diesel melalui proses transesterifikasi. Selama proses transesterifikasi, dihasilkan biodiesel dan gliserol. Metanol yang tidak terpakai diuapkan

menggunakan alat *rotary evaporator*, dan lalu pemisahan antara gliserol dan biodiesel dilakukan dengan corong pemisah. Dalam penelitian oleh Khosa dkk. (2024), digunakan katalis heterogen yang efektif, yaitu nanokomposit CaO/NCC, untuk proses transesterifikasi dari minyak goreng bekas. Hasil biodiesel diolah dari berbagai kondisi operasional, yang diteliti lebih dalam, seperti perbandingan molar metanol terhadap minyak sebesar 20:1, konsentrasi katalis sebesar 3 persen berat, suhu pada 60 derajat Celsius, dan durasi selama 90 menit. Hasil potensi tersebut diperkirakan dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Percentage yield: } \frac{Grams\ of\ Biodiesel\ Produced}{Grams\ of\ Oil\ Used} \text{ x } 100$$

Transesterifikasi melibatkan tiga reaksi yang bersifat reversible. Proses pertama meliputi konversi trigliserida menjadi digliserida, selanjutnya digliserida diubah menjadi monogliserida, dan yang terakhir monogliserida diubah menjadi gliserol, dengan menghasilkan satu molekul ester untuk setiap gliserida di setiap tahapan. Reaksi ini berjalan dengan baik dengan kehadiran beberapa jenis katalis homogen seperti kalium hidroksida (KOH) atau natrium hidroksida (NaOH) (Mumtaz dkk., 2017).

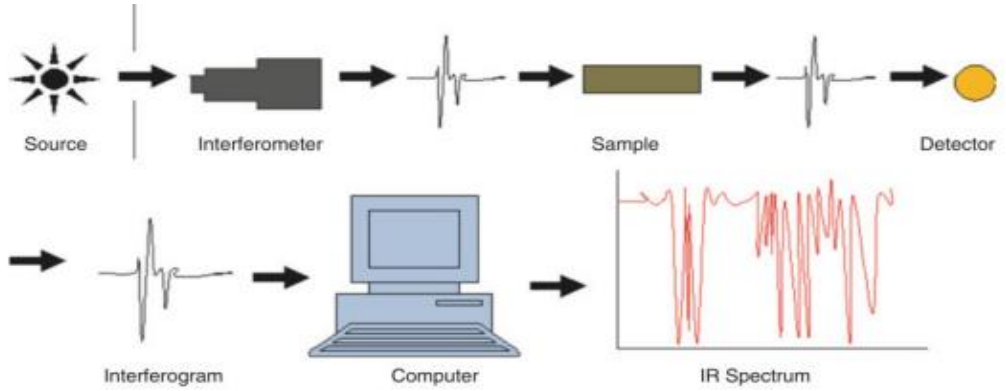
II.8 Karakterisasi Analisis Biodiesel

Karakterisasi biodiesel dilakukan untuk memastikan keberhasilan proses esterifikasi dan transesterifikasi menggunakan kombinasi nanokatalis, sekaligus menilai kualitas dan kesesuaian biodiesel yang dihasilkan. Menurut Khosa dkk. (2024), analisis ini dilakukan menggunakan *Spektroskopi Fourier Transform Infrared* (FTIR) untuk memntukan gugus fungsi dan Kromatografi Gas–Spektrometri Massa (GC-MS) untuk menentukan komposisi senyawa. Selain itu, dilakukan uji *reusability*, densitas, viskositas, bilangan asam, kadar air, dan titik nyala untuk mengetahui kualitas produk biodiesel.

II.8.1 *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) merupakan teknik analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dalam berbagai jenis senyawa, termasuk senyawa organik, polimer, sampel biologis, senyawa anorganik, dan mineral. Spektroskopi FTIR bekerja berdasarkan prinsip getaran molekul, yang memungkinkan identifikasi senyawa. Metode ini memiliki keunggulan berupa

analisis yang cepat, tidak merusak sampel, dan tahap preparasi sampel yang relatif sederhana. (Karim,2023).



Gambar II. 4 Prinsip Kerja FTIR

(Alauhdin dkk., 2021)

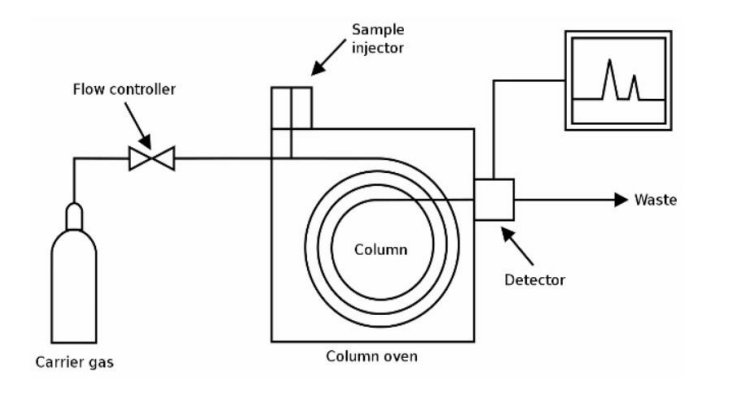
Skema instrumen FTIR dapat dilihat pada gambar II.5. Radiasi yang berasal dari sumber cahaya melewati celah dan dilanjutkan ke interferometer. Setelah itu, radiasi akan melalui sampel kemudian diteruskan ke detektor. Sinyal yang ditangkap detektor diolah secara digital dan dikirimkan ke komputer untuk menjalani proses transformasi *Fourier*, yang menghasilkan spektrum inframerah (Alauhdin dkk., 2021). FTIR bekerja dengan mengukur seberapa banyak cahaya inframerah yang diserap sampel. Setiap puncak pada grafik menunjukkan panjang gelombang tertentu yang bisa dipakai untuk mengenali struktur senyawa (Lestari dan Cahyaningrum, 2022).

Lamichhane dkk. (2020) melaporkan bahwa karakteristik fisikokimia produk transesterifikasi minyak goreng bekas menggunakan katalis NaOH untuk menghasilkan biodiesel dianalisis melalui spektroskopi FTIR. Hasil spektrum FTIR menunjukkan puncak-puncak yang mengindikasikan keberadaan metil ester yang terdapat dalam biodiesel.

II.8.2 *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS)

Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC-MS) adalah gabungan dua teknik analisis yang memiliki fungsi berbeda tetapi saling mendukung. Kromatografi gas berfungsi untuk memisahkan komponen-komponen dalam sampel berdasarkan perbedaan titik didih dan interaksi senyawa dengan fase diam

(kolom kromatografi). Sementara itu, spektrometri massa mendeteksi senyawa dengan mengombinasikan waktu retensi relatif dari kromatografi gas dan pola elusi komponen campuran. Pola fragmentasi yang dihasilkan dibandingkan dengan basis data spektrum massa untuk mengidentifikasi struktur kimia senyawa (Mani dkk., 2017). Kromatogram menampilkan beberapa puncak yang mewakili pemisahan komponen dalam sampel, diikuti dengan persentase kelimpahan senyawa berdasarkan area puncak. Teknik GC-MS umumnya digunakan untuk analisis kualitatif senyawa organik volatil (Salsabila, 2023).



Gambar II. 5 Prinsip Kerja GCMS
(Sumber: *andarupm.co.id* , 2020)

GC-MS beroperasi melalui dua komponen utama, kedua komponen utama tersebut yaitu kromatografi gas dan spektrometer massa. Berbagai molekul dalam suatu campuran memiliki karakteristik kimia yang berbeda, sehingga perbedaan ini memungkinkan pemisahan molekul ketika sampel mengalir melalui kolom (Hasmizal, 2021).

II.8.3 *Reusability* Katalis

Reusability atau kemampuan penggunaan ulang katalis heterogen merupakan salah satu parameter penting yang menentukan efisiensi proses produksi biodiesel. Penggunaan ulang katalis tidak hanya berkontribusi terhadap pengurangan biaya operasional, tetapi juga meningkatkan keberlanjutan proses karena menekan jumlah limbah katalis yang dibuang. Evaluasi *reusability* umumnya dilakukan melalui pengujian berulang (*multi-cycle test*) pada reaksi

transesterifikasi dengan katalis yang sama, kemudian dibandingkan rendemen biodiesel setelah setiap siklus penggunaan.

Katalis basa padat seperti CaO telah banyak digunakan karena aktivitas katalitiknya yang tinggi, ketersediaannya melimpah, dan sifatnya yang relatif ramah lingkungan. Namun, kelemahan utama CaO adalah penurunan aktivitas setelah digunakan berulang kali. Hal ini terutama disebabkan oleh pelindihan ion Ca^{2+} ke dalam fase cair, keracunan katalis akibat adanya air dan asam lemak bebas (FFA), serta sintering partikel aktif selama reaksi dan proses regenerasi termal. Akibatnya, rendemen biodiesel cenderung menurun signifikan setelah beberapa kali siklus penggunaan (Marinković dkk., 2016; Mazaheri dkk., 2021).

Sejumlah penelitian berupaya mengatasi keterbatasan tersebut dengan mengombinasikan CaO bersama material pendukung untuk meningkatkan stabilitas dan *reusability*. Khosa dkk. (2024) melaporkan bahwa kestabilan nanokatalis CaO/CNC dievaluasi melalui uji pemanfaatan kembali dalam reaksi transesterifikasi biodiesel pada kondisi optimum, dengan pemuatan katalis sebesar 3% berat, rasio metanol-minyak 20:1, suhu 60 °C, dan waktu reaksi 90 menit. Aktivitas katalis diuji hingga lima kali siklus setelah pengeringan pada suhu 100 °C selama sedikitnya tiga jam, dan hasilnya menunjukkan adanya penurunan rendemen biodiesel dari 84% pada siklus pertama menjadi 79% pada siklus kelima.

Hasil serupa juga ditunjukkan oleh Talha dan Sulaiman (2018), yang melaporkan bahwa katalis CaO/PVA mengalami penurunan rendemen biodiesel dari 94,55% menjadi 67,07% setelah lima kali penggunaan. Pola penurunan terlihat sejak siklus kedua, dengan tren yang sejalan dengan penelitian Khosa dkk. (2024), yaitu aktivitas katalis mulai berkurang secara bertahap pada penggunaan ulang.

II.8.4 Densitas

Densitas adalah karakteristik fisik yang menunjukkan berat suatu material, diukur sebagai massa untuk setiap unit volume dan umumnya dinyatakan dalam kg/m³ (Khaidir, 2015). Densitas bahan bakar merupakan faktor utama yang memengaruhi berbagai isu terkait kinerja mesin, proses pembakaran, serta emisi (asap hitam). Secara umum, bahan bakar dengan densitas yang lebih tinggi cenderung mempunyai lebih banyak energi per unit volume, yang berpotensi meningkatkan efisiensi pembakaran. Namun, densitas yang sangat tinggi dapat

berdampak pada injeksi dan proses atomisasi bahan bakar dalam mesin yang akan meningkatkan kerak (Wahyudi dkk., 2023).

Pengujian densitas yang diatur oleh SK Dirjen EBTKE No. 189.K/10/DJE/2019 menetapkan nilai antara 850-890 kg/L pada suhu 40 derajat Celsius. Oleh karena itu, semakin besar densitasnya, semakin banyak massa bahan bakar yang diinjeksi ke ruang pembakaran, yang berakibat pada meningkatnya energi yang dihasilkan dari proses pembakaran.

II.8.5 Viskositas

Viskositas mengacu pada tingkat ketebalan atau kecepatan aliran suatu cairan, dan sering kali diukur dalam centistokes. Dalam hal bahan bakar, viskositas berperan dalam pengaruh proses penyuntikan dan penyebaran bahan bakar di silinder mesin. Selain itu, viskositas yang lebih tinggi berpotensi mengakibatkan distribusi bahan bakar tidak efisien, menurunkan efisiensi pembakaran, meningkatkan emisi (seperti asap hitam). Viskositas terlalu rendah menyebabkan pemborosan bahan bakar. Menurut SNI 04-7182-2006, viskositas minyak diesel berada di kisaran 2,3-6,0 cSt (Hartono dkk., 2023; Camalia dkk., 2023).

II.8.6 Bilangan Asam

Angka asam menunjukkan jumlah asam lemak bebas (FFA) yang terkandung dalam biodiesel. Nilai ini diukur dalam miligram KOH yang dibutuhkan untuk menetralkan asam lemak dalam 1 gram biodiesel. Untuk menentukan total angka asam, dilakukan prosedur titrasi terhadap sampel yang telah dilarutkan dalam campuran pelarut organik, yaitu etanol dan kloroform dengan perbandingan 1:1. Titrasi dilakukan menggunakan larutan KOH dengan konsentrasi 0,1 N, disertai dengan penambahan indikator fenolftalein (PP). Selama proses titrasi, larutan akan berubah warna sesuai dengan penambahan KOH. Volume KOH yang diperlukan untuk menyebabkan perubahan warna campuran menjadi merah muda, yang menandakan titik akhir reaksi (Setyawardhani dkk., 2021). Dalam penelitian (Safraini, 2024), kadar asam yang tinggi berpotensi menyebabkan korosi, yang berdampak pada kelancaran aliran bahan bakar. Oleh sebab itu, asam lemak dalam biodiesel harus memenuhi aturan SNI 7182:2015, dengan ketentuan bahwa kadar asam lemak harus kurang dari 0,50 mg-KOH/g.

II.8.7 Kadar Air

Kandungan air berpengaruh pada mutu biodiesel saat disimpan. Tingginya kadar air dapat memicu perkembangan mikroorganisme, yang menyebabkan terbentuknya endapan yang berpotensi menyumbat filter mesin. Selain itu, kandungan air yang berlebihan juga dapat memperbesar kadar asam lemak bebas, efek dari terjadinya reaksi hidrolisis yang berisiko menimbulkan korosi (Setyawardhani dkk., 2021). Adanya air dalam biodiesel mengganggu proses pembakaran dalam mesin, karena air mengurangi jumlah energi yang dihasilkan dari pembakaran biodiesel. Dalam studi Safraini, (2024) mengenai pembuatan biodiesel dari minyak *Pliek u*, pengukuran kadar air dilakukan pada cawan porselen kosong dan cawan porselen yang berisi biodiesel, yang ditimbang menggunakan timbangan analitik. Kadar air yang diperoleh adalah 0,031%, yang sesuai dengan standar SNI 7182:2015, yang menetapkan bahwa batas maksimum kadar air biodiesel adalah 0,05%.

II.8.8 Titik Nyala

Titik nyala (*flash point*) merupakan salah satu parameter penting dalam karakterisasi biodiesel karena menunjukkan suhu terendah di mana uap bahan bakar dapat menyala ketika terkena percikan api. Parameter ini sangat erat kaitannya dengan aspek keselamatan selama penyimpanan (Fu, 2019). Biodiesel secara umum memiliki titik nyala yang lebih tinggi dibandingkan solar berbasis petroleum. Hal ini disebabkan oleh struktur kimianya yang tersusun dari senyawa ester berantai panjang dengan volatilitas rendah, sehingga uap yang mudah terbakar lebih sulit terbentuk (Abed dkk., 2019).

Standar mutu biodiesel di Indonesia melalui SNI 7182:2015 menetapkan bahwa titik nyala minimum biodiesel adalah 100 °C, lebih tinggi dibandingkan dengan solar konvensional yang biasanya berkisar pada 60–80 °C. Perbedaan ini memperlihatkan bahwa biodiesel memiliki tingkat keamanan lebih baik dari segi penyimpanan maupun distribusi (SNI, 2015). Hasil penelitian Foroutan dkk. (2019) melaporkan bahwa biodiesel dari berbagai minyak nabati memiliki titik nyala di atas 120 °C. Penelitian lain menunjukkan bahwa biodiesel murni umumnya mencapai titik nyala lebih dari 150 °C, sehingga memenuhi standar keamanan internasional seperti ASTM D6751 (Pawar dkk., 2018).

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan April hingga November 2025 dan dilaksanakan di Laboratorium Kimia Multifungsi, Universitas Ar-Raniry, Banda Aceh.

III.2 Alat dan Bahan

III.2.1. Alat

Penelitian ini menggunakan alat-alat yaitu meliputi gelas beaker, gelas ukur, spatula, pipet tetes, labu ukur, erlenmeyer, neraca analitik, batang pengaduk, kertas saring, corong pemisah, buret, oven, peralatan gelas, cawan porsalin, piknometer, viskometer NDJ-8S, termometer, *hot plate, magnetic stirrer*, labu leher dua lengkap dengan kondensor, statif dan klem, *rotary evaporator*, instrumen FTIR (Perkin EImer Spektrum two), instrumen GC (*PerkinEImer Clarus 690*), dan MS (*PerkinEImer Clarus SQ 8 T*).

III.2.2. Bahan

Penelitian ini menggunakan beberapa bahan, yaitu minyak *Pliek u* komersil (dibeli di Gampong Jangka, Bireuen), asam sulfat pekat 98% (H_2SO_4; *Merck*), metanol 99% (CH_3OH; *Merck*), kalium hidroksida (KOH; *Merck*), akuades (H_2O), indikator fenolftalein ($C_{20}H_{14}O_4$; *Merck*), isopropil alkohol (C_3H_8O; *Merck*), dan nanokatalis CaO/NCC/PVA.

III.3 Prosedur kerja

III.3.1. Pencampuran Nanokatalis CaO/NCC/PVA

Nanokatalis CaO/NCC/PVA yang digunakan pada penelitian ini merupakan hasil sintesis dari penelitian Maulidhia Syifa (2025). Penulis tidak melakukan proses sintesis ulang katalis, melainkan hanya menggunakan katalis tersebut untuk proses reaksi transesterifikasi minyak *Pliek u*. Proses sintesis nanokatalis CaO/NCC/PVA pada penelitian Maulidhia Syifa (2025) dilakukan dengan cara mendispersikan sebanyak 2 gram PVA dilarutkan ke dalam 30 mL aquadest pada suhu 60 °C sambil diaduk secara homogen selama 3–4 jam hingga

PVA larut sempurna. Selanjutnya, 2 gram nanokristalin selulosa (NCC) ditambahkan ke dalam larutan PVA tersebut dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* hingga tercampur homogen. Setelah itu, ditambahkan 4 gram CaO dan pengadukan dilanjutkan pada suhu 60 °C hingga campuran homogen. Campuran kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 50 °C selama 12 jam hingga terbentuk film. Setelah kering, film dipotong menggunakan ukuran yang seragam (Talha & Sulaiman, 2018).

III.3.2. Analisis Asam Lemak Bebas

Kandungan FFA dalam sampel minyak perlu diketahui sebelum dilakukan transesterifikasi. Metode titrasi asam-basa digunakan guna menentukan kadar FFA dalam minyak *Pliek u*. Sebanyak 20 gram minyak *Pliek u* dimasukkan ke dalam erlenmeyer berkapasitas 250 ml. Berikutnya, ditambahkan 50 ml isopropil alkohol bersama dengan 2-3 tetes indikator fenolftalein, lalu digojokkan agar tercampur merata. Campuran larutan kemudian dilakukan titrasi menggunakan larutan kalium hidroksida (KOH) 0,1 M hingga terjadi perubahan warna. Dengan memanfaatkan rumus berikut, dapat diketahui kadar asam lemak (Khosa dkk., 2024).

$$\%\text{FFA}=\frac{V(ml)\ x\ C\ x\ M\ x\ 100}{1000\ X\ m\ (gram)}$$

Keterangan :

V : Volume (mL)

C : Konsentrasi KOH dalam molaritas

M : Berat molekul (asam laurat)

m : Massa (gram minyak)

III.3.3. Sintesis Biodiesel (Reaksi Esterifikasi dan Transesterifikasi)

Proses esterifikasi dilakukan sebagai tahap awal dari reaksi dua tahap untuk menurunkan kadar asam lemak bebas (*Free Fatty Acid*, FFA) dalam minyak *Pliek u*. Sebanyak 300 gram minyak *Pliek u* dimasukkan ke dalam labu leher tiga dan dipanaskan menggunakan *hot plate* hingga mencapai suhu 60 °C. Setelah suhu stabil, ditambahkan campuran metanol dan asam sulfat (H_2SO_4) dengan rasio molar metanol : minyak sebesar 6 : 1 dan konsentrasi katalis 2% terhadap berat minyak. Campuran tersebut kemudian diaduk dengan kecepatan 600 rpm selama 3 jam pada

suhu 60 °C untuk memastikan terjadinya reaksi esterifikasi secara homogen. Sisa metanol diuapkan dengan menggunakan *rotary evaporator*. Setelah proses tersebut, hasil esterifikasi dipisahkan dengan corong pemisah selama 24 jam. lalu ditambahkan 50-100 ml air suling ke dalam corong pisah dan dicuci berulang kali untuk mendapatkan minyak hasil esterifikasi. Dipanaskan selama 30 menit hingga semua air dalam minyak mengering. Berikutnya, lapisan yang memiliki metil ester diambil guna menganalisis kadar FFA dan untuk pemrosesan lebih lanjut dalam trasesterifikasi (Sharma dkk., 2021).

Dalam tahap transesterifikasi, 30 ml asam lemak yang berasal dari esterifikasi dicampurkan dengan metanol pada rasio metanol terhadap minyak (1:6, 1:9, atau 1:12) sesuai rancangan percobaan. Setelah itu, katalis CaO/NCC/PVA dengan variasi konsentrasi 0,5%; 1%; 1,5% dan 2% (berdasarkan berat minyak) ditambahkan ke campuran tersebut (Talha & Sulaiman, 2018; Zik dkk., 2020). Lalu, campuran dipanaskan pada suhu sebesar 61°C dengan waktu 90 menit. Biodiesel dan gliserol dihasilkan selama proses transesterifikasi. Setelah reaksi berakhir, katalis dipisahkan dari campuran reaksi menggunakan penyaringan vakum melalui corong *Büchner*. Kemudian lapisan gliserol dan biodiesel dipisahkan menggunakan corong pemisah. Sisa metanol diuapkan dengan menggunakan *rotary evaporator*. Biodiesel dicuci dengan air bersuhu 80℃ hingga diperoleh biodiesel yang murni. Biodiesel tersebut dipanaskan selama 30 menit hingga semua air dalam minyak mengering dan disaring. Hasil biodiesel dilakukan dengan rumus berikut seperti yang dijelaskan dalam studi sebelumnya (Khosa dkk., 2024).

$$\text{Persentase Rendemen (\%)} = \frac{Gram\ hasil\ biodiesel}{Gram\ minyak\ yang\ digunakan} \times 100$$

III.3.4. Identifikasi dan Interpretasi Sampel

III.3.4.1. Identifikasi dan Interpretasi data FTIR

Identifikasi gugus fungsi dalam minyak *pliek u* dengan katalis CaO/NCC/PVA yang menghasilkan biodiesel dilakukan dengan menggunakan FTIR. Filtrat hasil sintesis biodiesel dianalisis d di Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry, Banda Aceh (Zhang dkk., 2021).

III.3.4.2. Identifikasi dan interpretasi data GC-MS

Analisis sampel biodiesel menggunakan perangkat lunak GC (*PerkinElmer Clarus* 690) dan MS (*PerkinElmer Clarus* SQ 8 T) memudahkan identifikasi berbagai FAME (*fatty acid methyl ester*) di Laboratorium Terpadu, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh (Niu dkk., 2018).

III.3.5. Uji Biodiesel dari Minyak *Pliek U* dan Katalis CaO/NCC/PVA

III.3.5.1. Uji *Reusability*

Nanokatalis CaO/NCC/PVA digunakan pertama kali pada proses transesterifikasi untuk menghasilkan biodiesel dalam kondisi reaksi yang dioptimalkan. Kondisi ini meliputi penggunaan katalis 0,5 wt%, 1 w%, 1,5 wt%, dan 2 wt%, rasio metanol terhadap minyak 1:6, 1:9, dan 1:12, suhu reaksi 61°C, serta waktu reaksi 90 menit. Setelah periode reaksi berakhir, katalis dipisahkan dengan sentrifugasi dari campuran reaksi. Katalis yang sudah terpisahkan kemudian dibilas dengan metanol untuk menghilangkan kontaminan potensial pada permukaannya.

Setelah dibersihkan, katalis kemudian dikeringkan dengan suhu 100°C selama minimal 3 jam untuk memastikan penghilangan kelembapan secara menyeluruh. Setelah proses pengeringan, katalis yang diregenerasi diuji aktivitas katalitiknya dalam proses transesterifikasi yang sama. Prosedur ini diulang lima kali untuk menilai stabilitas katalis setelah beberapa kali penggunaan. Setiap siklus penggunaan ulang mengikuti kondisi reaksi yang sama. Biodiesel yang dihasilkan dari setiap siklus dicatat dan dibandingkan rendemen biodiesel (Khosa dkk., 2024).

III.3.5.2. Uji Densitas

Uji densitas dilakukan menggunakan piknometer yang sebelumnya sudah disterilkan dan dalam keadaan kering. Piknometer yang kosong ditimbang, kemudian bobotnya dicatat. Biodiesel dipanaskan hingga mencapai suhu 40 ℃. Selanjutnya, piknometer yang kosong diisi dengan biodiesel dan ditutup rapat untuk menghindari terbentuknya gelembung udara. Setelah itu, hasil piknometer yang berisi biodiesel dicatat. Densitas biodiesel kemudian dihitung memakai rumus yang sudah ditentukan sebelumnya (Hartono dkk., 2023).

$$\rho = \frac{w2-w1}{v\ (mL)}$$

Keterangan:

w1 = Berat piknometer kosong

w2 = Berat piknometer + sampel

v = Volume piknometer

III.3.5.3. Uji Viskositas

Pengukuran viskositas biodiesel dilakukan dengan viskometer NDJ-8. Prosesnya dimulai dari memanaskan biodiesel pada suhu 40 ℃ dan kemudian *spindle* dicelupkan ke dalam biodiesel. Akhirnya, nilai viskositas dicatat (Ulfin dkk., 2018).

III.3.5.4 Uji Bilangan Asam

Uji bilangan asam dilakukan menggunakan metode titrasi asam basa. Sebanyak 5 gram dicampurkan bersama 50 mililiter etanol 95%. Campuran tersebut lalu dipanaskan hingga biodiesel sepenuhnya larut. Setelahnya, dua tetes indikator PP ditambahkan, dan campuran tersebut dititrasi dengan KOH 0,1 M sampai larutan berubah menjadi merah muda dan mempertahankan warna itu selama 15 detik. Volume KOH standar yang digunakan dicatat. Bilangan asam kemudian dihitung dengan menggunakan rumus yang berlaku (Arimami dkk., 2018).

$$\text{Bilangan Asam} = \frac{\text{V KOH(mL)x C KOH x 56,11}}{\text{massa sampel (g)}}$$

Keterangan:

V KOH: Volume (mL)

C KOH: Konsentrasi (M)

Mr KOH: Massa molekul relatif (mg/mmol).

III.3.5.5. Uji Kadar Air

Sebuah sampel seberat 5 gram diambil, ditimbang, kemudian diletakkan dalam cawan yang sebelumnya telah dikeringkan dan telah diketahui bobotnya. Sampel bersama cawan tersebut kemudian dimasukkan dalam oven bersuhu 105 ℃ dalam jangka waktu 3 jam. Setelahnya, cawan didinginkan kembali dan kemudian

جامعة الرانري
AR-RANIRY

ditimbang hingga mencetak berat yang stabil. Kandungan air dihitung dengan menggunakan rumus berikut (Zhang dkk., 2021).

$$\text{Kadar air } (\%) = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \times 100\%$$

Keterangan:

W_1: Berat cawan kosong (g)

W_2: Berat cawan + sampel sebelum oven (g)

W_3: Berat cawan + sampel sesudah oven (g)

III.3.5.6. Uji Titik Nyala

Tuangkan sampel biodiesel sebanyak 10 ml ke dalam cawan porselen, panaskan di atas kaki tiga dengan bunsen, amati kenaikan suhu, catat saat muncul asap, dan catat saat sampel menyala pertama kali (ASTM, 2007).

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Data Hasil Pengamatan

IV.1.1 Hasil Variasi Konsentrasi Nanokatalis CaO/NCC/PVA terhadap Rendemen Biodiesel

Rendemen biodiesel hasil reaksi transesterifikasi minyak *Pliek u* yang diperoleh dari 12 percobaan dengan kombinasi variasi konsentrasi nanokatalis (0,5; 1; 1,5; 2 wt%) dan rasio molar metanol terhadap minyak (1:6, 1:9, 1:12) ditunjukkan pada Tabel IV.1

Tabel IV.1. Rendemen biodiesel pada variasi nanokatalis dan rasio metanol

Rasio Minyak: Rasio Metanol	Nanokatalis			
	0,5 wt%	1 wt%	1,5 wt%	2 wt%
1:6	68,15%	74,00%	70,01%	69,43%
1:9	88,10%	98,33%	93,75%	89,07%
1:12	74,24%	87,99%	83,70%	80,44%

IV.1.2 Hasil Variasi Konsentrasi Nanokatalis terhadap Parameter Mutu Biodiesel

Setelah kondisi optimum rasio metanol ditentukan, biodiesel hasil variasi konsentrasi nanokatalis (0,5; 1; 1,5; 2 wt%) diuji kualitasnya berdasarkan standar SNI 7182:2015.

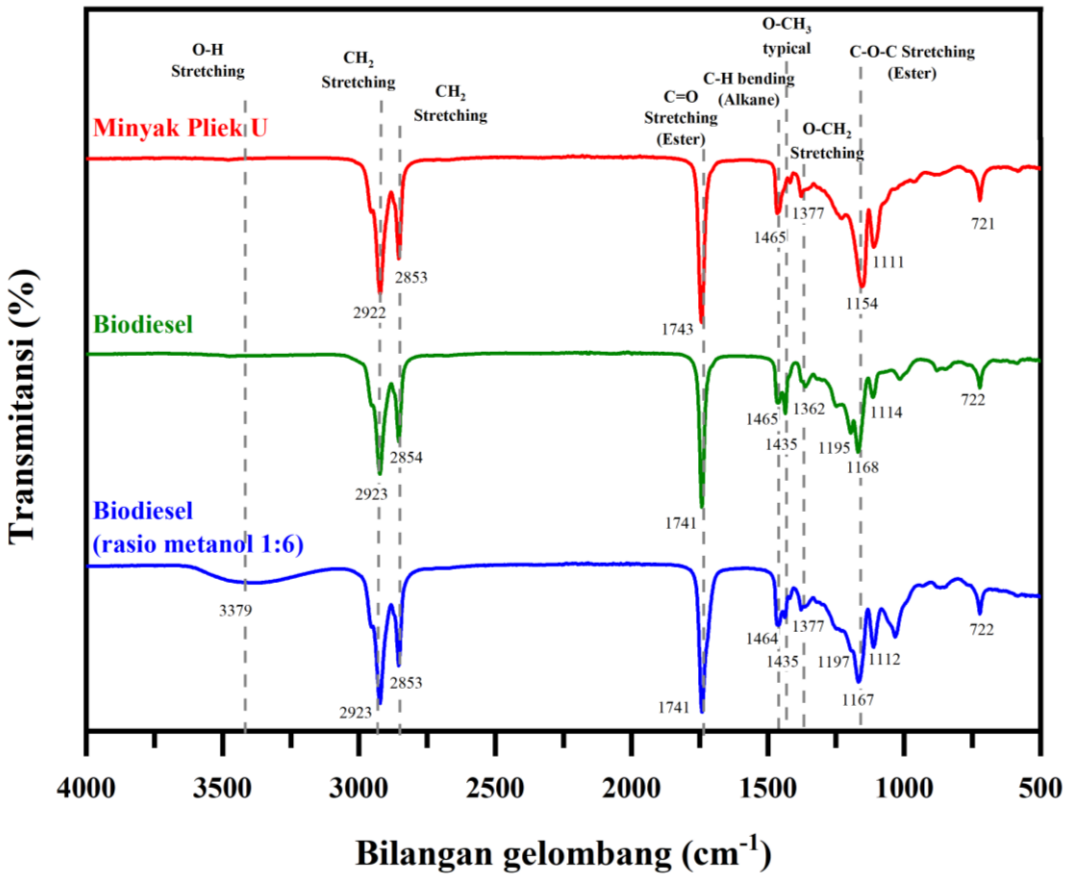
Tabel IV.2. Parameter mutu biodiesel pada variasi nanoakatalis (rasio metanol 1:9)

Nanokatalis (wt%)	Densitas (kg/m³)	Viskositas (*cSt*)	Bil. Asam (mg-KOH/g)	Kadar Air (%)	Titik Nyala (°C)
0,5	886,56	4,512	0,164	0,01798	150

1	876,22	4,1086	0,163	0,01797	150
1,5	879,9	4,2050	0,161	0,01797	149
2	883,48	4,4143	0,161	0,02	150
SNI 7182:2015	850-890	2,3-6,0	Maks 0,5	Maks 0,05	Min 100

IV.1.3 Hasil Spektrum FTIR

Analisis spektrum FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi perubahan gugus fungsi yang terjadi selama proses konversi minyak *Pliek u* menjadi biodiesel. Dari 12 variasi percobaan, analisis FTIR difokuskan pada biodiesel dengan rendemen tertinggi dan terendah sebagai sampel representatif, yaitu biodiesel pada kondisi optimum (rasio metanol 1:9, katalis 1 wt%) dan kondisi non-optimum (rasio metanol 1:6, katalis 0,5 wt%), sebagaimana disajikan pada Gambar IV.1.



Gambar IV.1. Spektra FTIR minyak *Pliek u*, biodiesel optimum (rasio metanol 1:9, katalis 1%), dan biodiesel non-optimum (1:6, katalis 0.5%)

Analisis puncak serapan FTIR dari masing-masing sampel dirangkum dalam tabel.

Tabel IV.3 Spektrum FTIR minyak *Pliek u*

No	Frekuensi (cm^{-1})	Jenis Vibrasi	Gugus Fungsi
1	2922	CH_2 *stretching*	Alkana
2	2853	CH_2 *stretching*	Alkana
3	1743	C=O *stretching*	Ester (trigliserida)
4	1465	C-H *bending*	Alkana (alifatik)
5	1377	O-CH2 *stretching*	*Glycerol*
6	1154	C–O–C *stretching*	Ester
7	1111	C–O *stretching*	Ester
8	721	$(CH_2)n$ *rocking*	Alkana

Tabel IV.4 Spektrum FTIR biodiesel kondisi optimum (rasio metanol 1:9, katalis 1 wt%) dengan rendemen tertinggi

No	Frekuensi (cm^{-1})	Jenis Vibrasi	Gugus Fungsi
1	2923	CH_2 *stretching*	Alkana
2	2854	CH_2 *stretching*	Alkana
3	1741	C=O *stretching*	Ester (FAME)
4	1465	C-H *bending*	Alkana
5	1435	O-CH3 *typical*	Methyl ester group
6	1362	C-O	Ester
7	1195	C-O/ O-CH3	Metil Ester

8	1168	C–O–C *stretching*	Ester
9	1114	C–O *stretching*	Ester
10	722	$(CH_2)n$ *rocking*	Alkana

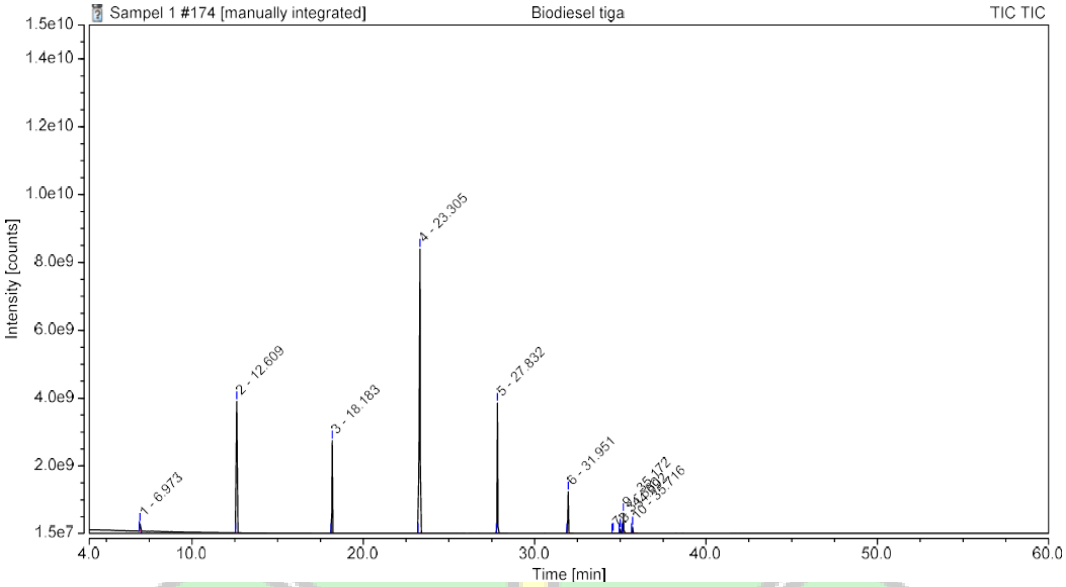
Tabel IV.5 Spektrum FTIR biodiesel kondisi non-optimum (rasio metanol 1:6, katalis 0,5 wt%) dengan rendemen terendah

No	Frekuensi (cm^{-1})	Jenis Vibrasi	Gugus Fungsi
1	3379	O–H *stretching*	Alkohol/Gliserol
2	2923	CH_2 *stretching*	Alkana
3	2853	CH_2 *stretching*	Alkana
4	1741	C=O *stretching*	Ester (FAME)
5	1464	C-H *bending*	Alkana
6	1435	O-CH3 *typical*	Methyl ester group
7	1377	O-CH2 *stretching*	*Glycerol*
8	1197	C-O/ O-CH3	Metil ester
9	1167	C–O–C *stretching*	Ester
10	1112	C–O *stretching*	Ester
11	722	$(CH_2)n$ *rocking*	Alkane

IV.1.4 Hasil Kromatogram *GC-MS* Biodiesel

IV.1.4.1 Hasil Kromatogram GC-MS Biodiesel Kondisi Optimum (Rasio Metanol 1:9, katalis 1 wt%)

Biodiesel dengan rendemen tertinggi pada kondisi optimum dianalisis menggunakan GC-MS untuk mengetahui profil metil ester pada biodiesel optimum. Kromatogram hasil analisis ditampilkan pada Gambar IV.2.



Gambar IV.2 Kromatogram GC-MS biodiesel kondisi optimum (rasio metanol 1:9, katalis 1 wt%)

Puncak-puncak utama pada kromatogram kemudian diidentifikasi berdasarkan *mass spectrum*. Hasil identifikasi senyawa FAME tersebut dirangkum pada Tabel IV.6.

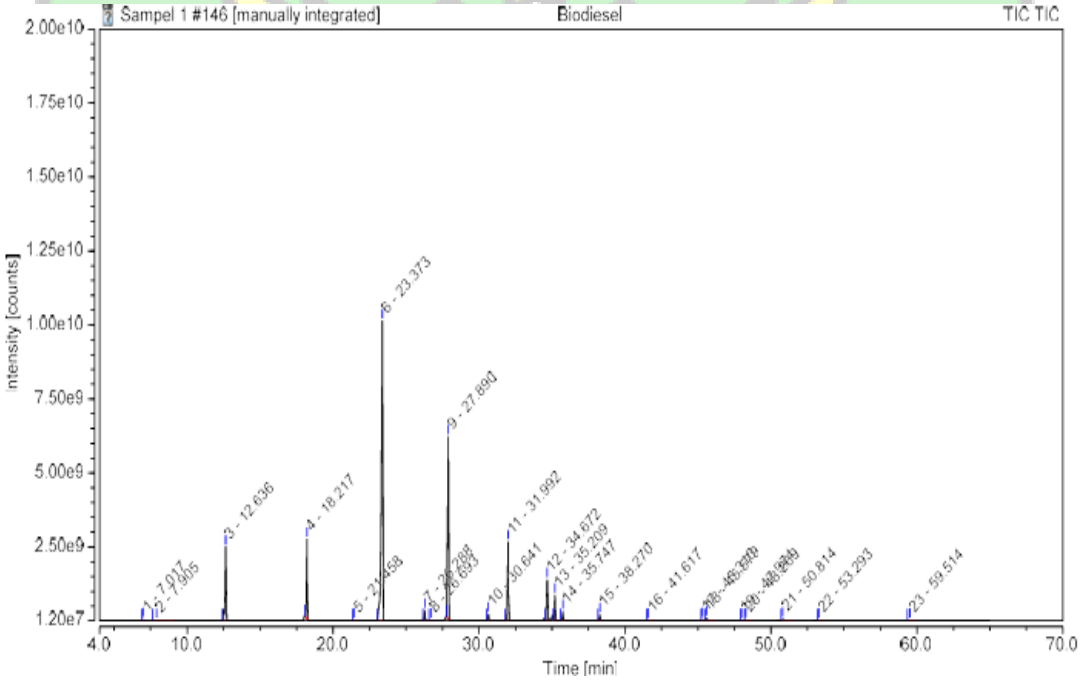
Tabel IV.6 Senyawa FAME teridentifikasi pada biodiesel kondisi optimum (rasio metanol 1:9, katalis 1 wt%)

Peak no	*Retention Time* (min)	Senyawa Teridentifikasi (FAME)	Area Relatif (%)	*Similarity Index* (SI)
1	6.973	*Hexanoic acid, methyl ester* (Metil kaproat)	0.72	832
2	12.609	*Octanoic acid, methyl ester* (Metil kaprilat)	15.03	902
3	18.183	*Decanoic acid, methyl ester* (Metil kaprat)	9.95	931
4	23.305	*Dodecanoic acid, methyl ester* (Metil laurat)	49.52	874
5	27.832	*Methyl tetradecanoate* (Metil miristat)	15.07	946

6	31.951	*Hexadecanoic acid, methyl ester* (Metil palmitat)	5.10	938
7	34.992	*Methyl 9-cis,11-trans-octadecadienoate* (Metil linoleat)	0.63	890
8	35.172	*9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester* (Metil oleat)	2.91	928
9	35.716	*Methyl stearate* (Metil stearat)	0.99	913
Total			99.92	

IV.1.4.1 Hasil Kromatogram GC-MS Biodiesel Kondisi Non-Optimum (Rasio Metanol 1:6, katalis 0,5 wt%)

Biodiesel dianalisis menggunakan GC-MS untuk mengetahui profil metil ester pada biodiesel. Kromatogram hasil analisis ditampilkan pada Gambar IV.3.



Gambar IV.3 Kromatogram GC-MS biodiesel kondisi non-optimum (rasio metanol 1:6, katalis 0,5 wt%)

Puncak-puncak utama pada kromatogram kemudian diidentifikasi berdasarkan mass spectrum. Hasil identifikasi senyawa FAME tersebut dirangkum pada Tabel IV.7.

Tabel IV.7 Senyawa FAME teridentifikasi pada biodiesel kondisi non-optimum (rasio metanol 1:6, katalis 0,5 wt%)

Peak no	*Retention Time* (min)	Senyawa Teridentifikasi (FAME)	Area Relatif (%)	*Similarity Index* (SI)
1	7.02	*Hexanoic acid, methyl ester* (Metil kaproat)	0.14	898
2	12.64	*Octanoic acid, methyl ester* (Metil kaprilat)	7.12	908
3	18.22	*Decanoic acid, methyl ester* (Metil kaprat)	5.37	942
4	23.37	*Dodecanoic acid, methyl ester* (Metil laurat)	52.73	861
5	27.89	*Methyl tetradecanoate* (Metil miristat)	17.38	939
6	31.99	*Hexadecanoic acid, methyl ester* (Metil palmitat)	6.13	944
7	35.21	*6-Octadecenoic acid, methyl ester, (Z)-* (Metil oleat)	1.81	925
8	35.75	*Methyl stearate*	0.81	922
Total			91.49	

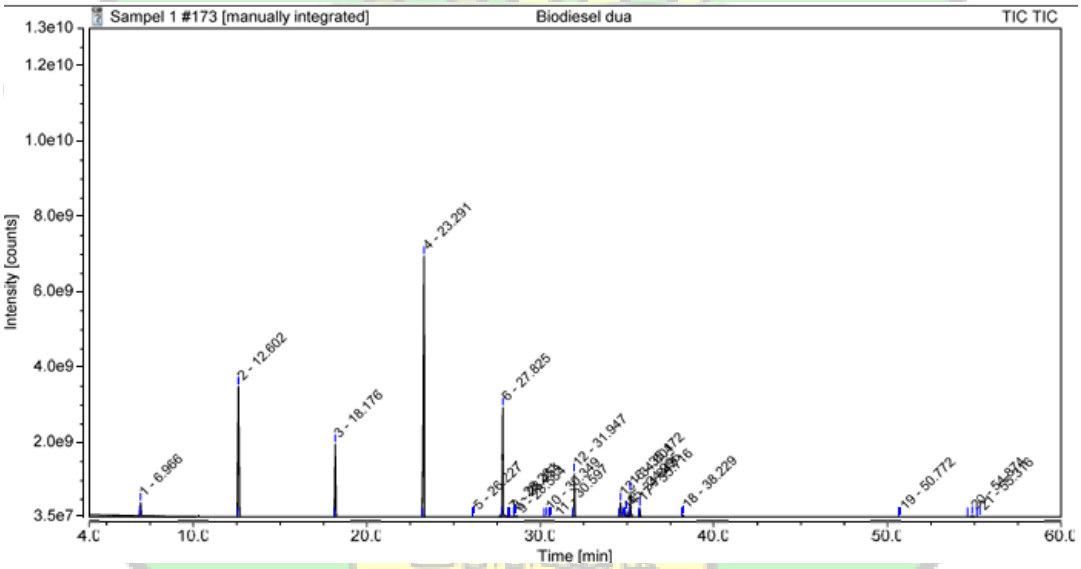
IV.1.5 Hasil *Reusability* Nanokatalis CaO/NCC/PVA

Setelah didapatkan kondisi optimum (1 wt%, rasio metanol 1:9) dilakukan pengujian *reusability* selama 5 kali siklus penggunaan. Hasil rendemen biodiesel ditunjukkan pada Tabel IV.8

Tabel IV.8. Rendemen biodiesel pada uji *reusability* nanokatalis (1 wt%, rasio metanol 1:9)

Siklus	Rendemen (%)
Pertama	98,33
Kedua	96,01
Ketiga	93,98
Keempat	93,56
Kelima	91,10

Sampel biodiesel pada siklus kelima dianalisis menggunakan GC-MS untuk mengidentifikasi profil metil ester yang terbentuk. Kromatogram hasil analisis ditampilkan pada Gambar IV.4.



Gambar IV.4 Kromatogram GC-MS biodiesel siklus kelima

Puncak-puncak utama pada kromatogram kemudian diidentifikasi berdasarkan mass spectrum. Hasil identifikasi senyawa FAME tersebut dirangkum pada Tabel IV.9.

Tabel IV.9 Senyawa FAME teridentifikasi pada biodiesel siklus kelima

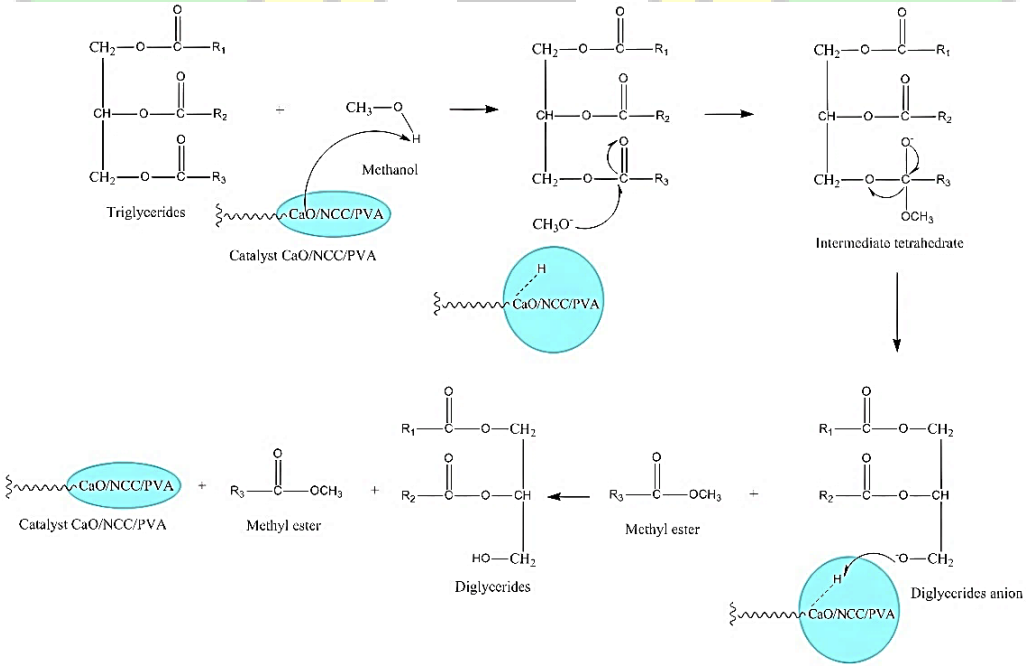
Peak no	*Retention Time* (min)	Senyawa Teridentifikasi (FAME)	Area Relatif (%)	*Similarity Index* (SI)

1	6.97	*Hexanoic acid, methyl ester* (Metil kaproat)	1.26	916
2	12.60	*Octanoic acid, methyl ester* (Metil kaprilat)	15.44	902
3	18.18	*Decanoic acid, methyl ester* (Metil kaprat)	8.43	937
4	23.29	*Dodecanoic acid, methyl ester* (Metil laurat)	45.09	885
6	27.83	*Methyl tetradecanoate* (Metil miristat)	13.33	940
7	28.26	*6-Octadecenoic acid, methyl ester (*Metil oleat*)*	0.03	807
8	28.45	*10-Octadecenoic acid, methyl ester* (Metil oleat isomer)	0.29	851
9	28.58	*6-Octadecenoic acid, methyl ester*, (Z)- (Metil oleat)	0.87	868
10	30.35	*Heptadecanoic acid, 16-methyl-, methyl ester* (Metil iso-stearat)	0.09	737
12	31.95	*Hexadecanoic acid, methyl ester* (Metil palmitat)	5.81	948
15	34.99	*9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester* (Metil linoleat)	0.95	904
16	35.17	*6-Octadecenoic acid, methyl ester, (Z)*- (Metil oleat)	3.98	921
17	35.72	*Methyl stearate*	1.49	915
	Total		97,06	

IV.2 Pembahasan

IV.2.1 Pengaruh Variasi Konsentrasi Nanokatalis terhadap Rendemen Biodiesel

Struktur komposit nanokatalis CaO/NCC/PVA berperan penting dalam meningkatkan efisiensi reaksi transesterifikasi. Komponen NCC (*Nanocrystalline Cellulose*) berfungsi sebagai penopang (*support material*) yang memperluas luas permukaan aktif katalis dengan menjaga penyebaran partikel CaO agar tetap merata. Mekanisme ini mengurangi potensi terjadinya aglomerasi partikel dan meningkatkan kontak antara katalis serta reaktan, sehingga memperbaiki proses transfer massa antara fase minyak dan metanol (Zik dkk., 2020). Sementara itu, PVA (*Polyvinyl Alcohol*) berperan sebagai pengikat polimer yang memperkuat kestabilan struktur katalis, mencegah pelarutan ion Ca^{2+} ke dalam fase metanol, serta mempertahankan aktivitas katalitik CaO selama reaksi berlangsung (Talha & Sulaiman, 2018; Ooi dkk., 2021). Kombinasi ketiga komponen tersebut menghasilkan nanokatalis heterogen dengan luas permukaan tinggi, serta kemudahan pemisahan dari produk akhir. Mekanisme reaksi transesterifikasi ditampilkan pada gambar IV.5.



Gambar IV.5 Reaksi transesterifikasi asam lemak dengan katalis CaO/CNC/PVA (Sumber: Pribadi)

Peningkatan performa katalis ini tercermin dari hasil rendemen biodiesel yang diperoleh pada variasi konsentrasi katalis. Peningkatan konsentrasi nanokatalis CaO/NCC/PVA dari 0,5 wt% menjadi 1 wt% menghasilkan kenaikan rendemen yang signifikan, yaitu dari 68,15–88,10% menjadi 74,00–98,33%. Bertambahnya jumlah katalis memperbanyak situs basa aktif CaO yang berperan dalam mengaktivasi molekul metanol selama proses transesterifikasi. Ion oksida (O^{2-}) pada permukaan CaO berinteraksi dengan molekul metanol membentuk ion metoksida (CH_3O^-), yang bertindak sebagai spesies nukleofilik aktif untuk menyerang gugus karbonil trigliserida dan menghasilkan metil ester (Boey dkk., 2009). Pembentukan ion CH_3O^- yang lebih intensif pada konsentrasi katalis tinggi mempercepat laju reaksi dan meningkatkan konversi trigliserida menjadi biodiesel. Hasil ini sejalan dengan penelitian Khosa dkk. (2020), yang melaporkan bahwa peningkatan jumlah katalis CaO/NCC hingga titik optimum mampu mempercepat laju reaksi karena meningkatnya ketersediaan situs basa aktif selama proses berlangsung. Temuan ini juga sesuai dengan penelitian Hanif dkk. (2023) yang menggunakan nanomagnetik katalis CaO/Fe_2O_3/feldspar dengan muatan katalis 1 wt%, dan memperoleh yield biodiesel sebesar 93,6%. Kondisi optimum tersebut menunjukkan bahwa pada beban katalis rendah, penyebaran partikel katalis lebih merata dan interaksi antar fasa minyak metanol lebih efektif, sehingga memaksimalkan konversi metil ester tanpa menyebabkan peningkatan viskositas atau pembentukan *slurry* dalam reaksi.

Namun, setelah mencapai konsentrasi optimum pada 1 wt%, penambahan katalis yang lebih tinggi tidak lagi meningkatkan rendemen secara signifikan. Bahkan, peningkatan hingga 2 wt% justru menyebabkan penurunan rendemen biodiesel pada seluruh variasi rasio metanol. Hal ini disebabkan karena jumlah katalis yang terlalu tinggi dapat meningkatkan viskositas campuran reaksi sehingga menyebabkan terbentuknya *slurry* sehingga proses pencampuran antara minyak, metanol, dan katalis menjadi tidak merata selama proses transesterifikasi (Mohammed dkk., 2023). Selain itu, kelebihan katalis dapat menimbulkan kesulitan pencampuran dan mengakibatkan penurunan produksi FAME akibat sebagian FAME teradsorpsi pada permukaan katalis serta meningkatnya reaksi penyabunan (Khan dkk., 2021; Nurhayati dkk., 2025). Reaksi saponifikasi ini terjadi ketika ion

Ca^{2+} dari CaO bereaksi dengan asam lemak bebas (FFA) membentuk sabun kalsium, yang kemudian melapisi permukaan katalis dan menghambat proses pemisahan antara biodiesel dan gliserol (Ooi dkk., 2021; Anbessie dkk., 2019).

Sistem nanokatalis CaO/NCC/PVA, meskipun CaO telah terdispersi dan terikat dalam matriks polimer, sebagian ion Ca^{2+} masih dapat terlepas melalui pori-pori NCC dan lapisan PVA, terutama pada suhu reaksi sekitar 60 °C. Menurut Takigawa dkk. (1992), PVA yang direndam dalam metanol dapat mengalami pembengkakan (*limited swelling*). Hal ini menjelaskan kemungkinan terjadinya pelepasan sebagian ion Ca^{2+} dari permukaan katalis, yang kemudian bereaksi dengan FFA dan menimbulkan sabun. Akibatnya, aktivitas katalitik menurun dan rendemen biodiesel berkurang, meskipun jumlah katalis yang digunakan lebih besar.

Rasio metanol terhadap minyak turut berpengaruh terhadap jumlah produk biodiesel yang dihasilkan. Secara stoikiometris, reaksi transesterifikasi membutuhkan tiga mol alkohol dan satu mol trigliserida untuk menghasilkan tiga mol ester asam lemak dan satu mol gliserol. Namun, karena reaksi ini bersifat kesetimbangan, maka berdasarkan Prinsip *Le Chatelier*, peningkatan jumlah metanol akan menggeser kesetimbangan ke arah pembentukan produk (Ma & Hanna, 1999). Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio metanol terhadap minyak sebesar 1:9 memberikan rendemen tertinggi dibandingkan dengan 1:6 dan 1:12. Kondisi ini sejalan dengan temuan Naveenkumar & Baskar (2019) yang memperoleh rasio optimum 9:1 untuk produksi biodiesel dengan konversi maksimum. Peningkatan rasio metanol yang moderat memperbesar kemungkinan tumbukan efektif antara molekul metanol dan trigliserida, sehingga meningkatkan konversi FAME. Namun, pada rasio metanol yang terlalu tinggi (≥1:9), rendemen biodiesel justru menurun karena sebagian gliserol larut kembali dalam fase metanol, yang mengganggu pemisahan antara fase biodiesel dan gliserol (Erchamo dkk., 2021).

IV.2.2 Variasi Konsentrasi Nanokatalis terhadap Parameter Mutu Biodiesel

IV.2.2.1 Pengaruh Variasi Nanokatalis terhadap Densitas Biodiesel

Densitas biodiesel yang dihasilkan pada berbagai variasi konsentrasi nanokatalis berada dalam rentang standar SNI 7182:2015 (850–890 kg/m³)**,** dengan

nilai berturut-turut sebesar 886,56 kg/m³ (0,5 wt%), 876,22 kg/m³ (1 wt%), 879,9 kg/m³ (1,5 wt%), dan 883,48 kg/m³ (2 wt%). Walaupun perbedaan densitas antarvariasi ini relatif kecil, pola yang terlihat menunjukkan bahwa konsentrasi katalis yang lebih rendah cenderung menghasilkan densitas yang sedikit lebih tinggi. Pada konsentrasi 0,5 wt%, densitas mencapai 886,56 kg/m³, yang merupakan nilai tertinggi pada penelitian ini. Nilai yang lebih tinggi ini disebabkan oleh keberadaan fraksi berat yang belum sepenuhnya terkonversi menjadi metil ester, seperti trigliserida, monogliserida, dan digliserida sebagaimana dijelaskan oleh Chattopadhyay dkk. (2011) bahwa komponen-komponen tersebut dapat tetap tersisa dalam campuran reaksi transesterifikasi. Selain itu, keberadaan senyawa pengotor seperti sisa gliserol juga dapat berkontribusi terhadap meningkatnya densitas biodiesel. Pada proses pemisahan menggunakan corong pisah, sebagian kecil gliserol masih berpotensi tertinggal di dalam fase biodiesel, dan karena gliserol memiliki densitas yang tinggi (1,26 g/mL), maka keberadaannya walaupun dalam jumlah kecil tetap dapat meningkatkan nilai densitas biodiesel (Ansori, 2025; Widyasanti dkk., 2017). Temuan ini konsisten dengan Beyene dkk. (2022) yang menyatakan bahwa konsentrasi katalis rendah dapat menyebabkan sebagian trigliserida tidak bereaksi, serta sejalan dengan penjelasan Novalina dkk. (2015) dan Ramadani dkk. (2023) bahwa semakin besar fraksi trigliserida tersisa dalam biodiesel, maka densitasnya akan meningkat. Dengan demikian, densitas yang lebih tinggi pada 0,5 wt% dapat dikaitkan dengan kemungkinan masih adanya komponen berat ataupun sisa gliserol, meskipun selisih densitas antarvariasi katalis secara keseluruhan tampak relatif kecil.

Pada penggunaan nanokatalis 1 wt%, densitas biodiesel yang diperoleh sebesar 876,22 kg/m³, yang sedikit lebih rendah dibandingkan kondisi 0,5 wt%. Nilai densitas yang menurun ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi katalis 1 wt% terjadi peningkatan konversi trigliserida menjadi metil ester, sehingga jumlah fraksi berat seperti trigliserida, digliserida, dan monogliserida menjadi lebih sedikit. Hal ini sejalan dengan temuan Novalina dkk. (2015) dan Ramadani dkk. (2023) yang menjelaskan bahwa semakin tinggi konversi, semakin kecil fraksi trigliserida tersisa, sehingga densitas biodiesel menurun karena metil ester memiliki densitas yang lebih rendah dibandingkan trigliserida. Namun, ketika konsentrasi katalis

dinaikkan menjadi 1,5 wt% dan 2 wt%**,** densitas biodiesel justru meningkat sedikit menjadi 879,9 kg/m³ dan 883,48 kg/m³. Kenaikan kecil ini dapat dikaitkan dengan terbentuknya sabun (*soap*) akibat reaksi antara katalis basa dan asam lemak bebas (FFA), di mana jumlah katalis yang lebih tinggi meningkatkan kecenderungan terjadinya saponifikasi. Sabun yang terbentuk dapat bertindak sebagai *emulsifier* yang menahan sebagian gliserol dalam biodiesel sehingga pemisahan fase tidak berlangsung sempurna. Akibatnya, sebagian komponen berat tetap tertahan dalam fase biodiesel dan menyebabkan densitas pada 1,5–2 wt% sedikit lebih tinggi dibandingkan 1 wt%. Hal ini sesuai dengan teori yang dilaporkan Chanakaewsomboon & Moollakorn (2021) bahwa peningkatan jumlah katalis dapat meningkatkan pembentukan sabun, dan sabun tersebut dapat memerangkap gliserol yang akhirnya memengaruhi densitas biodiesel.

Perubahan densitas biodiesel memengaruhi energi dan performa mesin. Densitas lebih tinggi (kg/m³) berarti energi per volume lebih besar, sehingga pembakaran bisa lebih efisien. Namun, jika densitas terlalu tinggi melebihi standar SNI-7182:2015, bahan bakar sulit disemprotkan secara merata ke mesin, sehingga pembakaran tidak sempurna dan dapat menimbulkan kerak. Sebaliknya, densitas terlalu rendah menurunkan energi per volume, sehingga mesin membutuhkan lebih banyak bahan bakar (Busyairi dkk., 2020).

IV.2.2.2 Pengaruh Variasi Nanokatalis terhadapViskositas Biodiesel

Hasil pengukuran viskositas biodiesel pada berbagai variasi konsentrasi nanokatalis menunjukkan nilai berturut-turut 4,512 *cSt* (0,5 wt%), 4,1086 *cSt* (1 wt%), 4,2050 *cSt* (1,5 wt%), dan 4,4143 *cSt* (2 wt%), semuanya masih berada dalam rentang standar SNI 7182:2015 (2,3–6,0 *cSt*). Pada konsentrasi katalis 0,5 wt%, viskositas tercatat paling tinggi, yaitu 4,512 *cSt*. Nilai ini dapat dikaitkan dengan rendahnya jumlah katalis yang tersedia untuk reaksi transesterifikasi, sehingga konversi trigliserida menjadi metil ester belum optimal. Akibatnya, sebagian fraksi berat tetap tersisa dalam campuran biodiesel. Selain itu, keberadaan sisa gliserol yang belum sepenuhnya dipisahkan juga berkontribusi terhadap peningkatan viskositas, mengingat gliserol memiliki kekentalan yang jauh lebih tinggi dibanding metil ester (Fernando dkk., 2007). Hal ini sejalan dengan teori Solikhah dkk., (2010) yang menyatakan bahwa viskositas biodiesel sangat dipengaruhi oleh

kemurnian dan tingkat konversi minyak menjadi metil ester. Dengan demikian, viskositas yang lebih tinggi pada 0,5 wt% dapat dijelaskan oleh keberadaan fraksi berat dan gliserol yang masih tersisa, meskipun nilai viskositas ini tetap berada dalam batas standar SNI.

Pada konsentrasi katalis 1 wt%, viskositas menurun menjadi 4,1086 *cSt*, yang menunjukkan bahwa peningkatan jumlah katalis mempercepat reaksi transesterifikasi sehingga konversi trigliserida menjadi metil ester lebih optimal. Penurunan ini menunjukkan berkurangnya fraksi berat dan gliserol tersisa, sehingga biodiesel akan lebih cair. Namun, ketika konsentrasi katalis dinaikkan menjadi 1,5–2 wt%, viskositas kembali sedikit meningkat (4,2050–4,4143 *cSt*). Kenaikan ini kemungkinan disebabkan oleh terbentuknya sabun akibat reaksi katalis basa dengan asam lemak bebas yang dapat menahan sebagian gliserol dalam fase biodiesel sehingga pemisahan fase tidak sepenuhnya sempurna yang kemudian memengaruhi viskositas biodiesel (Chanakaewsomboon & Moollakorn, 2021; Ramadani dkk., 2023). Penelitian ini sejalan dengan Pramitha dkk. (2016) yang menghasilkan biodiesel dari minyak kelapa dengan viskositas sebesar 3,13-4,33 *cSt*. Hasil penelitian ini menunjukkan viskositas biodiesel berada dalam rentang standar SNI 7182:2015. Viskositas melebihi standar dapat menyulitkan injeksi dan meningkatkan pembentukan risiko asap hitam, sedangkan viskositas yang terlalu rendah dapat menyebabkan kebocoran, dan konsumsi bahan bakar lebih boros (Erisna dkk., 2015).

IV.2.2.3 Pengaruh Variasi Nanokatalis terhadap Bilangan Asam Biodiesel

Bilangan asam biodiesel pada variasi beban katalis menunjukkan tren menurun, yaitu 0,164 mg KOH/g (0,5 wt%), 0,163 mg KOH/g (1,0 wt%), 0,161 mg KOH/g (1,5 wt%), dan 0,161 mg KOH/g (2,0 wt%). Seluruh nilai tersebut berada jauh di bawah batas maksimum 0,50 mg KOH/g sesuai SNI 7182:2015, sehingga biodiesel yang dihasilkan memenuhi spesifikasi mutu yang dipersyaratkan. Penurunan bilangan asam seiring peningkatan beban katalis menunjukkan bahwa semakin besar jumlah katalis yang digunakan, semakin banyak asam lemak bebas (FFA) yang bereaksi dengan katalis basa, sehingga sisa FFA dalam biodiesel semakin rendah. Meskipun penurunan yang terjadi relatif kecil, hasil ini tetap sesuai dengan penelitian Erisna dkk. (2015) bahwa FFA akan bereaksi dengan katalis basa

membentuk sabun, sehingga jumlah FFA dalam biodiesel berkurang dan nilai asam yang terukur menjadi lebih rendah (Gerpen, 2005). Nilai bilangan asam yang rendah menunjukkan kandungan asam lemak bebas yang minimal, sehingga biodiesel aman dari risiko korosi pada komponen mesin. Selain itu, bilangan asam rendah juga menunjukkan stabilitas kimia yang baik, karena biodiesel dengan bilangan asam tinggi lebih rentan mengalami degradasi selama penyimpanan (Longanesi dkk.,2021; Yesilyurt dkk., 2019). Nilai bilangan asam pada penelitian ini sejalan dengan laporan Sharma dkk. (2021) yang juga menghasilkan biodiesel dari minyak kelapa dengan nilai bilangan asam 0,16 mg KOH/g.

IV.2.2.4 Pengaruh Variasi Nanokatalis terhadap Kadar Air Biodiesel

Kadar air biodiesel pada penelitian ini berada pada rentang 0,0179–0,0200%, dan seluruhnya masih jauh di bawah batas maksimum 0,05% sesuai SNI 7182:2015. Hal ini menunjukkan bahwa biodiesel hasil transesterifikasi minyak *Pliek u* menggunakan nanokatalis CaO/NCC/PVA memiliki proses pemurnian yang baik dan menghasilkan biodiesel yang bersih dari sisa air. Kadar air rendah sangat penting karena keberadaan air dapat mempercepat reaksi hidrolisis yang akan meningkatkan bilangan asam dan menurunkan stabilitas kimia biodiesel selama penyimpanan. Selain itu kandungan air dalam biodiesel mendorong pertumbuhan mikroorganisme yang menyebabkan korosi yang dapat merusak komponen mesin. Oleh karena itu, kadar air yang sangat rendah pada penelitian ini menunjukkan bahwa biodiesel yang dihasilkan stabil dan aman digunakan. (Arumugama dkk., 2022; Yeşilyurt dkk., 2019).

IV.2.2.5 Pengaruh Variasi Nanokatalis terhadap Titik Nyala Biodiesel

Titik nyala biodiesel yang diperoleh pada penelitian ini berada pada kisaran 149–150 °C, dengan seluruh nilai tersebut berada jauh di atas batas minimum 100 °C sesuai standar SNI 7182:2015. Hal ini menunjukkan bahwa biodiesel hasil transesterifikasi minyak *Pliek u* menggunakan nanokatalis CaO/NCC/PVA memiliki tingkat keamanan penyimpanan dan penanganan yang sangat baik (Khalifeh & Esmaeili, 2020). Nilai titik nyala yang konsisten pada variasi beban katalis (0,5–2 wt%) menunjukkan bahwa perubahan jumlah katalis tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap volatilitas biodiesel. *Flash point* adalah suhu terendah di mana bahan bakar cair menghasilkan uap yang cukup untuk

membentuk campuran mudah terbakar di udara. Nilai *flash point* ini sangat dipengaruhi oleh sifat fisik bahan bakar, khususnya viskositas dan struktur molekul (Fu, 2019).

Minyak *Pliek u*, yang mengandung dominasi asam lemak jenuh dengan rantai lurus, memiliki viskositas relatif tinggi dibandingkan ester yang lebih tak jenuh. Rantai lurus pada asam lemak jenuh memungkinkan molekul saling tarik menarik lebih kuat, sehingga uap bahan bakar lebih sulit terbentuk pada suhu rendah. Sebaliknya, asam lemak tak jenuh dengan rantai melengkung menurunkan viskositas, dan lebih mudah menguap sehingga menghasilkan *flash point* yang lebih rendah Akibatnya, *flash point* biodiesel dari minyak *Pliek u* menjadi lebih tinggi dibanding biodiesel yang lebih kaya asam lemak tak jenuh, seperti OME atau LME (Ibadurrohman dkk., 2022).

Dalam konteks penelitian ini, kandungan jenuh yang tinggi pada minyak *Pliek u* menyebabkan biodiesel yang dihasilkan memiliki *flash point* tinggi, menandakan bahwa hampir seluruh sisa metanol telah terhilangkan setelah proses transesterifikasi dan pemurnian. Mengingat metanol memiliki flash point yang sangat rendah (sekitar 11–12 °C), keberadaannya dalam biodiesel dapat menurunkan angka *flash point* secara drastis.

IV.2.3 Analisis *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

Analisis spektrum FTIR digunakan untuk mengidentifikasi perubahan gugus fungsi yang terjadi selama proses konversi minyak *Pliek u* menjadi biodiesel. Pada minyak awal, pita serapan utama muncul pada 2922 dan 2853 cm^{-1} yang merupakan vibrasi CH_2 *stretching* dari rantai alkana, serta pita kuat pada 1743 cm^{-1} yang menunjukkan gugus karbonil (C=O) ester trigliserida. Pita lain seperti 1465 cm^{-1} (CH_2 bending), 1377 cm^{-1} (O–CH_2 gliserol) mono-, di-, dan trigliserida, serta 1154–1111 cm^{-1} (C–O–C ester) menegaskan struktur trigliserida minyak. Pola ini sejalan dengan Khosa dkk. (2024) dan Lamichhane dkk. (2020), yang melaporkan keberadaan pita gliserol pada 1377 cm^{-1} sebagai ciri khas minyak sebelum transesterifikasi.

Setelah dikonversi menjadi biodiesel optimum, terjadi perubahan signifikan pada beberapa pita serapan. Pergeseran pita karbonil dari 1743 cm^{-1} menjadi 1741 cm^{-1} menunjukkan terbentuknya gugus ester baru dari *fatty acid*

methyl ester (FAME). Selain itu, munculnya pita khas metil ester pada 1435 cm^{-1} yang merupakan sinyal khas CH_3–O pada biodiesel, yang sebelumnya tidak ada pada minyak, menjadi indikator utama keberhasilan reaksi transesterifikasi (Khosa dkk., 2024). keberadaan pita di sekitar 1362 cm^{-1} juga sejalan dengan posisi khas 1361 cm^{-1} untuk vibrasi gugus metil, sehingga mengonfirmasi terbentuknya metil ester dalam FAME (Naureen dkk., 2015). Perubahan lain yang sangat penting adalah terjadinya pemisahan pita C–O–C ester pada daerah sidik jari. Jika pada minyak hanya muncul satu pita pada 1154 cm^{-1}, maka pada biodiesel optimum pita tersebut terpecah menjadi dua puncak pada 1168 dan 1195 cm^{-1}. Pola pembelahan ini identik dengan yang dijelaskan dengan Lamichhane dkk. (2020), yang menegaskan bahwa hilangnya keterikatan struktur trigliserida menyebabkan perubahan energi vibrasi sehingga pita ester terbelah menjadi dua sinyal yang lebih tajam suatu indikator kuat terbentuknya FAME.

Biodiesel dengan rasio metanol 1:6, pola FAME masih terlihat melalui kemunculan pita 1741 cm^{-1}, 1464 cm^{-1}, 1435 cm^{-1}, dan pita ester 1167–1197 cm^{-1}. Namun, munculnya pita O–H pada 3379 cm^{-1} dan tetap adanya pita 1377 cm^{-1} yang menunjukkan bahwa konversi belum sempurna dan masih terdapat sisa gliserida atau metanol. Fenomena ini sesuai dengan uraian Lamichhane dkk. (2020) yang menyebut bahwa pita 1377 cm^{-1} seharusnya hilang sepenuhnya pada biodiesel murni.

IV.2.4 Analisis *Gas Cromatografy-Mass Spectrometry* (GC-MS)

IV.2.4.1 Analisis GC-MS Biodiesel (Rasio Metanol 1:9, katalis 1 wt%)

Analisis GC–MS terhadap biodiesel hasil transesterifikasi minyak *Pliek u* menggunakan nanokatalis CaO/NCC/PVA 1 wt% menunjukkan bahwa produk didominasi oleh metil ester dengan kemurnian total 99,92% FAME, memenuhi standar SNI 7182:2015 yang mensyaratkan minimum 96,5%. Nilai ini menegaskan bahwa reaksi transesterifikasi berlangsung hampir sempurna. Jika dibandingkan dengan penelitian Nurhayati dkk. (2025) yang menggunakan katalis CaO–SiO_2 sebesar 5 wt% dan menghasilkan FAME maksimum 97,44%, performa katalis pada penelitian ini tampak lebih unggul meskipun beban katalis lebih kecil dan kondisi operasi (rasio metanol: minyak 1:9 serta waktu reaksi ±90 menit) relatif serupa. Hal ini memperlihatkan bahwa kombinasi CaO, NCC, dan PVA menyediakan situs basa

aktif yang lebih luas dan mempercepat difusi reaktan, sehingga konversi dapat dicapai secara lebih efisien.

Profil FAME hasil analisis GC–MS menunjukkan dominasi metil laurat (49,52%) dan metil miristat (15,07%). Pola ini mencerminkan karakter intrinsik minyak *Pliek u*, yaitu minyak kelapa hasil fermentasi tradisional yang kaya akan asam laurat (C12:0) (Ariza, 2024). Temuan ini konsisten dengan laporan Azahra & Helmiyati (2020), yang menyatakan bahwa biodiesel dari minyak kelapa umumnya didominasi oleh fraksi metil laurat dan metil miristat. Selain metil laurat dan metil miristat, komponen FAME lainnya seperti metil kaproat (0,72%), metil kaprilat (15,03%), metil kaprat (9,95%), dan metil palmitat (5,10%) mencerminkan profil khas *medium chain fatty acids* (MCFA) dari minyak *Pliek u.*. Variasi panjang rantai C6–C16 ini menunjukkan bahwa seluruh fraksi trigliserida berhasil ditransesterifikasi dengan baik. Pola ini sesuai dengan penelitian Mandei dkk. (2020) dan Knothe (2009) yang menyatakan bahwa minyak kelapa dan produk olahannya secara alami mengandung MCFA dalam proporsi tinggi.

Kandungan asam lemak jenuh rantai sedang memberikan keuntungan signifikan terhadap kualitas biodiesel dari minyak *Pliek u.* Kehadiran asam lemak ini meningkatkan kestabilan oksidatif dan angka cetana, sehingga biodiesel berbasis minyak *Pliek u* memiliki performa pembakaran yang lebih baik dibandingkan biodiesel dari minyak nabati lain, termasuk minyak sawit. Hal ini dijelaskan oleh penelitian Sharma dkk. (2021), yang menunjukkan angka cetana biodiesel dari berbagai sumber seperti kelapa (62), sawit (60), karanja (55,4), jarak pagar (55,8), dan jarak kastor (42,1). Struktur rantai jenuh yang stabil dan bebas ikatan rangkap membuatnya tidak mudah teroksidasi, sehingga mengurangi pembentukan peroksida maupun senyawa degradasi lain selama penyimpanan. Dampaknya, biodiesel dari minyak *Pliek u* memiliki performa pembakaran yang lebih bersih, menghasilkan emisi lebih rendah, dan memiliki umur simpan yang lebih panjang (Sharma dkk., 2021; Knothe, 2009; Sidjabat, 2013).

FAME tak jenuh yang terdeteksi relatif kecil, yaitu *Methyl 9-cis,11-trans-octadecadienoate* (0,63%) dan metil oleat (2,91%). Isomer linoleat terkonjugasi tersebut umum dijumpai pada biomassa kelapa akibat fermentasi (Adenike dkk., 2019). Persentasenya yang rendah merupakan keunggulan tambahan karena

semakin sedikit FAME tak jenuh, semakin baik ketahanan oksidatif biodiesel. Hal ini semakin menegaskan bahwa biodiesel berbasis minyak *Pliek u* memiliki sifat penyimpanan dan stabilitas oksidasi yang lebih baik dibanding biodiesel dari minyak yang banyak mengandung asam lemak tak jenuh seperti asam oleat atau asam linoleat.

Kemunculan impuritas berupa *monoacylglycerol* (MAG) pada waktu retensi 34,580 menit dengan area hanya 0,08% mengindikasikan bahwa sebagian kecil trigliserida belum sepenuhnya bereaksi menjadi metil ester. Namun, kadarnya yang sangat rendah menunjukkan bahwa reaksi transesterifikasi berlangsung efektif dan hambatan kinetik terhadap fraksi tertentu dapat diabaikan. Nilai MAG sebesar 0,08% masih jauh di bawah batas 0,8% menurut SNI.

IV.2.4.2 Analisis GC-MS Biodiesel (Rasio Metanol 1:6, katalis 0,5 wt%)

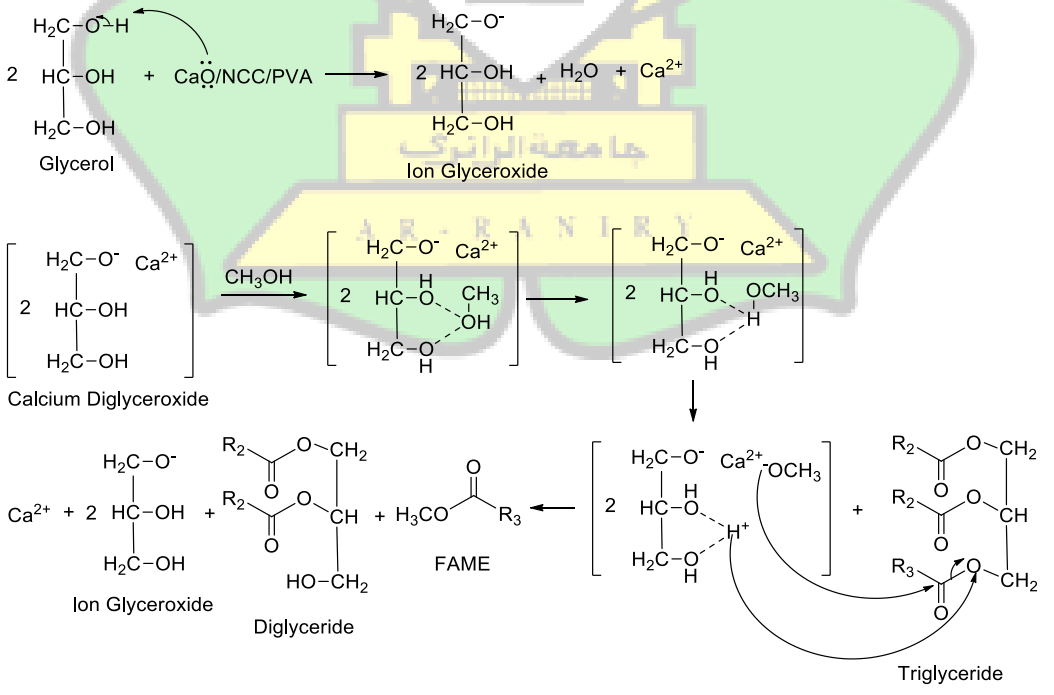
Hasil analisis GC–MS pada biodiesel dengan rasio metanol 1:6 dan katalis 0,5 wt% menunjukkan bahwa komponen utama yang terbentuk adalah senyawa FAME, namun masih disertai keberadaan gliserol dan turunan gliserida yang cukup dominan. Senyawa FAME terbesar yang terdeteksi adalah metil laurat (52,73%), diikuti metil miristat (17,38%), metil kaprilat (7,12%), metil palmitat (6,13%), metil kaprat (5,37%), serta metil oleat (1,81%). Dominasi metil laurat dan metil miristat menunjukkan bahwa reaksi transesterifikasi tetap berlangsung, meskipun tidak mencapai konversi penuh. Di sisi lain, keberadaan gliserol bebas (0,30%), monoester gliserol seperti *dodecanoic acid 2,3-dihydroxypropyl ester* (4,14%), serta beberapa diakil gliserol seperti *glycerin 1,2-dicaprylate* (0,91%) *dan rac-glycerol-1,3-dilaurate* (0,44%) mengindikasikan bahwa sebagian trigliserida, digliserida, dan monogliserida tidak sepenuhnya terkonversi. Senyawa-senyawa ester gliserida ini merupakan bukti karakteristik reaksi yang belum selesai, yaitu kondisi di mana ikatan ester trigliserida belum sepenuhnya terputus oleh metanol. Hasil GC–MS ini konsisten dengan analisis FTIR yang masih menunjukkan keberadaan pita gliserol pada 1377 cm^{-1} dan pita O–H pada 3379 cm^{-1}, yang menandakan sampel masih mengandung gliserol atau residu gliserida.

IV.2.5 *Reusability* Katalis

Pada uji *reusability* nanokatalis CaO/NCC/PVA, rendemen biodiesel menunjukkan penurunan secara bertahap dari siklus pertama hingga siklus kelima.

Pada penggunaan pertama, rendemen biodiesel mencapai 98,33%, yang mencerminkan kondisi katalis masih optimal dengan jumlah situs aktif yang masih penuh. Rendemen kemudian menurun sedikit pada siklus kedua menjadi 96,01% dan kembali berkurang pada siklus ketiga menjadi 93,98%. Penurunan ini masih tergolong kecil karena sebagian besar situs basa pada permukaan katalis CaO masih tersedia dan struktur katalis belum mengalami kerusakan signifikan. Pada siklus keempat, rendemen turun menjadi 93,56%, dan penurunan semakin terasa pada siklus kelima dengan nilai 91,10%. Penurunan aktivitas katalis terutama disebabkan oleh terjadinya *leaching* pada permukaan CaO.

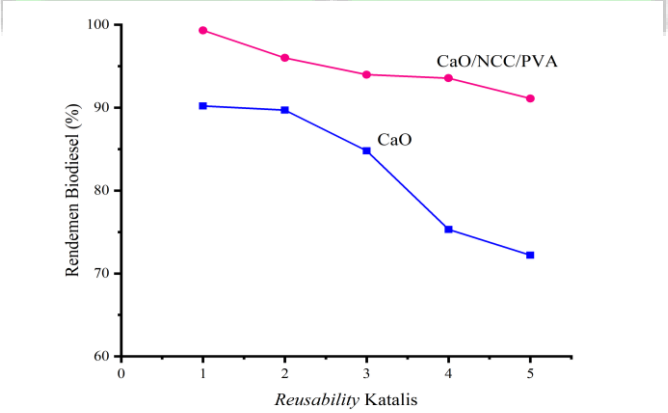
Pada proses transesterifikasi, ion O^{2-} pada permukaan CaO akan menarik atom hidrogen dari metanol dan membentuk ion metoksida (CH_3O^-). Reaksi ini melemahkan ikatan Ca–O sehingga sebagian Ca^{2+} larut ke dalam fase reaksi. Ketika Ca^{2+} ter*leaching*, struktur CaO menjadi tidak stabil dan situs basa kuat O^{2-} tidak dapat terbentuk kembali (Busyairi dkk., 2013). Selain itu, sebagian partikel CaO pada nanokatalis mengalami reaksi dengan gliserol membentuk *calcium glyceroxide* yang bersifat katalitik aktif. Namun, karena spesies ini lebih stabil pada fase gliserol, sebagian fase aktif tersebut ikut terbawa saat pemisahan gliserol, sehingga menyebabkan penurunan jumlah katalis efektif pada siklus reaksi berikutnya (Correia dkk., 2017).



Gambar IV.6 Mekanisme CaO bereaksi dengan gliserol hasil samping dalam produksi metil ester asam lemak (FAME)
(Sumber: Pribadi)

Secara mekanistik, CaO yang bereaksi dengan gliserol membentuk *calcium diglyceroxide* yang mengandung gugus –OH berdekatan sebagai situs basa aktif. Seperti ditunjukkan pada Gambar IV.6, dua gugus –OH pada *calcium diglyceroxide* mengabstraksi proton dari molekul metanol melalui pembentukan ikatan hidrogen intermolekuler, menghasilkan spesies aktif A dan B. Spesies alkoksida yang terbentuk selanjutnya menyerang gugus karbonil trigliserida, menghasilkan metil ester (biodiesel) dan gliserol (Ooi dkk., 2021).

Di sisi lain, membran PVA yang terlalu lama terpapar metanol dan minyak cenderung mengembang, sehingga sifatnya menjadi lebih hidrofobik dan membuat metanol sulit berinteraksi dengan permukaan katalis. Kondisi ini mengurangi kontak antara metanol dan situs aktif katalis, sehingga aktivitas katalis perlahan menurun dan berdampak pada penurunan rendemen biodiesel setiap kali siklus penggunaan (Zik dkk., 2020). Namun, potensi nanokatalis yang disiapkan untuk digunakan kembali dalam produksi biodiesel dapat mengurangi biaya bahan baku untuk keseluruhan produksi (Kirubakaran & Selvan, 2018). Ketika dibandingkan antara nanokatalis CaO/NCC/PVA dan CaO murni (Gambar IV.7), terlihat bahwa nanokatalis CAO/NCC/PVA memiliki *reusability* yang lebih baik dibandingkan CaO tanpa modifikasi. Tang dkk. (2013) melaporkan bahwa CaO yang dimodifikasi menggunakan bromooktana menunjukkan kinerja katalitik yang jauh lebih tinggi, dengan waktu reaksi hanya 2,5 jam dan konversi mencapai 99,8%, dibandingkan CaO tanpa modifikasi yang hanya menghasilkan konversi sekitar 35,4%.



Gambar IV.7 Perbandingan *reusability* nanokatalis CaO/NCC/PVA dengan CaO murni berdasarkan data yang dilaporkan oleh Amesho dkk. (2022)

Analisis GC-MS pada biodiesel *fresh* menunjukkan komposisi yang sangat murni, di mana FAME mendominasi hingga 99,9%, dengan puncak utama berupa metil laurat, metil miristat, dan FAME C8–C10 yang merupakan profil khas minyak kelapa (Knothe, 2009). Hasil ini menunjukkan bahwa katalis pada siklus pertama bekerja optimal dan mampu mengonversi trigliserida hampir sepenuhnya. Pada siklus kelima yang ditampilkan pada gambar IV.4, total area FAME menurun menjadi 97% dan mulai muncul peningkatan puncak non-FAME seperti *monoacylglycerol* (MAG), *diacylglycerol* (DAG). Kehadiran senyawa-senyawa ini menandakan bahwa reaksi transesterifikasi tidak lagi berjalan sempurna akibat penurunan aktivitas katalis. Pola ini sejalan dengan teori deaktivasi CaO, di mana Ca^{2+} mengalami leaching dan sebagian berubah menjadi *calcium diglyceroxide* sehingga mengurangi jumlah situs basa aktif.

BAB V
PENUTUP

IV.1 Kesimpulan

Berdasarkan data dan analisis yang diperoleh dalam penelitian in**i,** dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Variasi konsentrasi nanokatalis CaO/NCC/PVA (0,5 wt%, 1 wt%, 1,5 wt%, 2 wt%) berpengaruh terhadap rendemen biodiesel. Rendemen tertinggi diperoleh pada konsentrasi 1 wt% dengan rasio metanol terhadap minyak 1:9, yaitu 98,33%. Peningkatan konsentrasi di atas 1 wt% tidak meningkatkan rendemen secara signifikan dan justru menurun.
2. Biodiesel yang dihasilkan dari berbagai variasi konsentrasi nanokatalis memenuhi standar SNI 7182:2015. Semua parameter mutu densitas (876,22–886,56 kg/m³), viskositas (4,1086–4,512 *cSt*), bilangan asam (0,163–0,169 mg-KOH/g), kadar air (0,01797–0,02 %), dan titik nyala (149–150 °C) masih berada dalam batas maksimum atau minimum yang ditetapkan.
3. Nanokatalis CaO/NCC/PVA dapat digunakan kembali hingga 5 siklus penggunaan dengan penurunan aktivitas katalitik yang relatif kecil. Rendemen biodiesel pada siklus pertama 98,33% menurun menjadi 91,10% pada siklus kelima, menunjukkan bahwa nanokatalis masih cukup efektif untuk beberapa kali pemakaian ulang.

IV.2 Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas pengujian parameter biodiesel, termasuk angka setana, fosfor, dan parameter lain sesuai SNI 7182:2015, dan melakukan analisis dengan GC-FID.

DAFTAR PUSTAKA

Abed, K. A., Gad, M. S., El Morsi, A. K., Sayed, M. M., & Elyazeed, S. A. (2019). Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions. Egyptian Journal of Petroleum, 28(2), 183–188. https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2019.03.001

Abou El-Nour, K. M. M., Eftaiha, A., Al-Warthan, A., & Ammar, R. A. A. (2010). Synthesis and applications of silver nanoparticles. *Arabian Journal of Chemistry*, *3*(3), 135–140. https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2010.04.008

Adenike, A. A., Adegbola, P. I., & Fadahunsi, O. (2019). Antioxidant property and GCMS profile of oil extracted from Cocos nucifera using a fermentation method.

Alauhdin, M., Eden, W. T., dan Alighiri, D. (2021). Aplikasi spektroskopi inframerah untuk analisis tanaman dan obat herbal. Inovasi Sains dan Kesehatan, 4-4. https://doi.org/10.15294/.v0i0.15

Alfizatunnisa. (2023). Pengaruh Perbandingan Molar Minyak Dan Metanol Pada Sintesis Biodiesel Dari Minyak Plick U Menggunakan Katalis Cao Dari Cangkang Kerang Darah (Anadara Granosa) (Skripsi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry, Banda Aceh). Universitas Islam Negeri Ar-Rady

Al Ghifari, M. I., dan Samik, S. (2023). Pembuatan biodiesel Dengan Metode Transesterifikasi Menggunakan Katalis Berbahan Limbah Tulang. *UNESA Journal of Chemistry*, *12*(1), 1-11. https://doi.org/10.26740/ujc.v12n1.p1-11

Al-Hamid, F., Leiwakabessy, J., dan Bandjar, A. (2020). Analisis Komposisi Asam Lemak Pada Minyak Kelapa Fermentasi Dan Minyak Kelapa Tradisional. Molluca Journal of Chemistry Education (MJoCE), 2(1), 24–31. https://doi.org/10.30598/MJoCEvol9iss2pp99-108

Alsharifi, M., Znad, H., Hena, S., dan Ang, M. (2017). Produksi biodiesel dari minyak kanola menggunakan Li/TiO2 baru sebagai katalis heterogen yang disiapkan melalui metode impregnasi. *Energi Terbarukan* , *114* , 1077-1089. https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.07.117

Amesho, K. T. T., Lin, Y. C., Chen, C. E., & Cheng, P. C. (2022). Optimization and kinetics studies of biodiesel synthesis from Jatropha curcas oil under the application of eco - friendly microwave heating technique : an environmentally benign and sustainable bio - waste management approach. Sustainable Environment Research. https://doi.org/10.1186/s42834-022-00151-w

Anbessie, T., Mamo, T. T., & Mekonnen, Y. S. (2019). Optimized Biodiesel Production from Waste Cooking Oil (WCO) using Calcium Oxide (CaO) Nano- catalyst. 1–8. https://doi.org/10.1038/s41598-019-55403-4

Ansori, A. (2025). MICROWAVE-ASSISTED TRANSESTERIFICATION UNTUK PRODUKSI BIODIESEL DARI CALOPHYLLUM INOPHYLLUM L.: EFEK JENIS KATALIS DAN WAKTU TRANSESTERIFIKASI Ansori Ansori. 2(November), 176–194.

Ardiansah, Sabara, A. Z., dan Suryanto, A. (2020). Preparasi Katalis Dari Cangkang Telur Dengan Metode Impregnasi Untuk Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Kelapa. Journal Of Chemical Process Engineering, 5(1), 40–44. https://doi.org/10.33536/jcpe.v5i1.543

Arimami, Y.S., Syahrir, M., dan Putri, S.E. ((2024). Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Karakteristik Biodiesel Menggunakan Katalis ZnO/SiO_2 Daun Nanas. Jurnal Chemical. 25(2), 104-114. https://doi.org/10.35580/chemica.v25i2.66056

Ariza, S. S. (2024). *Pengaruh Konsentrasi CaO-ZnCl2 Sebagai Katalis Pada Sintesis Biodiesel dari Minyak Pliek U* (Doctoral dissertation, UIN Ar-Raniry Banda Aceh). Dikutip dari https://repository.ar-raniry.ac.id/id/eprint/36785/

Aryani, M., Marnita, M., Mariana, M., dan Muslim, A. (2022). Pengaruh Komposisi Katalis Cangkang Tiram pada Pembuatan Biodiesel dari Minyak Pliek-U. *Jurnal Inovasi Ramah Lingkungan*, *3*(2), 4. Dikutip dari https://jim.usk.ac.id/JIRL/article/view/26882

Aslan, V., Eryilmaz, T. (2020). Polynomial Regression Method for Optimization ff Biodiesel Production from Black Mustard (Brassica Nigra L.) Seed Oil Using Methanol, Ethanol, NaOH, and KOH. Energy, 209, 1-28. https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118386

Asia, C., Hutan, M. E., & Redd, M. (n.d.). CIFOR di Asia.

ASTM. (2007). Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester. Annual Book of ASTM Standards, i, 1–10.

Awogbemi, O., & Kallon, D. V. V. (2024). Recent advances in the application of nanomaterials for improved biodiesel, biogas, biohydrogen, and bioethanol production. Fuel, 358(Part B), 130261.

Azzahro, U. L., & Broto, W. (2022). Utilization of Waste Shells as Cao Catalyst in Biodiesel Production from Used Cooking Oil. Acta Chimica Asiana, 5(1), 147–152. https://doi.org/10.29303/aca.v5i1.69

Beyene, D., Abdulkadir, M., & Befekadu, A. (2022). Production of Biodiesel from Mixed Castor Seed and Microalgae Oils : Optimization of the Production and Fuel Quality Assessment. 2022. https://doi.org/10.1155/2022/1536160

Bharti, P., Singh, B., dan Dey R.K. (2019). Process optimization of biodiesel production catalyzed by CaO nanocatalyst using response surface methodology. Journal of Nanostructure in Chemistry, 9, 269–280. https://doi.org/10.1007/s40097-019-00317-w

Boey, P., Pragas, G., & Abd, S. (2009). Bioresource Technology Biodiesel production via transesterification of palm olein using waste mud crab (Scylla serrata) shell as a heterogeneous catalyst. Bioresource Technology, 100(24), 6362–6368. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.07.036

Busyairi, M., Za, A., & Meicahyanti, I. (2013). Potensi Minyak Jelantah Sebagai Biodiesel dan Pengaruh Katalis Serta Waktu Reaksi Terhadap Kualitas Biodiesel Melalui Proses Transesterifikasi. V(2), 933–940.

Cahyati, E. D., dan Pujaningtyas, L. (2017). *Pembuatan Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas dengan Proses Transesterifikasi Menggunakan Katalis KOH* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember). Dikutip dari https://repository.its.ac.id/44870/

Camalia, N., Habibah, U., Taris, G. A., Putri, N. D., Annisa, P., Alfiyani, A., dan Nurulita, B. (2023). POTENSI CAMPURAN MINYAK GORENG SISA DAN MINYAK JARAK PAGAR SEBAGAI BIODIESEL UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK BIOSOLAR. *SINERGI POLMED: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, *4*(1), 1-7. https://doi.org/10.51510/sinergipolmed.v4i1.975

Chanakaewsomboon, I., & Moollakorn, A. (2021). Biodiesel produced by homogeneous alkaline catalyst : effect of catalyst concentration on saponification reaction. 10, 1–5.

Chattopadhyay, S., Das, S., & Sen, R. (2011). Rapid and precise estimation of biodiesel by high performance thin layer chromatography. Applied Energy, 88(12), 5188–5192. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.07.027

Correia, L. M., Cecilia, J. A., Rodríguez-castellón, E., Loureiro, C., Jr, C., & Vieira, R. S. (2017). Relevance of the Physicochemical Properties of Calcined Quail Eggshell (CaO) as a Catalyst for Biodiesel Production. 2017. https://doi.org/10.1155/2017/5679512

Earlia, N., Prakoeswa, C. R. S., dan Rinaldi Idroes, K. (2023). Kajian in Silico dan Aplikasi Klinis Minyak Kelapa Tradisional Aceh Sebagai Terapi Adjuvant Pada Dermatitis Atopik. Syiah Kuala University Press. Banda Aceh.

Efendi, R., Faiz, H. A. N., dan Firdaus, E. R. (2018, October). Pembuatan Biodiesel Minyak Jelantah Menggunakan Metode Esterifikasitransesterifikasi Berdasarkan Jumlah Pemakaian Minyak Jelantah. In *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar* (Vol. 9, pp. 402-409). https://doi.org/10.35313/irwns.v9i0.1129

Erchamo, Y. S., Mamo, T. T., & Workneh, G. A. (2021). Improved biodiesel production from waste cooking oil with mixed methanol – ethanol using enhanced eggshell - derived CaO nano - catalyst. Scientific Reports, 1–12. https://doi.org/10.1038/s41598-021-86062-z

Erisna, D., Rahman, S. A., & Hadiah, F. (2015). Transesterification Process of Biodiesel with Potassium Glycerolate Catalyst. 1–8. https://doi.org/10.24845/ijfac.v9.i1.1

Fadhillah, G. N., dan Sari, D. A. (2023). Produksi biodiesel yang berbahan baku kelapa sawit dengan melibatkan katalis homogen dan heterogen. *Pena: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, *37*(2), 87-94. https://doi.org/10.31941/jurnalpena.v37i2.2484

Farooq, M., Ramli, A., dan Naeem, A. (2015). Produksi biodiesel dari minyak goreng bekas rendah FFA menggunakan katalis heterogen yang berasal dari tulang ayam. *Energi Terbarukan* , *76* , 362-368. https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.11.042

Febriana, I. D., Hamid, A., Jakfar, A., Abdullah, M., Rohmah, F., Purbaningtias, T. E., dan Wijaya, S. D. (2022). Pemanfaatan Batu Kapur Madura sebagai Katalis dalam Pembuatan Bioedesel dari Minyak Nyamplung. Indonesian Journal of Chemical Analysis (IJCA), 5(1), 09-17. https://doi.org/10.20885/ijca.vol5.iss1.art2

Fernando, S., Karra, P., Hernandez, R., & Kumar, S. (2007). Effect of incompletely converted soybean oil on biodiesel quality. 32, 844–851. https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.06.019

First, L., Septaningrum, L. R. D., Pangestuti, K., Jufrinaldi, R. H., dan Khosilawati, D. (2019). Sintesis dan karakteristik nano kalsium dari limbah tulang ayam broiler dengan metode presipitasi. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, *3*(2), 69-73. https://doi.org/10.32493/jitk.v3i2.3544

Foroutan, R., Esmaeili, H., Mousavi, S. M., Hashemi, S. A., & Yeganeh, G. (2019). The physical properties of biodiesel-diesel fuel produced via transesterification process from different oil sources. Physical Chemistry Research, 7(2), 415–424. https://doi.org/10.22036/pcr.2019.173224.1600

Fu, J. (2019). Flash points measurements and prediction of biofuels and biofuel blends with aromatic fluids. Fuel, 241(September 2018), 892–900. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.12.105

Gaaz, TS, Sulong, AB, Akhtar, MN, Kadhum, AAH, Mohamad, AB, & Al-Amiery, AA (2015). Properti dan aplikasi polivinil alkohol, nanotube halloysit, dan nanokompositnya. *Molekul* , *20* (12), 22833-22847. https://doi.org/10.3390/molecules201219884

Van Gerpen, J. (2005). Biodiesel production and fuel quality. Applied Engineering in Agriculture, 22(5), 787–793.

Handayani, N. W. Y. N., Simpen, I. N., dan Negara, I. M. S. (2022). Konversi Asam Oleat Menjadi Biodiesel Menggunakan Katalis Heterogen CaO Cangkang Kepiting Terembankan γ-Al_2O_3. *Jurnal Kimia (Journal of Chemistry)*. 16(2), 237-243. https://doi.org/10.24843/JCHEM.2022.v16.i02.p15

Hanif, M., Bhatti, I. A., Hanif, M. A., Rashid, U., Moser, B. R., Hanif, A., & Alharthi, F. A. (2023). Production of Biodiesel from Waste Oils. 1–14.

Harahap, R. A., Azhari, A., Meriatna, M., Sulhatun, S., dan Suryati, S. (2021). Penurunan Kadar Free Fatty Acid (FFA) Pada Crude Palm Oil (CPO) Dengan Proses Esterifikasi Menggunakan Katalis Asam Sulfat (H2SO4). *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, *1*(2), 56. https://doi.org/10.29103/cejs.v1i2.5458

Hartono, R., Denny, Y. R., Ramdhani, D. S., Assaat, L. D., Priakbar, A. W., dan Ribawa, W. H. (2023). Pembuatan biodiesel dengan reaktor bersirkulasi sederhana menggunakan katalis KOH. *Jurnal Teknologi*, *15*(1), 123-132. DOI : https://doi.org/10.24853/jurtek.15.1.123-132

Hasmizal, H. (2021). *Identifikasi Senyawa Trimiristin Pada Ampas Buah Pala (Myristica Fragrans Houtt) Daerah Aceh Selatan Dengan Menggunakan Gas Chromatography-Mass Spectrophotometry (Gc-Ms)*. (Doctoral dissertation, UIN Ar-raniry. Dikutip dari https://repository.ar-raniry.ac.id/id/eprint/18256/

Helmiyati, H., Budiman, Y., Abbas, GH, Dini, FW, dan Khalil, M. (2021). Sintesis biodiesel yang sangat efisien dengan katalis nanokomposit selulosa@hematit-zirkonia. *Heliyon* (Artikel Jurnal) , *7* (3). Doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e06622

Hidayati, N. (2017). Transesterifikasi Minyak Goreng Bekas menjadi Biodiesel dengan Katalis Kalsium Oksida. *Jurnal teknologi bahan alam* , *1* (1), 1-5. Dikutip dari https://journals.ums.ac.id/index.php/jtba/article/view/JTBA-0001/3200

Ibadurrohman, I. A., Hamidi, N., & Yuliati, L. (2022). The role of the unsaturation degree on the droplet combustion characteristics of fatty acid methyl ester. Alexandria Engineering Journal, 61(3), 2046–2060. https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.07.038

Jalma, MD, dan Zachreini, I. (2016). Efektivitas Hambatan Senyawa Ekstrak Kasar Pliek U Patarana) terhadap Pertumbuhan Salmonella typhi in vitro. Dikutip dari https://doi.org/10.55175/cdk.v43i6.66

Karim, J. A. (2023). *Analisis Gugus Fungsi dan Porositas Batuan menggunakan metode Fourier Transform Infrared (FTIR) dan Scanning Electron*

Microscope (SEM) di Toraja, Sulawesi Selatan (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin). Dikutip dari https://repository.unhas.ac.id/id/eprint/31306/

Khaidir, K. (2015). Pengolahan ampas kelapa dalam menjadi biodiesel pada beberapa variasi konsentrasi katalis kalium hidroksida (KOH). *Jurnal Samudera*, *9*(1), 77-92. Dikutip dari https://repository.unimal.ac.id/2026/

Khalifeh, R., & Esmaeili, H. (2020). Biodiesel production from goat fat using calcium oxide nanocatalyst and its combination with diesel fuel to improve fuel properties. International Journal of Sustainable Engineering, 14(5), 1–10. https://doi.org/10.1080/19397038.2020.1780336

Khan, K., Ul-haq, N., Rahman, W. U., Ali, M., Rashid, U., & Ul-haq, A. (2021). Comprehensive Comparison of Hetero-Homogeneous Catalysts for Fatty Acid Methyl Ester Production from Non-Edible Jatropha curcas Oil.

Khosa, S., Rani, M., Saeed, M., Ali, S. D., Alhodaib, A., dan Waseem, A. (2024). A green nanocatalyst for fatty acid methyl ester conversion from waste cooking oil. *Catalysts*, *14*(4), 244. https://doi.org/10.3390/catal14040244

Kirubakaran, M., & V, A. M. S. (2018). PT SC. Biochemical Pharmacology. https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.06.027

Knothe, G. (2009). Improving biodiesel fuel properties by modifying fatty ester composition†. Energy Environ. Sci, 759–766.

Lamichhane, G., Khadka, S., Adhikari, S., Koirala, N., dan Poudyal, D. P. (2020). Biofuel production from waste cooking oils and its physicochemical properties in comparison to petrodiesel. Nepal Journal of Biotechnology, 8(3), 87-94. http://dx.doi.org/10.3126/njb.v8i3.33661

Lestari, N., dan Cahyaningrum, S. E. (2022). Synthesis and Characterization of Hydroxyapatite—Nanosilver as Anti Bacteria that Cause Dental Caries. Indonesian Journal of Chemical Science, 11(1), 33–40. Dikutip dari http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs

Li, Y., Cao, H., Liu, W., & Liu, P. (2022). Chemosphere Effective degradation of tetracycline via recyclable cellulose nanofibrils / polyvinyl alcohol / Fe 3 O 4 hybrid hydrogel as a photo-Fenton catalyst. *Chemosphere*, *307*(P1), 135665. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135665

Longanesi, Luca & Prates Pereira, Andre & Johnston, Nigel & Chuck, Christopher. (2021). Oxidative stability of biodiesel: recent insights. Biofuels, Bioproducts and Biorefining. 16. 10.1002/bbb.2306.

Ma, F., & Hanna, M. A. (1999). Biodiesel production : a review 1. 70, 1–15.

Mandei, J. H., Edam, M., Assah, Y., Makalalag, A., Silaban, D., Raya, J., Paniki, M., & Manado, D. (2020). Disetujui: 21-12-2020. 14(2), 309–319.

Mani, D., Kalpana, M. S., Patil, D. J., dan Dayal, A. M. (2017). Organic Matter in Gas Shales: Origin, Evolution, and Characterization. Origin, Evolution, and Characterization. In Shale Gas: Exploration and Environmental and Economic Impacts. Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809573-7.00003-2

Mangkuasih, S. M., & Rohmawati, L. (2021). Sintesis Hidroksiapatit dari Tulang Ikan Sapu-Sapu (Hypostomus plecostomus) dengan Metode Presipitasi. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 229-236. Dikutip dari https://jtaf.fmipa.unila.ac.id/index.php/jtaf/article/view/366

Marinković, D. M., Stanković, M. V., Veličković, A. V., Avramović, J. M., Miladinović, M. R., Stamenković, O. O., Veljković, V. B., & Jovanović, D. M. (2016). Calcium oxide as a promising heterogeneous catalyst for biodiesel production: Current state and perspectives. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 56(April), 1387–1408. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.007

Mazaheri, H., Ong, H. C., Amini, Z., Masjuki, H. H., Mofijur, M., Su, C. H., Badruddin, I. A., & Yunus Khan, T. M. (2021). An overview of biodiesel production via calcium oxide based catalysts: Current state and perspective. Energies, 14(13), 1–23. https://doi.org/10.3390/en14133950

Miskah, S., Aprianti, T., Agustien, M., Utama, Y., & Said, M. (2020). Biodiesel synthesis from used cooking oil using calcium oxide (cao) catalyst from chicken bones. AIP Conference Proceedings, 2248(July). https://doi.org/10.1063/5.0018912

Mohammed, A. K., Alkhafaje, Z. A., & Rashid, I. M. (2023). Heliyon Heterogeneously catalyzed transesterification reaction using waste snail shell for biodiesel production. Heliyon, 9(6), e17094. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17094

Mumtaz, MW, Adnan, A., Mukhtar, H., Rashid, U., dan Danish, M. (2017). Produksi biodiesel melalui transesterifikasi kimia dan biokimia: Tren, teknis, dan prospek masa depan. Dalam *Energi bersih untuk pembangunan berkelanjutan* (hlm. 465- 485). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805423-9.00015-6

Naureen, R., Tariq, M., Yusoff, I., Jalal, A., Chowdhury, K., & Ashraf, M. A. (2015). Synthesis , spectroscopic and chromatographic studies of sunflower oil biodiesel using optimized base catalyzed methanolysis. Saudi Journal of Biological Sciences, 22(3), 332–339. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.11.017

Naveenkumar, R., & Baskar, G. (2019). Bioresource Technology Biodiesel production from Calophyllum inophyllum oil using zinc doped calcium

oxide (Plaster of Paris) nanocatalyst. Bioresource Technology, 280(January), 493–496. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.02.078

Niazi, M. B. K., Jahan, Z., Berg, S. S., dan Gregersen, Ø. W. (2017). Mechanical, thermal and swelling properties of phosphorylated nanocellulose fibrils/PVA nanocomposite membranes. *Carbohydrate Polymers*, *177*, 258–268. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.08.125

Niu, S., Ning, Y., Lu, C., Han, K., Yu, H., & Zhou, Y. (2018). Esterification of oleic acid to produce biodiesel catalyzed by sulfonated activated carbon from bamboo. Energy Conversion and Management. 163, 59–65. doi:10.1016/j.enconman.2018.02.055.

Novalina, P., Herawan, T., Kimia, D. T., Teknik, F., Sumatera, U., Utara, S., Penelitian, P., & Sawit, K. (2015). PENGARUH VARIASI VARIABEL REAKSI PADA PROSES EKSTRAKSI. 4(4), 18–24.

Nurhayati, N., Muhdarina, M., Linggawati, A., & Siregar, S. S. (2025). Synthesis and Characterization of CaO-SiO 2 Heterogeneous Catalyst of Blood Cockle Shells and Coconut Fiber Ash for Biodiesel Production from Crude Palm Oil. 25(4), 998–1011. https://doi.org/10.22146/ijc.91444

Oko, S., Syahrir, I., & Irwan, M. (2018). The Utilization of CaO Catalyst Impregnated with KOH in Biodiesel Production from Waste Cooking Oil. *Int. J. Sci. Technol. Res*, *7*, 115-118. http://dx.doi.org/10.31940/logic.v19i2.1318

Ooi, H. K., Koh, X. N., Ong, H. C., Lee, H. V., Mastuli, M. S., Taufiq-yap, Y. H., Alharthi, F. A., Alghamdi, A. A., & Mijan, N. A. (2021). Progress on Modified Calcium Oxide Derived Waste-Shell Catalysts for Biodiesel Production. 1–26.

Pawar, R., Jagadale, K., Gujar, P., Barade, V., & Solankure, B. (2018). A comprehensive review on influence of biodiesel and additives on performance and emission of diesel engine. Chemical Engineering Transactions, 65, 451–456. https://doi.org/10.3303/CET1865076

Pramanik, A., Chaudhary, A. A., Sinha, A., & Chaubey, K. K. (2023). Nanocatalyst-Based Biofuel Generation : An Update , Challenges and Future Possibilities.

Pramitha, R. I., Haryanto, A., & Triyono, S. (2016). PENGARUH PERBANDINGAN MOLAR DAN DURASI REAKSI TERHADAP RENDEMEN BIODIESEL DARI MINYAK KELAPA (Coconut Oil) EFFECT OF MOLAR AND COMPARATIVE duration Reaction To RENDEMEN FROM COCONUT OIL BIODIESEL (Coconut Oil). 5(3), 157–166.

Priscilla, T., Irwan, M., dan Arifin, Z. (2024). Sintesis Biodiesel Dari Minyak Jelantah Dalam Reaktor Ultrasonik. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, *5*(1), 44-56. https://doi.org/10.14710/jebt.2024.21938

Putra, D. A., Meriatna, M., Suryati, S., dan Zulmiardi, Z. (2022). Pembuatan Zat Emulsifier dari Minyak Pliek U dengan Katalis NaOH. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, *11*(1), 22-31. https://doi.org/10.29103/jtku.v11i1.7246

Rabie, AM, Shaban, M., Abukhadra, MR, Hosny, R., Ahmed, SA, dan Negm, NA (2019). Diatomit yang didukung oleh nanokomposit CaO/MgO sebagai katalis heterogen untuk produksi biodiesel dari minyak goreng bekas. *Jurnal Cairan Molekuler* , *279* , 224-231. https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.01.096

Ramadani, Azhari*, Rizka Mulyawan, Nasrul Za, L. H. (2023). Journal of Biodiesel Research and Innovation (J-Brain). 1(September), 9–16.

Ramadhani, R. A., Riyadi, D. H. S., Triwibowo, B., dan Kusumaningtyas, R. D. (2017). Review pemanfaatan design expert untuk optimasi komposisi campuran minyak nabati sebagai bahan baku sintesis biodiesel. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, *1*(1), 11-16. https://doi.org/10.33795/jtkl.v1i1.5

Reddy, M. S. B., Ponnamma, D., Choudhary, R., & Sadasivuni, K. K. (2021). A comparative review of natural and synthetic biopolymer composite scaffolds. *Polymers*, *13*(7), 1105. https://doi.org/10.3390/polym13071105

Romadhona, S. L., Masyhur, A. Z., Yuliantika, S. F., Hamdani, D. F., Rijaal, F. A., dan Mirzayanti, Y. W. (2024). Perkembangan Biodiesel di Indonesia: Review Regulasi dan Perspektif pada Masa Mendatang. In *Prosiding SENASTITAN: Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan* (Vol. 4). Dikutip dari https://ejurnal.itats.ac.id/senastitan/

Safraini, A. R. (2024). *Sintesis Biodesel Dari Minyak Pliek U Menggunakan Katalis Cao Langkitang (Faunus Ater) Impregnasi Zncl2* (Doctoral dissertation, UIN Ar-Raniry Fakultas Sains dan Teknologi). Dikutip dari https://repository.ar-raniry.ac.id/id/eprint/39753/

Sharma, V., Hossain, A. K., & Duraisamy, G. (2021). Experimental investigation of neat biodiesels' saturation level on combustion and emission characteristics in a ci engine. Energies, 14(16), 1–18. https://doi.org/10.3390/en14165203

Salsabila, H. M. (2023). *Karakterisasi metil ester (biodiesel) dari alga merah (gracilaria verrucosa) hasil transesterifikasi menggunakan katalis KOH dengan variasi waktu reaksi* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim). Dikutip dari http://etheses.uin-malang.ac.id/59373/

Septianti, SA, Andryani, SD, dan Parapat, RY (2022). Sintesis Nanokatalis ZnO dengan Support Nanomineral untuk Pirolisis Asbuton Menjadi Bahan Bakar Cair. *e-Prosiding FTI* . Itenas Bandung. Dikutip dari https://eproceeding.itenas.ac.id/index.php/fti/article/view/1602

Setyawardhani, D. A., Widiasri, A. T. Y., dan Rahman, M. (2021). Uji karakteristik pencampuran biodiesel minyak jelantah dan biodiesel minyak kesambi. *Jurnal Integrasi Proses*, *10*(2), 68-76. Dikutip dari https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jip/article/view/12213

Sidjabat, O. (2013). Influence of Feedstocks in Biodiesel Production on Its Physico-Chemical Properties of Product: a Review Pengaruh Bahan Baku Dalam Produksi Biodiesel Terhadap Sifat Fisika-Kimia Produknya: Suatu Tinjauan. Scientific Contributions Oil and Gas, 36(3), 105–122.

Sivashankar Arumugama, Ravikumar Muthaiyanb, S. R. (n.d.). ASSESSMENT OF OXIDATIVE STABILITY OF BIODIESEL AND BIODIESEL. 2022, 1–45.

Solikhah, M. D., Amri, K., Fariza, O., & Paryanto, I. (2010). Relations Between Parameters in SNI Biodiesel : Total Glycerol , Ester Content , Relations Between Parameters in SNI Biodiesel : Total Glycerol , Ester Content , Viscosity and Temperature Distillation on Biodiesel from Palm Oil and Jatropha. October. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4528.5922

Sulaiman, S., Jamaludin, N. F. A., dan Kabbashi, N. A. (2019). Development of CaO/PVA catalyst from fish bone for biodiesel production. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering dan Catalysis*, *14*(1), 153-157. https://doi.org/10.9767/bcrec.14.1.3327.153-157

Suryandari, A. S., Ardiansyah, Z. R., Nurmala, V., Putri, A., Arfiansyah, I., Mustain, A., Dewajani, H., dan Mufid. (2021). Sintesis Biodiesel melalui Transesterifikasi Minyak Goreng Bekas Berbasis Katalis Heterogen CaO dari Limbah Cangkang Telur Ayam. Jurnal Rekayasa Bahan Alam Dan Energi Terbarukan, 5(1), 22– 27.

Suzihaque, MUH, Alwi, H., Ibrahim, UK, Abdullah, S., dan Haron, N. (2022). Produksi biodiesel dari minyak goreng bekas: Tinjauan singkat. *Materials Today: Prosiding* , *63* , S490-S495. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.527

Syafitri, M., dan Mustikaningru, M. (2024). In situ Transesterification For Biodiesel Production With Variation In Feedstock Mass Effects on Biodiesel Characteristics. Jurnal Integrasi Proses dan Lingkungan, 1 (2), 66-72. http://ejournal.ft.umg.ac.id/index.php/jtk

Takigawa, T., Kashihara, H., Urayama, K., & Masuda, T. (1992). Structure and mechanical properties of poly(vinyl alcohol) gels swollen by various solvents. 33(11), 2334–2339.

Talha, N. S., dan Sulaiman, S. (2018). In situ transesterification of solid coconut waste in a packed bed reactor with CaO/PVA catalyst. *Waste Management*, *78*, 929–937. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.07.015

Tajalla, GUN, Humaira, S., Parmita, AWYP, dan Zulfikar, A. (2019). Pembuatan dan Karakterisasi Selulosa dari Limbah Serbuk Meranti Kuning (Shorea macrobalanos). *J. Sains Terap* , *5* (1), 142-147. Dikutip dari https://jurnal.poltekba.ac.id/index.php/jst/article/download/704/504

Tang, Y., Xu, J., Zhang, J., & Lu, Y. (2013). Biodiesel production from vegetable oil by using modi fi ed CaO as solid basic catalysts. Journal of Cleaner Production, 42, 198–203. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.11.001

Ulfin, I., Ni'mah, Y., & Rezeika, S. (2018). Sintesis Biodiesel dari Minyak Jelantah dengan Katalis NaOH dengan Variasi Waktu Reaksi Transesterifikasi dan Uji Performanya dengan Mesin Diesel. *Akta Kimia Indonesia*, 175-189.

Wahyudi, W., Caroko, N., dan Sampurna, H. B. (2023). Pengaruh Densitas dan Viskositas terhadap Sudut Injeksi Biodiesel Jatropha-Jagung (1: 4 dan 4: 1). *JMPM (Jurnal Material dan Proses Manufaktur)*, *7*(2), 108-117. Doi : 10.18196/jmpm.v7i2.20072

Wahyuningsih, K., Jumeri, J., & Wagiman, W. (2018). Green catalysts activities of CaO nanoparticles from Pinctada maxima shell on alcoholysis reaction. *EKSAKTA: Journal of Sciences and Data Analysis*, 121-136. https://doi.org/10.20885/eksakta.vol18.iss2.art4

WIDYASANTI†, A., & , SARIFAH NURJANAH, T. M. G. S. (2017). Pengaruh suhu dalam proses transesterifikasi pada pembuatan biodiesel kemiri sunan. 07(01), 9–18.

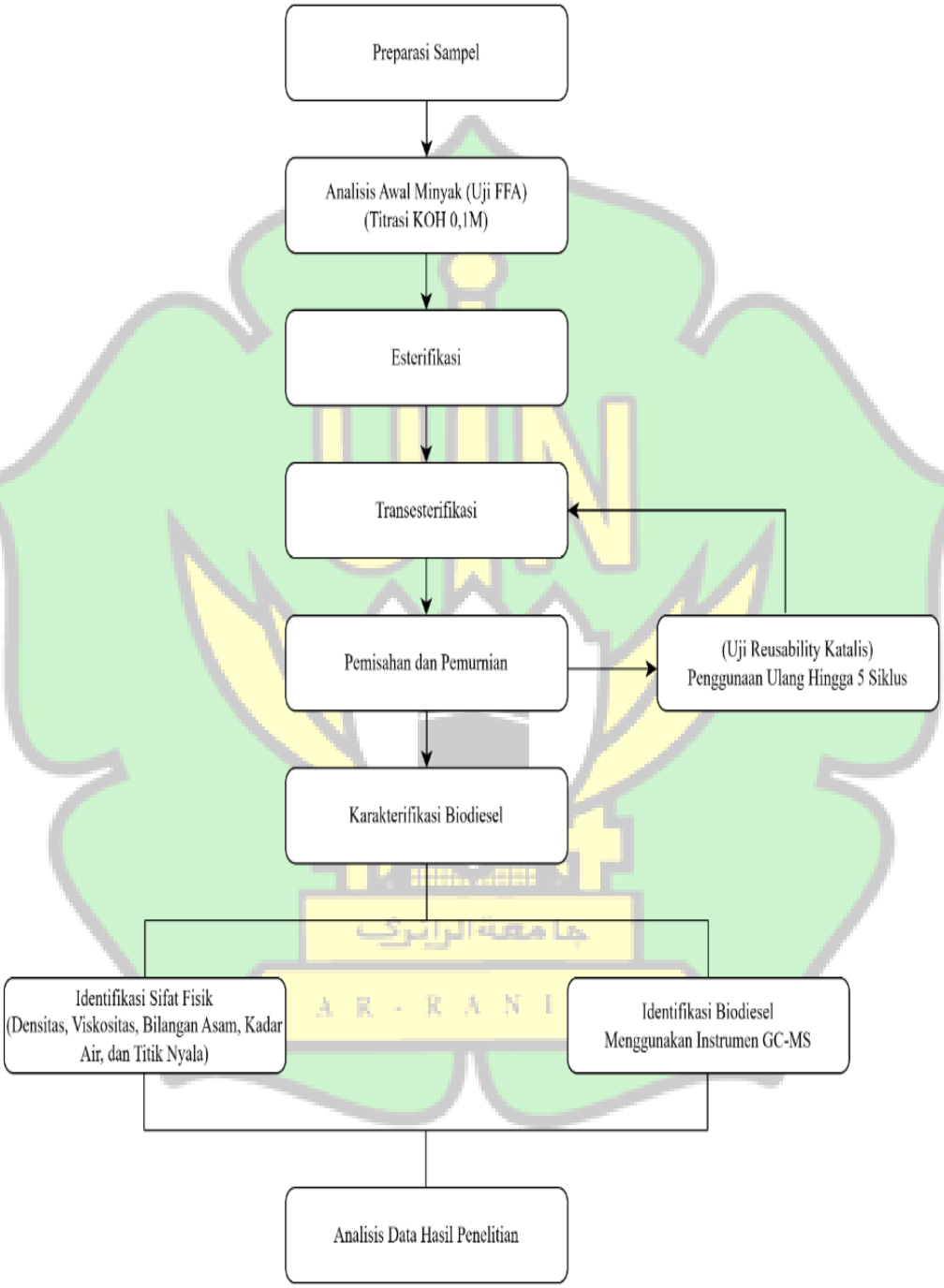
Yeşilyurt, M. K., Yilmaz, E. Ç., & Oner, V. (2019). Biodiesel Induced Corrosion and Degradation : A Review Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi Pamukkale University Journal of Engineering Sciences Biodiesel induced corrosion and degradation : Review Biyodizel kaynaklı korozyon ve bozunma : February. https://doi.org/10.5505/pajes.2018.01885

Zhang, B., Gao, M., Geng, J. dkk. (2021). Experimental study on the preparation and catalytic performance of carbon-based solid acid catalysts for biodiesel production. *Renewable Energy*. 164, 824-832. https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.076

Zik, N. A. F. A., Sulaiman, S., dan Jamal, P. (2020). Biodiesel production from waste cooking oil using calcium oxide/nanocrystal cellulose/polyvinyl alcohol catalyst in a packed bed reactor. *Renewable Energy*, *155*, 267–277. https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.03.144

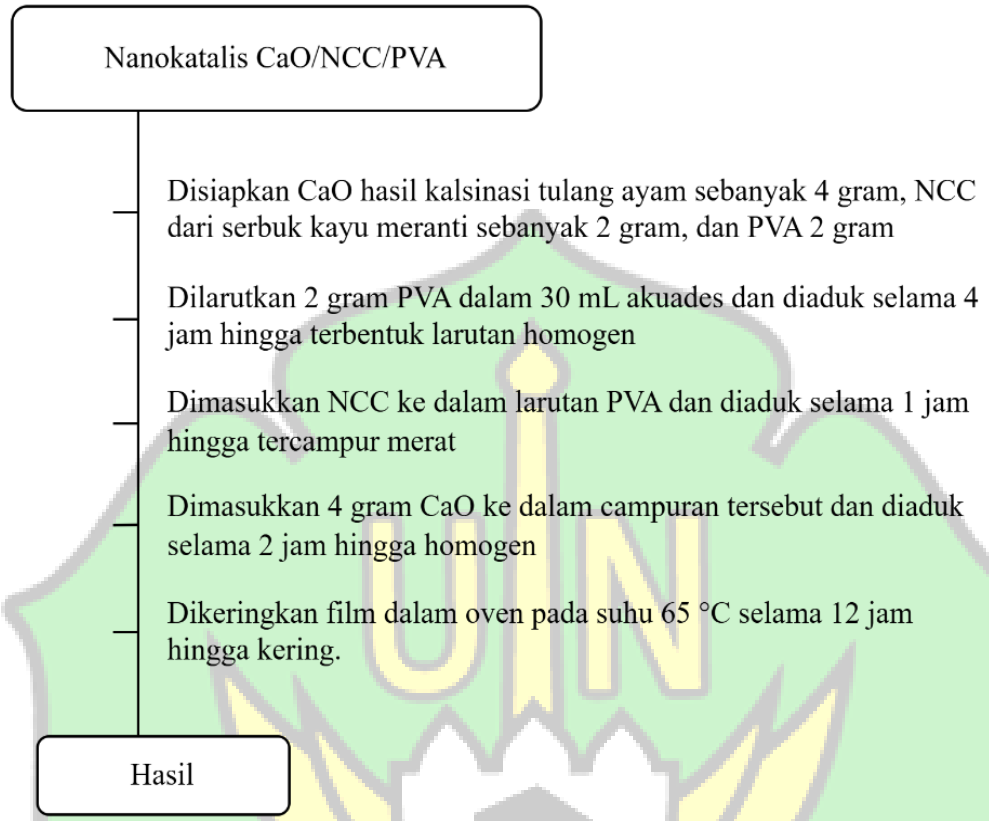
LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Alir Penelitian

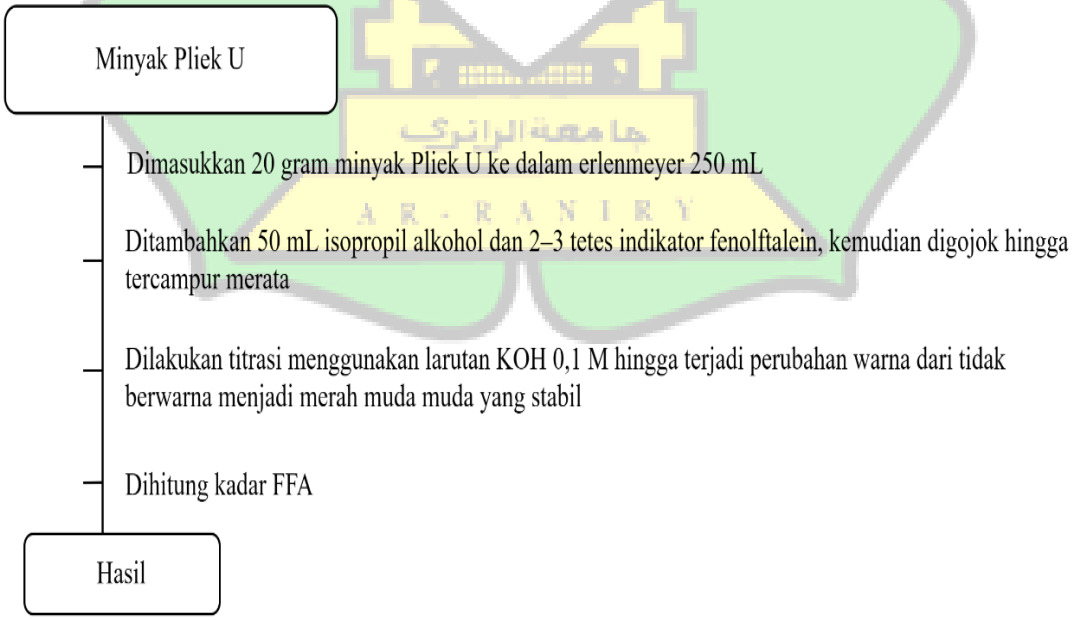


Lampiran 2. Diagram Alir Skema Penelitian

2.1 Sintesis Nanokatalis CaO/NCC/PVA

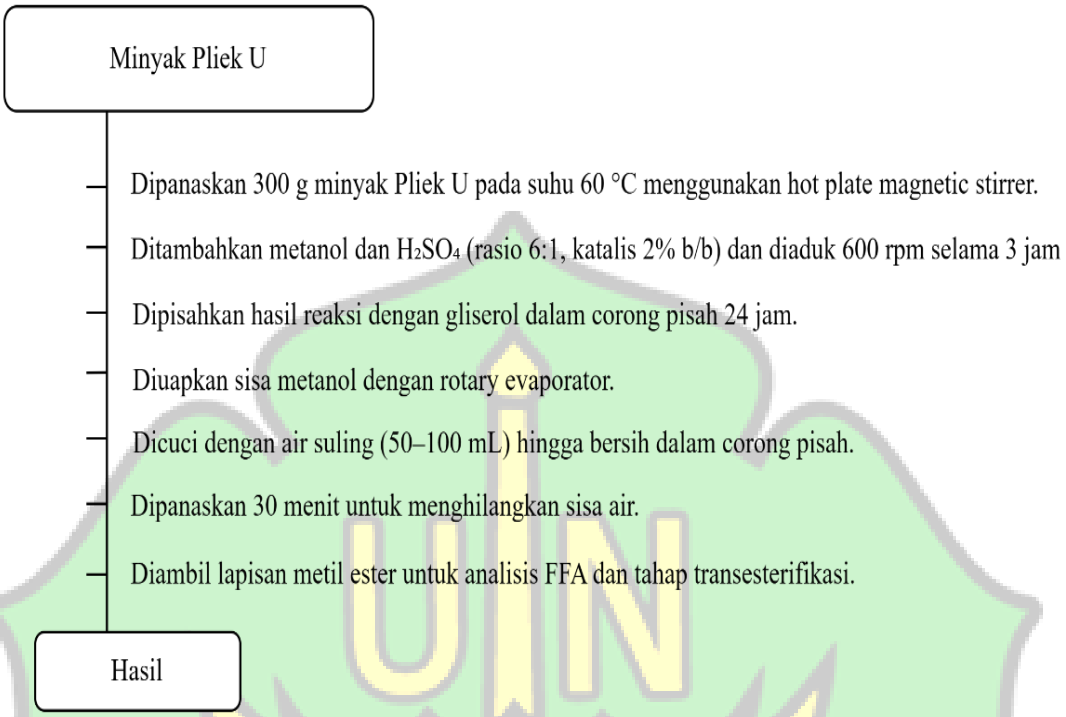


2.2 Penentuan Kadar FFA Minyak Pliek U

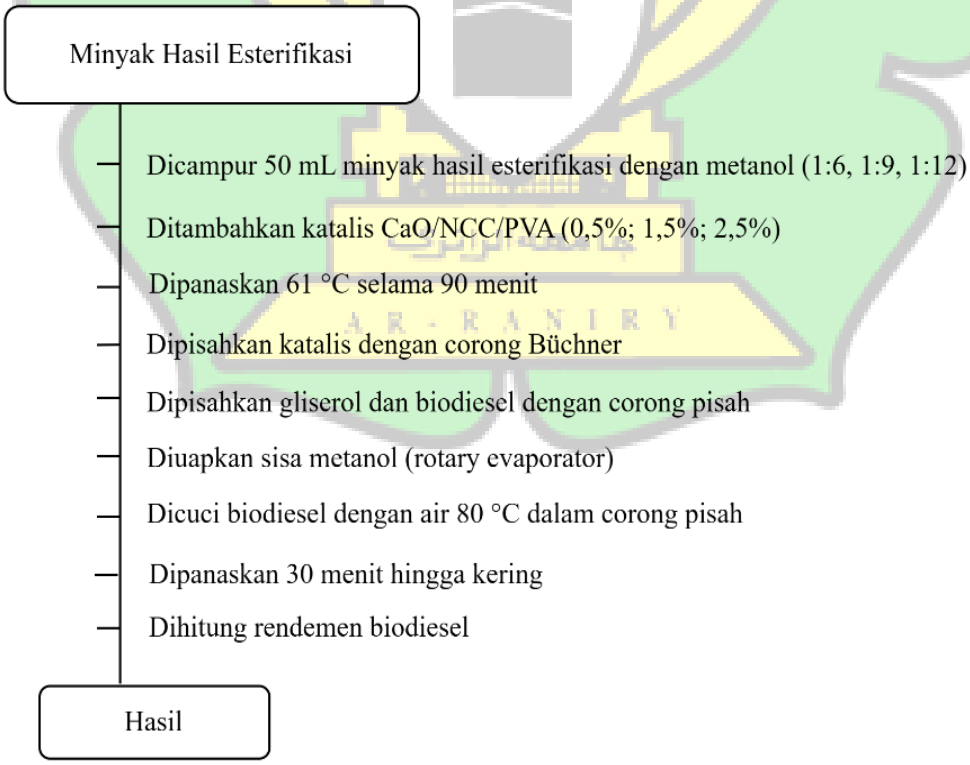


2.3 Proses Sintesis Biodiesel

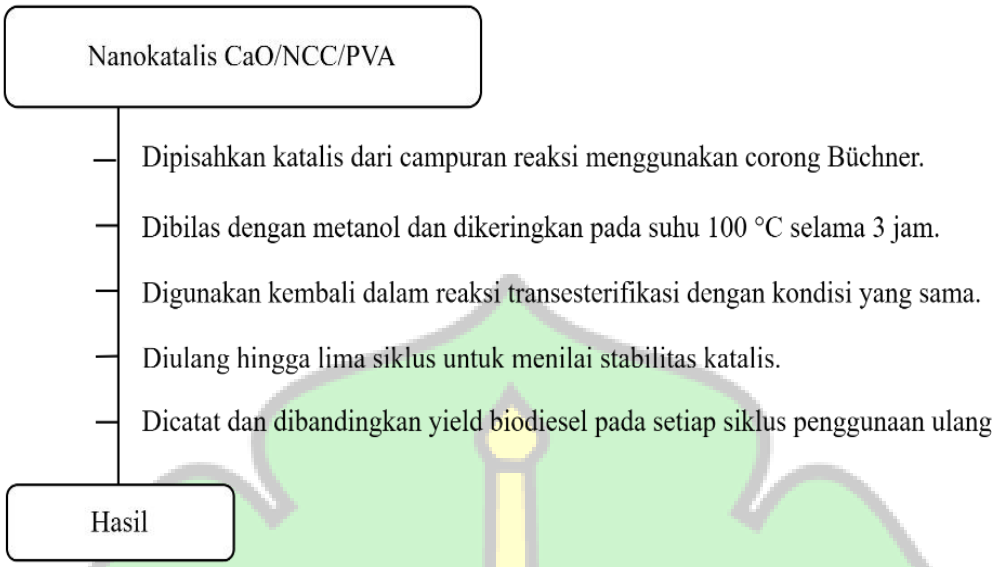
2.3.1 Reaksi Esterifikasi



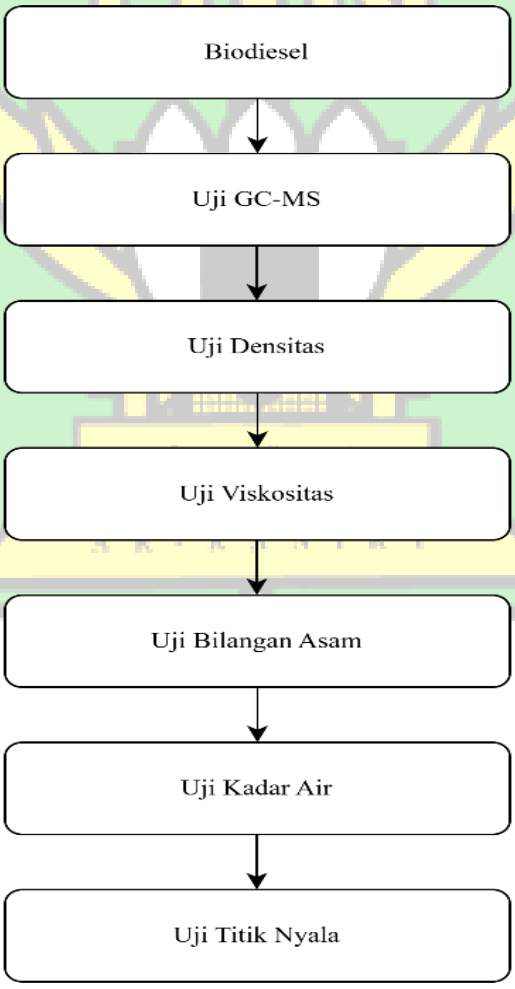
2.3.2 Reaksi Transesterifikasi



2.4 Uji Reusability Katalis



2.5 Karakterisasi Biodiesel



Lampiran 3. Perhitungan

3.1 Kadar FFA Minyak *Pliek U*

$$FFA\ (\%) = \frac{V\ (mL) \times C \times M \times 100}{m \times 1000}$$

$$FFA\ (\%) = \frac{48\ mL \times 0{,}1\ M \times 200{,}32\ g/mol \times 100}{20{,}0039 \times 1000}$$

$$FFA\ (\%) = \frac{96.153{,}6}{20.003{,}9}$$

$$FFA\ (\%) = 4{,}80$$

3.2 Esterifikasi Rasio Molar Metanol dan Minyak Pliek U serta Katalis

3.2.1 Rasio Mol Metanol 1:6

Mol minyak $= \frac{massa\ minyak}{BM\ minyak}$

$= \frac{300{,}0628\ g}{200{,}32\ g/mol}$

$= 1{,}4979\ mol$

Mol metanol $= 6 \times mol\ minyak$

$= 6 \times 1{,}4979\ mol$

$= 8{,}9874\ mol$

Massa metanol $= mol\ metanol \times BM\ metanol$

$= 8{,}9874\ mol \times 32{,}04\ g/mol$

$= 287{,}9563\ g$

V metanol $= \frac{m}{\rho}$

$= \frac{287{,}9563\ g}{0{,}7918\ g/mL}$

$= 363{,}6730\ mL$

Massa katalis $= 2\% \times massa\ minyak$

$= 2\% \times 300{,}0628\ g$

$= 0{,}02 \times 300{,}0628\ g$

$= 6\ g$

V Asam sulfat $= \frac{m}{\rho}$

$= \frac{6\ g}{1{,}83\ g/mL}$

$= 3{,}2787\ mL$

3.3 Kadar FFA Minyak Pliek U Setelah Proses Esterifikasi

$$FFA\ (\%) = \frac{V\ (mL) \times C \times M \times 100}{m \times 1000}$$

$$FFA\ (\%) = \frac{3{,}2\ mL \times 0{,}1\ M \times 200{,}32\ g/mol \times 100}{20{,}0089 \times 1000}$$

$$FFA\ (\%) = \frac{6.410{,}24}{20.008{,}9}$$

$$FFA\ (\%) = 0{,}32$$

3.4 Transesterifikasi Rasio Molar Metanol dan Minyak Pliek U serta Nanokatalis

3.4.1 Rasio Mol Metanol 1:6 (Nanokatalis 0,5 wt%)

Mol minyak $= \frac{massa\ minyak}{BM\ minyak}$

$= \frac{50.2275\ g}{200{,}32\ g/mol}$

$= 0{,}2507\ mol$

Mol metanol $= 6 \times mol\ minyak$

$= 6 \times 0{,}2507\ mol$

$= 1{,}5044\ mol$

Massa metanol $= mol\ metanol \times BM\ metanol$

$= 1{,}5044\ mol \times 32{,}04\ g/mol$

$= 48{,}2015\ g$

V metanol $= \frac{m}{\rho}$

$= \frac{48{,}2015\ g}{0{,}7918\ g/mL}$

$= 60{,}8759\ mL$

Massa nanokatalis $= wt\% \times massa\ minyak$

$= 0{,}5\% \times 50{,}2275\ g$

$= 0{,}005 \times 50{,}2275\ g$

$= 0{,}25\ g$

3.4.2 Rasio Mol Metanol 1:9 (Nanokatalis 0,5 wt%)

Mol minyak $= \frac{massa\ minyak}{BM\ minyak}$

$= \frac{50.0059\ g}{200{,}32\ g/mol}$

$= 0{,}2496\ mol$

Mol metanol $= 9 \times mol\ minyak$

$= 9 \times 0{,}2496\ mol$

$= 2{,}2464\ mol$

Massa metanol $= mol\ metanol \times BM\ metanol$

$= 2{,}2464\ mol \times 32{,}04\ g/mol$

$= 71{,}9747\ g$

V metanol $= \frac{m}{\rho}$

$= \frac{71{,}9747\ g}{0{,}7918\ g/mL}$

$= 90{,}90\ mL$

Massa nanokatalis $= wt\% \times massa\ minyak$

$= 0{,}5\% \times 50{,}0059\ g$

$= 0{,}005 \times 50{,}0059\ g$

$= 0{,}25\ g$

3.4.3 Rasio Mol Metanol 1:12 (Nanokatalis 0,5 wt%)

Mol minyak $= \frac{massa\ minyak}{BM\ minyak}$

$= \frac{50.0115\ g}{200{,}32\ g/mol}$

$= 0{,}2497\ mol$

Mol metanol $= 12 \times mol\ minyak$

$= 12 \times 0{,}2497\ mol$

$= 2{,}9964\ mol$

Massa metanol $= mol\ metanol \times BM\ metanol$

$= 2{,}9964 mol \times 32{,}04\ g/mol$

$= 96{,}0047\ g$

V metanol $= \frac{m}{\rho}$

$= \frac{96{,}0047\ g}{0{,}7918\ g/mL}$

$= 121{,}25\ mL$

Massa nanokatalis $= wt\% \times massa\ minyak$

$= 0{,}5\% \times 50{,}0115\ g$

$= 0{,}005 \times 50{,}0059\ g$

$= 0{,}25\ g$

3.4.4 Rasio Mol Metanol 1:6 (Nanokatalis 1 wt%)

Mol minyak $= \frac{massa\ minyak}{BM\ minyak}$

$= \frac{50.0042\ g}{200{,}32\ g/mol}$

$= 0{,}2496\ mol$

Mol metanol $= 6 \times mol\ minyak$

$= 6 \times 0{,}2496\ mol$

$= 1{,}4976\ mol$

Massa metanol $= mol\ metanol \times BM\ metanol$

$= 1{,}4976\ mol \times 32{,}04\ g/mol$

$= 47{,}9831\ g$

V metanol $= \frac{m}{\rho}$

$= \frac{47{,}9831\ g}{0{,}7918\ g/mL}$

$= 60{,}60\ mL$

Massa nanokatalis $= wt\% \times massa\ minyak$

$= 1\% \times 50{,}0115\ g$

$= 0{,}01 \times 50{,}0042\ g$

$= 0{,}50\ g$

3.4.5 Rasio Mol Metanol 1:9 (Nanokatalis 1 wt%)

Mol minyak $= \frac{massa\ minyak}{BM\ minyak}$

$$= \frac{50.5875\ g}{200{,}32\ g/mol}$$

$$= 0{,}2525 mol$$

Mol metanol $= 9 \times mol\ minyak$

$$= 9 \times 0{,}2525 mol$$

$$= 2{,}2728\ mol$$

Massa metanol $= mol\ metanol \times BM\ metanol$

$$= 2{,}2728\ mol \times 32{,}04\ g/mol$$

$$= 72{,}82\ g$$

V metanol $= \frac{m}{\rho}$

$$= \frac{72{,}82\ g}{0{,}7918\ g/mL}$$

$$= 91{,}968\ mL$$

Massa nanokatalis $= wt\% \times massa\ minyak$

$$= 1\% \times 50{,}5875\ g$$

$$= 0{,}01 \times 50{,}5875\ g$$

$$= 0{,}50\ g$$

3.4.6 Rasio Mol Metanol 1:12 (Nanokatalis 1 wt%)

Mol minyak $= \frac{massa\ minyak}{BM\ minyak}$

$$= \frac{50.0241\ g}{200{,}32\ g/mol}$$

$$= 0{,}2497\ mol$$

Mol metanol $= 12 \times mol\ minyak$

$$= 12 \times 0{,}2497\ mol$$

$$= 2{,}9964\ mol$$

Massa metanol $= mol\ metanol \times BM\ metanol$

$$= 2{,}9964\ mol \times 32{,}04\ g/mol$$

$$= 95{,}0047\ g$$

V metanol $= \frac{m}{\rho}$

$$= \frac{95{,}0047\ g}{0{,}7918\ g/mL}$$

$$= 121{,}25\ mL$$

Massa nanokatalis $= wt\% \times massa\ minyak$

$= 1\% \times 50{,}0241\ g$

$= 0{,}01 \times 50{,}0241\ g$

$= 0{,}50\ g$

3.4.7 Rasio Mol Metanol 1:6 (Nanokatalis 1,5 wt%)

Mol minyak $= \frac{massa\ minyak}{BM\ minyak}$

$= \frac{50.0463\ g}{200{,}32\ g/mol}$

$= 0{,}2498\ mol$

Mol metanol $= 6 \times mol\ minyak$

$= 6 \times 0{,}2498\ mol$

$= 1{,}4988\ mol$

Massa metanol $= mol\ metanol \times BM\ metanol$

$= 1{,}4988\ mol \times 32{,}04\ g/mol$

$= 48{,}0216\ g$

V metanol $= \frac{m}{\rho}$

$= \frac{47{,}9831\ g}{0{,}7918\ g/mL}$

$= 60{,}65\ mL$

Massa nanokatalis $= wt\% \times massa\ minyak$

$= 1{,}5\% \times 50{,}0463\ g$

$= 0{,}015 \times 50{,}0463\ g$

$= 0{,}75\ g$

3.4.8 Rasio Mol Metanol 1:9 (Nanokatalis 1,5 wt%)

Mol minyak $= \frac{massa\ minyak}{BM\ minyak}$

$= \frac{50.1634\ g}{200{,}32\ g/mol}$

$= 0{,}2504\ mol$

Mol metanol $= 9 \times mol\ minyak$

$= 9 \times 0{,}2504\ mol$

$= 2{,}25\ mol$

Massa metanol $= mol\ metanol \times BM\ metanol$

$= 2{,}25\ mol \times 32{,}04\ g/mol$

$= 72{,}09\ g$

V metanol $= \frac{m}{\rho}$

$= \frac{72{,}09\ g}{0{,}7918\ g/mL}$

$= 91{,}05\ mL$

Massa nanokatalis $= wt\% \times massa\ minyak$

$= 1{,}5\% \times 50{,}1634\ g$

$= 0{,}015 \times 50{,}1634\ g$

$= 0{,}75\ g$

3.4.9 Rasio Mol Metanol 1:12 (Nanokatalis 1,5 wt%)

Mol minyak $= \frac{massa\ minyak}{BM\ minyak}$

$= \frac{50.1051\ g}{200{,}32\ g/mol}$

$= 0{,}2501\ mol$

Mol metanol $= 12 \times mol\ minyak$

$= 12 \times 0{,}2501\ mol$

$= 3{,}0012\ mol$

Massa metanol $= mol\ metanol \times BM\ metanol$

$= 3{,}0012\ mol \times 32{,}04\ g/mol$

$= 96{,}1584\ g$

V metanol $= \frac{m}{\rho}$

$= \frac{96{,}1584\ g}{0{,}7918\ g/mL}$

$= 121{,}44\ mL$

Massa nanokatalis $= wt\% \times massa\ minyak$

$= 1{,}5\% \times 50{,}1051\ g$

$= 0{,}015 \times 50{,}1051\ g$

$= 0{,}75\ g$

3.4.10 Rasio Mol Metanol 1:6 (Nanokatalis 2 wt%)

جامعة الرانري
AR-RANIRY

Mol minyak $= \frac{massa\ minyak}{BM\ minyak}$

$= \frac{50.0012\ g}{200{,}32\ g/mol}$

$= 0{,}2496\ mol$

Mol metanol $= 6 \times mol\ minyak$

$= 6 \times 0{,}2496\ mol$

$= 1{,}4976\ mol$

Massa metanol $= mol\ metanol \times BM\ metanol$

$= 1{,}4976\ mol \times 32{,}04\ g/mol$

$= 47{,}9831\ g$

V metanol $= \frac{m}{\rho}$

$= \frac{47{,}9831\ g}{0{,}7918\ g/mL}$

$= 60{,}60\ mL$

Massa nanokatalis $= wt\% \times massa\ minyak$

$= 2\% \times 50{,}0012\ g$

$= 0{,}02 \times 50{,}0012\ g$

$= 1\ g$

3.4.11 Rasio Mol Metanol 1:9 (Nanokatalis 2 wt%)

Mol minyak $= \frac{massa\ minyak}{BM\ minyak}$

$= \frac{50.0029\ g}{200{,}32\ g/mol}$

$= 0{,}2496\ mol$

Mol metanol $= 9 \times mol\ minyak$

$= 9 \times 0{,}2496\ mol$

$= 2{,}2464\ mol$

Massa metanol $= mol\ metanol \times BM\ metanol$

$= 2{,}2464\ mol \times 32{,}04\ g/mol$

$= 72{,}97\ g$

V metanol $= \frac{m}{\rho}$

$$= \frac{72{,}97\ g}{0{,}7918\ g/mL}$$

$$= 90{,}89\ mL$$

Massa nanokatalis $= wt\% \times massa\ minyak$

$$= 1{,}5\% \times 50{,}0029\ g$$

$$= 0{,}02 \times 50{,}0029\ g$$

$$= 1\ g$$

3.4.12 Rasio Mol Metanol 1:12 (Nanokatalis 2 wt%)

Mol minyak $= \frac{massa\ minyak}{BM\ minyak}$

$$= \frac{50.0042\ g}{200{,}32\ g/mol}$$

$$= 0{,}2496\ mol$$

Mol metanol $= 12 \times mol\ minyak$

$$= 12 \times 0{,}2496\ mol$$

$$= 2{,}9952\ mol$$

Massa metanol $= mol\ metanol \times BM\ metanol$

$$= 2{,}9952\ mol \times 32{,}04\ g/mol$$

$$= 95{,}9662\ g$$

V metanol $= \frac{m}{\rho}$

$$= \frac{95{,}9662\ g}{0{,}7918\ g/mL}$$

$$= 121{,}20\ mL$$

Massa nanokatalis $= wt\% \times massa\ minyak$

$$= 2\% \times 50{,}0042\ g$$

$$= 2\% \times 50{,}0042\ g$$

$$= 1\ g$$

3.5 Rendemen Biodiesel

3.5.1 Rasio Mol Metanol 1:6 (Nanokatalis 0,5 wt%)

Berat biodiesel = 34,2315 g

% rendemen $= \frac{Biodiesel\ dihasilkan\ (g)}{Berat\ minyak\ (g)} \times 100\%$

$$= \frac{34{,}2315\ g}{50{,}2275\ g} \times 100\%$$

$$= 0{,}6815 \times 100\%$$

$$= 68{,}15\ \%$$

3.5.2 Rasio Mol Metanol 1:9 (Nanokatalis 0,5 wt%)

Berat biodiesel = 44,0570 g

$$\%\ \text{rendemen} = \frac{Biodiesel\ dihasilkan\ (g)}{Berat\ minyak\ (g)} \times 100\%$$

$$= \frac{44{,}0570\ g}{50{,}0059\ g} \times 100\%$$

$$= 0{,}8810 \times 100\%$$

$$= 88{,}10\ \%$$

3.5.3 Rasio Mol Metanol 1:12 (Nanokatalis 0,5 wt%)

Berat biodiesel = 37,1309 g

$$\%\ \text{rendemen} = \frac{Biodiesel\ dihasilkan\ (g)}{Berat\ minyak\ (g)} \times 100\%$$

$$= \frac{37{,}1309\ g}{50{,}0115\ g} \times 100\%$$

$$= 0{,}7424 \times 100\%$$

$$= 74{,}24\ \%$$

3.5.4 Rasio Mol Metanol 1:6 (Nanokatalis 1 wt%)

Berat biodiesel = 37,0055 g

$$\%\ \text{rendemen} = \frac{Biodiesel\ dihasilkan\ (g)}{Berat\ minyak\ (g)} \times 100\%$$

$$= \frac{37{,}0055\ g}{50{,}0042\ g} \times 100\%$$

$$= 0{,}7400 \times 100\%$$

$$= 74{,}00\ \%$$

3.5.5 Rasio Mol Metanol 1:9 (Nanokatalis 1 wt%)

Berat biodiesel = 49,7462 g

$$\%\ \text{rendemen} = \frac{Biodiesel\ dihasilkan\ (g)}{Berat\ minyak\ (g)} \times 100\%$$

$$= \frac{49{,}7462\ g}{50{,}5875\ g} \times 100\%$$

$= 0{,}9833 \times 100\%$

$= 98{,}33\ \%$

3.5.6 Rasio Mol Metanol 1:12 (Nanokatalis 1 wt%)

Berat biodiesel = $44{,}0157\ g$

$$\%\ \text{rendemen} = \frac{Biodiesel\ dihasilkan\ (g)}{Berat\ minyak\ (g)} \times 100\%$$

$$= \frac{44{,}0157\ g}{50{,}0241\ g} \times 100\%$$

$$= 0{,}87988 \times 100\%$$

$$= 87{,}99\ \%$$

3.5.7 Rasio Mol Metanol 1:6 (Nanokatalis 1,5 wt%)

Berat biodiesel = $35{,}0395\ g$

$$\%\ \text{rendemen} = \frac{Biodiesel\ dihasilkan\ (g)}{Berat\ minyak\ (g)} \times 100\%$$

$$= \frac{35{,}0395\ g}{50{,}0463\ g} \times 100\%$$

$$= 0{,}7001 \times 100\%$$

$$= 70{,}01\ \%$$

3.5.8 Rasio Mol Metanol 1:9 (Nanokatalis 1,5 wt%)

Berat biodiesel = $47{,}0279\ g$

$$\%\ \text{rendemen} = \frac{Biodiesel\ dihasilkan\ (g)}{Berat\ minyak\ (g)} \times 100\%$$

$$= \frac{47{,}0279\ g}{50{,}1634\ g} \times 100\%$$

$$= 0{,}93749 \times 100\%$$

$$= 93{,}75\ \%$$

3.5.9 Rasio Mol Metanol 1:12 (Nanokatalis 1,5 wt%)

Berat biodiesel = $41{,}9417\ g$

$$\%\ \text{rendemen} = \frac{Biodiesel\ dihasilkan\ (g)}{Berat\ minyak\ (g)} \times 100\%$$

$$= \frac{41{,}9417\ g}{50{,}1051\ g} \times 100\%$$

$$= 0{,}8370 \times 100\%$$

$$= 83{,}70\ \%$$

جامعة الرانري
AR-RANIRY

3.5.10 Rasio Mol Metanol 1:6 (Nanokatalis 2 wt%)

Berat biodiesel = 34,7138 g

$$\% \text{ rendemen} = \frac{Biodiesel\ dihasilkan\ (g)}{Berat\ minyak\ (g)} \times 100\%$$

$$= \frac{34{,}7138\ g}{50{,}0012\ g} \times 100\%$$

$$= 0{,}69425 \times 100\%$$

$$= 69{,}43\ \%$$

3.5.11 Rasio Mol Metanol 1:9 (Nanokatalis 2 wt%)

Berat biodiesel = 44,5365 g

$$\% \text{ rendemen} = \frac{Biodiesel\ dihasilkan\ (g)}{Berat\ minyak\ (g)} \times 100\%$$

$$= \frac{44{,}5365\ g}{50{,}0029\ g} \times 100\%$$

$$= 0{,}89067 \times 100\%$$

$$= 89{,}07\ \%$$

3.5.12 Rasio Mol Metanol 1:12 (Nanokatalis 2 wt%)

Berat biodiesel = 40,2240 g

$$\% \text{ rendemen} = \frac{Biodiesel\ dihasilkan\ (g)}{Berat\ minyak\ (g)} \times 100\%$$

$$= \frac{40{,}2240\ g}{50{,}0042\ g} \times 100\%$$

$$= 0{,}8044 \times 100\%$$

$$= 80{,}44\ \%$$

3.6 *Reusability* Nanokatalis pada Transesterifikasi (Rasio Molar 1:9; 1 wt%)

3.6.1 Siklus Pertama

$$\text{Mol minyak} = \frac{massa\ minyak}{BM\ minyak}$$

$$= \frac{50{,}5875\ g}{200{,}32\ g/mol}$$

$$= 0{,}2525\ mol$$

$$\text{Mol metanol} = 9 \times mol\ minyak$$

$$= 9 \times 0{,}2525\ mol$$

$$= 2{,}2728\ mol$$

Massa metanol $= mol\ metanol \times BM\ metanol$

$= 2{,}2728\ mol \times 32{,}04\ g/mol$

$= 72{,}82\ g$

V metanol $= \frac{m}{\rho}$

$= \frac{72{,}78\ g}{0{,}7918\ g/mL}$

$= 91{,}96\ mL$

3.6.2 Siklus Kedua

Mol minyak $= \frac{massa\ minyak}{BM\ minyak}$

$= \frac{50{,}0095\ g}{200{,}32\ g/mol}$

$= 0{,}2496\ mol$

Mol metanol $= 9 \times mol\ minyak$

$= 9 \times 0{,}2496\ mol$

$= 2{,}2464\ mol$

Massa metanol $= mol\ metanol \times BM\ metanol$

$= 2{,}2464\ mol \times 32{,}04\ g/mol$

$= 71{,}97\ g$

V metanol $= \frac{m}{\rho}$

$= \frac{71{,}97\ g}{0{,}7918\ g/mL}$

$= 90{,}89\ mL$

3.6.3 Siklus Ketiga

Mol minyak $= \frac{massa\ minyak}{BM\ minyak}$

$= \frac{50{,}0213\ g}{200{,}32\ g/mol}$

$= 0{,}2497\ mol$

Mol metanol $= 9 \times mol\ minyak$

$= 9 \times 0{,}2497\ mol$

$= 2{,}2473\ mol$

Massa metanol $= mol\ metanol \times BM\ metanol$

جامعة الرانري
AR-RANIRY

$= 2{,}2473\ mol \times 32{,}04\ g/mol$

$= 72{,}00\ g$

V metanol $= \frac{m}{\rho}$

$= \frac{72{,}00\ g}{0{,}7918\ g/mL}$

$= 90{,}93\ mL$

3.6.4 Siklus Keempat

Mol minyak $= \frac{massa\ minyak}{BM\ minyak}$

$= \frac{50{,}0041\ g}{200{,}32\ g/mol}$

$= 0{,}2496\ mol$

Mol metanol $= 9 \times mol\ minyak$

$= 9 \times 0{,}2497\ mol$

$= 2{,}2464\ mol$

Massa metanol $= mol\ metanol \times BM\ metanol$

$= 2{,}2464\ mol \times 32{,}04\ g/mol$

$= 71{,}9747\ g$

V metanol $= \frac{m}{\rho}$

$= \frac{71{,}9747\ g}{0{,}7918\ g/mL}$

$= 90{,}90\ mL$

3.6.4 Siklus Kelima

Mol minyak $= \frac{massa\ minyak}{BM\ minyak}$

$= \frac{50{,}0073\ g}{200{,}32\ g/mol}$

$= 0{,}2496\ mol$

Mol metanol $= 9 \times mol\ minyak$

$= 9 \times 0{,}2497\ mol$

$= 2{,}2464\ mol$

Massa metanol $= mol\ metanol \times BM\ metanol$

$= 2{,}2464\ mol \times 32{,}04\ g/mol$

جامعة الرانري
AR-RANIRY

$= 71{,}9747\ g$

V metanol $= \frac{m}{\rho}$

$= \frac{71{,}9747\ g}{0{,}7918\ g/mL}$

$= 90{,}90\ mL$

3.7 Rendemen Biodiesel Hasil Reusability Nanokatalis (1:9, 1 wt%)

3.7.1 Siklus Pertama

Berat biodiesel = $49{,}7462\ g$

% rendemen $= \frac{Biodiesel\ dihasilkan\ (g)}{Berat\ minyak\ (g)} \times 100\%$

$= \frac{49{,}7462\ g}{50{,}5875\ g} \times 100\%$

$= 0{,}9833 \times 100\%$

$= 98{,}33\ \%$

3.7.2 Siklus Kedua

Berat biodiesel = $48{,}0148\ g$

% rendemen $= \frac{Biodiesel\ dihasilkan\ (g)}{Berat\ minyak\ (g)} \times 100\%$

$= \frac{48{,}0148\ g}{50{,}0095\ g} \times 100\%$

$= 0{,}9601 \times 100\%$

$= 96{,}01\ \%$

3.7.3 Siklus Ketiga

Berat biodiesel = $47{,}0086\ g$

% rendemen $= \frac{Biodiesel\ dihasilkan\ (g)}{Berat\ minyak\ (g)} \times 100\%$

$= \frac{47{,}0086\ g}{50{,}0213\ g} \times 100\%$

$= 0{,}93977 \times 100\%$

$= 93{,}98\ \%$

3.7.4 Siklus Keempat

Berat biodiesel = $46{,}7846\ g$

$$\% \text{ rendemen } = \frac{Biodiesel\ dihasilkan\ (g)}{Berat\ minyak\ (g)} \times 100\%$$

$$= \frac{46{,}7846\ g}{50{,}0041\ g} \times 100\%$$

$$= 0{,}9356 \times 100\%$$

$$= 93{,}56\ \%$$

3.7.5 Siklus Kelima

Berat biodiesel = 46,2081 g

$$\% \text{ rendemen } = \frac{Biodiesel\ dihasilkan\ (g)}{Berat\ minyak\ (g)} \times 100\%$$

$$= \frac{46{,}2081\ g}{50{,}7212\ g} \times 100\%$$

$$= 0{,}9110 \times 100\%$$

$$= 91{,}10\ \%$$

3.8 Densitas pada Suhu 40 ℃ (Rasio Molar Metanol Optimum 1:9)

3.8.1 Densitas Biodiesel pada Konsetrasi Nanokatalis 0,5 wt%

$$\rho = \frac{w_2 - w_1}{V}$$

$$= \frac{16{,}1818\ g - 11{,}7490\ g}{5\ mL}$$

$$= \frac{4{,}4328\ g}{5\ mL}$$

$$= 0{,}8865\ g/mL$$

- Konversi Satuan Densitas dari g/mL ke kg/m³

$$0{,}888\ g/mL = \frac{0{,}8865}{1.000} : \frac{1}{1.000.000}\ kg/m^3$$

$$= \frac{0{,}8865 \times 1.000.000}{1.000}\ kg/m^3$$

$$= 886{,}56\ kg/m^3$$

3.8.2 Densitas Biodiesel pada Konsetrasi Nanokatalis 1 wt%

$$\rho = \frac{w_2 - w_1}{V}$$

$$= \frac{16{,}1305\ g - 11{,}7494\ g}{5\ mL}$$

$$= \frac{4{,}3811\ g}{5\ mL}$$

$$= 0{,}87622\ g/mL$$

- Konversi Satuan Densitas dari g/mL ke kg/m³

$$0{,}888\ g/mL = \frac{0{,}87622}{1.000} : \frac{1}{1.000.000}\ kg/m^3$$

$$= \frac{0{,}87622 \times 1.000.000}{1.000}\ kg/m^3$$

$$= 876{,}22\ kg/m^3$$

3.8.3 Densitas Biodiesel pada Konsetrasi Nanokatalis 1,5 wt%

$$\rho = \frac{w_2 - w_1}{V}$$

$$= \frac{16{,}1482\ g - 11{,}7487\ g}{5\ mL}$$

$$= \frac{4{,}3995\ g}{5\ mL}$$

$$= 0{,}8799\ g/mL$$

- Konversi Satuan Densitas dari g/mL ke kg/m³

$$0{,}888\ g/mL = \frac{0{,}8799}{1.000} : \frac{1}{1.000.000}\ kg/m^3$$

$$= \frac{0{,}8799 \times 1.000.000}{1.000}\ kg/m^3$$

$$= 879{,}9\ kg/m^3$$

3.8.4 Densitas Biodiesel pada Konsetrasi Nanokatalis 2 wt%

$$\rho = \frac{w_2 - w_1}{V}$$

$$= \frac{16{,}1663\ g - 11{,}7489\ g}{5\ mL}$$

$$= \frac{4{,}4174\ g}{5\ mL}$$

$$= 0{,}88348\ g/mL$$

- Konversi Satuan Densitas dari g/mL ke kg/m³

$$0{,}888\ g/mL = \frac{0{,}88348}{1.000} : \frac{1}{1.000.000}\ kg/m^3$$

$$= \frac{0{,}88348 \times 1.000.000}{1.000}\ kg/m^3$$

$$= 883{,}48\ kg/m^3$$

3.9 Viskositas pada Suhu 40 ℃ (Rasio Molar Metanol Optimum 1:9)

3.9.1 Viskositas Biodiesel pada Konsetrasi Nanokatalis 0,5 wt%

$$4\ mPa \cdot s = 4\ cP$$

- Konversi Satuan Viskositas dari $mPa \cdot s$ ke *cSt*

$$\upsilon\ (cSt) = \frac{\mu\ (cP)}{\rho\ (g/cm^3)}$$

$$= \frac{4.00\ cP}{0.8865\ g/cm^3}$$

$$= 4{,}512\ cSt$$

3.9.2 Viskositas Biodiesel pada Konsetrasi Nanokatalis 1 wt%

$$3.60\ mPa \cdot s = 3.60\ cP$$

- Konversi Satuan Viskositas dari $mPa \cdot s$ ke *cSt*

$$\upsilon\ (cSt) = \frac{\mu\ (cP)}{\rho\ (g/cm^3)}$$

$$= \frac{3.60\ cP}{0{,}87622\ g/cm^3}$$

$$= 4{,}1086\ cSt$$

3.9.3 Viskositas Biodiesel pada Konsetrasi Nanokatalis 1,5 wt%

$$3.70\ mPa \cdot s = 3.70\ cP$$

- Konversi Satuan Viskositas dari $mPa \cdot s$ ke *cSt*

$$\upsilon\ (cSt) = \frac{\mu\ (cP)}{\rho\ (g/cm^3)}$$

$$= \frac{3.70\ cP}{0{,}8799\ g/cm^3}$$

$$= 4{,}2050\ cSt$$

3.9.4 Viskositas Biodiesel pada Konsetrasi Nanokatalis 2 wt%

$$3.80\ mPa \cdot s = 3.80\ cP$$

- Konversi Satuan Viskositas dari $mPa \cdot s$ ke *cSt*

$$v\ (cSt) = \frac{\mu\ (cP)}{\rho\ (g/cm^3)}$$

$$= \frac{3.90\ cP}{0{,}88348\ g/cm^3}$$

$$= 4{,}4143\ cSt$$

3.10 Bilangan Asam Biodiesel (Rasio Molar Metanol Optimum 1:9)

3.10.1 Bilangan Asam Biodiesel pada Konsetrasi Nanokatalis 0,5 wt%

$$Bilangan\ Asam\ (mg\ KOH/g) = \frac{V\ KOH \times C\ KOH \times 56{,}11}{m\ sampel}$$

$$= \frac{3{,}0\ mL \times 0{,}02\ M \times 56{,}11}{20{,}5013}$$

$$= 0{,}164\ mg - KOH/g$$

3.10.2 Bilangan Asam Biodiesel pada Konsetrasi Nanokatalis 1 wt%

$$Bilangan\ Asam\ (mg\ KOH/g) = \frac{V\ KOH \times C\ KOH \times 56{,}11}{m\ sampel}$$

$$= \frac{3{,}1\ mL \times 0{,}02\ M \times 56{,}11}{20{,}5923}$$

$$= 0{,}163\ mg - KOH/g$$

3.10.3 Bilangan Asam Biodiesel pada Konsetrasi Nanokatalis 1,5 wt%

$$Bilangan\ Asam\ (mg\ KOH/g) = \frac{V\ KOH \times C\ KOH \times 56{,}11}{m\ sampel}$$

$$= \frac{3{,}0\ mL \times 0{,}02\ M \times 56{,}11}{20{,}8621}$$

$$= 0{,}161\ mg - KOH/g$$

3.10.4 Bilangan Asam Biodiesel pada Konsetrasi Nanokatalis 2 wt%

$$Bilangan\ Asam\ (mg\ KOH/g) = \frac{V\ KOH \times C\ KOH \times 56{,}11}{m\ sampel}$$

$$= \frac{2{,}9\ mL \times 0{,}02\ M \times 56{,}11}{20{,}2439}$$

$$= 0{,}161\ mg - KOH/g$$

3.11 Kadar Air Biodiesel (Rasio Molar Metanol Optimum 1:9)

3.11.1 Kadar Air Biodiesel pada Konsetrasi Nanokatalis 0,5 wt%

Berat cawan kosong (W_1) = 32,6315 g

Berat sampel biodiesel = 5,0051 g

Berat cawan + sampel sebelum oven (W_2) = $32{,}6315\ g + 5{,}0051\ g = 37{,}6366$

Berat cawan + sampel setelah oven (W_3) = 37,6357 g

$$Kadar\ air\ (\%) = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \times 100$$

$$= \frac{37{,}6366\ g - 37{,}6357\ g}{37{,}6366\ g - 32{,}6315\ g} \times 100$$

$$= \frac{0{,}0009\ g}{5{,}0051\ g} \times 100$$

$$= 0{,}1798\%$$

3.11.2 Kadar Air Biodiesel pada Konsetrasi Nanokatalis 1 wt%

Berat cawan kosong (W_1) = 32,6309 g

Berat sampel biodiesel = 5,0083 g

Berat cawan + sampel sebelum oven (W_2) = $32{,}6309\ g + 5{,}0083\ g = 37{,}6392$

Berat cawan + sampel setelah oven (W_3) = 37,6383 g

$$Kadar\ air\ (\%) = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \times 100$$

$$= \frac{37{,}6392\ g - 37{,}6383\ g}{37{,}6392\ g - 32{,}6309\ g} \times 100$$

$$= \frac{0{,}0009\ g}{5{,}0083\ g} \times 100$$

$$= 0{,}1797\%$$

3.11.3 Kadar Air Biodiesel pada Konsetrasi Nanokatalis 1,5 wt%

Berat cawan kosong (W_1) = 32,6327 g

Berat sampel biodiesel = 5,0092 g

Berat cawan + sampel sebelum oven (W_2) = $32{,}6327\ g + 5{,}0092\ g = 37{,}6419$

Berat cawan + sampel setelah oven (W_3) = 37,6410 g

$$Kadar\ air\ (\%) = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \times 100$$

$$= \frac{37{,}6419\ g - 37{,}6410\ g}{37{,}6419\ g - 32{,}6327\ g} \times 100$$

$$= \frac{0{,}0009\ g}{5{,}0092\ g} \times 100$$

$= 0{,}1797\%$

3.11.4 Kadar Air Biodiesel pada Konsetrasi Nanokatalis 2 wt%

Berat cawan kosong (W_1) $= 32{,}6295\ g$

Berat sampel biodiesel $= 5{,}0074\ g$

Berat cawan + sampel sebelum oven (W_2) = $32{,}6295\ g + 5{,}0074\ g = 37{,}6369$ g

Berat cawan + sampel setelah oven (W_3) = $37{,}6359\ g$

$$Kadar\ air\ (\%) = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \times 100$$

$$= \frac{37{,}6369\ g - 37{,}6359\ g}{37{,}6369\ g - 32{,}6295\ g} \times 100$$

$$= \frac{0{,}0001\ g}{5{,}0074\ g} \times 100$$

$$= 0{,}02\%$$

جامعة الرانري
AR-RANIRY

Lampiran 4. Gambar Proses dan Hasil Penelitian

Penimbangan Katalis CaO/NCC/PVA

Minyak *Pliek U*

Preparasi Minyak Pliek U

Pengecekan FFA

Proses Esterifikasi

Pemisahan Hasil Esterifikasi

Pemisahan Metanol

Pemurnian Hasil Esterifikasi

Penimbangan Minyak untuk Transesterifikasi

Proses Transesterifikasi

Pemisahan Biodiesel dan Katalis

Pemisahan Fase Biodiesel dan Gliserol

Pemisahan Metanol

Pencucian Biodiesel

Pengeringan Biodiesel

Biodiesel Menggunakan Nanokatalis CaO/NCC/PVA 0,5 wt%

Biodiesel Menggunakan Nanokatalis CaO/NCC/PVA 1 wt%

Nanokatalis CaO/NCC/PVA 1,5 wt%

Biodiesel Menggunakan Nanokatalis CaO/NCC/PVA 2 wt%

Pengukuran Densitas Biodiesel pada Konsentrasi Nanokatalis 0,5 wt%

Pengukuran Densitas Biodiesel pada Konsentrasi Nanokatalis 1 wt%

Pengukuran Densitas Biodiesel pada Konsentrasi Nanokatalis 1,5 wt%

Pengukuran Densitas Biodiesel pada Konsentrasi Nanokatalis 2 wt%

Pengukuran Viskositas Biodiesel pada Konsentrasi Nanokatalis 0,5 wt%

Pengukuran Viskositas Biodiesel pada Konsentrasi Nanokatalis 1 wt%

Pengukuran Viskositas Biodiesel pada Konsentrasi Nanokatalis 1,5 wt%

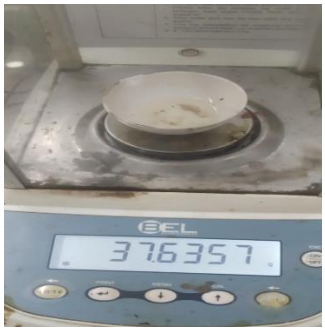
Pengukuran Viskositas Biodiesel pada Konsentrasi Nanokatalis 2 wt%

Pengukuran Bilangan Asam pada Konsentrasi Nanokatalis 0,5 wt%

Pengukuran Bilangan Asam pada Konsentrasi Nanokatalis 1 wt%

Pengukuran Bilangan Asam pada Konsentrasi Nanokatalis 1,5 wt%

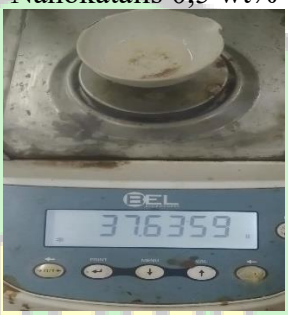
Pengukuran Bilangan Asam pada Konsentrasi Nanokatalis 2 wt%



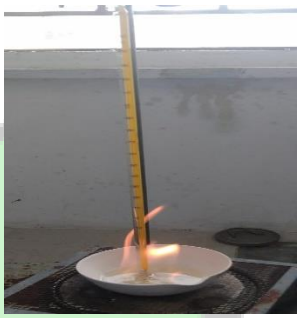
Pengukuran Kadar Air pada Konsentrasi Nanokatalis 0,5 wt%

Pengukuran Kadar Air pada Konsentrasi Nanokatalis 1 wt%

Pengukuran Kadar Air pada Konsentrasi Nanokatalis 1,5 wt%



Pengukuran Kadar Air pada Konsentrasi Nanokatalis 2 wt%



Titik Nyala Biodiesel dengan Nanokatalis 0,5 wt%

Titik Nyala Biodiesel dengan Nanokatalis 1 wt%

Titik Nyala Biodiesel dengan Nanokatalis 1,5 wt%

Titik Nyala Biodiesel dengan Nanokatalis 2 wt%

Sikus pertama

Siklus kedua

Siklus ketiga

Siklus Keempat

Siklus Kelima

Lampiran 5. Syarat Mutu SNI 7182:2015 Biodiesel

SNI BIODIESEL

Published: Wednesday, 01 April 2015 09:01

Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk Biodiesel dikeluarkan oleh BSN dengan nomor SNI 7182:2015 yang sudah merevisi SNI 04-7182-2006 dan SNI 7182:2012 - Biodiesel. Adapun syarat mutu biodiesel tersebut dapat dilihat dari tabel berikut.

SYARAT MUTU BIODIESEL SNI 7182:2015

No	Parameter Uji	Satuan, min/maks	Persyaratan	Metode Uji
1	Massa jenis pada 40°C	kg/m³	850 -890	ASTM D 1298 atau ASTM D 4052
2	Viskositas Kinematik pada 40°C	mm²/s (cSt)	2,3 - 6,0	ASTM D 445
3	Angka setana	Min	51	ASTM D 613 atau ASTM D 6890
4	Titik nyala (mangkok tertutup)	°C, min	100	ASTM D 93
5	Titik kabut	°C, maks	18	ASTM D 2500
6	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada 50°C)		nomor 1	ASTM D 130
7	Residu karbon	%-massa, maks		ASTM D 4530 atau ASTM D 189
	- dalam per contoh asli, atau		0,05	
	- dalam 10% ampas distilasi		0,3	
8	Air dan sedimen	%-vol, maks	0,05	ASTM D 2709
9	Temperatur distilasi 90%	°C, maks	360	ASTM D 1160
10	Abu tersulfatkan	%-massa, maks	0,02	ASTM D 874
11	Belerang	mg/kg, maks	100	ASTM D 5453 atau ASTM D 1266 atau ASTM D 4294 atau ASTM D 2622
12	Fosfor	mg/kg, maks	10	AOCS Ca 12-55
13	Angka asam	mg-KOH/g, maks	0,5	AOCS Cd 3d-63 atau ASTM D 664
14	Gliserol bebas	%-massa, maks	0,02	AOCS Ca 14-56 atau ASTM D 6584
15	Gliserol total	%-massa, maks	0,24	AOCS Ca 14-56 atau ASTM D 6584
16	Kadar ester metil	%-massa, min	96,5	
17	Angka iodium	%-massa(g-I2/100g), maks	115	AOCS Cd 1-25
18	Kadar monogliserida	%-massa, maks	0,8	ASTM D 6584
19	Kestabilan oksidasi	Menit		
	- Periode induksi metode rancimat, atau		360	EN 15751
	- Periode induksi metode petro oksi		27	ASTM D 7545

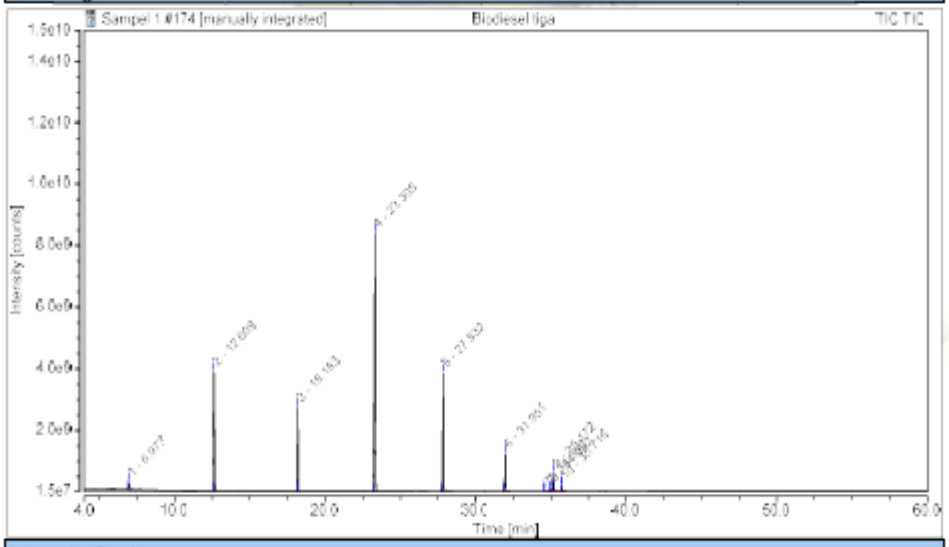
Lampiran 6. Kromatogram GC-MS Biodiesel Minyak *Pliek U*

Chromatogram and Results

Injection Details

Injection Name:	**Biodiesel tiga**	*Run Time (min):*	**64.00**
Vial Number:	**213**	*Injection Volume:*	**1.00**
Injection Type:	**Unknown**	*Channel:*	**TIC**
Calibration Level:		*Wavelength:*	**n.a.**
Instrument Method:	**TG-5MS**	*Bandwidth:*	**n.a.**
Processing Method:	**SCREENING**	*Dilution Factor:*	**1.0000**
Injection Date/Time:	**14/Nov/25 10:10**	*Sample Weight:*	**1.0000**

Chromatogram



Integration Results

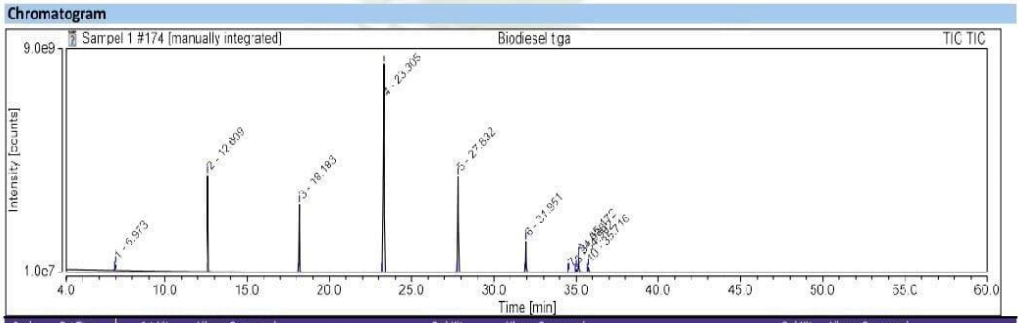
No.	Peak Name	Retention Time min	Area counts*min	Height counts	Relative Area %	Relative Height %	Amount n.a.
1		6.973	7231784.381	231695096.784	0.72	1.09	n.a.
2		12.609	151606221.490	3866562921.791	15.03	18.24	n.a.
3		18.183	100407906.112	2730661740.941	9.95	12.88	n.a.
4		23.305	499502864.172	8366680081.516	49.52	39.46	n.a.
5		27.832	152018841.203	3837563976.635	15.07	18.10	n.a.
6		31.951	51425155.851	1230595669.250	5.10	5.80	n.a.
7		34.580	782918.835	15414435.292	0.08	0.07	n.a.
8		34.992	6401380.162	130623704.695	0.63	0.62	n.a.
9		35.172	29385860.011	599394556.090	2.91	2.83	n.a.
10		35.716	9992583.813	193534150.220	0.99	0.91	n.a.
Total:			**1008755516.030**	**21202726333.215**	**100.00**	**100.00**	

Library Search Summary

Injection Details

Injection Name:	**Biodiesel tiga**	*Run Time (min):*	**64.00**
Vial Number:	**213**	*Injection Volume:*	**1.00**
Injection Type:	**Unknown**		
Calibration Level:			
Instrument Method	**TG-5MS**		
Processing Method:	**SCREENING**	*Dilution Factor:*	**1.0000**
Injection Date/Time:	**14/Nov/25 10:10**	*Sample Weight:*	**1.0000**

Chromatogram



Peak No.	Ret.Time min	1st Hit SI	Library Compound	2nd Hit SI	Library Compound	3rd Hit SI	Library Compound
1	6.97	832	Hexanoic acid, methyl ester	757	Pentanoic acid, 3-methyl-, methyl ester	741	2-Methylheptanoic acid
2	12.61	902	Octanoic acid, methyl ester	776	Octanoic acid, 2-methyl-	760	Nonanoic acid, methyl ester
3	18.18	931	Decanoic acid, methyl ester	851	8-Methylnonanoic acid, methyl ester	816	Undecanoic acid, 2-methyl-
4	23.31	874	Dodecanoic acid, methyl ester	797	Tridecanoic acid, methyl ester	793	Undecanoic acid, 10-methyl-, methyl ester
5	27.83	946	Methyl tetradecanoate	904	Tridecanoic acid, 12-methyl-, methyl ester	860	Tridecanoic acid, methyl ester
6	31.95	938	Hexadecanoic acid, methyl ester	867	Pentadecanoic acid, 14-methyl-, methyl ester	843	Pentadecanoic acid, methyl ester

7	34.58	807	Dodecanoic acid, 2-hydroxy-1-(hydroxymethyl)ethyl ester	802	Dodecanoic acid, 2,3-dihydroxypropyl ester	678	d,l-Xylitol, 1-O-dodecanoyl-
8	34.99	890	Methyl 9-cis,11-trans-octadecadienoate	890	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester	887	9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester
9	35.17	928	9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester	925	trans-13-Octadecenoic acid, methyl ester	925	6-Octadecenoic acid, methy ester, (Z)-
10	35.72	913	Methyl stearate	868	Heptadecanoic acid, 16-methyl-, methyl ester	834	Heptadecanoic acid, 15-methyl-, methyl ester

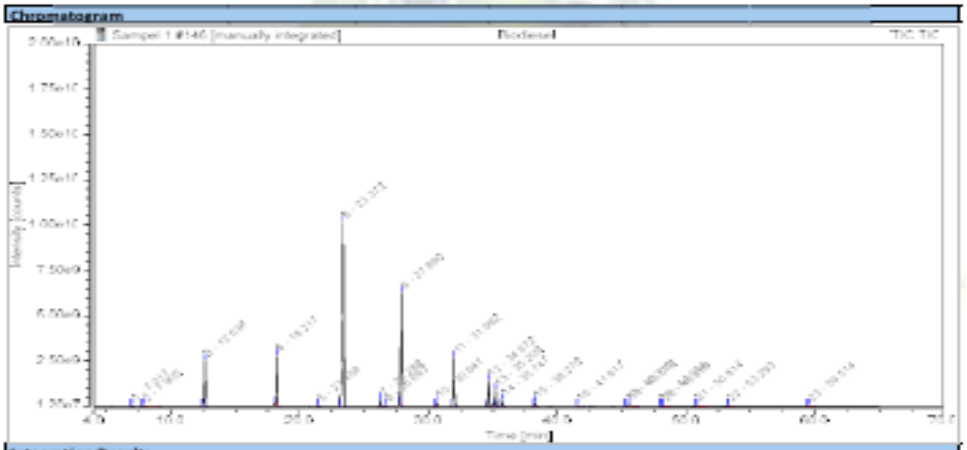
Lampiran 7. Kromatogram GC-MS Biodiesel (Rasio 1:6)

Chromatogram and Results

Injection Details

Injection Name:	**Biodiesel**	*Run Time (min):*	**64.00**
Vial Number:	**176**	*Injection Volume:*	**1.00**
Injection Type:	**Unknown**	*Channel:*	**TIC**
Calibration Level:		*Wavelength:*	**n.a.**
Instrument Method:	**TG-5MS**	*Bandwidth:*	**n.a.**
Processing Method:	**SCREENING**	*Dilution Factor:*	**1.0000**
Injection Date/Time:	**07/Nov/25 14:56**	*Sample Weight:*	**1.0000**

Chromatogram



Integration Results

No.	Peak Name	Retention Time min	Area counts*min	Height counts	Relative Area %	Relative Height %	Amount n.a.
1		7.017	2421258.889	389359.808	0.14	0.14	n.a.
2		7.905	5187133.698	9549647.406	0.30	0.03	n.a.
3		12.636	122302479.651	2468781162.107	7.12	8.96	n.a.
4		18.217	92324364.450	2693682252.603	5.37	9.70	n.a.
5		21.458	898001.954	19999095.370	0.05	0.07	n.a.
6		23.373	906117321.004	10122581605.078	52.73	36.44	n.a.
7		26.288	15569912.791	348761166.558	0.91	1.26	n.a.
8		26.693	993123.216	22192014.682	0.06	0.08	n.a.
9		27.890	298706102.046	6157320931.760	17.38	22.17	n.a.
10		30.641	9441618.188	219826726.553	0.55	0.79	n.a.
11		31.992	105330592.711	2651137943.051	6.13	9.58	n.a.
12		34.672	71099813.232	1372556186.163	4.14	4.94	n.a.
13		35.209	31043870.998	838538942.131	1.81	3.02	n.a.
14		35.747	13941219.522	310280642.453	0.81	1.12	n.a.
15		38.270	9281920.332	196307843.302	0.54	0.71	n.a.
16		41.617	1906469.315	24198727.361	0.11	0.09	n.a.
17		45.310	3977260.225	37857352.367	0.23	0.14	n.a.
18		45.579	9898044.527	94899342.246	0.58	0.34	n.a.
19		47.974	1690691.007	11338358.108	0.10	0.04	n.a.
20		48.269	4186656.194	26873832.527	0.24	0.10	n.a.
21		50.814	7490718.089	51510739.958	0.44	0.19	n.a.
22		53.293	1897767.676	16623457.557	0.11	0.06	n.a.
23		59.514	2775110.255	16195541.687	0.16	0.06	n.a.

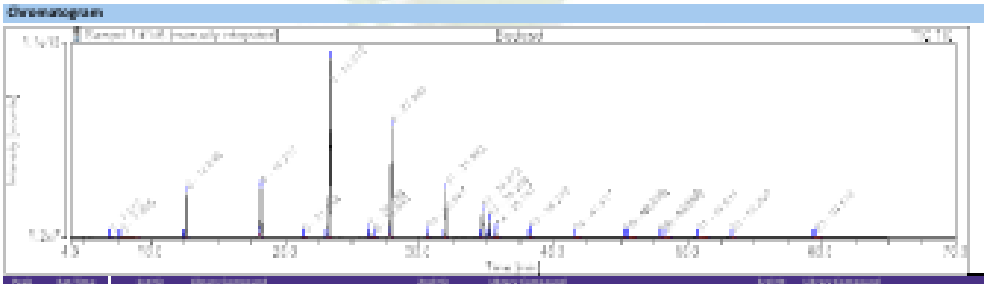
Total:		**1718447449.971**	**27778706263.036**	**100.00**	**100.00**

Library Search Summary

Injection Details

Injection Name:	**Blodtest**	Run Time (min):	**84.00**
Vial Number:	**178**	Injection Volume:	**1.00**
Injection Type:	**Unknown**		
Calibration Level:			
Instrument Method:	**TG-MS**		
Processing Method:	**DCPEEMN3**	Dilution Factor:	**1.0000**
Injection Date/Time:		Sample Weight:	**1.0000**

Chromatogram



Peak No.	Ret Time (min)	Library/ID	Library Compound	Library/ID	Library Compound	Library/ID	Library Compound
1	7.53	899	Hexanoic acid, methyl ester	884	Acetamide, 2-methyl-, dimethyl ester	794	Acetamide, 2-methyl-, dimethyl ester
2	7.91	849	Glycerin	793	Erythritol	789	1,2:3,4-Butanediol, [S-(R*,R*)]-
3	13.04	906	Hexanoic acid, methyl ester	886	Hexanoic acid, 4-methyl-	795	Heptanoic acid, methyl ester
4	16.63	930	Hexanoic acid, methyl ester	888	4-Methylhexanoic acid, methyl ester	881	Methyl 10-methyldodecanoate
5	21.86	916	Hexanoic acid, 4-methyl-, butyl ester	791	Lactose, 2,3,4,5,6-pentakis-O-(trimethylsilyl)-	791	Propyl 2,3-methylpentanoate
6	25.37	866	Hexanoic acid, methyl ester	798	Hexanoic acid, 5-methyl-, methyl ester	795	Hexanoic acid, methyl ester
7	25.89	892	Glycerin, 1,2-bis-O-(tert-butyldimethylsilyl)-	798	Sorbitol, 1,3:2,4-bis-O-(phenylmethylene)-	791	Methyl stearate

8	25.89	892	Glycerin, 1,2-bis-O-(tert-butyldimethylsilyl)-	791	Sorbitol, 1,3:2,4-bis-O-(phenylmethylene)-	791	Hexanoic acid, 5-[(hydroxymethyl)-1,3-ethanediyl] ester, (S)-
9	27.89	939	Methyl tetradecanoate	884	Tridecanoic acid, 12-methyl-, methyl ester	881	Pentadecanoic acid, methyl ester
10	30.04	858	Hexanoic acid, 2,5-dihydroxy-, bis(trimethylsilyl) ester	807	Hexanoic acid, 6-hydroxy-5-[(hydroxymethyl)ethyl]- ester	798	n-Caproic acid 6-hydroxy ester
11	31.99	936	Pentadecanoic acid, 13-methyl-, methyl ester	879	Pentadecanoic acid, 13-methyl-, methyl ester	864	Pentadecanoic acid, methyl ester
12	32.67	897	Hexanoic acid, 6-(2-dihydroxypropyl)- ester	811	Hexanoic acid, 6-hydroxy-5-(hydroxymethyl)ethyl- ester	798	2,3-Hexitol, 1,4-O-diethenyl-
13	33.33	935	9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	918	Trans-13-Octadecenoic acid, methyl ester	918	9-Octadecenoic acid (E)-, methyl ester
14	33.75	934	Methyl stearate	884	Heptadecanoic acid, 16-methyl-, methyl ester	881	Heptadecanoic acid, 16-methyl-, methyl ester
15	35.37	896	Tetradecanoic acid, 2,3-dihydroxy-1-[(hydroxymethyl)ethyl] ester	888	Tetradecanoic acid, 2,3-dihydroxypropyl ester	798	1,3-Dihydroxybut-2-yl myristate
16	35.62	893	Hexadecanoic acid, 2-hydroxy-1-[(hydroxymethyl)ethyl] ester	881	Glycerol 1-palmitate	791	Hexadecanoic acid, 2,3-dihydroxypropyl ester
17	35.91	886	Hexanoic acid, 6-[(hydroxymethyl)-1,2-ethanediyl] ester, (S)-	879	Hexanoic acid, 6-hydroxy-5-(hydroxymethyl)ethyl- ester	879	1,2-Octanediol
18	36.58	931	Hexanoic acid, 6-[(hydroxymethyl)-1,2-ethanediyl] ester, (S)-	798	1,3-Octanediol	798	Ala-gly-ala-ala-ala-ala
19	37.87	852	1-Monomyristin 2-O-methoxyethylether	844	Diethylene glycol monolaurate	844	Ethylene oxide-fructose
20	38.37	907	1-Monomyristin 2-O-methoxyethylether	879	Ala-gly-ala-ala-ala-ala	851	1,2-Eicosene
21	39.01	849	Ala-gly-ala-ala-ala-ala	799	Hexanoic acid, 6-[(hydroxymethyl)-1,2-ethanediyl] ester	799	1-Monomyristin 2-O-methoxyethylether
22	42.35	902	1-Monomyristin 3-O-(2-hydroxyethyl)ether	844	Ala-gly-ala-ala-ala-ala	844	Ethylene oxide-fructose
23	42.51	846	Hexanoic acid, 6-[(hydroxymethyl)-1,2-ethanediyl] ester	799	Ala-gly-ala-ala-ala-ala	799	2,3,4,5-Tetrakis-O-(trimethylsilyl)-1-O-(2-amino-2-deoxy-6-O-(2-amino-2-deoxy-3-O-(2-amino-2-deoxy-4,6-O-(1-carboxyethylidene)-beta-D-glucopyranosyl)-beta-D-glucopyranosyl)-D-glucitol, tetrakis(trimethylsilyl) ether

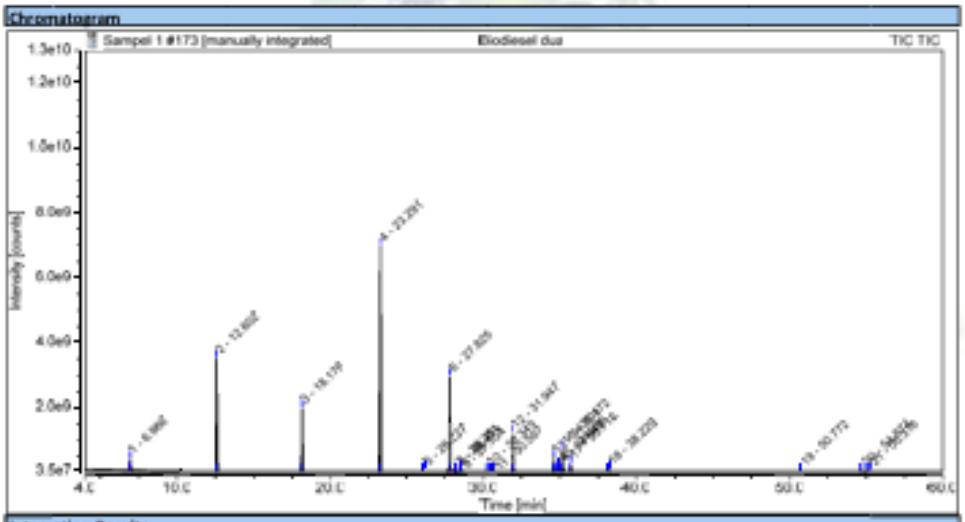
Lampiran 8. Kromatogram GC-MS Biodiesel Siklus 5

Chromatogram and Results

Injection Details

Injection Name:	**Biodiesel dua**	*Run Time (min):*	**64.00**
Vial Number:	**212**	*Injection Volume:*	**1.00**
Injection Type:	**Unknown**	*Channel:*	**TIC**
Calibration Level:		*Wavelength:*	**n.a.**
Instrument Method:	**TG-SMS**	*Bandwidth:*	**n.a.**
Processing Method:	**SCREENING**	*Dilution Factor:*	**1.0000**
Injection Date/Time:	**14/Nov/25 08:53**	*Sample Weight:*	**1.0000**

Chromatogram



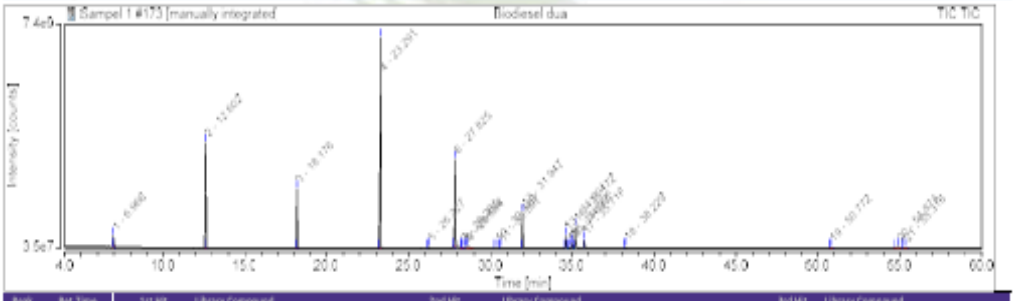
Integration Results

No.	Peak Name	Retention Time min	Area counts*min	Height counts	Relative Area %	Relative Height %	Amount n.a.
1		6.988	107932914.793	3463224451.720	1.26	1.87	n.a.
2		12.602	1317559142.026	34619641806.257	15.44	18.65	n.a.
3		18.176	719617081.417	1947399646.945	8.43	10.49	n.a.
4		23.291	3721998893.735	6930947774.679	45.09	37.35	n.a.
5		26.227	19733708.082	446152997.938	0.23	0.24	n.a.
6		27.825	1137640017.887	2882634844.785	13.33	15.53	n.a.
7		28.261	2439973.417	42844334.482	0.03	0.02	n.a.
8		28.454	24970983.360	20567334.468	0.29	0.11	n.a.
9		28.584	7462697.919	30904386.043	0.87	0.17	n.a.
10		30.349	796787.009	4401976.490	0.09	0.02	n.a.
11		30.597	1283533.276	29209310.958	0.15	0.16	n.a.
12		31.947	495993758.394	1178711925.346	5.81	6.35	n.a.
13		34.604	183497199.960	406126928.948	2.11	2.19	n.a.
14		34.842	18650022.033	31591473.398	0.22	0.17	n.a.
15		34.995	8124410.301	164479167.297	0.95	0.89	n.a.
16		35.172	33986864.502	690799833.260	3.98	3.72	n.a.
17		35.716	127461156.670	260723878.325	1.49	1.40	n.a.
18		38.229	32147903.320	66878061.621	0.38	0.36	n.a.
19		50.772	8912973.993	14994891.388	0.10	0.08	n.a.
20		54.874	78574685.643	30626132.875	0.92	0.17	n.a.
21		55.316	25366957.747	10252886.479	0.03	0.06	n.a.
Total:			**8535680097.485**	**18557014202.739**	**100.00**	**100.00**	

Injection Details

Injection Name:	**Biodiesel dua**	*Run Time (min):*	**64.00**
Vial Number:	**212**	*Injection Volume:*	**1.00**
Injection Type:	**Unknown**		
Calibration Level:			
Instrument Method	**TG-5MS**		
Processing Method	**SCREENING**	*Dilution Factor:*	**1.0000**
Injection Date/Tim	14/Nov/25 08:53	*Sample Weight:*	**1.0000**

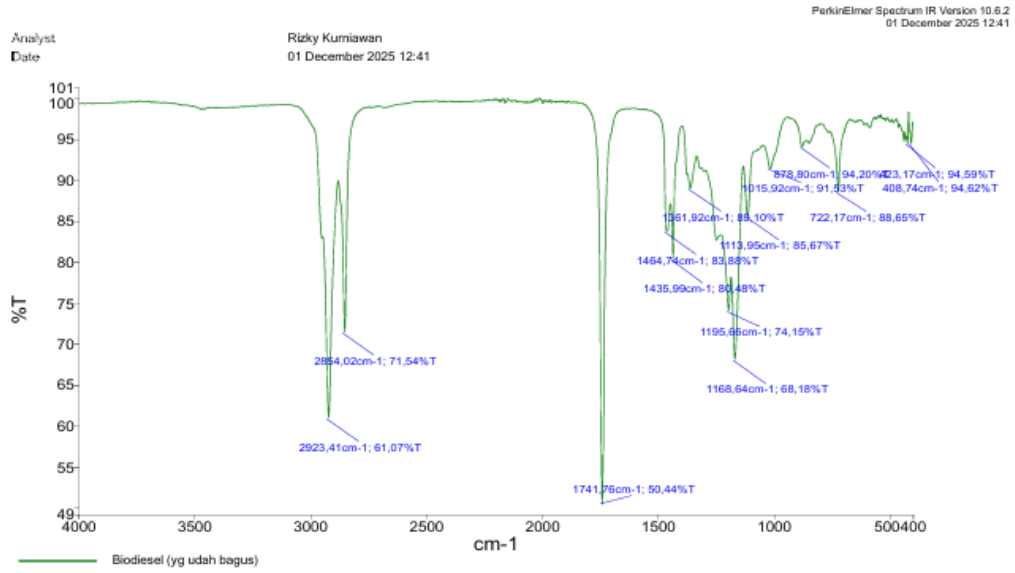
Chromatogram



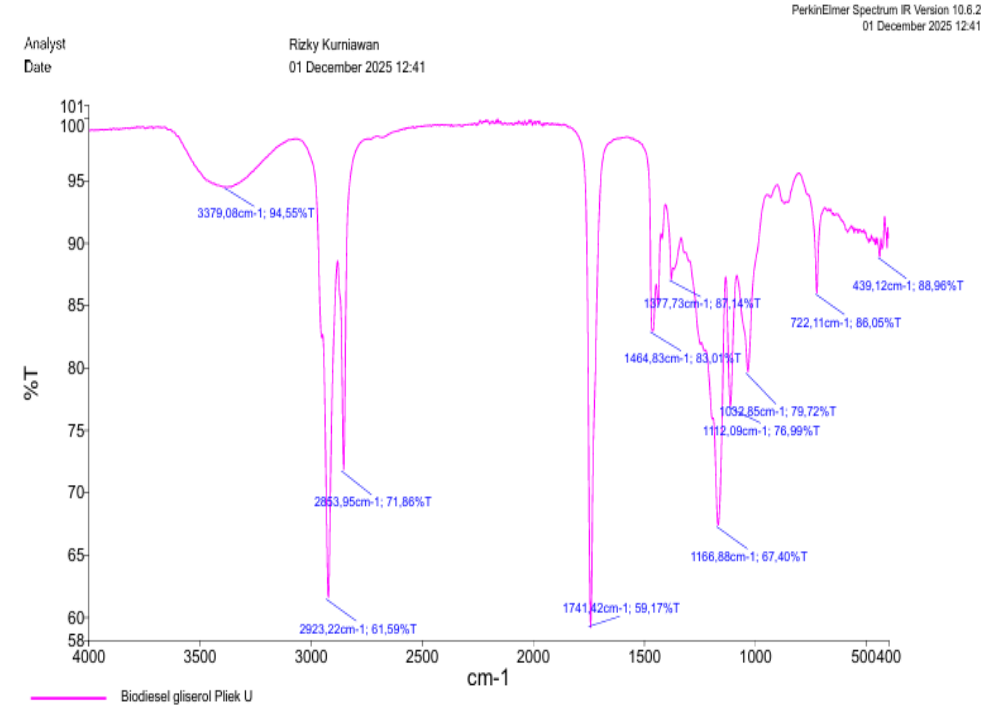
Peak No.	Ret.Time min	1st Hit SI	Library Compound	2nd Hit SI	Library Compound	3rd Hit SI	Library Compound
1	6.87	916	Hexanoic acid, methyl ester	781	Pentanoic acid, 3-methyl-, methyl ester	750	Pentanoic acid, 4-methyl-, methyl ester
2	12.60	922	Octanoic acid, methyl ester	766	Nonanoic acid, methyl ester	766	Octanoic acid, 2-methyl-
3	18.18	937	Decanoic acid, methyl ester	869	8-Methylnonanoic acid, methyl ester	837	Methyl 8-methyl-nonanoate
4	23.29	885	Dodecanoic acid, methyl ester	808	Tridecanoic acid, methyl ester	806	Undecanoic acid, 10-methyl-, methyl ester
5	26.23	854	Glycerin, 1,2-dicaprylate	744	Xylitol, 1-O-octanoyl-	733	Octanoic acid, 2-butyl ester
6	27.83	910	Methyl tetradecanoate	903	Tridecanoic acid, 12-methyl-, methyl ester	851	Tridecanoic acid, methyl ester
8	28.45	851	10-Octadecenoic acid, methyl ester	849	trans-13-Octadecenoic acid, methyl ester	846	6-Octadecenoic acid, methyl ester, (Z)-

9	28.58	868	6-Octadecenoic acid, methyl ester, (Z)-	863	10-Octadecenoic acid, methyl ester	863	6-Octadecenoic acid, methyl ester
10	30.35	737	Heptadecanoic acid, 16-methyl-, methyl ester	716	Heptadecanoic acid, 10-methyl-, methyl ester	711	Heptadecanoic acid, 9-methyl-, methyl ester
11	30.60	842	Decanoic acid, 2-hydroxy-1-(hydroxymethyl)ethyl ester	796	Decanoic acid, 2,3-dihydroxypropyl ester	740	Xylitol, 1-O-decanoyl-
12	31.05	908	Hexadecanoic acid, methyl ester	868	Pentadecanoic acid, 14-methyl-, methyl ester	844	Pentadecanoic acid, methyl ester
13	34.60	896	Dodecanoic acid, 2,3-dihydroxypropyl ester	873	Dodecanoic acid, 2-hydroxy-1-(hydroxymethyl)ethyl ester	727	d,l-Xylitol, 1-O-dodecanoyl-
14	34.84	830	Dodecanoic acid, 2-hydroxy-1-(hydroxymethyl)ethyl ester	792	Dodecanoic acid, 2,3-dihydroxypropyl ester	726	d,l-Xylitol, 1-O-dodecanoyl-
15	34.99	906	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester	901	Methyl 9-cis,11-trans-octadecadienoate	893	Methyl 10-trans,12-cis-octadecadienoate
16	35.17	921	6-Octadecenoic acid, methyl ester, (Z)-	918	9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester	917	trans-10-Octadecenoic acid, methyl ester
17	35.32	915	Methyl stearate	888	Heptadecanoic acid, 16-methyl-, methyl ester	833	Heptadecanoic acid, 15-methyl-, methyl ester
18	38.28	861	Tetradecanoic acid, 2-hydroxy-1-(hydroxymethyl)ethyl ester	841	Tetradecanoic acid, 2,3-dihydroxypropyl ester	763	1,3-O-Benzylidene glyceryl-2-myristate
19	50.77	671	Rac-glycerol-1,3-dilaurate	650	Dodecanoic acid, 1-(hydroxymethyl)-1,2-ethanediyl ester	601	Ethyl iso-allocholate
20	54.87	632	Rac-glycerol-1,3-dilaurate	616	Dodecanoic acid, 1,2,3-propanetriyl ester	605	1-Dodecanoyl-3-myristoylglycerol

Lampiran 9. Spektrum FTIR Biodiesel



Source Spectra Results	
Spectrum Name	Number Of Peaks
Biodiesel (yg udah bagus)	14



BIOGRAFI PENULIS

DATA PRIBADI

Nama	:	Masyithah Fauzi
NIM	:	210704001
Jurusan	:	Kimia
Fakultas	:	Sains dan Teknologi
Tempat/Tanggal Lahir	:	Medan, 8 Juni 2004
Jenis Kelamin	:	Perempuan
Alamat	:	Jeulingke, Kecamatan Syiah Kuala, Kota Banda Aceh, Provinsi Aceh
Nomor HP	:	085668927074
Email	:	210704001@student.ar-raniry.ac.id

RIWAYAT PENDIDIKAN

2009-2009	:	TK Swasta An-Najwa Medan
2009-2015	:	SD Swasta An-Najwa Medan
2015-2018	:	SMPN 5 Medan
2018-2021	:	SMAN 5 Banda Aceh
2021-2026	:	S1 Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry, Banda Aceh