ANALISIS STRUKTUR KRISTAL, KOMPOSISI UNSUR TOTAL, DAN GUGUS FUNGSI KATALIS HETEROGEN DARI KULIT PISANG KEPOK (*Musa acuminata balbisiana*) SERTA APLIKASINYA SEBAGAI KATALIS PADA TRANSESTERIFIKASI MINYAK KELAPA SAWIT

Skripsi

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana S-1

Hella Nazilni Hidayah
22106030041

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
2026

LEMBAR PENGESAHAN

KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-2263/Un.02/DST/PP.00.9/09/2026

Tugas Akhir dengan judul : Analisis Struktur Kristal, Komposisi Unsur Total, Dan Gugus Fungsi Katalis Heterogen Dari Kulit Pisang Kepok (Musa Acuminata Balbisiana) Serta Aplikasinya Sebagai Katalis Pada Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama	: HELLA NAZILNI HIDAYAH
Nomor Induk Mahasiswa	: 22106030041
Telah diujikan pada	: Jumat, 28 Agustus 2026
Nilai ujian Tugas Akhir	: A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR

Ketua Sidang

Sudarlin, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 6a9a3f3e222eb

Penguji I

Karmanto, S.Si., M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 6a9645e0d814a

Penguji II

Endaruji Sedyadi, M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 6a992b878b86d

Yogyakarta, 28 Agustus 2026
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 6a9a717652423

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga FM-UINSK-BM-05-03/R0

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi / Tugas Akhir
Lamp : -

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Hella Nazilni Hidayah
NIM : 22106030041
Judul Skripsi : Analisis Struktur Kristal, Komposisi Unsur Total, dan Gugus Fungsi Katalis Heterogen dari Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata balbisiana*) serta Aplikasinya sebagai Katalis Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Kimia.

Dengan ini kami mengharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqasyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 27 Agustus 2026
Pembimbing

Sudarlin, M.Si.
NIP: 19850611 201503 1 002

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama	: Hella Nazilni Hidayah
NIM	: 22106030041
Jurusan	: Kimia
Fakultas	: Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **"Analisis Struktur Kristal, Komposisi Unsur Total, dan Gugus Fungsi Katalis Heterogen dari Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata balbisiana*) serta Aplikasinya sebagai Katalis Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit"** merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memeperoleh gelar kesarjana di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 27 Agustus 2026



Hella Nazilni Hidayah
22106030041

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN MOTTO

“Trying and Praying is the Way to Real Success**”**

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

Karya tulis ini juga dipersembahkan sebagai tanda bukti sayang dan cinta kepada Bapak Suparno Hatta dan Ibu Sri Rahayu. Terima kasih kepada Bapak atas kasih sayang dan nilai-nilai kehidupan yang senantiasa menjadi kekuatan dalam setiap langkah penulis, serta kepada Ibu atas doa, motivasi, dan dukungan untuk menyelesaikan tugas akhir ini

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Alhamdulillāhirabbil'ālamīn, puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Swt. atas segala rahmat, karunia, nikmat, kesehatan, kekuatan, serta kemudahan yang senantiasa diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Analisis Struktur Kristal, Komposisi Unsur Total, dan Gugus Fungsi Katalis Heterogen dari Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminate balbisiana*) dan Aplikasinya pada Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit". Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si.) pada Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta. Selama proses penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa penyelesaian penelitian dan penulisan skripsi tidak terlepas dari doa, dukungan, bimbingan, motivasi, serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Noorhaidi Hasan, M.A., M.Phil., Ph.D. selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta
2. Ibu Dr. Hj. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
3. Ibu Prof. Dr. Maya Rahmayanti, S.Si., M.Si. selaku Ketua Program Studi Kimia yang telah memberikan berbagai arahan.
4. Ibu Dr. Imelda Fajriati, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan motivasi dan arahan selama studi
5. Bapak Sudarlin, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang ikhlas dan sabar meluangkan waktunya untuk membimbing, mengarahkan dan memotivasi dalam penyusunan skripsi ini.
6. Seluruh dosen dan staf karyawan di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah membantu sehingga penyusunan skripsi ini dapat berjalan dengan lancar.
7. Bapak Suparno Hatta, yang merupakan cinta pertama penulis, sosok Bapak yang selalu menjadi pahlawan di hati putri kecilnya dan menjadi alasan penulis bertahan sejauh ini. Beliau selalu mendukung putri kecilnya tentang pendidikan hingga bangku perkuliahan untuk menggapai mimpinya. Segala cinta, ketulusan, dan berbagai pengorbanan yang telah dilakukan semasa hidupnya menjadi kekuatan terbesar dalam hidup penulis. Terima kasih telah menjadi garda terdepan bagi penulis. Nama dan cinta beliau akan tetap abadi di hati penulis.
8. Ibu Sri Rahayu adalah perempuan hebat dan luar biasa yang dengan penuh cinta serta keteguhan hati berjuang tanpa lelah demi masa depan anak-anaknya hingga meraih gelar. Terima kasih atas doa-doa yang tak pernah terputus, atas kasih yang tak pernah berkurang dan atas pengorbanan yang tak pernah terhitung nilainya. Ibu adalah rumah, kekuatan dan alasan penulis terus melangkah. Selalu baik ya Bu, karena Ibu harus ada di setiap perjalanan hidup penulis.
9. Teman-teman satu bimbingan, Arnodita, Shabrina, Meylina dan Azka, yang telah berjuang bersama serta saling memberikan dukungan selama proses penelitian dan penyusunan skripsi ini.
10. Teman-teman dekat penulis selama menempuh pendidikan di Program Studi Kimia, yaitu Salisia, Masitha, Yumroh, Nazira, Ira, Rahma, Abel, Najwa, Gishella, dan Andhini yang telah memberikan banyak kenangan, kebersamaan, dukungan, serta motivasi selama masa perkuliahan.

11. Keluarga Xenon (Kimia Angkatan 2022) yang telah memberikan kebersamaan, dukungan, motivasi, pembelajaran serta kenangan berharga selama perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini.
12. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu atas segala bantuan, dukungan, motivasi, dan doa yang telah diberikan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
13. Terakhir, penulis mengucapkan terima kasih kepada diri sendiri, Hella Nazilni Hidayah, atas segala perjuangan, kesabaran, dan keteguhan hati dalam menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih telah bertahan melewati setiap proses, menghadapi berbagai tantangan, dan terus berusaha hingga mencapai tahap ini. Semoga pencapaian ini menjadi awal untuk terus bertumbuh, berkarya, dan menggapai impian.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan karya ilmiah ini. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat serta menjadi referensi bagi pengembangan penelitian katalis heterogen dan biodiesel.

Yogyakarta, 31 Agustus 2026

Penulis

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN ii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR..... iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN iv
HALAMAN MOTTO v
HALAMAN PERSEMBAHAN vi
KATA PENGANTAR..... vii
DAFTAR ISI..... ix
DAFTAR GAMBAR..... xi
DAFTAR TABEL xii
ABSTRAK xiii
ABSTRACT..... xiv
BAB I PENDAHULUAN.....1
A. Latar Belakang 1
B. Batasan Masalah.....4
C. Rumusan Masalah 5
D. Tujuan Penelitian 5
E. Manfaat Penelitian.....6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....7
A. Tinjauan Pustaka 7
B. Landasan teori.....11
1. Pisang.....11
2. Metode Kalsinasi 12
3. Katalis Heteogen.....14
4. Minyak Kelapa Sawit 16
5. Reaksi Transesterifikasi.....17
6. Biodiesel 19
7. *X-Ray Diffraction* (XRD) 20
8. *X-Ray Fluorescence* (XRF) 23
9. *Fourier Transform Infrared* (FTIR) 24
10. *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS).....29
C. Kerangka Berpikir dan Hipotesis.....31
BAB III METODE PENELITIAN 37
A. Waktu dan Tempat Penelitian 37
B. Alat-alat Penelitian 37
C. Bahan Penelitian 38
D. Cara Kerja Penelitian.....38
1. Preparasi Bahan Baku Katalis dari Kulit Pisang Kepok.....38
2. Sintesis Katalis melalui Proses Kalsinasi 39
3. Uji Sifat Kebasan Katalis dengan Indikator Hammet dan Titrasi Asam Benzoat 40
4. Karakterisasi Katalis.....41
5. Sintesis Biodiesel melalui Reaksi Transesterifikasi 41
6. Pemurnian Biodiesel.....42
7. Analisis Produk Biodiesel dengan GC-MS 42
8. Analisis Rendemen 43

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

E. Teknik Analisis Data....44
1. Analisis Rendemen....44
2. Analisis Komponen Biodiesel (GC-MS)....44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN....45
A. Preparasi Kulit Pisang Kepok....45
B. Hasil Uji Kebasaan Katalis Heterogen Kulit Pisang Kepok dengan Metode Hammett Indikator-Asam Benzoat....47
C. Karakterisasi Fase Kristal Katalis Heterogen Kulit Pisang Kepok Berdasarkan Difraktogram *X-Ray Diffraction* (XRD)....51
D. Karakterisasi Komposisi Unsur Total Katalis Heterogen Kulit Pisang Kepok Menggunakan Instrumen *X-Ray Fluorescence* (XRF)....55
E. Karakterisasi Gugus Fungsi Katalis Heterogen Kulit Pisang Kepok Menggunakan Instrumen *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)....59
F. Sintesis Biodiesel melalui Reaksi Transesterifikasi....63
G. Hasil Pemurnian Biodiesel....66
H. Analisis Rendemen Biodiesel....69
I. Identifikasi Metil Ester Minyak Kelapa Sawit dengan GC-MS....71
BAB V KESIMPULAN....77
A. Kesimpulan....77
B. Saran....78
DAFTAR PUSTAKA....79
LAMPIRAN....90

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur Metil Palmitat, Salah Satu Contoh Molekul Biodiesel (Vitz et al., 2022) 19
Gambar 2. 2 Skema X-Ray Diffraction (XRD) (Prayoga et al.,2025) 21
Gambar 2. 3 Difraksi sinar-x pada bidang atom (Callister, 2007) 22
Gambar 2. 4. (a) Prinsip X-Ray Fluorescence , (b) kekosongan elektron pada kulit L (Fansuri, 2010) 24
Gambar 2. 5 Skema FTIR (Joshi, 2012) 27
Gambar 2. 6 Vibrasi Molekul (Kombongkila et al., 2024) 28
Gambar 4. 1 Perubahan warna campuran setelah ditambahkan indikator PP 48
Gambar 4. 2 Difraktogram XRD Katalis Kulit Pisang Kepok 52
Gambar 4. 3 Spektrum FTIR Katalis Heterogen Kulit Pisang Kepok 60
Gambar 4. 4. Mekanisme Reaksi Transesterifikasi (Zain, 2021) 65
Gambar 4. 5 Kromatogram Katalis Kulit Pisang Kepok 71
Gambar 4. 6 Spektrum Massa Puncak Kesembilan Biodiesel 73
Gambar 4. 7 Spektrum Massa Puncak Keenam Biodiesel 74
Gambar 4. 8 Spektrum Massa Puncak Kesepuluh Biodiesel 75

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Katalis Heterogen dan Katalis Homogen (Kibar et al., 2023) 15
Tabel 2. 2 Komposisi Asam Lemak Minyak Kelapa Sawit (Daryono et al., 2020) 16
Tabel 2. 3 Standar Mutu Biodiesel SNI 7182:2015 20
Tabel 2. 4 Daerah Gugus Fungsi pada FTIR (Skoog et al., 2016).....25
Tabel 4. 1 Perbandingan Karakteristik Kulit Pisang Kepok 45
Tabel 4. 2 Hasil perhitungan kebasaan katalis kulit pisang kepok 51
Tabel 4. 3 Hasil Uji XRF Komposisi Unsur Total Katalis Kulit Pisang Kepok....56
Tabel 4. 4 Komposisi senyawa metil ester pada biodiesel.....72

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

ABSTRAK

ANALISIS STRUKTUR KRISTAL, KOMPOSISI UNSUR TOTAL, DAN GUGUS FUNGSI KATALIS HETEROGEN DARI KULIT PISANG KEPOK (*Musa acuminata balbisiana*) SERTA APLIKASINYA SEBAGAI KATALIS PADA TRANSESTERIFIKASI MINYAK KELAPA SAWIT

Oleh:
Hella Nazilni Hidayah
22106030041

Pembimbing
Sudarlin, M.Si.

Kulit pisang kepok (*Musa acuminata balbisiana*) merupakan limbah biomassa yang mengandung mineral berpotensi membentuk oksida logam sebagai katalis melalui proses kalsinasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis struktur kristal, gugus fungsi, dan komposisi unsur katalis oksida logam hasil kalsinasi kulit pisang kepok serta mengkaji aplikasinya pada reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit. Katalis disintesis melalui proses kalsinasi pada suhu 750°C selama 3 jam, kemudian dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), *X-Ray Fluorescence* (XRF), dan diuji sifat kebasaannya menggunakan metode Hammett Indicator-Asam Benzoat. Biodiesel yang dihasilkan dianalisis berdasarkan rendemen dan komposisi senyawa menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS). Hasil karakterisasi XRD menunjukkan puncak difraksi dominan K_2O pada sudut 2θ sebesar 25,39°; 29,59°; dan 40,56°, serta teridentifikasi fase KCl, K_2CO_3, CaO, dan MgO. Analisis XRF menunjukkan K_2O sebagai komponen dominan sebesar 53,85%, sedangkan hasil FTIR mengonfirmasi keberadaan gugus karbonat dan ikatan logam-oksigen seperti K-O, Si-O-Si, CO_3^{2-} dan Ca-O. Katalis memiliki total basicity sebesar 0,77 mmol/g. Rendemen produk sebesar 74% (b/b) dan total kandungan Fatty Acid Methyl Ester (FAME) sebesar 99,45% yang didominasi oleh metil oleat (51,84%), metil 3-hidroksi-2-tetradesiloktadekanoat (28,86%), dan metil eikosanoat (metil arakidat) (28,86%). Hasil penelitian menunjukkan bahwa katalis heterogen berbasis kulit pisang kepok berhasil digunakan sebagai katalis basa pada reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit.

Kata kunci: Biodiesel, Minyak Kelapa Sawit, Katalis Heterogen, Kulit Pisang Kepok, Kalsinasi.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

ABSTRACT

Analysis of Crystal Structure, Total Elemental Composition, and Functional Groups of a Heterogeneous Catalyst Derived from Kepok Banana (Musa acuminata balbisiana) Peel and Its Application as a Catalyst in Palm Oil Transesterification

By: Hella Nazilni Hidayah

Supervisor: Sudarlin, M.Si.

Banana peels from kepok bananas (Musa acuminata balbisiana) are biomass waste that contain minerals with the potential to form metal oxides that act as catalysts through calcination. This study aims to analyze the crystal structure, functional groups, and elemental composition of the metal oxide catalysts, with values of 25.39°, 29.59°, and 40.56°, and to identify the KCl, K_2CO_3, CaO, and MgO phases produced by calcining kepok banana peel, as well as to examine its application in the transesterification reaction of palm oil. The catalyst was synthesized by calcination at 750°C for 3 hours, then characterized using X-Ray Diffraction (XRD), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), X-Ray Fluorescence (XRF), and its basicity was tested using the Hammett Indicator-Benzoic Acid method. The resulting biodiesel was analyzed based on yield and compound composition using Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS). XRD characterization results showed dominant K_2O diffraction peaks at 2θ values of 25.39°, 29.59°, and 40.56°, and identified the KCl, K_2CO_3, CaO, and MgO phases. XRF analysis showed K_2O as the dominant component at 53.85%, while FTIR results confirmed the presence of carbonate groups and metal-oxygen bonds such as K-O, Si-O-Si, CO_3^{2-}, and Ca-O. The catalyst had a total basicity of 0.77 mmol/g. The product yield was 74% (w/w), and the total Fatty Acid Methyl Ester (FAME) content was 99.45%, dominated by methyl oleate (51.84%), methyl 3-hydroxy-2-tetradecyl octadecanoate (28.86%), and methyl eicosanoate (methyl arachidate) (28.86%). The research results show that the heterogeneous catalyst based on kepok banana peel was successfully used as a base catalyst in the transesterification reaction of palm oil.

Keywords: *Biodiesel, Palm Oil, Heterogeneous catalyst, Kepok Banana Peels, Calcination.*

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

BAB I
PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Proses transesterifikasi umumnya memanfaatkan katalis homogen seperti NaOH atau KOH yang bersifat reaktif. Namun, katalis homogen memiliki keterbatasan berupa kesulitan pemisahan dari produk akhir, menimbulkan limbah cair, serta meningkatkan biaya proses pemurnian. Oleh karena itu, diperlukan alternatif katalis untuk proses produksi biodiesel yang lebih efisien, mudah dipisahkan, ramah lingkungan serta dapat berkelanjutan (Ruhaiya et al., 2020).

Salah satu solusi dalam permasalahan ini adalah memanfaatkan katalis heterogen. Katalis heterogen mempunyai beberapa keunggulan seperti proses pemisahan setelah reaksi yang lebih mudah, dapat dipakai berulang kali, lebih ramah lingkungan, keaktifan tinggi dan usia pakai (*lifetime*) yang tinggi (Hidayat et al., 2017). Namun, reaksi menggunakan katalis heterogen berlangsung pada sistem tiga fase (minyak-metanol-katalis padat) yang tidak saling bercampur, sehingga laju reaksi cenderung lebih lambat dibandingkan dengan katalis homogen (Chouhan dan Salma., 2011).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Tarigan et al., 2023 dibuktikan bahwa salah satu limbah biomassa yang berpotensi dijadikan katalis heterogen adalah kulit pisang. Hal ini dikarenakan kulit pisang memiliki kandungan mineral yang cukup tinggi, terutama kalsium, kalium, dan magnesium, yang dapat dikonversi menjadi oksida aktif seperti kalsium oksida (CaO) dan kalium oksida (K_2O). Akan tetapi, penelitian Tarigan et al. (2023) memiliki kelemahan yaitu belum menggunakan jenis kulit pisang yang spesifik (hanya menggunakan limbah

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

kulit pisang campuran), sehingga potensi dan variasi karakteristik dari varietas pisang tertentu belum dapat dipetakan secara terstandar.

Penelitian Yani et al., 2025 menunjukkan bahwa kulit pisang memiliki kandungan mineral yang cukup tinggi, terutama kalium sebesar 5.237,6 mg/kg, serta kalsium 2.568,7 mg/kg dan fosfor 429,13 mg/kg. Meskipun demikian, keterbatasan studi Yani et al. (2025) terletak pada cakupannya yang hanya menganalisis kadar mineral mentah biomassa tanpa mengkaji proses dekomposisi termal kalsinasi dan transformasi fasa anorganik aktif yang terbentuk. Menurut penelitian Rosli et al. (2023), kulit pisang memiliki potensi besar sebagai bahan baku katalis heterogen karena kandungan mineral alaminya yang mampu meningkatkan aktivitas katalitik dalam reaksi transesterifikasi. Akan tetapi, kelemahan penelitian Rosli et al. (2023) terletak pada ketergantungannya terhadap modifikasi kimia tambahan berupa aktivasi KOH untuk memperkuat situs basa permukaan, serta penggunaan jenis pisang yang masih bersifat generik (campuran).

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengkaji pemanfaatan kulit pisang sebagai katalis heterogen. Namun, beberapa penelitian yang memanfaatkan kulit pisang secara spesifik masih terbatas dan perlu dikaji lebih lanjut. Untuk melengkapi kesenjangan penelitian tersebut, dibutuhkan pengujian karakterisasi katalis secara menyeluruh untuk memahami hubungan antara sifat fisikokimia dan aktivitas reaksi yang dihasilkan. Teknik karakterisasi menggunakan instrumen *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur kristal, *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui unsur total, dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi pada katalis heterogen. Akan tetapi, pengujian katalis

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

heterogen perlu divalidasi dengan membuktikan pembentukan produk biodiesel secara langsung. Oleh sebab itu, teknik karakterisasi *Gas Chromatography–Mass Spectrometry* (GC-MS) dimanfaatkan untuk menganalisis keberadaan serta konsentrasi metil ester hasil reaksi.

Minyak kelapa sawit dimanfaatkan sebagai bahan baku utama pembuatan biodiesel dalam penelitian ini. Pemilihan minyak kelapa sawit karena kandungan trigliserida yang tinggi serta ketersediaannya sepanjang tahun menjadikan minyak ini sangat sesuai untuk produksi biodiesel secara berkelanjutan (Siaw et al., 2023). Proses transesterifikasi minyak kelapa sawit mampu menghasilkan rendemen biodiesel mencapai 95–98% pada kondisi optimum menggunakan katalis heterogen (Tarigan et al., 2023). Akan tetapi, kemampuan katalis heterogen berbasis kulit pisang dalam reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit sangat dipengaruhi oleh kekuatan basa dan jumlah situs aktif katalis, sehingga pemilihan jenis kulit pisang sebagai bahan baku katalis menjadi faktor yang perlu dikaji secara lebih lanjut untuk mendapatkan kualitas biodiesel dan randemen yang optimal.

Berdasarkan uraian tentang pengembangan energi terbarukan di Indonesia dan besarnya potensi pemanfaatan limbah kulit pisang sebagai sumber bahan baku katalis. Penelitian ini lebih difokuskan pada pengembangan katalis heterogen berbasis kulit pisang kepok melalui analisis struktur kristal menggunakan XRD, komposisi unsur total menggunakan XRF, dan analisis gugus fungsi menggunakan FTIR yang terkandung pada abu kulit pisang kepok (*Musa acuminata balbisiana*). Penelitian ini juga diharapkan tidak hanya akan memberi solusi bagi pemanfaatan limbah biomassa lokal, tetapi juga menawarkan alternatif katalis heterogen yang

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

lebih ekonomis dan ramah lingkungan, sekaligus mendukung program ketahanan energi nasional melalui pengembangan biodiesel.

B. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan kulit pisang yang spesifik, yakni kulit pisang kepok sebagai bahan baku katalis heterogen, dan minyak kelapa sawit sebagai bahan baku biodiesel.
2. Karakterisasi katalis hanya difokuskan pada analisis struktur atau fase kristal menggunakan *X-Ray Difraction* (XRD), gugus fungsi dan ikatan kimia untuk menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR), dan komposisi unsur total menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF).
3. Penelitian ini difokuskan pada produksi biodiesel melalui reaksi transesterifikasi menggunakan alkohol metanol sebagai agen metilasi, mengingat metanol memiliki reaktivitas tinggi, harga relatif murah, dan kompatibilitas yang baik dengan katalis heterogen.
4. Evaluasi biodiesel dilakukan melalui pengukuran rendemen dan identifikasi senyawa hasil reaksi menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) untuk memastikan terbentuknya metil ester.
5. Penelitian ini tidak mencakup karakterisasi morfologi permukaan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM), luas permukaan spesifik menggunakan metode *Brunauer–Emmett–Teller* (BET), serta pengujian sifat fisika-kimia biodiesel lainnya secara menyeluruh karena dilakukan oleh rekan peneliti dalam tim kolaboratif.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka dapat dirumuskan rumusan masalah penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik fisik katalis heterogen berbasis kulit pisang kepok yang meliputi struktur kristal, gugus fungsi, dan komposisi unsur berdasarkan hasil karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), *X-Ray Fluorescence* (XRF), dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR)?
2. Bagaimana rendemen dan jenis senyawa metil ester yang terbentuk dari hasil reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit menggunakan katalis kulit pisang kepok berdasarkan data *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS)?

D. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Mengkarakterisasi karakteristik fisik katalis heterogen berbasis kulit pisang kepok yang meliputi struktur kristal, gugus fungsi, dan komposisi unsur berdasarkan hasil karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), *X-Ray Fluorescence* (XRF), dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR).
2. Menentukan rendemen dan mengidentifikasi senyawa metil ester yang terbentuk dan hasil reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit menggunakan katalis berbasis kulit pisang kepok berdasarkan data *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS).

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

E. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan data eksperimental terkait potensi kulit pisang kepok sebagai bahan baku katalis heterogen melalui proses kalsinasi.
2. Menyediakan informasi ilmiah mengenai karakteristik fisik katalis berbasis kulit pisang kepok, khususnya struktur kristal, komposisi unsur total serta gugus fungsi yang dianalisis dengan XRD, XRF, dan FTIR.
3. Menegaskan pentingnya metode karakterisasi XRD, XRF, dan FTIR dalam memahami hubungan sifat fisik katalis dengan efisiensinya pada reaksi transesterifikasi biodiesel.
4. Membuktikan kemampuan katalis berbasis limbah kulit pisang kepok dalam mengonversi minyak kelapa sawit menjadi biodiesel, yang diverifikasi melalui pengukuran rendemen dan analisis GC-MS.
5. Mendorong pemanfaatan limbah pertanian lokal sebagai sumber daya alternatif untuk pengembangan energi terbarukan yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.
6. Mendukung kerja kolaboratif lintas bidang dalam pengembangan biodiesel berkelanjutan melalui pendekatan eksperimental yang efisien dan aplikatif.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

BAB V

KESIMPULAN

A. Kesimpulan

5.1. Sintesis katalis heterogen berbasis kulit pisang kepok (*Musa Acuminata Balbisiana*) melalui kalsinasi pada suhu 750^{o}C selama 3 jam berhasil dilakukan. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa terdapat fase kristalin, yaitu K_2O, KCl, K_2CO_3, serta teridentifikasi fase logam oksida seperti CaO dan MgO. Hasil karakterisasi *X-Ray Fluorescence* (XRF) menunjukkan bahwa katalis kulit pisang kepok didominasi oleh K_2O sebesar 53,856%, diikuti oleh Cl sebesar 10,950%, CaO sebesar 9,137%, P_2O_5 sebesar 5,552%, SiO_2 sebesar 3,237%, dan MgO sebesar 1,818%. Hasil karakterisasi *Fourier Transform Infrared* (FTIR) menunjukkan teridentifikasi gugus karbonat (CO_3^{2-}) pada bilangan gelombang 1461,58; 1402,51 cm^{-1}; 863,08 cm^{-1}; dan 831,75 cm^{-1}, ikatan Si–O–Si Si–O–Si pada pita serapan bilangan gelombang 1048,48; 1007,77; 982,73 cm-1, dan K–O pada pita serapan bilangan gelombang 703,93; dan 666,12 cm^{-1}.

5.2. Penggunaan katalis heterogen berbasis kulit pisang klutuk pada reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit menghasilkan biodiesel dengan rendemen sebesar 75% (v/v) dan 74% (b/b). Analisis GC-MS menunjukkan bahwa biodiesel yang dihasilkan berupa campuran Fatty Acid Methyl Ester (FAME) dengan total kandungan metil ester sebesar 99,45%, yang didominasi oleh metil oleat (51,84%), metil 3-hidroksi-2-tetradesiloktadekanoat (28,86%), dan metil eikosanoat (metil arakidat) (15,76%). Hasil tersebut menunjukkan bahwa katalis heterogen berbasis kulit pisang klutuk efektif digunakan.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk penelitian selanjutnya, yaitu melakukan karakterisasi yang lebih komprehensif seperti *Scanning Electron Microscopy* (SEM) *dan Brunauer-Emmett-Teller* (BET) sehingga hubungan antara morfologi, luas permukaan, dan aktivitas katalitik dapat dijelaskan secara lebih mendalam. Selain itu, perlu dilakukan optimasi kondisi reaksi transesterifikasi, seperti variasi rasio molar metanol terhadap minyak kelapa sawit, konsentrasi katalis, suhu, dan waktu reaksi untuk memperoleh kondisi optimum dalam menghasilkan biodiesel dengan rendemen dan kandungan *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) yang lebih tinggi. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan pengujian stabilitas dan penggunaan ulang (reusability) katalis heterogen berbasis kulit pisang kepok untuk mengetahui ketahanan aktivitas katalis setelah digunakan pada beberapa siklus reaksi. Perlu dilakukan pengujian sifat fisika dan kimia biodiesel berdasarkan SNI 7182:2015, seperti densitas, viskositas, angka asam, kadar air, titik nyala, dan kadar gliserol, sehingga kualitas biodiesel yang dihasilkan dapat dievaluasi secara lebih menyeluruh.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR PUSTAKA

Abdi, C., Khair, R. M., & Saputra, M. W. (2015). Pemanfaatan limbah kulit pisang kepok (Musa acuminate L.) sebagai karbon aktif untuk pengolahan air sumur kota Banjarbaru: Fe Dan Mn. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, *1*(1).

Alamsyah, R., Lubis, E. H., & Siregar, N. C. (2011). Esterifikasi-Transesterifikasi dan Karakterisasi Mutu Biodiesel Dari Biji Jarak Pagar (Jatropha Curcas Linn). *Jurnal Kimia dan Kemasan*, *33*(1), 124-130.

Alfian, M.L. 2017. Variasi Penambahan Komposit Fotokatalis TiO_2 anastas-K_2O/Zeolit pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Jarak untuk Pembuatan Biodiesel, Skripsi, Program Studi Kimia UIN Maulana Malik Ibrahim, Malang.

Arita, S., Rifqi, M., Nugroho, T., Agustina, T. E., & Hadiah, F. (2020). Pembuatan biodiesel dari limbah cair kelapa sawit dengan variasi katalis asam sulfat pada proses esterifikasi. *Jurnal Teknik Kimia*, *26*(1), 1-11.

Atadashi, I. M., Aroua, M. K., & Aziz, A. A. (2011). Biodiesel separation and purification: a review. *Renewable Energy*, *36*(2), 437-443. https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.07.019

Atadashi, I. M., Aroua, M. K., Aziz, A. A., & Sulaiman, N. M. N. (2013). The effects of catalysts in biodiesel production: A review. *Journal of industrial and engineering chemistry*, *19*(1), 14-26. https://doi.org/10.1016/j.jiec.2012.07.009

Azura, N., Prakoso, T., & Pratiwi, M. (2026). Purification Optimization of Biodiesel Derived from Glyceroxide-Catalyzed Transesterification. *Equilibrium Journal of Chemical Engineering*, *9*(2), 74-80. https://doi.org/10.20961/equilibrium.v9i2.113221

Basumatary, B., Atmanli, A., Azam, M., Basumatary, S. F., Brahma, S., Das, B., ... & Basumatary, S. (2024). Catalytic efficacy, kinetic, and thermodynamic studies of biodiesel synthesis using Musa AAA plant waste-based renewable catalyst. *International Journal of Energy Research*, *2024*(1), 8837343. https://doi.org/10.1155/2024/8837343

Birkholz, M. (2006). *Thin Film Analysis by X-Ray Scattering*. Weinheim: Wiley-VCH.

Buasri, A., Kamsuwan, J., Dokput, J., Buakaeo, P., Horthong, P., & Loryuenyong, V. (2024). Green synthesis of metal oxides (CaO-K2O) catalyst using golden apple snail shell and cultivated banana peel for production of biofuel

from non-edible Jatropha Curcas oil (JCO) via a central composite design (CCD). *Journal of Saudi Chemical Society*, *28*(3), 101836. https://doi.org/10.1016/j.jscs.2024.101836

Bunaciu, A. A., UdriŞTioiu, E. G., & Aboul-Enein, H. Y. (2015). X-ray diffraction: instrumentation and applications. *Critical reviews in analytical chemistry*, *45*(4), 289-299.

Callister, William D. 2007. "*Material Science and Engineering An Introduction*". New York: John Wiley and Sons, Inc.

Changmai, B., Vanlalveni, C., Ingle, A. P., Bhagat, R., & Rokhum, L. (2020). Widely used catalysts in biodiesel production: A review. In *RSC Advances* (Vol. 10, Issue 68, pp. 41625–41679). Royal Society of Chemistry. https://doi.org/10.1039/d0ra07931f

Chouhan, A. P., & Sarma, A. K. (2011). Modern heterogeneous catalysts and their application in biodiesel production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 4378–4399. https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.112

Cullity, B. D. & Stock, S. R. (2014). *Elements of X-Ray Diffraction* (3rd ed.). Pearson Education Limited.

Daryono, E. D., Prasetyo, A. P., Bahri, S., & Sista, E. M. (2020). Produksi biodiesel tanpa gliserol dari minyak kelapa sawit dengan variasi massa co-solvent dan waktu reaksi. *Jurnal Teknik Kimia USU*, *9*(2), 51-56.

Deng, G., Nagy, C., & Yu, P. (2023). Combined molecular spectroscopic techniques (SR-FTIR, XRF, ATR-FTIR) to study physiochemical and nutrient profiles of Avena sativa grain and nutrition and structure interactive association properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *63*(25), 7225–7237. https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2045470

Deshmane, V. G., & Adewuyi, Y. G. (2013). Synthesis and kinetics of biodiesel formation via calcium methoxide base catalyzed transesterification reaction in the absence and presence of ultrasound. *Fuel*, *107*, 474-482. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.12.080

Fan, M., Wu, H., Shi, M., Zhang, P., & Jiang, P. (2019). Well-dispersive K2O–KCl alkaline catalyst derived from waste banana peel for biodiesel synthesis. *Green Energy and Environment*, *4*(3), 322–327. https://doi.org/10.1016/j.gee.2018.09.004

Faruque, M. O., Razzak, S. A., & Hossain, M. M. (2020). Application of heterogeneous catalysts for biodiesel production from microalgal oil—a

review. In *Catalysts* (Vol. 10, Issue 9, pp. 1–25). MDPI. https://doi.org/10.3390/catal10091025

Fatehi, H., Weng, W., Li, Z., Bai, X.-S., & Aldén, M. (2021). Recent Development in Numerical Simulations and Experimental Studies of Biomass Thermochemical Conversion. *Energy & Fuels*, 35(9), 6940–6963. https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c04139

Fitriani, Y. 2025. Pengaruh Perbandingan Kulit Pisang Kepok Dan Kulit Buah Naga Merah Terhadap Mutu Selai. *Skripsi*. Fakultas Pertanian : Universitas Jambi.

Foger, K. 1984. Dispersed Metal Catalysis. Catalysis: Science and Technology Volume 6. Berlin: Spinger-Verlag.

Foroutan, R., Peighambardoust, S. J., Mohammadi, R., Peighambardoust, S. H., & Ramavandi, B. (2024). The potential of biochar derived from banana peel/Fe3O4/ZIF-67@K2CO3 as magnetic nanocatalyst for biodiesel production from waste cooking oils. *Results in Engineering*, *22*. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102005

Hambali, Erliza. 2007. *Teknologi Bioenergi*. Jakarta: PT Agromedia Pustaka

Hakim, L., Dirgantara, M., & Nawir, M. (2019). Karakterisasi struktur material pasir bongkahan galian golongan c dengan menggunakan X-Ray Difraction (X-RD) di kota Palangkaraya. *Jurnal Jejaring Matematika dan Sains*, *1*(1), 44-51.

Härtig, C. (2008). Rapid identification of fatty acid methyl esters using a multidimensional gas chromatography–mass spectrometry database. *Journal of chromatography A*, *1177*(1), 159-169. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2007.10.089

Helwani, Z., Othman, M. R., Aziz, N., Kim, J., & Fernando, D. W. (2009). Solid heterogeneous catalysts for transesterification of triglycerides with methanol: a review. *Applied Catalysis A: General*, *363*(1-2), 1-10. https://doi.org/10.1016/j.apcata.2009.05.021

Hermawan, D., Lestari, W., Sepriani, Y., & Saragih, S. H. Y. (2023). Analisis Unsur Hara Makro N, P, K dan Mg Pupuk Organik Cair dari Bahan Batang dan Kulit Buah Pisang. *Jurnal Mahasiswa Agroteknologi (Jmatek)*, *4*(2), 64-73.

Hidayat, A., Mukti, N. I. F., Handoko, B., & Sutrisno, B. (2018). Biodiesel production from rice bran oil over modified natural zeolite catalyst. *International Journal of Technology*, *9*(2), 400-411.

Ioannidi, A. A., Logginou, O., Kouvelis, K., Petala, A., Antonopoulou, M., Mantzavinos, D., & Frontistis, Z. (2024). Peroxydisulfate activation by biochar from banana peel promoted with copper phosphide for bisphenol S degradation in aqueous media. *Catalysts*, *14*(11), 789. https://doi.org/10.3390/catal14110789

Jannah, R. (2008). Reaksi Transesterifikasi Trigliserida Minyak Jarak Pagar dengan Metanol menggunakan Katalis Padatan Basa K2CO3/y-Al2O3 (UI-Skrip). Universitas Indonesia.

Jazuli, M., & Wibowo, A. A. (2020). Biodiesel Sebagai Sumber Energi Terbarukan : Proses dan Teknologi Terkini. Distilat : Jurnal Teknologi Separasi, 6(2), 445–450.

Khan, H., Khan, I., & Binh, T. T. (2020). The heterogeneity of renewable energy consumption, carbon emission and financial development in the globe: A panel quantile regression approach. *Energy Reports*, *6*, 859–867.

Kibar, M. E., Hilal, L., Çapa, B. T., Bahçıvanlar, B., & Abdeljelil, B. ben. (2023). Assessment of Homogeneous and Heterogeneous Catalysts in Transesterification Reaction: A Mini Review. In *ChemBioEng Reviews* (Vol. 10, Issue 4, pp. 412–422). John Wiley and Sons Inc. https://doi.org/10.1002/cben.202200021

Knudsen, J. N., Jensen, P. A., & Dam-Johansen, K. (2004). Transformation and release to the gas phase of Cl, K, and S during combustion of annual biomass. *Energy & Fuels*, *18*(5), 1385-1399.

Kombongkila, O., Taunaumang, H., & Tumimomor, F. R. (2024). Analisis Struktur Film Tipis Disperse Orange-3 Hasil FTIR. *Jurnal FisTa Fisika dan Terapannya*, *5*(1), 45-50.

Li, Y., & Jiang, Y. (2018). Preparation of a palygorskite supported KF/CaO catalyst and its application for biodiesel production via transesterification. *RSC advances*, *8*(29), 16013-16018. https://doi.org/10.1039/c8ra02713g

Lopes, P.N., Salovey, P., Côté, S., & Beers, M. (2005). Emotion regulation ability and the quality of social interaction. *Emotion*. 5, 113-118.

Ma, F., & Hanna, M. A. (1999). Biodiesel production: a review. *Bioresource technology*, *70*(1), 1-15.

Made, S. S. N., dan Wayan, S. I. 2021. Analisis Gugus Fungsi Obat Sirup Batuk dengan Fourier Transform Infrared. Jurnal Edukasi Matematika dan Sains. https://doi.org/10.5281/zenodo.5643634

STATE ISLAMIC UNIVERSITY SUNAN KALIJAGA YOGYAKARTA

Man, L. F., Kwong, T. L., Wong, W. T., & Yung, K. F. (2021). Mesoporous Zn/MgO hexagonal nano-plates as a catalyst for camelina oil biodiesel synthesis. *Nanomaterials*, *11*(10),2690. https://doi.org/10.3390/nano11102690

Margareta, M. A. H., & Wonorahardjo, S. (2023). Optimasi Metode Penetapan Senyawa Eugenol dalam Minyak Cengkeh Menggunakan Gas Chromatography – Mass Spectrum dengan Variasi Suhu Injeksi. *Jurnal Sains Dan Edukasi Sains*, *6*(2), 95–103. https://doi.org/10.24246/juses.v6i2p95-103

Maroa, S., & Inambao, F. (2021). A review of sustainable biodiesel production using biomass derived heterogeneous catalysts. In *Engineering in Life Sciences* (Vol. 21, Issue 12, pp. 790–824). John Wiley and Sons Inc. https://doi.org/10.1002/elsc.202100025

Maulidiyah, Nurdin, M., Fatma, F., Natsir, M., & Wibowo, D. (2017). Characterization of methyl ester compound of biodiesel from industrial liquid waste of crude palm oil processing. *Analytical Chemistry Research*, *12*, 1–9. https://doi.org/10.1016/j.ancr.2017.01.002

Meftah, N., Hani, A., & Merdas, A. (2023). Extraction and physicochemical characterization of highly-pure amorphous silica nanoparticles from locally available dunes sand. *Chemistry Africa*, *6*(6), 3039-3048. https://doi.org/10.1007/s42250-023-00688-2

Meriatna, Husin, H., Riza, M., Faisal, M., Ahmadi, & Sulastri. (2023). Biodiesel production using waste banana peel as renewable base catalyst. *Materials Today: Proceedings*, *87*, 214–217. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.02.400

Mohamed, M. A., Galwey, A. K., & Halawy, S. A. (2002). The activities of some metal oxides in promoting the thermal decomposition of potassium oxalate. *Thermochimica acta*, *387*(1), 63-74. https://doi.org/10.1016/S0040-6031(01)00830-9

Mulyani, S., Zahrah, S., Salman, S., Fathurrahman, F., & Ernita, E. (2024). Lama Masa Inkubasi Pupuk Organik Dan Anorganik Untuk Perbaikan Sifat Fisik Tanah Pada Persiapan Media Tanam Tanaman Bawang Merah. *Jurnal Agrotek Tropika*, *12*(4), 836. https://doi.org/10.23960/jat.v12i4.7254

Mulyatun, M., Prameswari, J., Istadi, I., & Widayat, W. (2022). Production of non-food feedstock based biodiesel using acid-base bifunctional heterogeneous catalysts: A review. *Fuel*, *314*, 122749.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY SUNAN KALIJAGA YOGYAKARTA

Munasir, M., Triwikantoro, T., Zainuri, M., & Darminto, D. (2012). Uji Xrd Dan Xrf Pada Bahan Meneral (Batuan Dan Pasir) Sebagai Sumber Material Cerdas ($CaCO_3$ Dan SiO_2). *Jurnal Penelitian Fisika Dan Aplikasinya (JPFA)*, *2*(1), 20.

Nasser, R. M. (2025). Sustainable Biodiesel Production from Waste Cooking Oil: Exploring Banana Ash Catalyst for Corrosion Mitigation and High-Yield Performance Citation: Nasser RM. Sustainable Biodiesel Production from Waste Cooking Oil: Exploring Banana Ash Catalyst for Corrosion Mitigation and High-Yield Performance. In *J Petro Chem Eng* (Vol. 1, Issue 2). https://urfpublishers.com/journal/petrochemical-engineering

Ningtyas, D. P. (2013). Pengaruh katalis basa (NaOH) pada tahap reaksi transesterifikasi terhadap kualitas biofuel dari minyak tepung ikan sardin. *Jurnal Teknosains*, *2*(2).

Nurhayati, N., Muhdarina, M., Linggawati, A., & Siregar, S. S. (2025). Synthesis and Characterization of CaO-SiO2 Heterogeneous Catalyst of Blood Cockle Shells and Coconut Fiber Ash for Biodiesel Production from Crude Palm Oil. *Indonesian Journal of Chemistry*, *25*(4), 998–1011. https://doi.org/10.22146/ijc.91444

Oloyede, C. T., Jekayinfa, S. O., Alade, A. O., Ogunkunle, O., Laseinde, O. T., Adebayo, A. O., ... & Fattah, I. M. R. (2023). Synthesis of biobased composite heterogeneous catalyst for biodiesel production using simplex lattice design mixture: optimization process by Taguchi method. *Energies*, *16*(5), 2197.

Okorie, D. O., Eleazu, C. O., & Nwosu, P. (2015). Nutrient and heavy metal composition of plantain (Musa paradisiaca) and banana (Musa paradisiaca) peels. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, *5*(3), 1-3.

Oyedotun, T. D. T. (2018). X-ray fluorescence (XRF) in the investigation of the composition of earth materials: a review and an overview. Geology, Ecology, and Landscapes, 2(2), 148–154. https://doi.org/10.1080/24749508.2018.1452459

Pathak, G., Das, D., Rajkumari, K., & Rokhum, L. (2018). Exploiting waste: Towards a sustainable production of biodiesel using: Musa acuminata peel ash as a heterogeneous catalyst. *Green Chemistry*, *20*(10), 2365–2373. https://doi.org/10.1039/c8gc00071a

Prabawati, S., Suyanti, dan Dondy A. Setyabudi. 2008. *Teknologi Pascapanen dan Teknik Pengolahan Buah Pisang*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY SUNAN KALIJAGA YOGYAKARTA

Prayoga, A. Y. E, Budiman, C. M., & Intifadhah, S. H. (2025). Tinjauan Struktur dan Karakter Mineral Padatan dengan Menggunakan Metode X-Ray Diffraction (XRD): Review Singkat. *Progressive Physics Journal*, *6*(1). http://jurnal.fmipa.unmul.ac.id/index.php/ppjHalaman|508

Pudjiastuti, A.R., 2012, Preparasi Hidroksiapatit dari Tulang Sapi dengan Metode Kombinasi Ultrasonik dan *Spray Drying*, *Tesis*, Universitas Indonesia Press, Depok.

P. Rakes, P. Charmi, and K. S. Rajesh, "Quantitative Analytical Applications of FTIR Spectroscopy in Pharmaceutical and Allied Areas," *J. Adv. Pharm. Edu & Res*, vol. 4, no. 2, pp. 145–157, 2014

Rojas-Flores, S., Nazario-Naveda, R., Benites, S. M., Gallozzo-Cardenas, M., Delfín-Narciso, D., & Díaz, F. (2022). Use of Pineapple Waste as Fuel in Microbial Fuel Cell for the Generation of Bioelectricity. *Molecules*, *27*(21), 7389. https://doi.org/10.3390/molecules27217389

Rosli, S. N., Yahya, Y. N., Siang, L. Y., & Halim, N. A. A. (2023). Synthesis Of Biodiesel From Used Frying Oil Using Modified Banana Peel Waste As A Heterogeneous Catalyst. In *Journal of Engineering* (Vol. 16).

Ruhaiya, F., Choirun Nisa, H., Hafidh, M., Kurniasih, E., Rekayasa Kimia Industri, T., & Negeri Lhokseumawe, P. (2020). Jurnal Review : Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Pada Produksi Biodiesel Dengan Katalis Heterogen Cao Journal Review : Transesterification Of Crude Palm Oil In Biodiesel Production With Cao Heterogeneoues Catalysts. In *Jurnal Teknik dan Teknologi*.

Saetiao, P., Kongrit, N., Cheng, C. K., Jitjamnong, J., Direksilp, C., & Khantikulanon, N. (2023). Catalytic conversion of palm oil into sustainable biodiesel using rice straw ash supported-calcium oxide as a heterogeneous catalyst: Process simulation and techno-economic analysis. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, *8*. https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100432

Saputri, N. S. (2019). *Pembuatan Katalis Berbasis Karbon Aktif Dari Serbuk Gergaji Kayu Akasia Diimpregnasi Koh (Variasi Konsentrasi Dan Waktu Impregnasi)*. Politeknik Negeri Sriwijaya.

Sarifah, S. H., & Seprianti, T. (2022). Peran Enzim Dalam Metabolisme Berdasarkan Al-Qur'an Dan Hadist. *Journal Development and Research in Education*, *2*(2), 48–54.

Satatariksa, R. Y. (2018). Sintesis dan karakterisasi KOH/γ-Al2O3 dengan metode impregnasi basah, hidrotermal, dan sonikasi sebagai katalis pada reaksi

transesterifikasi minyak kelapa sawit. *Skripsi.* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).

Satriadi, H., Pratiwi, I. Y., Khuriyah, M., Widayat, H., Hadiyanto, & Prameswari, J. (2022). *Geothermal solid waste derived Ni/Zeolite catalyst for waste cooking oil processing*. *Chemosphere, 286*, 131618. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131618

Setyono, A. E., & Kiono, B. F. T. (2021). Dari Energi Fosil Menuju Energi Terbarukan: Potret Kondisi Minyak dan Gas Bumi Indonesia Tahun 2020 – 2050. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, *2*(3), 154–162.

Shen, Y., Maurizi, L., Magnacca, G., Boffa, V., & Yue, Y. (2020). Tuning porosity of reduced graphene oxide membrane materials by alkali activation. *Nanomaterials*, *10*(11), 2093. https://doi.org/10.3390/nano10112093

Siaw, W. C., Tan, L. S., Kiew, P. L., Tsuji, T., & Murshid, G. (2023). Synthesis of Biodiesel from Palm Oil Using a Hybrid Mechanical Stirring and High Frequency Ultrasonic-Assisted Enzyme-Catalysed Process. *Chemical Engineering Transactions*, *106*, 1057–1062. https://doi.org/10.3303/CET23106177

Sinaga, D. M., Hendarto, M., Ekonomi, J. I., & Pembangunan, S. (2012). Analisis Kebijakan Pengelolaan Perkebunan Kelapa Sawit Di Provinsi Sumatra Utara. In *Diponegoro Journal Of Economics* (Vol. 1, Issue 2). http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jme

SNI 7182:2015. Standar Mutu Biodiesel. Jakarta : Badan Standar Nasional Indonesia

Stuart, B. (2004). *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*. John Wiley & Sons.

Sulastri, Y. (2010). *Sintesis Methyl Ester Sulfonic Acid (Mesa) dari Crude Palm Oil (CPO) menggunakan Single Tube Falling Film Reactor*. https://pdfcookie.com/documents/yeni-sulastri-f351080121-5lq30r69k0v7

Suprapto, S., Fauziah, T. R., Sangi, M. S., Oetami, T. P., Qoniah, I., & Prasetyoko, D. (2016). Calcium oxide from limestone as solid base catalyst in transesterification of Reutealis trisperma oil. *Indonesian Journal of Chemistry*, *16*(2), 208-213. https://doi.org/10.22146/ijc.21165

Tarigan, J. B., Perangin-Angin, S., Simanungkalit, S. R., Zega, N. P., & Sitepu, E. K. (2023). Utilization of waste banana peels as heterogeneous catalysts in room-temperature biodiesel production using a homogenizer. *RSC*

Advances, *13*(9), 6217–6224. https://doi.org/10.1039/d3ra00016h

Tefera, N. T., Nallamothu, R. B., Alemayehu, G., & Kefale, Y. (2024). Optimization, Characterization, and GC-MS Analysis Of CSOME Produced using Alkali Catalyzed Transesterification. *Energy Conversion and Management: X*, *22*(February), 100549. https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2024.100549

Tesfaye Tefera, N., Nallamothu, R. B., Alemayehu, G., & Kefale, Y. (2024). Optimization, characterization, and GC-MS analysis of CSOME produced using alkali catalyzed transesterification. *Energy Conversion and Management: X*, *22*. https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2024.100549

Trisnaliani, L., Pranata, D. E., Ridwan, K. A., Alfarizi, M. N., & Lumbantoruan, M. P. (2020, April). The effect of flowrate and NaOH concentration to CO2 reduction in biogas products using absorber. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1500, No. 1, p. 012054). IOP Publishing.

Van Gerpen, J., Shanks, B., Pruszko, R., Clements, D., & Knothe, G. (2004). *Biodiesel production technology* [Report No. NREL/SR-510-36244]. National Renewable Energy Laboratory. nrel.gov

Van Gerpen, J. 2005. *Biodiesel Processing and Production*. Fuel Processing Technology, 86(10), 1097-1107.

Varrica, D., Tamburo, E., Vultaggio, M., & Di Carlo, I. (2019). ATR–FTIR spectral analysis and soluble components of PM10 and PM2. 5 particulate matter over the urban area of palermo (Italy) during normal days and saharan events. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(14), 2507. http://dx.doi.org/10.3390/ijerph16142507

Vassilev, S. V., Baxter, D., Andersen, L. K., & Vassileva, C. G. (2010). An overview of the chemical composition of biomass. *Fuel*, *89*(5), 913-933.

Vitz, E., Moore, J. W., Shorb, J., Prat-Resina, X., Wendorff, T., & Hahn, A. (2022). Bio-diesel and Thermodynamics Equation 1 : Exothermic reaction Equation 2 : Enthalpy of Reaction. *Chemical Education Digital Library (ChemEd DL)*, 6–8.

West, A. R., 1989, *Solid State Chemistry and Its Applications*, John Wiley and Sons Publisher, Singapore.

Widayat, W., Darmawan, T., Hadiyanto, H., & Rosyid, R. A. (2017). Preparation of Heterogeneous CaO Catalysts for Biodiesel Production. *Journal of Physics: Conference Series*, *877*(1). https://doi.org/10.1088/1742-

STATE ISLAMIC UNIVERSITY SUNAN KALIJAGA YOGYAKARTA

6596/877/1/012018

Widayat, W., Arman, Mhd. A. P., Syarief, E., Buchori, L., & Sulardjaka, S. (2024). Sintesis, Karakterisasi dan Pengujian Katalis CaO-MgO/Fe2O3 dari Dolomit dan Pasir Besi untuk Pembuatan Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas. *TEKNIK*, *45*(1), 91–100. https://doi.org/10.14710/teknik.v45i1.56423

Yang, D., Liu, D., Huang, A., Lin, J., & Xu, L. (2021). Critical transformation pathways and socio-environmental benefits of energy substitution using a LEAP scenario modeling. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *135*. https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110116

Yani, M. H., Nofita., Husein, S. 2025. Analisis Kandungan Mineral (Kalsium, Kalium, Fosfor) pada Kulit Pisang Kepok dan Pisang Ambon dengan Metode MPAES. *Jurnal Riset Kefarmasian Indonesia*. Volume 7 (1), 151-166.

Yudha, R. F., Setiawan, A., & Mayangsari, N. E. (2018, December). Identifikasi komponen FAME (Fatty Acid Methyl Ester) pada biodiesel yang disintesis dari minyak goreng bekas. In *Conference Proceeding on Waste Treatment Technology* (Vol. 1, No. 1, pp. 91-96).

Yu, H., Chen, X., Zhou, Y., Chen, D., & Zhang, L. (2020). Impact of photoelectric effect on X-ray density logging and its correction. Applied Radiation and Isotopes, 156. https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2019.06.031.

Yulistiono, H. S., & Brotowati, S. (2018, December). Pengaruh Suhu Kalsinasi pada Sintesis Katalis Padat Titanium Dioksida Tersulfonasi Terhadap Konversi Pembentukan Ester Pada Reaksi Esterifikasi Destilat Asam Lemak Minyak Sawit Menggunakan Metanol. In *Seminar Nasional Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat (SNP2M)* (Vol. 3).

Zabelin, A. A., Shkuropatova, V. A., Shkuropatov, A. Ya., & Shuvalov, V. A. (2015). Temperature dependence of light-induced absorbance changes associated with chlorophyll photooxidation in manganese-depleted core complexes of photosystem II. *Biochemistry (Moscow)*, *80*(10), 1279–1287. https://doi.org/10.1134/S0006297915100089

Zain, B. S. O. P. 2021. Produksi Biodiesek Menggunakan Abu Pelepah Pisang sebagai Katalis Basa Heterogen dan Kosolven Aseton dengan Metode Sonikasi. *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) : Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Zaki, M., Husin, M.T., H., Alam, P. N., Darmadi, D., Rosnelly, C. M., & Nurhazanah, N. (2019). Transesterifikasi Minyak Biji Buta-Buta menjadi

STATE ISLAMIC UNIVERSITY SUNAN KALIJAGA YOGYAKARTA

Biodiesel pada Katalis Heterogen Kalsium Oksida (CaO). *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, *14*(1), 36–43.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA