

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KATALIS La_2O_3 /ZEOLIT
ALAM DAN APLIKASINYA DALAM PROSES
TRANSESTERIFIKASI MINYAK KELAPA SAWIT MENJADI
BIODIESEL**

SKRIPSI

**Untuk memenuhi sebagian persyaratan
Mencapai derajat Sarjana S-1
Program Studi Kimia**



Oleh:

**Dewi Alifani
21106030070**

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
2025**



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-1509/Un.02/DST/PP.00.9/07/2025

Tugas Akhir dengan judul : Sintesis dan Karakterisasi Katalis La₂O₃/Zeolit Alam dan Aplikasinya Dalam Proses Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Menjadi Biodiesel

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : DEWI ALIFANI
Nomor Induk Mahasiswa : 21106030070
Telah diujikan pada : Senin, 07 Juli 2025
Nilai ujian Tugas Akhir : A-

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

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang
Didik Krisdiyanto, S.Si., M.Sc
SIGNED

Valid ID: 688ac3b680829



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

Valid ID: 6886fc1238989



Penguji II
Sudartin, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 68872da756c35



Yogyakarta, 07 Juli 2025
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

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

Valid ID: 688ae4282e628

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Dewi Alifani
NIM : 21106030070
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **"Sintesis dan Karakterisasi Katalis La_2O_3 / Zeolit Alam dan Aplikasinya dalam Proses Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Menjadi Biodiesel"** merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh 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, 01 Juli 2025


Dewi Alifani
21106030070

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA



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 : Dewi Alifani
NIM : 21106030070
Judul Skripsi : Sintesis dan Karakterisasi Katalis La_2O_3 / Zeolit Alam dan Aplikasinya dalam Proses Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Menjadi Biodiesel

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

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 1 Juli 2025
Pembimbing



Didik Krisdiyanto, S.Si., M.Sc.
NIP. 19811111 201101 1 007

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN MOTTO

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا

“Maka, sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”
(Q.S. Al- Insyirah: 5)

“ Semua jatuh bangunmu hal yang biasa, angan dan pertanyaan waktu yang menjawabnya, berikan tenggat waktu bersedihlah secukupnya , rayakan perasaanmu sebagai manusia”
(Baskara Putra – Hindia)



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

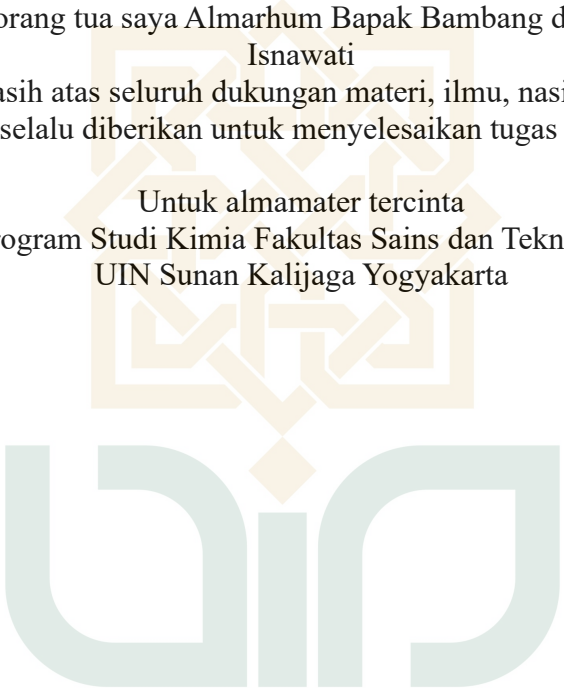
HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim dengan memanjatkan puji syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya serta tidak lupa sholawat dan salam kepada Baginda Rasulullah SAW karya ini saya persembahkan untuk:

Kedua orang tua saya Almarhum Bapak Bambang dan Ibu Siti
Isnawati

Terima kasih atas seluruh dukungan materi, ilmu, nasihat, dan doa yang selalu diberikan untuk menyelesaikan tugas akhir ini

Untuk almamater tercinta
Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil Alamin, puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi tugas akhir dari awal penelitian hingga penyusunan skripsi yang berjudul “Sintesis dan Karakterisasi Katalis $\text{La}_2\text{O}_3/\text{Zeolit}$ Alam dan Aplikasinya Dalam Proses Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Menjadi Biodiesel” yang dilaksanakan di Laboratorium Kimia Universitas Islam Indonesia dan Laboratorium Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga. Skripsi ini disusun sebagai bentuk pertanggungjawaban tertulis atas terlaksananya penelitian tugas akhir sebagai syarat memperoleh gelar Sarjana Sains bidang kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penyusun mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dan mendukung sehingga penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan. Ucapan terima kasih tersebut secara khusus penyusun sampaikan kepada:

1. Bapak Prof. Noorhaidi, M.A, M.Phil., Ph.D. selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Ibu Prof. Dr. Hj. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Ibu Prof. Dr. Maya Rahmayanti, M.Si. selaku Ketua Program Studi Kimia UIN Sunan Kalijaga.
4. Bapak Didik Krisdiyanto M.Sc selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing, mengarahkan, dan memberi motivasi penyusun dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Segenap PLP Laboratorium Kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta khususnya Bapak Indra Noviyanto, S. Si., yang telah membantu penulis selama penelitian, serta banyak memberikan semangat kepada penulis untuk bisa berani melangkah ambil resiko.
6. Seluruh dosen Kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah memberikan pengajaran selama bangku perkuliahan.
7. Segenap keluarga tercinta Almarhum Bapak Bambang Hermanto dan Ibu Siti Isnawati yang selalu memberikan kemampuan yang selalu diupayakan untuk penulis bisa menyelesaikan tugas akhir demi mendapatkan gelar sarjana. Semua cita-cita dan harapan yang diberikan kedua orang tua penulis menjadikan penulis bisa terus

merangkai mimpi-mimpinya satu demi satu. Terima kasih kepada Alm Bapak yang menjadi motivasi besar penulis selama perkuliahan. Saudara kandung penulis Nova Istina Sari, Putri Lestari, dan Rahma Andini yang selalu mendukung penulis untuk bisa menyelesaikan tugas akhir ini. Kepada saudara penulis terus tumbuh lebih baik cari panggilanmu, jadi lebih baik dibanding diriku

8. Sahabat tercinta Isyfi Asfiya, S.Si., Nurul Hikmah Suraswati, S.Si., Nia Seftiana, dan Endah Sulistyaningsih, terima kasih atas kebersamaan yang telah terjalin sejak masa awal perkuliahan. Kehadiran kalian sebagai sahabat sejati terutama waktu Kepengurusan HM-PS Periode 2024 telah memberikan dukungan, semangat, dan keceriaan yang menjadi penguat dalam setiap langkah penulis. Terima kasih atas kesetiaan dan kebersamaan yang selalu hadir, baik dalam suka maupun duka, serta atas makna dan warna yang kalian berikan dalam perjalanan hidup penulis.
9. Anggota Prik dan Yuda Adrian Saputra atas kenangan yang telah kita ciptakan bersama. Seperti lagu Hindia “Ada masanya kita mencuri ruang dan waktu, walau pasti berlalu biarkan saja, kita kesana selama-lamanya, selagi masih bisa bersama”.
10. Kepada Mbak Reshinta, Mbak Linda, Mbak Rifda, Nabila Tuhfah dan teman-teman seperjuangan di Laboratorium Kimia terima kasih atas arahan, kebersamaan, dukungan, serta semangat yang telah kita ciptakan selama penelitian.
11. KKN Bendosari, terima kasih atas kebersamaan dan kerja sama telah memberikan dukungan, semangat, serta kenangan yang akan selalu penulis kenang dengan hangat. Pengalaman luar biasa selama pengabdian di Bendosari telah memberikan Pelajaran berharga tentang arti kebersamaan dan tanggung jawab untuk menyelesaikan apa yang telah kita mulai.
12. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada seseorang yang tidak dapat penulis sebutkan namanya, namun kehadirannya sangat berarti dalam setiap langkah perjalanan penyusunan skripsi ini. Di Tengah berbagai tantangan dan kesulitan yang dihadapi dari mulai proses penyusunan magang, beliau selalu hadir memberikan dukungan yang tak ternilai, memberikan kekuatan bagi penulis untuk bangkit serta melanjutkan perjuangan ini. Tanpa bantuan dan semangat yang diberikan, proses ini takkan pernah berjalan dengan lancar. Setiap perhatian dan dukungan yang diberikan akan selalu penulis kenang dan hargai dengan penuh rasa terima kasih dan bersyukur.

13. Kepada Perempuan yang tak berinisial, terima kasih atas segala luka maupun pilu yang sampai penelitian ini selesai tepat waktu, segala pedihnya tak juga kunjung kering.

Semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi mahasiswa Program Studi Kimia. Penyusun menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan laporan ini. Oleh karena itu, penyusun mengharapkan kritik dan saran yang membangun sehingga dapat memperbaiki kembali penulisan laporan ini dan diharapkan dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 14 Juni 2025

Penyusun



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Batasan Masalah	4
C. Rumusan Masalah	5
D. Tujuan Penelitian	6
E. Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	7
A. Tinjauan Pustaka	7
B. Landasan Teori	10
1. Logam Tanah Jarang (Rare Earth Elements)	10
2. Lantanum Oksida	13
3. Zeolit	13
4. Katalis Heterogen	16
5. Metode Impregnasi	18
6. Modifikasi La ₂ O ₃ /Zeolit Alam	19
7. Biodiesel	21
8. Spektrofotometer FTIR (Fourier Transform Infra Red)	23
9. X-Ray Diffraction (XRD)	25
10. Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)	27
11. Analisis Keasaman Katalis	28
12. Standar Mutu Biodiesel	29
13. Kadar Air	29
14. Densitas	30
C. Kerangka Berpikir dan Hipotesis Penelitian	30
BAB III METODE PENELITIAN	36

A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	36
B. Alat-alat Penelitian.....	36
C. Bahan Penelitian	36
D. Prosedur Kerja Penelitian	37
E. Teknik Analisis Data	42
BAB IV PEMBAHASAN	43
A. Karakterisasi Katalis La/NZA Modifikasi Zeolit Alam	43
B. Sintesis Biodiesel.....	51
C. Karakterisasi Biodiesel Menggunakan Instrumen GC-MS.....	57
D. Analisis Mutu Biodiesel.....	60
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	64
A. Kesimpulan	64
B. Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN	76
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	87

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Tabel Susunan Berkala (Periodik).....	11
Gambar 2. 2	Struktur Senyawa La_2O_3	13
Gambar 2. 3	Struktur Senyawa Zeolit.....	14
Gambar 2. 4	Mekanisme Reaksi Transesterifikasi dengan Katalis..	22
Gambar 2. 5	Skema Prinsip XRD	27
Gambar 4. 1	Difraktogram XRD Katalis	44
Gambar 4. 2	Spektra FTIR Katalis.....	46
Gambar 4. 3	Grafik Keasaman Katalis	49
Gambar 4. 4	Mekanisme Reaksi $\text{La}_2\text{O}_3/\text{NZA}$ dengan metanol.....	53
Gambar 4. 5	Mekanisme Reaksi Senyawa Radikal menjadi Metil....	53
Gambar 4. 6	Rendemen Katalis	54
Gambar 4. 7	Kromatogram Biodiesel dengan Katalis 3% La/NZA ..	57
Gambar 4. 8	Spektrum Massa Puncak Pertama Biodiesel-3% La/NZA	59
Gambar 4. 9	Grafik Kadar Air	61
Gambar 4. 10	Grafik Densitas.....	63



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Syarat Mutu dan Metode Uji (SNI 7182:2015).....	29
Tabel 4. 1 Analisis Spektra FTIR Zeolit alam Teraktivasi dan La_2O_3	47
Tabel 4. 2 Komposisi Senyawa Metil Ester Biodiesel dengan Katalis 3% La/NZA	59



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pembuatan Larutan Standar NaOH 0,1M Sebanyak 100 mL.....	76
Lampiran 2 Penentuan Kadar Asam Lemak Bebas (FFA) Minyak Kelapa Sawit.....	77
Lampiran 3 Perhitungan Pembuatan Larutan $\text{La}_2\text{O}_3/\text{NZA}$	77
Lampiran 4 Keasaman Katalis	79
Lampiran 5 Perhitungan Volume Minyak dan Metanol.....	80
Lampiran 6 Perhitungan Rendemen Biodiesel	81
Lampiran 7 Perhitungan Analisis Parameter Biodiesel	82
Lampiran 8 Dokumentasi Sintesis Katalis La/NZA	84
Lampiran 9 Dokumentasi Sintesis Biodiesel	86



ABSTRAK
SINTESIS DAN KARAKTERISASI KATALIS La_2O_3 /ZEOLIT
ALAM DAN APLIKASINYA DALAM PROSES
TRANSESTERIFIKASI MINYAK KELAPA SAWIT MENJADI
BIODIESEL

Oleh:
Dewi Alifani
21106030070

Pembimbing:
Didik Krisdiyanto_S.Si., M.Sc

Penelitian ini dilakukan untuk mensintesis katalis La_2O_3 /Zeolit Alam dan menentukan karakterisasi pada masing-masing katalis menggunakan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) dan *X-ray Diffraction* (XRD), serta mengaplikasikannya dalam reaksi transesterifikasi biodiesel. Katalis disintesis melalui tahapan pembuatan zeolit alam teraktivasi asam, diikuti dengan pemanasan lantanum oksalat pada suhu reaksi 900°C selama 3 jam untuk membentuk senyawa lantanum oksida (La_2O_3). Sintesis katalis La/NZA dilakukan melalui proses impregnasi logam La_2O_3 dengan variasi massa katalis (1%, 3%, dan 5%) dan dua katalis lainnya (*natural zeolite Activated* (NZA) dan La_2O_3) sebagai katalis standar dalam aplikasi biodiesel. Hasil pengujian XRD menunjukkan bahwa puncak NZA berhasil terbentuk pada sudut 2θ : $22,25^\circ$; $25,61^\circ$; $27,79^\circ$; $26,68^\circ$ sedangkan puncak La_2O_3 terbentuk pada sudut 2θ : $13,57^\circ$. Berdasarkan hasil FTIR terlihat adanya serapan khas La-O pada bilangan gelombang 464 cm^{-1} yang menunjukkan keberhasilan impregnasi logam La ke dalam kerangka zeolit. Selain itu, gugus vibrasi ulur simetris O-Si-O/Al-O teridentifikasi pada 796 cm^{-1} , serta vibrasi ulur asimetris -O-Si-O- pada 1035 cm^{-1} . Reaksi transesterifikasi dilakukan pada suhu 60°C selama 2 jam dengan perbandingan mol minyak dan metanol sebesar 1:9 dan penambahan katalis 2%. Biodiesel yang dihasilkan dengan katalis 3% La/NZA menunjukkan rendemen tertinggi sebesar 71,77%. Berdasarkan pengujian GC-MS menunjukkan biodiesel dari minyak kelapa sawit dengan katalis 3% La/NZA memiliki komposisi metil ester sebesar

100%, dengan metil ester elaidat sebagai komponen dominan. Pengujian kadar air dan densitas biodiesel dengan variasi masing-masing katalis (NZA, La_2O_3 , 1% La/NZA, 3% La/NZA, dan 5 % La/NZA) sebagian besar menunjukkan hasil sesuai standar SNI 7182:2015. Penelitian ini menunjukkan bahwa katalis La_2O_3 /Zeolit Alam efektif digunakan dalam produksi biodiesel dari minyak kelapa sawit.

Kata Kunci: NZA, La_2O_3 , Katalis, Impregnasi, Biodiesel, Minyak Kelapa Sawit



ABSTRACT
SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF La_2O_3 /NATURAL
ZEOLITE CATALYST AND ITS APPLICATION IN THE
TRANSESTERIFICATION PROCESS OF PALM OIL TO
BIODIESEL

By:
Dewi Alifani
21106030070

Supervisor:
Didik Krisdiyanto_S.Si., M.Sc

This study was conducted to synthesize La_2O_3 /Natural Zeolite catalysts and determine the characterization of each catalyst using Fourier Transform Infra-Red (FTIR) and X-ray Diffraction (XRD), and apply them in biodiesel transesterification reactions. The catalyst was synthesized through the stages of making acid-activated natural zeolite, followed by heating lanthanum oxalate at a reaction temperature of 900°C for 3 hours to form lanthanum oxide (La_2O_3) compounds. The synthesis of La/NZA catalysts was carried out through the impregnation process of La_2O_3 metal with variations in catalyst mass (1%, 3%, and 5%) and two other catalysts (natural zeolite Activated (NZA) and La_2O_3) as standard catalysts in biodiesel applications. The results of XRD testing showed that the NZA peak was successfully formed at an angle of 2θ : $22,25^\circ$; $25,61^\circ$; $27,79^\circ$; $26,68^\circ$ while the La_2O_3 peak is formed at an angle of 2θ : $13,57^\circ$. Based on the FTIR results, a typical La-O absorption is seen at a wave number of 464 cm^{-1} which indicates the successful impregnation of La metal into the zeolite framework. In addition, the symmetric stretching vibration group O-Si-O/Al-O was identified at 796 cm^{-1} , as well as the asymmetric stretching vibration - O-Si-O- at 1035 cm^{-1} . The transesterification reaction was carried out at a temperature of 60°C for 2 hours with a mole ratio of oil and methanol of 1:9 and the addition of 2% catalyst. Biodiesel produced with 3% La/NZA catalyst showed the highest yield of 71.77%. Based on GC-MS testing, biodiesel from palm oil with 3% La/NZA catalyst has a methyl ester composition of 100%, with elaidate methyl ester as the dominant component. Testing of water content and density of biodiesel with variations of each catalyst (NZA, La_2O_3 , 1% La/NZA, 3% La/NZA, and

5% La/NZA) mostly showed results according to SNI 7182:2015 standards. This study shows that the La_2O_3 /Natural Zeolite catalyst is effective for use in biodiesel production from palm oil.

Keywords: NZA, La_2O_3 , Catalyst, Impregnation, Biodiesel, Palm Oil



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Penyebaran mineral logam tanah jarang (LTJ) atau *Rare Earth Elements* (REE) di dunia berkaitan dengan kondisi geologi dan geografis suatu wilayah. Batuan jenis pleaser yang dicirikan dengan mineral *monasit* dan *xenotim* tersebar di bagian Australia, Asia Selatan, Afrika bagian Selatan, serta Amerika Latin. Jenis batuan *Karbonatit* tersebar dominan di daerah Tiongkok. Endapan LTJ yang terbentuk dari proses pelapukan lainnya dan dianggap baru, terdapat di daerah Jiangxi Tiongkok. Endapan jenis *Ion-adsorption* terdapat di daerah Wanling, Tiongkok Selatan (Rezende dan Cardoso, 2008). China menjadi penyuplai LTJ terbesar di dunia (Dwi Putra et al., 2024) dan China menyumbang sebesar 280.000 ton LTJ dari total produksinya (Fauzi et al., 2023). Namun, China membatasi ekspor unsur LTJ ke negara lainnya.

Indonesia sendiri banyak ditemukan logam tanah jarang berada di daerah Bangka Belitung bersama dengan timah dan di Kalimantan bersama kandungan emas (Virdhian et al., 2014) . Mineral utama yang terkandung dalam LTJ di Indonesia adalah *Xenotim*, *Monasit*, dan *Zircon* yang berasosiasi dengan *kasiterit* dari penambangan timah aluvial. Ketiga jenis mineral yang mengandung LTJ banyak ditemukan dalam pertambangan timah aluvial di daerah Kepulauan Bangka-Belitung dan Kepulauan Riau (Sirait, 2023). Oleh sebab itu, untuk mendapatkan mineral di atas tidak dapat didapatkan dengan mudah dan mineral LTJ tidak terpisah sendiri

tetapi bercampur dengan mineral lain. Sehingga pemanfaatannya LTJ di atas sangat tinggi dibandingkan LTJ lainnya.

Logam Tanah Jarang (LTJ), termasuk unsur Lantanum (La), merupakan kelompok unsur dengan karakteristik kimia unik yang memungkinkan aplikasinya dalam berbagai bidang, terutama sebagai material katalis. La, yang termasuk dalam kelompok *Light Rare Earth Elements* (LREEs), dikenal memiliki stabilitas termal dan kekuatan basa yang tinggi, serta kemampuan dalam meningkatkan dispersi logam aktif pada permukaan katalis. Potensi ini menjadikan La sangat menarik untuk diaplikasikan pada proses produksi energi terbarukan, salah satunya adalah produksi biodiesel melalui reaksi transesterifikasi minyak nabati seperti minyak kelapa sawit (Lanre et al., 2022).

Minyak kelapa sawit merupakan salah satu bahan baku utama biodiesel di Indonesia, dengan kandungan trigliserida tinggi dan ketersediaan yang melimpah (Dimawarnita. *et al.*, 2023). Namun, konversi minyak kelapa sawit menjadi biodiesel melalui reaksi transesterifikasi sangat dipengaruhi oleh pemilihan katalis. Katalis homogen seperti KOH atau NaOH memberikan efisiensi tinggi, tetapi tidak ramah lingkungan dan sulit dipisahkan dari produk akhir. Di sisi lain, katalis heterogen menawarkan kemudahan pemisahan, dapat digunakan ulang, dan lebih ramah lingkungan (Ridwan, 2022; Nabillah et al., 2023). Oleh karena itu, pengembangan katalis heterogen yang efisien dan stabil menjadi fokus utama.

Zeolit alam, sebagai material penyangga katalis, memiliki keunggulan berupa luas permukaan yang besar, stabilitas termal,

serta struktur pori yang mendukung proses difusi molekul. Akan tetapi, aktivitas katalitik zeolit alam murni masih terbatas, sehingga perlu dilakukan modifikasi dengan cara impregnasi logam seperti La untuk meningkatkan kinerja katalis. Proses impregnasi ini memungkinkan La menggantikan kation Na^+ dalam struktur zeolit, membentuk katalis REY (*Rare Earth-exchange Y*), yang dikenal memiliki aktivitas, stabilitas, dan selektivitas tinggi dalam reaksi konversi (Seejandee et al., 2024).

Logam transisi diimpregnasi ke dalam material zeolit agar katalis logam tersebut tidak mengalami penggumpalan/*sintering* saat proses reaksi pada temperatur tinggi. Proses ini dapat terjadi dikarenakan pemanasan yang melebihi titik leleh katalis. *Sintering* pada suatu katalis akan mengakibatkan aglomerasi pada katalis tersebut dan mengakibatkan penurunan keasaman katalis (Trisunaryanti, 2015). Hal inilah yang dapat mengembangkan untuk memperbaiki kinerja dan mengatasi kelemahan katalis logam murni dengan mendispersikan komponen logam pada pengemban yang memiliki luas permukaan besar. Sehingga pemakaian pengemban dapat memperpanjang waktu penggunaan katalis dan luas permukaan pengemban yang besar dapat meningkatkan dispersi logam.

Modifikasi zeolit alam dengan La melalui metode impregnasi untuk menghasilkan katalis komposit La/NZA yang bertujuan untuk meningkatkan aktivitas, selektivitas, dan stabilitas katalis dalam proses transesterifikasi. Katalis yang dihasilkan akan dikarakterisasi menggunakan teknik FTIR (Dimawarnita. *et al.*, 2023), XRD (Aziz et al., 2023), dan uji keasaman (Rachmawati.,

2024) untuk memahami struktur kristal, gugus fungsi, dan keaktifan permukaan katalis. Selanjutnya, katalis diuji dalam reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit untuk mengevaluasi kinerjanya dalam meningkatkan konversi biodiesel serta rendemennya. Diharapkan, dengan menggunakan variasi konsentrasi La, akan diperoleh data yang signifikan untuk menentukan pengaruh jumlah logam terhadap efisiensi katalis dan kualitas produk.

Dengan pendekatan ini, penelitian dapat memberikan gambaran ilmiah mengenai pengembangan katalis La/NZA mampu mempercepat laju reaksi transesterifikasi, meningkatkan hasil biodiesel yang dihasilkan, serta menghasilkan produk berkualitas tinggi dengan kemurnian optimal. Katalis juga diharapkan dapat digunakan kembali beberapa kali tanpa kehilangan aktivitas yang signifikan. Perlakuan variasi berat katalis pada sintesis biodiesel diharapkan mampu menghasilkan selektivitas biodiesel yang baik.

B. Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang dari penelitian ini dapat dirumuskan batasan masalah sebagai berikut :

1. Logam tanah jarang yang digunakan adalah lantanum (La) yang diperoleh dalam bentuk lantanum oksalat.
2. Sintesis katalis La/NZA dilakukan menggunakan metode impregnasi.
3. Parameter variasi berat katalis ditetapkan sebesar 1%, 3%, dan 5% yang menunjukkan persen massa logam terhadap massa total zeolit alam yang digunakan dalam proses impregnasi.

4. Karakterisasi gugus fungsi menggunakan instrumen FTIR dan untuk menentukan kristalinitas katalis menggunakan instrumen XRD.
5. Karakterisasi gugus fungsi biodiesel menggunakan instrumen FTIR sedangkan untuk mengetahui senyawa dan jenis metil esternya menggunakan instrumen GC-MS.
6. Minyak yang digunakan pada penelitian ini adalah minyak kelapa sawit karena kandungan trigliseridanya tinggi dan mudah diperoleh sebagai minyak goreng komersial.
7. Mutu produk biodiesel dianalisis melalui pengujian berdasarkan SNI 7182:2015 untuk parameter kadar air dan densitas.

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana proses sintesis lantanum oksida dari lantanum oksalat dan zeolit alam teraktivasi asam hasil proses impregnasi?
2. Bagaimana karakteristik katalis La_2O_3 /zeolit alam teraktivasi asam berdasarkan FTIR, XRD, dan uji keasaman?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan katalis hasil sintesis terhadap efisiensi proses transesterifikasi ?

D. Tujuan Penelitian`

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sintesis & karakterisasi lantanum oksida dari lantanum oksalat yang diperoleh melalui proses ekstraksi logam tanah jarang melalui metode impregnasi dan mengkarakterisasi katalis $\text{La}_2\text{O}_3/\text{zeolit}$ alam teraktivasi asam menggunakan FTIR untuk menganalisis gugus fungsi, XRD untuk menentukan struktur kristal dan fase, serta uji keasaman untuk mengetahui sifat asam katalis yang berpengaruh pada aktivitas dalam proses transesterifikasi.
2. Mengaplikasikan katalis $\text{La}_2\text{O}_3/\text{zeolit}$ alam yang telah disintesis dalam proses transesterifikasi minyak kelapa sawit.
3. Analisis kualitas biodiesel yang dihasilkan melalui kandungan metil ester dan parameter fisikokimia lainnya.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Memberikan informasi mengenai sintesis dan karakterisasi katalis La/NZA menggunakan metode impregnasi.
2. Memberikan informasi mengenai aplikasi katalis La/NZA terhadap proses esterifikasi biodiesel minyak kelapa sawit.
3. Mengurangi pencemaran lingkungan dengan penggunaan katalis heterogen termodifikasi dari logam tanah jarang dalam pembuatan biodiesel.
4. Menambah khazanah ilmu pengetahuan tentang sintesis katalis $\text{La}_2\text{O}_3/\text{zeolit}$ alam teraktivasi asam dengan metode impregnasi dan pemanfaatannya dalam biodiesel.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Proses sintesis katalis La_2O_3 /zeolit alam berhasil dilakukan melalui tahapan aktivasi asam terhadap zeolit alam menggunakan HCl 2 M, dilanjutkan dengan proses impregnasi La_2O_3 . Proses ini menghasilkan katalis heterogen dengan sifat struktural dan kimia yang mendukung peranannya dalam reaksi transesterifikasi.
2. Karakterisasi katalis yang dilakukan menggunakan FTIR, XRD, dan uji keasaman menunjukkan keberhasilan proses sintesis. Hasil FTIR menunjukkan adanya serapan khas yang mengindikasikan keberadaan gugus fungsi La–O dan silikat/aluminat. Hasil XRD memperlihatkan pola difraksi yang sesuai dengan struktur kristalin La_2O_3 dan zeolit, menandakan keberhasilan impregnasi tanpa merusak struktur kristal zeolit. Uji keasaman menunjukkan adanya peningkatan jumlah situs asam pada katalis akibat pengembunan logam La, yang berpengaruh terhadap aktivitas katalitik.
3. Katalis hasil sintesis menunjukkan efektivitas yang baik dalam proses transesterifikasi minyak kelapa sawit menjadi biodiesel. Katalis dengan komposisi 3% La/NZA menghasilkan rendemen tertinggi sebesar 71,77% dan

kandungan metil ester mencapai 100% berdasarkan analisis GC-MS, dengan metil elaidat sebagai komponen dominan. Parameter fisikokimia biodiesel, yakni kadar air dan densitas, sebagian besar memenuhi standar SNI 7182:2015.

B. Saran

Saran yang dapat diberikan dalam penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan suhu dan waktu dalam proses impregnasi agar dapat meningkatkan efektifitas penggunaan dari katalis.
2. Perlu dilakukan penentuan kondisi optimum reaksi untuk memperoleh rendemen biodiesel yang maksimum.
3. Menambah parameter uji biodiesel berdasarkan SNI 7182:2015.

DAFTAR PUSTAKA

- Abriyani, E., Syalomita, D., Puji Apriani, I., Puspawati, I., Adiputra, S., & Toguria Nadeak, Z. (2024). Pengaruh Pengolahan Termal Terhadap Struktur Molekul Material Polimer Studi Dengan Spektroskopi FTIR. *Journal Of Social Science Research*, 4.
- Agusta, Kiemas Abigail Tisa. (2017). Eksperimen Pengaruh Variasi Konsentrasi Limonene Oil Sebagai Aditif Bahan Bakar N-Heptane Terhadap Properties N-Heptane. *Skripsi*, Universitas Brawijaya.
- Ahmad, H. S., Bialangi, N., Salimi, Y. K., & Kimia, J. (2016). Inovasi Penelitian, Pendidikan dan Pembelajaran Sains. *Jurnal Entropi*. Volume 11 Nomor 2 Agustus 2016.204.
- A'isyah, Amma, F. Widhi Mahatmanti, and Nuni Widiarti. (2018). Perbedaan Aktivitas Katalitik S-ZrO₂, S-ZA, dan S-ZrO₂/ZA dalam Reaksi Esterifikasi Minyak Jelantah. *Indonesian Journal of Chemical Science* 7 (3): 286–291.
- Anekwe, I. M. S., Oboirien, B., & Isa, Y. M. (2024). Effects of transition metal doping on the properties and catalytic performance of ZSM-5 zeolite catalyst on ethanol-to-hydrocarbons conversion. *Fuel Communications*, 18, 100101.
- Augustine, J. R. (1990). Heterogeneous catalysis for the synthetic chemist. *Marcel Dekker, Inc.*
- Aziz, I., Saridewi, N., Febriyani, F., & Adhani, L. (2023). Deoksigenasi Katalitik Metil Ester Asam Lemak Menjadi Biohidrokarbon Menggunakan Katalis Cr₂O₃/Zeolit. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 19(2), 170.
- Azom. (2004). *Lanthanum Oxide (La₂O₃) Lanthana—Properties and Applications*. AZoM.com.
- Bani, G. A., Ghello, J. M., Alupan, V., & Atson, A. L. (2024). Impregnasi Zeolit Alam Ende Dengan Titanium Menjadi Bahan Fotokatalis. *Dalton : Jurnal Pendidikan Kimia Dan Ilmu Kimia*, 7(2), 123. <https://doi.org/10.31602/dl.v7i2.15385>.

- Bonneviot, P. (Ed.). (1988). Metal-support interactions in heterogeneous catalysis. *Elsevier*.
- Chanpirak, A., & Weerachaipichasgul, W. (2018). Improvement of maximum production in the batch transesterification reactor of biodiesel by using nonlinear model based control. In S. I. Ao, H. Kim, O. Castillo, A. S. Chan, & H. Katagiri (Eds.), *Transactions on Engineering Technologies: IMECS 2017* (pp. –). Springer.
- Chen, Y., *et al.* (2010). LaOCl nanofibers derived from electrospun PVA/Lanthanum chloride composite fibers. *Materials Letters*, 64(1), 6–8.
- Darmapatni, K. A. G., A. Basori, dan N. M. Suaniti. 2016. Pengembangan Metode GCMS Untuk Penetapan Kadar Acetaminophen Pada Spesimen Rambut Manusia. *Jurnal Biosains Pascasarjana*. 3(18): 62-69.
- David, G. W., 2005, Analisis Farmasi, Edisi kedua, EGC, Jakarta.
- Dewi, S. H., Adi, W. A., & Suyanti, S. (2019). Studi Fasa dan Sifat Termal Lantanum Oksida Berbasis Monasit. *Eksplorium*, 40(2), 99. <https://doi.org/10.17146/eksplorium.2019.40.2.5646>.
- Dimawarnita, F., Emha, Z. M. F., Koto, A., & Faramitha, Y. (2023). *Karakteristik sifat fisika kimia biodiesel berbasis minyak nabati. WARTA Pusat Penelitian Kelapa Sawit*, 28(1), 15–26. <https://doi.org/10.22302/iopri.war.warta.v28i1.98>.
- Dwi Putra, D., Supriyadi, I., Yusgiantoro Ketahanan Energi, D., & Manajemen Pertahanan, F. (2024). Peluang Dan Tantangan Dalam Pemanfaatan Rare Earth Minerals Di Indonesia Guna Mendukung Ketahanan Energi 1. Nusantara: *Jurnal Ilmu Pengetahuan Sosial*. <https://doi.org/10.31604/jips.v11i5.2024>.
- Elina, R., Rori, D. C., Ardi, & Khair, M. (2023). Karakterisasi FTIR pada Karbon Aktif Terimpregnasi ZnO. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 7(3), 23827–23831.
- Fabanyo, S. H., Hardia, L., Muslihin, A. M., Bayu Budiyanto, A., & History, A. (2023). Analisis Fitokimia dan Gugus Fungsi Kulit Kayu Akway (Drymis sp.) Phytochemical and Fuctional Group of Akway Bark

(Drymis sp.) *Jurnal Promotif Preventif*. (Vol. 6, Issue 6).
<http://journal.unpacti.ac.id/index.php/JPP>.

Fabiani, V. A., Silalahi, I. H., & Sayekti, E. (2017). *Pengaruh variasi garam ammonium terhadap keasaman zeolit alam pada reaksi perengkahan minyak jelantah*. *Indo. J. Chem. Res.*, 5(1), 1–6.

Fauzi, A., Pratama, R., & Santoso, B. (2023). Analisis produksi dan cadangan logam tanah jarang berdasarkan laporan USGS 2011: studi kasus Tiongkok dan implikasinya terhadap pasar global. *Jurnal Sumber Daya Mineral dan Energi*, 10(1), 45–58.

Finamore, P. da S., Kós, R. S., Corrêa, J. C. F., D, Collange Grecco, L. A., De Freitas, T. B., Satie, J., Bagne, E., Oliveira, C. S. C. S., De Souza, D. R., Rezende, F. L., Duarte, N. de A. C. A. C. D. A. C., Grecco, L. A. C. A. C., Oliveira, C. S. C. S., Batista, K. G., Lopes, P. de O. B., Serradilha, S. M., Souza, G. A. F. de, Bella, G. P., ... Dodson, J. (2021). Stability of Rare-Earth Oxychloride Phases: Bond Valence Study. *Journal of Chemical Information and Modeling*.

Foger, K. (1984). Dispersed metal catalysts. In J. R. Anderson & M. Boudart (Eds.), *Catalysis. Science and Technology* (Vol. 6, pp. 227–?) Springer.
<https://doi.org/10.1515/9783112641064-007>.

Handoko, dkk. 2013. (2013). Catalytic Conversion of Methyl in Sequential Being Biogasoline Compounds.

Hastiawan, I., Firmansyah, F., Juliandri, J., Eddy, D. R., & Noviyanti, A. R. (2016). Pemisahan Lanthanum Dari Limbah Hasil Pengolahan Timah Dengan Menggunakan Metode Pengendapan Bertingkat. *Chimica et Natura Acta*, 4(2), 93. <https://doi.org/10.24198/cna.v4.n2.10678>.

Hastuti, E. (2011). Analisa Difraksi Sinar X TiO₂ dalam Penyiapan Bahan Sel Surya Tersensitisasi Pewarna. *Jurnal Neutrino: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*.

Hegedus. (1987). *Catalyst Design*. John Willey and Sons: New York.

Ibrahim, M. S., Trisunaryanti, W., & Triyono, T. (2022). Nickel Supported Parangtritis Beach Sand (PP) Catalyst for Hydrocracking of Palm and Malapari Oil into Biofuel. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering*

and *Catalysis*, 17(3), 638–649.
<https://doi.org/10.9767/bcrec.17.3.15668.638-649>.

- Indrasari Mustopa Putri, D., Darmokoesoemo, H., Supriyanto, G., & Arief Nugroho, N. (2023). Konversi Gliserol Menjadi Etanol dengan Mengintegrasikan Ultrasonik dan Katalis Ni/ZSM-5 Conversion of Glycerol to Ethanol by Integrating Ultrasonic and Ni/ZSM-5 Catalyst. (Vol. 20, Issue 1).
- Jia, C., Fan, Y., Jiang, R., Su, P., Liu, S., Zhang, X., & Wang, J. (2022). Preparation of La(III), Fe(III) modified zeolite molecular sieves for the removal of fluorine from water. *Water*, 14(19), 2946. <https://doi.org/10.3390/w14192946>.
- Karimah, C. N. (2023). Analisa Baterai Sebagai Sumber Kelistrikan Kendaraan Roda Dua Ditinjau Dari Kapasitas Dan Efisiensi. *Jurnal Teknik Terapan*, 2(1). <https://doi.org/10.25047/jteta.v2i1.24>.
- Khalaf, W. M., & Al-Mashhadani, M. H. (2022). Synthesis and Characterization of Lanthanum Oxide (La_2O_3) Net-like Nanoparticles by New Combustion Method. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 12(3), 3066–3075. <https://doi.org/10.33263/BRIAC123.30663075>.
- Khorsand Zak, A., Abd. Majid, W. H., & Darroudi, M. (2012). Facile synthesis and characterization of lanthanum (III) oxychloride nanoparticles using a natural polymeric matrix. *Materials Chemistry and Physics*, 136(2–3), 705–709. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2012.07.045>.
- Kurniasih, E., Parlina, A., Rayhani, Z., Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe, J., & Studi Sarjana Terapan Teknologi Kimia Industri, P. (2017). Penggunaan Katalis Heterogen Untuk Produksi Biodiesel. *Journal of Science and Technology*. Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe, 15(01).
- Kurniati Sri, A., Sudirman, S., Galla, F. W., & Nursalim. (2020). Pembuatan Biodiesel dari Minyak Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.) dengan Katalis KOH menggunakan Gelombang Mikro (Microwave). *Laporan Penelitian Akhir*, 1–80.

- Kusumastuti, A., Putra, N. D., Aziz, M., & Permatasari, C. R. (2023). Synthesis and characterization of Cu-Zn catalysts supported on natural zeolite activated by various acids for catalytic cracking of plastic waste into liquid fuel. *Polymers*, 15(3329), 1–15. <https://doi.org/10.3390/polym15153329>.
- Kusumastuti, A. (2011). Pengenalan Pola Gelombang Khas Dengan Interpolasi. *Jurnal Cauchy*, 2(1), 7–12.
- Liu, J., Wang, Z., Sun, Y., Jian, R., Jian, P., & Wang, D. (2019). Selective synthesis of triacetin from glycerol catalyzed by HZSM-5/MCM-41 micro/mesoporous molecular sieve. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 1073–1078. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2018.09.013>
- Lanre, M. S., Abasaeed, A. E., Fakeeha, A. H., Ibrahim, A. A., Al-awadi, A. S., Bin Jumah, A., Al-mubaddel, F. S., & Al-fatesh, A. S. (2022). Lanthanum–Cerium-Modified Nickel Catalysts for Dry Reforming of Methane. *Catalysts*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/catal12070715>.
- Marlinda, & Halim, A. (2013, November 20). Pengaruh konsentrasi aktivator terhadap kadar kalium katalis basa heterogen tandan kosong kelapa sawit dan batang pisang pada pembuatan biodiesel berbantuan ultrasonik. *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, 4. <https://doi.org/10.35313/irwns.v4i0.333>.
- Meikareni, E., Dwi Siswani Jurusan Pendidikan Kimia, E., Universitas Negeri Yogyakarta, F., Kunci, K., Biji Nyamplung, M., & Biodiesel, K. (2021). Variasi Suhu Dan Rasio (Metanol/Minyak) Terhadap Karakter Biodiesel Dari Biji Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum* Linn.) Various Of Temperature And Ratio (Methanol/Oil) On Biodiesel Character's From Nyamplung Seed (*Calophyllum Inophyllum* Linn).
- Meilia, N. 2019. Penetapan Kadar Asam Mefenamat dalam Tablet dengan Motode Spektroskopi FTIR (Fourier Transform Infrared) Kombinasi Kemometrik. *Skripsi*. Purwokerto. Fakultas Farmasi. Universitas Muhammadiyah Purwokerto.
- Mukminin, A., Megawati, E., Ariyani, D., Warsa, I. K., & Monde, J. (2022). Pengaruh waktu reaksi pembuatan biodiesel dari minyak jelantah dengan bantuan katalis basa NaOH terhadap sifat fisika dan kimia

- produk biodiesel. *Jurnal Ilmiah Universitas Muhammadiyah Buton*, 8(1), 146–158.
- Mukminin, A., Megawati, E., Warsa, I. K., Yuniarti, Y., Umara, W. A., & Islamiati, D. (2023). Analisis Kandungan Biodiesel Hasil Reaksi Transesterifikasi Minyak Jelantah Berdasarkan Perbedaan Konsentrasi Katalis NaOH Menggunakan GC-MS. *Sang Pencerah: Jurnal Ilmiah Universitas Muhammadiyah Buton*, 8(1), 146–158. <https://doi.org/10.35326/pencerah.v8i1.1897>.
- Musta, R. (2010). Preparasi dan karakterisasi katalis CoMo/H-Zeolit Y. *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, 7(2).
- Nabillah, A., Zamhari, M., & Dewi, E. (2023). Sintesis katalis karbon aktif tandan kosong kelapa sawit terimpregnasi NaOH pada reaksi transesterifikasi biodiesel. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 12(2), 165–177.
- Novia Ya, R. nti, Hambali, E., Pari, G., & Suryani, A. (2021). Analisis Karakteristik Fungsi Zeolit Alam Aktif Sebagai Katalis Setelah Diimpregnasi Logam Nikel. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 39(3), 138–147. <https://doi.org/10.20886/jphh.2021.39.3.138-147>.
- Peringer, E., *et al.* (2008). On the synthesis of LaCl_3 catalysts for oxidative chlorination of methane. *Applied Catalysis A: General*, 350(2), 178–185. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2008.08.009>.
- Podkolzin, S. G., Manoilova, O. V., & Weckhuysen, B. M. (2005). Relative Activity of La_2O_3 , LaOCl , and LaCl_3 in Reaction with CCl_4 Studied with Infrared Spectroscopy and Density Functional Theory Calculations. *The Journal of Physical Chemistry B*, 109(23), 11634–11642. <https://doi.org/10.1021/jp050680y>.
- Pulungan, A. K., Junifa Layla Sihombing, Wega Trisunaryanti, & Triyono. (2011). Hidrorengkah Minyak Laka Menjadi Fraksi Bahan Bakar Cair Menggunakan Katalis Zeolit Alam. *Jurnal Penelitian Saintika*, 11(2), 81–85.

- Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi. (2019). Penerapan Teknologi Pengolahan dan Pemurnian Logam Tanah Jarang. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-penerapan-teknologi-pengolahan-dan-pemurnian-logam-tanah-jarang.pdf>.
- Rachmawati, D. (2024). Preparasi dan karakterisasi nanopartikel Fe_3O_4 /zeolit alam tersulfonasi sebagai katalis dalam reaksi esterifikasi gliserol menjadi triasetin *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
- Rezende & Cardoso, V. R. S. (2008). Rare Earth. Brazil <http://www.dnpm.gov.br>.
- Ridwan, I. (2022). Green Teknologi Sintesis Biodisel Dengan Menggunakan Metode Route Non-Alcohol Dengan Katalis Heterogen. In *Journal of Science and Technology*) Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe (Vol. 20, Issue 02).
- Rodliyah, I., & Pramusanto, P. (2015). Optimalisasi ekstraksi logam tanah jarang dari mineral monasit dan pasir zirkon berbasis metode asam dan basa. *Indonesian Mining Journal*, 18(1), 1–20. <https://doi.org/10.30556/imj.Vol18.No1.2015.305>.
- Sang, X., Chen, J., Wang, L., & Li, Y. (2020). Infrared spectroscopy characterization of modified zeolite: observation of O–H stretching vibrations at 3612 and 3468 cm^{-1} . *Water Science & Technology*, 82(12), 2975–2984.
- Sari, S. N. S., & Samik, S. (2022). Pemanfaatan katalis zeolit alam Wonosari teraktivasi asam dan basa dalam sintesis biodiesel: analisis *yield* esterifikasi dan transesterifikasi. *Unesa Journal of Chemistry*, 11(3), 165–181.
- Sarin, A., Sharma, N., Devgan, K., Singh, M., 2020. Study of Kinematic Viscosity and Density of Biodiesels Exposed to Radiations. *Material Today : Proceedings*, 46 (11), 5516–5522.
- Satterfield CN. (1980). *Heterogeneous Catalyst in Industrial Practice*. New York:MC. Graw-Hill Book Company.

- Seejandee, P., Osakoo, N., Sereerattanakorn, P., Krukkratoke, P., Keawkumay, C., Pansakdanon, C., Wittayakun, J., Chanlek, N., Deekamwong, K., & Prayoonpokarach, S. (2024). Comparison of potassium catalysts on zeolite sodium A and X in transesterification of palm oil and active species specification. *Heliyon*, 10(16). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35975>.
- Setiabudi, A., Hardian, R., & Mudzakir, A. (2012). *Karakterisasi Material: Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia (Cetakan Pertama)*. Bandung: UPI PRESS.
- Setianingsih, A., Wisrayetti, Khairat, & Bahri, S. (2018). Effect of Lanthanum-Natural Zeolite, La/NZA catalyst on biodiesel production from crude palm oil. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 345(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/345/1/012007>.
- Sirait, R. R. (2023). Eksplorasi dan karakterisasi logam tanah jarang menggunakan metode geolistrik dan uji XRD di Desa Manalu Dolok Kecamatan Parmonangan. *Skripsi*. Universitas Negeri Medan (UNIMED).
- Subramanian, P., & David, S. A. (2024). Biosynthesis of La₂O₃ Nanoparticles using Lawsonia inermis Leaf Extract. *Uttar Pradesh Journal Of Zoology*, 45(18), 161–169. <https://doi.org/10.56557/upjoz/2024/v45i184434>.
- Suryania, P. E., & Candra, A. D. (2019). Aplikasi metode aktivasi secara kimia pada zeolit alam sebagai penjerap logam dalam proses pemurnian air. *SIMETRIS: Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer*, 13(2), 43–46. <https://doi.org/10.24176/simet.v13i2.756>.
- Trisunaryanti, W., Triwahyuni, E., & Sudiono, S. (2005). Preparation, Characterizations and Modification of Ni–Pd / Natural Zeolite Catalysts. *Indonesian Journal of Chemistry*, 5(1), 48–53. <https://doi.org/10.22146/ijc.21838>.
- Trisunaryanti, W., 2015, *Material Katalis dan Karakternya*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

- Ulfa, S. N. S., & Samik, S. (2023). Artikel Review: *Pemanfaatan Katalis Zeolit Alam Teraktivasi Dalam Sintesis Biodiesel Dengan Metode Esterifikasi Dan Transesterifikasi*. *Unesa Journal of Chemistry*, 11(3), 165–181. <https://doi.org/10.26740/ujc.v11n3.p165-181>.
- Virdhian, S., Eva, D., Balai, A., Logam, B., Mesin, D., Perindustrian, K., Sangkuriang, J., 12 Bandung, N., & Barat, J. (2014). Karakterisasi Mineral Tanah Jarang Ikutan Timah Dan Potensi Pengembangan Industri Berbasis Unsur Tanah Jarang. In Desember (Vol. 36, Issue 2).
- Wahyudin, A. H., Tambunan, N., Purwanti, J., Joelianingsih, & Nabetani, H. (2018). Tinjauan perkembangan proses katalitik heterogen dan non-katalitik untuk produksi biodiesel. *Jurnal Keteknikan Pertanian*, 6(2), 123–130.
- Wang, S., Guo, Z., & Cai, Q. G. L. (2012). Catalytic conversion of carboxylic acids in bio-oil for liquid hydrocarbons production. *Biomass and bioenergy* 45, 138-143.doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.05.023.
- Wulandari, R. D. (2024). *Sintesis SnO₂/Zeolit Alam Menggunakan Metode Sonikasi Sebagai Katalis Pada Reaksi Esterifikasi Asam Oleat*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Yan, S., Salley, S. O., & Simon Ng, K. Y. (2009). Simultaneous transesterification and esterification of unrefined or waste oils over ZnO-La₂O₃ catalysts. *Applied Catalysis A: General*, 353(2), 203–212. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2008.10.053>.
- Yates, I.C., Satterfield, C.N., 1991. Intrinsic Kinetics of The Fischer-Tropsch Synthesis on a Cobalt Catalyst. *Energy & Fuels*. 5(1): 168-173.
- Yoeswono, D., Purwanto, R., Mahendra, P., & Migas, C. (2022). Artikel *Perengkahan Katalitik Residu Kilang PPSDM Migas Dengan Katalis Zeolit Alam*. <https://doi.org/10.37525/mz/2023>.
- Yuan, C., & Bloch, K. (1961). Conversion of Oleic Acid to Linoleic Acid. In *The Journal Of Biological Chemistry* (Vol. 236, Issue 5).
- Yuhermita, N. M., Nazarudin, N., Alfernando, O., Prabasari, I. G., & Haviz, M. (2021). Perengkahan Katalitik Minyak Jelantah Menggunakan

Katalis Co-Carbon Yand Dihasilkan Dengan Metode Ion Exchange. *Journal BiGME*, 1(1), 1-22.

Yuni Ernawati, D., Helwani, Z., Yenti, S. R., Jurusan, M., Kimia, T., & Jurusan, D. (2015). Penggunaan Zeolit Alam Teraktivasi Sebagai Katalis Pada Proses Esterifikasi Gliserol Dari Produk Samping Biodiesel Menjadi Triacetin. *In Jomf Teknik* (Vol. 2, Issue 2).

Yustira, Y., Usman, T., & Wahyuni, N. (2015). *Sintesis Katalis Sn/Zeorit Dan Uji Aktivitas Pada Reaksi Esterifikasi Limbah Minyak Kelapa Sawit (Palm Sludge Oil)*. 4(1), 58–66.

Zain, B. S. O. P. (2021). Produksi biodiesel menggunakan abu pelepah pisang sebagai katalis basa heterogen dan kosolven aseton dengan metode sonikasi. *Skripsi*. Universitas Islam Indonesia Repository.

Zamhari, M., Indah Sari, D., & Suciatty Saputri, N. (2019). Pembuatan Katalis Heterogen Basa Dari Serbuk Kayu Akasia Catalyst Heterogeneous Base Production From Acacia Wood Dust. *Jurnal Kinetika*, 10(01), 38-45.

