

**SINTESIS BODIESEL DARI MINYAK JELANTAH MENGGUNAKAN
KATALIS MAGNETIT-KULIT PETAI (*Parkia speciosa Hassk*) DENGAN
VARIASI SUHU DAN WAKTU REAKSI**

Skripsi
Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana Kimia



Husnul Hanim
19106030031
STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

PRODI STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
2023

PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR



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-2176/Un.02/DST/PP.00.9/08/2023

Tugas Akhir dengan judul : "Sintesis Biodiesel dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis Magnetit-Kulit Petai (Parkia Speciosa Hassk) dengan Variasi Suhu dan Waktu Reaksi"

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : HUSNUL HANIM
Nomor Induk Mahasiswa : 19106030031
Telah diujikan pada : Selasa, 01 Agustus 2023
Nilai ujian Tugas Akhir : A

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

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Dr. Maya Rahmayanti, S.Si. M.Si.
SIGNED

Valid ID: 64df1281b57b1



Penguji I

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

Valid ID: 64daf68f361d7



Penguji II

Sudarlin, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 64dc74903e451



Yogyakarta, 01 Agustus 2023
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

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

Valid ID: 64df311aaf008

NOTA DINAS PEMBIMBINGAN I



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

NOTA DINAS KONSULTASI

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 : Husnul Hanim

NIM : 19106030031

Judul Skripsi : Sintesis Biodiesel dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis Magnetit-Kulit Petai (*Parkia Speciosa Hassk*) dengan Variasi Suhu dan Waktu Reaksi

sudah benar dan sesuai ketentuan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Kimia.

Demikian kami sampaikan. Atas perhatiannya, kami ucapkan terimakasih.

Wassalamu 'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 18 Agustus 2023

Konsultan

Karmanto, S.Si., M.Sc.

NIP. 19820504 200912 1 005

NOTA DINAS PEMBIMBINGAN II



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

NOTA DINAS KONSULTASI

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 : Husnul Hanim
NIM : 19106030031
Judul Skripsi : Sintesis Biodiesel dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis Magnetit-Kulit Petai (*Parkia Speciosa Hassk*) dengan Variasi Suhu dan Waktu Reaksi

sudah benar dan sesuai ketentuan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Kimia.

Demikian kami sampaikan. Atas perhatiannya, kami ucapkan terimakasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 18 Agustus 2023
Konsultan

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

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 : Husnul Hanim
NIM : 19106030031
Judul Skripsi : Sintesis Biodiesel dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis Magentik/Kulit Petai (*Parkia speciosa* Hassk) Dengan Variasi Suhu dan Waktu Reaksi

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, 21 Juli 2023

Pembimbing

Dr. Maya Rahmayanti, M. Si

NIP: 19810627 200604 2 003

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Husnul Hanim
NIM : 19106030031
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “**Sintesis Biodiesel dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis Magentik/Kulit Petai (*Parkia speciosa Hassk*) Dengan Variasi Suhu dan Waktu Reaksi**” 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, 21 Juli 2023



NIM 19106030031

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ، الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ وَالصَّلَاةُ وَالسَّلَامُ عَلَى أَشْرَفِ الْأَنْبِيَاءِ وَالْمُرْسَلِينَ سَيِّدِنَا
وَمَوْلَانَا مُحَمَّدٍ وَعَلَى آلِهِ وَصَحْبِهِ أَجْمَعِينَ، أَمَا بَعْدُ

Puji syukur senantiasa terucapkan kehadiran Allah Swt. atas limpahan nikmat sehingga skripsi yang berjudul “Sintesis Biodiesel dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis Magentit-Kulit Petai (*Parkia speciosa Hassk*) Dengan Variasi Suhu dan Waktu Reaksi” ini dapat diselesaikan sebagai salah satu persyaratan mencapai derajat Sarjana Kimia. Sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad Saw. Semoga kelak mendapatkan syafaat beliau di *yaumul qiyamah*.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dorongan, semangat, bantuan dan ide-ide kreatif sehingga tahap demi tahap penyusunan skripsi ini telah selesai. Ucapan terima kasih tersebut secara khusus disampaikan kepada:

1. Ibu Dr. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
2. Ibu Dr. Imelda Fajriyati, M.Si. selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga
3. Ibu Dr. Maya Rahmayanti, M.Si. selaku dosen Pembimbing skripsi yang telah memberikan motivasi dan pengarahan selama studi sekaligus sebagai pembimbing skripsi yang secara ikhlas dan sabar telah meluangkan waktunya untuk membimbing, mengarahkan, dan memotivasi penulis dalam menyelesaikan penyusunan skripsi ini
4. Seluruh Dosen Program Studi Kimia dan Staf Karyawan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah membantu sehingga penyusunan skripsi ini dapat berjalan dengan lancar
5. Segenap PLP Laboratorium Kimia Terpadu UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian
6. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan selama proses menuntut ilmu hingga penyelesaian tugas akhir
7. Divya, Ahsani, kelompok bimbingan, dan teman-teman di laboratorium penelitian kimia UIN Sunan Kalijaga atas saran dan bantuannya selama proses penelitian
8. Teman-teman “Ekuivalen 19” Kimia angkatan 2019 UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta atas dukungan dan bantuan selama penelitian
9. Teman-teman ”Ende Bercerita” (Asma, Era, Gia, Laila, Tia, Ahmad, Ashnov, Billy, dan Yayan) atas semangat dan motivasinya selama pengerjaan tugas akhir ini

10. Semua pihak yang belum dapat penulis sebutkan satu persatu atas bantuannya dalam penyelesaian tugas akhir.

Demi kesempurnaan skripsi ini, kritik dan saran sangat penulis harapkan. Penulis berharap skripsi ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan secara umum dan kimia secara khusus.

Yogyakarta, 24, Juli, 2023

Penulis



HALAMAN MOTTO

“Boleh jadi kamu membenci sesuatu padahal ia amat baik bagimu dan boleh jadi pula kamu menyukai sesuatu padahal ia amat buruk bagimu, Allah mengetahui sedang kamu tidak mengetahui. Dan kamu tidak dapat menghendaki kecuali apabila dikehendaki oleh Allah”

Q.S. Al-Baqarah ayat 216; Q.S. At-Takwir ayat 29



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmaanirrahiim, dengan izin Allah ﷻ, karya ini penulis persembahkan kepada:

1. Ayah Jhon Kenedi dan Mamak (almh) Morina atas segala kasih sayang dan pengorbanannya hingga saat ini. Meskipun banyak luka yang harus diderita, tetapi tak pernah putus asa mengusahakan yang terbaik untuk putrinya ini. Pencapaian saya hingga titik ini takkan pernah lepas dari setiap doa mereka di siang dan malamnya
2. Bang Firqan, bang Uud, bang Fiqri, dan Iim yang bersedia menjadi pendengar keluh kesah hidup ini dan selalu menyemangati dalam menyelesaikan tiap jenjang pendidikan. Meskipun kadang menyebalkan, tapi dimana lagi bisa ku temukan keluarga sehangat ini
3. Ibu Dr. Maya Rahmayanti, M. Si atas segala ketulusan dan keikhlasan dalam membimbing saya menyelesaikan skripsi ini
4. Nadiya dan *myloff* (Gia dan Era) yang bersedia menjadi tempat cerita dan meyakinkan bahwa hidup akan baik-baik saja. “Ayo berjuang lebih keras lagi untuk setiap cita yang selalu kita impikan”
5. An Seyoung dan Bang Yedam sebagai figur favorit saya. Setiap kerja keras yang mereka lakukan selalu menjadi dorongan bagi saya untuk tidak pernah berhenti dalam meraih setiap asa,
“Let’s fly high and shine brighter together on our own path”
6. Para berlian *Treasure* (Hyunsuk, Jihoon, Yoshi, Junkyu, Mashihō, Jaehyuk, Asahi, Yedam, Doyoung, Haruto, Jeongwoo, Junghwan) yang menjadi penghibur di kala penat mengerjakan tugas akhir. Karya mereka menemani perjalanan saya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

TREJO SARANGHAE!!

Karya ini juga penulis persembahkan kepada almamater tercinta,

Program Studi Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

DAFTAR ISI

PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR	ii
NOTA DINAS PEMBIMBINGAN I	iii
NOTA DINAS PEMBIMBINGAN II	iv
PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR	v
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	vi
KATA PENGANTAR	vii
HALAMAN MOTTO	ix
HALAMAN PERSEMBAHAN	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Batasan Masalah	6
C. Rumusan Masalah	7
D. Tujuan Penelitian	7
E. Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
A. Tinjauan Pustaka	8
B. Landasan Teori	11
1. Biodiesel	11
2. Minyak Jelantah	13
3. Katalis Nanomagnetit	14
4. Kopersipitasi	15
5. Petai (<i>Parkia speciosa Hassk</i>)	16
6. Reaksi transesterifikasi	16
7. Standar mutu biodiesel	17
8. Densitas	18
9. Bilangan asam	18

10. Kadar air.....	19
11. Titik Nyala	19
C. Kerangka Berpikir dan Hipotesis Penelitian.....	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	23
B. Alat dan Bahan Penelitian.....	23
C. Prosedur Kerja Penelitian	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	30
A. Sintesis Katalis Fe ₃ O ₄ -PSH.....	30
1. Preparasi Kulit Petai	30
2. Sintesis Katalis Fe ₃ O ₄ -PSH.....	31
B. Karakterisasi Katalis Magnetit Termodifikasi Kulit Petai.....	33
1. Karakterisasi Gugus Fungsi Fe ₃ O ₄ -PSH menggunakan Spektrofotometer FTIR	33
2. Karakterisasi Kristalinitas Fe ₃ O ₄ -PSH menggunakan Spektrofotometer XRD.....	35
C. Penentuan Kadar FFA Minyak Jelantah	36
D. Sintesis Biodiesel	37
E. Pengaruh Suhu dan Waktu Reaksi Transesterifikasi Terhadap Rendemen Biodiesel	40
F. Analisis Mutu Biodiesel.....	42
1. Analisis Densitas Biodiesel.....	43
2. Analisis Bilangan Asam Biodiesel.....	44
3. Analisis Kadar Air Biodiesel	45
4. Analisis Titik Nyala Biodiesel	46
G. Analisis GC-MS.....	47
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	50
A. Kesimpulan	50
B. Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN.....	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Syarat mutu dan metode uji (SNI 7182:2015)	18
Tabel 4.1. Perbandingan nilai densitas pada variasi suhu terhadap SNI	43
Tabel 4.2. Perbandingan nilai densitas pada variasi waktu terhadap SNI	43
Tabel 4.3. Perbandingan nilai bilangan asam pada variasi suhu terhadap SNI	44
Tabel 4.4. Perbandingan nilai bilangan asam pada variasi waktu terhadap SNI	45
Tabel 4.5. Perbandingan nilai kadar air pada variasi suhu terhadap SNI	46
Tabel 4.6. Perbandingan nilai kadar air pada variasi waktu terhadap SNI	46
Tabel 4.7. Perbandingan nilai titik nyala pada variasi suhu terhadap SNI	47
Tabel 4.8. Perbandingan nilai titik nyala pada variasi waktu terhadap SNI	47
Tabel 4.9. Kandungan metil ester pada biodiesel	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mekanisme reaksi transesterifikasi dengan katalis basa	13
Gambar 4.1. Ilustrasi mekanis sintesis katalis Fe ₃ O ₄ -PSH	32
Gambar 4.2. Spektra FTIR katalis Fe ₃ O ₄ -PSH	34
Gambar 4.3. Difraktogram XRD katalis Fe ₃ O ₄ -PSH	35
Gambar 4.4. Mekanisme reaksi esterifikasi menggunakan katalis asam sulfat	38
Gambar 4.5. Mekanisme reaksi transesterifikasi biodiesel	39
Gambar 4.6. Hubungan suhu reaksi terhadap rendemen biodiesel	41
Gambar 4.7. Hubungan waktu reaksi terhadap rendemen biodiesel	42

ABSTRAK

Sintesis Biodiesel dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis Magnetit-Kulit Petai (*Parkia speciosa Hassk*) Dengan Variasi Suhu dan Waktu Reaksi

Oleh: Husnul Hanim

Pembimbing: Dr. Maya Rahmayanti, M.Si.

Kebutuhan energi yang semakin meningkat dan tidak sebanding dengan ketersediaannya menyebabkan energi alternatif perlu untuk dikembangkan. Sintesis biodiesel dari minyak jelantah dengan katalis magnetit termodifikasi kulit petai (*Parkia speciosa Hassk.*) telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari karakterisasi gugus fungsi dan kristalinitas katalis Fe₃O₄-PSH dan mengetahui perbandingan mutu produk biodiesel terhadap SNI 7182:2015 yang disintesis pada berbagai variasi suhu dan waktu reaksi. Sintesis katalis Fe₃O₄-PSH dilakukan menggunakan metode kopresipitasi. Karakterisasi katalis Fe₃O₄-PSH dilakukan menggunakan instrumen FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*) dan XRD (*X-ray Diffraction*). Sintesis biodiesel dilakukan dengan melakukan variasi suhu dan waktu reaksi transesterifikasi. Karakterisasi gugus fungsi menunjukkan adanya ikatan Fe-O pada katalis dan bidang indeks kristalinitasnya sesuai terhadap data JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*), yaitu (220), (311), (400), (511), dan (440). Studi variasi suhu reaksi pada 40, 60, dan 80 °C menghasilkan rendemen biodiesel berturut-turut sebesar 88,33; 89,54; dan 84,58%. Studi variasi waktu reaksi pada 30, 60, dan 90 menit menghasilkan rendemen biodiesel berturut-turut sebesar 86,88; 89,54; dan 90,91%. Analisis mutu produk biodiesel yang dihasilkan pada penelitian ini telah memenuhi SNI 7182:2015, kecuali parameter kadar air dan bilangan asam pada suhu 80 °C serta waktu 90 menit. Komposisi metil ester yang terkandung pada produk biodiesel sebesar 98,71%.

Kata Kunci: kulit petai, Fe₃O₄-PSH, biodiesel, transesterifikasi, suhu, waktu

ABSTRACT

Biodiesel Synthesis from Waste Cooking Oil Using Magnetit Catalyst-Petai Peel (*Parkia speciosa Hassk*) with Different Temperature and Time Reaction

By: Husnul Hanim

Supervisor: Dr. Maya Rahmayanti, M. Si

Increasing of energy demand is not comparable to the availability causing the alternative energy need to developed. Biodiesel synthesis from waste cooking oil (WCO) using magnetit nanoparticle modified petai peel (*Parkia speciosa Hassk*) catalyst has been carried out. This research aimed to study the functional group characterization and cristallinity of Fe_3O_4 -PSH and to study the quality comparison of biodiesel product toward SNI 7182:2015 which synthesize in different temperature and time reaction. The synthesis of Fe_3O_4 -PSH catalyst was carried out through co-precipitation method. The characterization of Fe_3O_4 -PSH catalyst was performed using FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*) and XRD (*X-ray Diffraction*). Biodiesel synthesis was carried out by varying temperature and time of transesterification reaction. Functional group characterization showed the Fe-O bond on catalyst and its cristallinity index agreed to JCPDS data (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*), (220), (311), (400), (511), dan (440). Study of temperature reaction variations on 40, 60, and 80 °C produced biodiesel yield of 88,33; 89,54; and 84,58%. Study of time reaction variations on 30, 60, and 90 minutes produced biodiesel yield of 86,88; 89,54; and 90,91%. Quality analysis of biodiesel products produced in this research has complied to SNI 7182:2015, except for water content parameter and acid number at temperature 80 °C and time reaction 90 minute. The composition of methyl ester contained in the biodiesel product is 98.71%.

Keywords: petai peel, Fe_3O_4 -PSH, biodiesel, transesterification, temperature, time

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Energi merupakan salah satu kebutuhan pokok untuk berbagai aspek, seperti industri, rumah tangga, dan lain-lain. Kebutuhan energi saat ini didominasi berasal dari sumber energi minyak bumi yang tak terbarukan. Seiring berjalannya waktu, kebutuhan energi semakin meningkat diiringi dengan sumber energi yang semakin menipis. Saat ini, penggunaan bahan bakar kendaraan masih mengandalkan minyak bumi dan merupakan energi yang paling banyak dikonsumsi oleh masyarakat dunia. (Nuraeni, dkk., 2019).

Saat ini, banyak negara yang sedang mengembangkan energi biofuel, salah satunya biodiesel untuk mengatasi meningkatnya permintaan terhadap kebutuhan energi dan menyediakan energi alternatif terbarukan sebagai pengganti bahan bakar fosil. Biodiesel diperoleh melalui reaksi transesterifikasi antara trigliserida dan alkohol dengan bantuan katalis. Biodiesel memiliki sifat-sifat yang unik, seperti non toksisitas, emisi gas SO_x yang rendah, dan biodegradabilitas sehingga lebih ramah lingkungan. Pemanfaatan biodiesel dalam mesin sebagai bahan bakar tidak mempengaruhi kinerja mesin tersebut (Rozina, dkk., 2022).

Pembuatan biodiesel saat ini banyak menggunakan minyak nabati dikarenakan ketersediaannya dalam skala besar sebagai bahan baku. Hal ini pun berdampak pada terganggunya ketahanan pangan akibat adanya kompetisi antara

minyak nabati sebagai bahan pangan dan bahan baku (Ihoegian & Usman, 2020). Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan menggunakan limbah sebagai bahan baku pembuatan biodiesel, yaitu minyak jelantah. Produksi biodiesel menggunakan minyak jelantah sangat dianjurkan sebagai upaya menekan biaya produksi biodiesel dan pemanfaatan limbah (Khan, dkk., 2019).

Salah satu parameter penting dalam pembuatan biodiesel adalah pemilihan katalis yang tepat. Ketiadaan katalis dalam suatu reaksi dapat menurunkan laju reaksi secara signifikan. Berbagai jenis katalis telah dikembangkan dalam pembuatan biodiesel seperti katalis homogen, heterogen, dan katalis enzimatik (Khan, dkk., 2021; Smaisim, dkk., 2022). Katalis yang umum digunakan secara konvensional adalah katalis homogen. Penggunaan katalis homogen digemari karena mudah ditemukan dengan biaya yang terjangkau serta memiliki laju aktivitas katalitik yang tinggi. Namun, katalis ini dapat menyebabkan reaksi saponifikasi terutama untuk bahan baku minyak jelantah yang memiliki kandungan asam lemak bebas yang tinggi sehingga akan berdampak pada berkurangnya rendemen produk (Wiyata & Broto, 2021; Khan, dkk., 2019). Selain itu, penggunaan katalis homogen sulit dalam memisahkan gliserol dan lapisan produk biodiesel serta menghasilkan air limbah yang besar dikarenakan katalis ini harus dinetralkan pada setiap reaksinya (Smaisim, dkk., 2022; Winoto & Yoswathana, 2019).

Penggunaan katalis heterogen dapat dijadikan alternatif atas permasalahan katalis homogen, seperti katalis basa heterogen CaO dari cangkang telur ayam (Oko

& Syahrir, 2017). Katalis heterogen umumnya tidak menghasilkan reaksi samping dan dapat dipisahkan dengan mudah tanpa mengurangi energi aktivitas katalitiknya. Katalis heterogen juga dapat digunakan secara berulang kali sehingga lebih ramah lingkungan (Khan, dkk., 2019). Namun, kebanyakan katalis heterogen cenderung membutuhkan proses tambahan dalam pemisahannya seperti proses sentrifugasi dan filtrasi yang berdampak pada penambahan biaya, waktu operasional, dan energi (Tamidji, dkk., 2021). Penggunaan senyawa magnetik pada katalis dapat dijadikan sebagai alternatif atas permasalahan tersebut karena dapat dipisahkan hanya menggunakan medan magnet eksternal sehingga proses pemisahan katalis dapat lebih efisien secara waktu dan energi (Rahmayanti, dkk., 2022).

Penggunaan senyawa magnetik dengan modifikasi bahan alam sebagai katalis telah berhasil dilakukan. Rozina, dkk. (2022) melakukan sintesis nanopartikel CuO dengan modifikasi ekstrak daun krokot (*Portulca oleracea*) sebagai katalis biodiesel berbahan baku minyak biji jeruk sukade (*Citrus medica*). Penggunaan ekstrak daun krokot dikarenakan kandungan ekstraknya dapat bertindak sebagai agen penstabil dan bioreduktor pada senyawa nanopartikel. Taba, dkk. (2019) telah berhasil melakukan sintesis nanopartikel perak menggunakan ekstrak daun salam (*Syzygium polyanthum*) sebagai bioreduktor dan antioksidan. Daun salam memiliki kandungan fenolik dan flavonoid yang tinggi sehingga memiliki kemampuan sebagai bioreduktor yang berpotensi untuk menghasilkan nanopartikel logam seperti nanopartikel perak.

Bahan alam lain yang memiliki kandungan gugus fenolik yang tinggi salah satunya adalah pada kulit petai (*Parkia speciosa Hassk*). Kulit petai memiliki kandungan senyawa fenol dan flavonoid yang tinggi sehingga diketahui dapat bermanfaat sebagai antioksidan, antimikrobia, antidiabetik, dan antiangiogenik. Kandungan total fenol ekstrak kulit petai yaitu sebesar 90,67 mgGAE/g (Nurdyansyah, dkk., 2019). Kandungan flavonoid yang ada pada ekstrak kulit petai sebanyak 5,86-5,38 mg CE/g DW (Wonghirundecha, dkk., 2014). Dengan adanya kandungan flavonoid dan gugus fenolik tersebut, kulit petai berpotensi untuk menghasilkan senyawa nanopartikel magnetik seperti nanopartikel logam magnetit (Syakina & Rahmayanti, 2023).

Magnetit (Fe_3O_4) merupakan oksida besi yang memiliki sifat paramagnetik (Rahmayanti, 2020). Permukaan magnetit mengandung gugus hidroksil yang terprotonasi pada pH di bawah pH_{ZPC} dan terdeprotonasi pada pH di atas pH_{ZPC} magnetit (Rahmayanti, dkk., 2016) sehingga memungkinkan terjadinya interaksi antara gugus fenolat dan karboksilat yang ada pada ekstrak kulit petai. Modifikasi senyawa nanopartikel menggunakan bahan alam dilakukan untuk mencegah aglomerasi dalam sintesis nanopartikel (Syakina & Rahmayanti, 2023).

Penelitian terkait sintesis biodiesel menggunakan katalis magnetik telah banyak dilakukan. Hafiz, dkk. (2017) telah melakukan reaksi transesterifikasi minyak sawit *off grade* menjadi biodiesel menggunakan katalis basa padat nanomagnetik CaO/serbuk besi. Katalis tersebut berupa campuran kalsium nitrat ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) dan serbuk besi. Hasil penelitiannya menunjukkan aktivitas

katalitik terbaik dari katalis CaO/serbuk besi didapat pada komposisi 80:20 yang dikalsinasi pada temperatur 850° C dengan perolehan rendemen biodiesel sebesar 81,32%.

Faktor lain yang berpengaruh terhadap pembentukan rendemen ialah suhu dan waktu. Lestari, dkk (2021) telah meneliti pengaruh suhu dan waktu reaksi transesterifikasi minyak jarak kepyar terhadap metil ester menggunakan katalis abu tandan kosong kelapa sawit. Variasi suhu yang digunakan yaitu 50, 55, 60, dan 65 °C serta variasi waktu 60, 80, dan 100 menit. Hasilnya menunjukkan rendemen optimum diperoleh pada suhu 65 °C dengan waktu reaksi 100 menit sebesar 76,62%.

Penelitian serupa yang dilakukan oleh Sipahutar & Tobing (2013) yaitu meneliti pengaruh variasi suhu dan waktu konversi biodiesel dengan bahan baku minyak jarak terhadap kuantitas biodiesel yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rendemen tertinggi diperoleh pada suhu reaksi 60 °C dan waktu reaksi 120 menit. Perolehan gliserol terendah dihasilkan pada variasi waktu 120 menit.

Rendemen biodiesel yang dihasilkan oleh suatu reaksi transesterifikasi meningkat seiring dengan kenaikan suhu dan waktu reaksi, sehingga kontak antar zat semakin besar dan menghasilkan konversi yang besar pula. Suhu berpengaruh signifikan terhadap produktivitas biodiesel. Sebaliknya, waktu tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan pada pembentukan biodiesel tetapi signifikan dalam pembentukan gliserol sebagai hasil samping reaksi transesterifikasi (Sipahutar & Tobing, 2013; Lidya, dkk., 2021).

Penelitian-penelitian sebelumnya telah menggunakan berbagai katalis magnetik dalam pembuatan biodiesel. Namun, belum ada penelitian yang menggunakan katalis magnetik dengan nanopartikel magnetit modifikasi ekstrak kulit petai. Perlakuan variasi suhu dan waktu reaksi transesterifikasi pada sintesis biodiesel menggunakan katalis magnetit termodifikasi bahan alam berupa kulit petai diharapkan dapat mengetahui perbandingan mutu produk biodiesel yang dihasilkan terhadap Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk parameter densitas, bilangan asam, kadar air, dan titik nyala.

B. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Limbah kulit petai yang digunakan pada penelitian ini berasal dari limbah rumah tangga.
2. Sintesis katalis Fe_3O_4 -PSH dilakukan menggunakan metode kopresipitasi.
3. Karakterisasi gugus fungsi Fe_3O_4 -PSH dipelajari menggunakan instrumen FTIR dan analisis kristalinitas Fe_3O_4 -PSH dipelajari menggunakan instrumen XRD.
4. Minyak jelantah yang digunakan pada penelitian ini berasal dari limbah minyak bekas penggorengan dengan minimal lima kali pengulangan.
5. Studi parameter suhu reaksi dilakukan pada variasi suhu 40, 60, dan 80 °C.
6. Studi parameter waktu reaksi dilakukan pada waktu 30, 60, dan 90 menit.

7. Mutu produk biodiesel dianalisis melalui pengujian berdasarkan SNI 7182:2015 untuk parameter densitas, bilangan asam, kadar air, dan titik nyala.

C. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana karakterisasi gugus fungsi dan kristalinitas Fe_3O_4 -PSH menggunakan FTIR dan XRD?
2. Bagaimana perbandingan mutu produk biodiesel yang dihasilkan pada variasi suhu dan waktu terhadap Standar Nasional Indonesia (SNI 7182:2015) untuk parameter densitas, bilangan asam, kadar air, dan titik nyala?

D. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui karakterisasi gugus fungsi dan kristalinitas Fe_3O_4 -PSH menggunakan FTIR dan XRD.
2. Mengetahui perbandingan mutu produk biodiesel yang dihasilkan pada variasi suhu dan waktu terhadap Standar Nasional Indonesia (SNI 7182:2015) untuk parameter densitas, bilangan asam, kadar air, dan titik nyala.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Meningkatkan pemanfaatan limbah minyak jelantah dan limbah kulit petai.
2. Memberikan informasi kepada masyarakat mengenai nilai guna limbah minyak jelantah dan kulit petai.
3. Sebagai upaya mengurangi pembuangan limbah secara sia-sia.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil karakterisasi gugus fungsi katalis Fe_3O_4 -PSH menggunakan FTIR menunjukkan terdapat empat pita serapan utama pada 406,93; 561,21; 1612,17; dan 3425,13 cm^{-1} . Ikatan Fe-O magnetik ditunjukkan oleh serapan pada bilangan gelombang 561,21 cm^{-1} . Karakterisasi kristalinitas menggunakan XRD menunjukkan puncak difraksi dengan bidang indeks Miller (220), (311), (400), (511), dan (440).
2. Hasil analisis perbandingan mutu biodiesel pada berbagai suhu dan waktu untuk parameter densitas, bilangan asam, kadar air, dan titik nyala menunjukkan bahwa sebagian besar produk biodiesel telah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI 7182:2015). Parameter yang belum memenuhi standar baku mutu yaitu nilai kadar air pada setiap variasi suhu dan waktu serta bilangan asam pada variasi suhu 60 °C dan waktu 90 menit.

B. Saran

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

1. Perlu dilakukan penentuan kondisi optimum reaksi untuk memperoleh rendemen biodiesel yang maksimum.
2. Perlu dilakukan upaya lanjutan untuk menurunkan nilai kadar air dan bilangan asam biodiesel yang dihasilkan.
3. Melakukan pengujian lebih lanjut terhadap biodiesel untuk parameter lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Savitri, A., Irwan, A., 2017. Pengaruh Temperatur dan Waktu Reaksi pada Karakteristik Biodiesel Hasil Transesterifikasi Minyak Sawit dengan Sistem Pelarut Petroleum Benzin. *Sains dan Terapan Kimia*, 11 (1), 37–44.
- Adhani, L., Aziz, I., Nurhayati, S., Oktaviana, C.O., 2016. Pembuatan Biodiesel dengan Cara Adsorpsi dan Transesterifikasi dari Minyak Goreng Bekas. *VALENSI*, 2 (1), 71–80.
- Aini, Z., Yahdi., dan Sulistiyana., 2020. Kualitas Biodiesel dari Minyak Jelantah menggunakan Katalis Cangkang Telur Ayam Ras dengan Perlakuan Suhu yang Berbeda. *Spin Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia*, 2 (2), 98–115.
- Andriani, M., 2020. *Kajian Variasi Suhu pada Proses Produksi Biodiesel Secara Katalitik dengan menggunakan Static Mixing Reactor*, Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Atmoko, W.P., Widjanarko, D., Pramono, 2014. Pengaruh Temperatur pada Proses Transesterifikasi Terhadap Karakteristik Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas. *Journal of Mechanical Engineering Learning*, 3 (1), 39–46.
- [BSN] Badan Standarisasi Nasional., 2015. SNI 7182:2015, "Biodiesel", Badan Standar Nasional.
- Chairunnisa, S., Wartini, N.M., Suhendra, L., 2019. Pengaruh Suhu dan Waktu Maserasi terhadap Karakteristik Ekstrak Daun Bidara (*Ziziphus mauritiana L.*) sebagai Sumber Saponin. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*, 7 (4), 551–560.
- Chanpirak, A. dan Weerachaipichasgul, W., 2017. *Improvement of Biodiesel Production in Batch Transesterification Process*. Hongkong, IMECS.
- Chhikara, N., Devi, H. R., Jaglan, S., Sharma, P., Gupta, P., dan Panghal, A., 2018. Bioactive Compounds, Food Applications and Health Benefits of *Parkia speciosa* (Stinky Beans): A Review. *Agriculture & Food Security*, 7 (46). <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0197-x>
- Esan, A. O., Smith, s. m., Ganesan, S., 2022. A non-conventional sustainable process route via methyl acetate esterification for glycerol-free biodiesel production from palm oil industry wastes. *Process Safety and Environmental Protection*, 166, 402–413. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.08.040>

- Fajrin, F. I., dan Susila, I., 2019. Uji Fitokimia Ekstrak Kulit Petai Menggunakan Metode Maserasi. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Sains*, 6 (3): 455–622.
- Farobie, O., Sutarlan, I.F.I., Suchyo, L., Bayu, A., dan Hartulistiyoso, E., 2023. Biodiesel Production from Crude Palm Oil Under Subcritical Methanol Conditions: Experimental Investigation and Kinetic Model. *Bioresource Technology Reports*, 22. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101441>
- Fatimah, I., Pratiwi, E. Z., Wicaksono, W. P., 2020. Synthesis of Magnetic Nanoparticles using *Parkia speciosa Hassk* Pod Extract and Photocatalytic Activity for Bromophenol Blue Degradation. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 46, 35–40. DOI: [10.1016/j.ejar.2020.01.001](https://doi.org/10.1016/j.ejar.2020.01.001).
- Gnanaserkhar, S., Mijan, N. A., Alsultan, G. A., Seenivasagam, S., Izham, S. M., Taufiq-yap, Y. H., 2020. Biodiesel Production via Simultaneous Esterification and Transesterification of Chicken Fat Oil by Mesoporous Sulfated Ce Supported Activated Carbon. *Biomass and Bioenergy*, 141. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105714>
- Godson T., E. dan Vinoth E., 2015. Biodiesel Production from Waste Cooking Oil. *International Journal of Students Research in Technology & Management*, 3 (8), 448 – 450. DOI: 10.18510/ijstrtm.2015.383.
- Grosmann, M.T., Andrade, T.A., Bitonto, L.D., Pastore, C., Corazza, M.L., Tronci, S., dan Errico, M., 2022. Hydrated metal salt pretreatment and alkali catalyzed reactive distillation: A two-step production of waste cooking oil biodiesel. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 176. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2022.108980>.
- Hafiz, F., Helwani, Z. dan Saputra, E., 2017. Sintesis Katalis Basa Padat Nanomagnetik CaO/Serbuk Besi untuk Reaksi Transesterifikasi Minyak Sawit Off Grade menjadi Biodiesel. *Jom FTEKNIK*, 4 (1), 1–10.
- Ihoeghian, N.A. dan Usman, M.A., 2020. *Energetic Evaluation of Biodiesel Production From Rice Bran Oil Using Heterogenous Catalyst*. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 32, 102–107. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2018.11.007>
- Kartika, D. dan Senny, W., 2012. Konsentrasi Katalis dan Suhu Optimum pada Reaksi Esterifikasi menggunakan Zeolit Alam Aktif (ZAH) dalam Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah. *Jurnal Natur Indonesia*, 18 (3), 219–226.

- Khan, A. M., Safi, A. H., Ahmed, M. N., Siddiqui, A. R., Usmani, M. A., Khan, S. H., dan Yasmeen K., 2019. Biodiesel Synthesis from Waste Cooking Oil using A Variety of Waste Marble as Heterogenous Catalysts. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 36 (4), 1487–1500.
- Khan, Z., Javed, F., Shamair, Z., Hafeez, A., Fazal, T., Aslam, A., Zimmerman, W.B., Rehman, F., 2021. Current Developments in Esterification Reaction: A Review on Process and Parameters. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 103, 80–101.
- Kumar M., Ranjan, R., Dandapat, S., Srivastava, dan Sinha, M. P., 2022. XRD Analysis for Characterization of Green Nanoparticles: A Mini Review. *Global Journal of Pharmacy & Pharmaceutical Sciences*, 1 (1). DOI: 10.19080/GJPPS.2022.09.555779
- Kumar, S., Shamsuddin, M.R., Farabi, M.S.A., Saiman, M.I., Zainal, Z., dan Taufiq-Yap, Y.H., 2020. Production of Methyl Esters from Waste Cooking Oil and Chicken Fat Oil via Simultaneous Esterification and Transesterification Using Acid Catalyst. *Energy Conversion and Management*, 226.
- Laila, L. dan Oktavia, L., 2017. Kaji Eksperimen Angka Asam dan Viskositas Biodiesel Berbahan Baku Minyak Kelapa Sawit PT Smart Tbk.. *Jurnal Teknologi Proses dan Inovasi Industri*, 2 (1), 27–31.
- Latif, A. N., Burhan, A. M., Rini, Y. P., Mardiyarningsih, A., 2021. *Narrative Review: Analisis Kadar Asam Lemak Bebas dan Kadar Air dalam Minyak Jelantah Sawit*. *Jurnal Ilmu Kesehatan Bhakti Setya Medika*, 6 (2), 73–82.
- Lestari, L.P., Meriatna, Suryati, Jalaluddin, dan Sylvia, N., 2021. Pengaruh Suhu dan Waktu Reaksi Transesterifikasi Minyak Jarak Kepyar (*Castor Oil*) terhadap Metil Ester dengan Menggunakan Katalis Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Chemical Engineering Journal Storage*, 1 (2), 64–80.
- Monde, J., Fransiskus, J., Lutfi, M., Kumalasari, P. I., 2022. Pengaruh Suhu pada Proses Biodiesel Transesterifikasi terhadap Kualitas Biodiesel dari Minyak Jelantah. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 6 (1), 1325–1330.
- Mudia, F.R.N., Saptara, F., Supriyanto, S., Zikri, A., Fatria, Rusnadi, I., 2020. Pemanfaatan Biji Bintaro (*Cerbera manghas L*) Sebagai Bahan Baku Pembuatan Biodiesel dan Biopellet untuk Pengembangan Energi Baru Terbarukan. *Prosiding Seminar Mahasiswa Teknik Kimia*, 1 (1), 41–47.

- Mujtaba, M.A., Kalam, M.A., Masjuki, H.H. Razzaq, L., Khan, H.M., Soudagar, M.E.M., Gul, M., Ahmed, W., Raju, V.D., Kumar, R., Ong, H.C., 2021. Development of Empirical Correlations for Density and Viscosity Estimation of Ternary Biodiesel Blends. *Renewable Energy*, 179. 1147–1457.
- Naik R., L., Randhika, N., Sravani, K., Hareesha, A., Mohanakumari, B., Bhavasinghu, K., 2015. Optimized Parameters for Production of Biodiesel from Fried Oil. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering, and Technology*, 2 (6), 62–65.
- Nengsih, S., 2019. Karakteristik Nanopartikel Magnetik Magnetit Besi Oksida Lampanah Aceh Besar melalui Metode Kopresipitasi. *Elkawnie*, 5 (1), 76–85.
- Ningsih, S.V., Utami, T. R., Stevana, A., Wijayanti, A., 2021. Kandungan Senyawa Ekstrak Kulit Petai (*Parkia speciosa Hassk*) dengan Pelarut Ethanol 70% dan Etil Asetat. *Jurnal Ilmu Kesehatan Bhakti Setya Medika*, 6 (2), 118–122.
- Nuraeni, N., Yun, Y. F., dan Agustini, D. M., 2019. Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah Menggunakan Adsorben Karbon Aktif dan Pembuatan Triasetin dengan Katalis Asam Nitrat. *Jurnal Kartika Kimia*, 2 (1), 17–22.
- Nurdyansyah, F., Widyastuti, D. A., dan Mandasari, A. A., 2019. *Karakteristik Simplisia dan Ekstrak Etanol Kulit Petai (Parkia speciosa) dengan Metode Maserasi*. Semarang: Pendidikan Biologi FMIPATI Universitas PGRI.
- Oko, S., dan Syahrir, I., 2017. Sintesis Biodiesel dari Minyak Sawit Menggunakan Katalis CaO Superbasa dari pemanfaatan Limbah Cangkang Telur Ayam. *Jurnal Teknologi*, 10 (2), 113–121. <https://dx.doi.org/10.24853/jurtek.10.2.113-122>
- Outili, N., Kerras, H., Meniai, A.H., 2023. Recent Conventional and Non-Conventional WCO Pretreatment Methods: Implementation of Green Chemistry Principles And Metrics. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 41:100794.
- PR, A., Kanna, R., Nair, S. G., Francis, C., Bhaktan, N., Kuruvila, A., 2017. Effect of Free Water and Rust on Flash Point of Diesel. *Research Inventy: International Journal of Engineering and Science*, 7 (2), 21–24.
- Pandit, C., Banerjee, S., Pandit, S., Lahiri, D., Kumar, V., Chaubey, K.K., Al-Balushi, R., Al-Bahry, S., Joshi, A.J., 2023. Recent Advances and

Challenges in the Utilization of Nanomaterials in Transesterification for Biodiesel Production. *Heliyon*, 9.

- Rahmayanti, M., Santosa, S. J., dan Sutarno. 2016. Comparative Study on the adsorption of $[AuCl]^-$ onto Salicylic Acid and Gallic Acid Modified Magnetite Particles. *Indonesian Journal Chemistry*. Vol. 16, No. 3, Hal. 329-337.
- Rahmayanti, M., Yahdiyani, A., Afifah, I. A., 2022. Eco-Friendly Synthesis of Magnetic Based on Tea Drags (Fe_3O_4 -TD) For Methylene Blue Adsorbent from Simulation Waste. *Communications in Science and Technology*, 7 (2), 119–126.
- Razab, R. dan Aziz, A. A., 2010. Antioxidants from Tropical Herbs. *Natural Product Communication*, 5 (3), 441–445.
- Rohman, A., 2014. *Statistika dan Kemometrika Dasar dalam Analisis Farmasi*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Rozina, Chia, S. R., Ahmad, M., Sultana, S., Zafar, M., Asif, S., Bokhari, A., Nomanbhay, S., Mubashir, M., Khoo, K. S., dan Show, P. L., 2022. Green Synthesis of Biodiesel from *Citrus medica* Seed Oil using Green Nanoparticles of Copper Oxide. *FUEL*. 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124285>
- Saidi, M., Safaripour, M., Ameri, F. A., dan Jomeh, M. E., 2023. Application of Sulfonated Biochar-based Magnetic Catalyst for Biodiesel Production: Sensitivity Analysis and Process Optimization. *Chemical Engineering and processing: Process Intensification*, 190. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2023.109419>
- 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.
- Sinaga, S.V., Haryanto, A., Triyono, S., 2014. Pengaruh Suhu dan Waktu Reaksi pada Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 3 (1), 27–34.
- Sipahutar, R. dan Tobing, H. L. L., 2013. Pengaruh Variasi Suhu dan Waktu Konversi Biodiesel dari Minyak Jarak terhadap Kuantitas Biodiesel yang dihasilkan. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 13 (1), 15–20.

- Smaisim, G. F., Prabu, N. M., AP, S., dan Abed, A. M., 2022. Synthesis of Biodiesel from Fish Processing Waste by Nano Magnetic Catalyst and its Thermodynamic Analysis. *Case Studies in Thermal Engineering*.
- Sopian, A., Darmawan, A., dan Simanjuntak, P., 2019. Identifikasi Senyawa Kimia Fenolik dalam Ekstrak Etil Asetat Kulit Buah Jengkol. *Jurnal Ilmiah Farmasi*, 8 (1), 51–55.
- Syakina, A. N. dan Rahmayanti, M. 2023. Removal of Methyl Violet from Aqueous Solutions by Green Synthesized Magnetite Nanoparticles with *Parkia Speciosa Hassk.* Peel Extracts. *Chemical Data Collection*, 44. <https://doi.org/10.1016/j.cdc.2023.101003>
- Taba, P., Parmitha, N. Y., dan Kasim, S., 2019. Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Daun Salam (*Syzygium polyanthum*) sebagai Bioreduktor dan Uji Aktivitasnya sebagai Antioksidan. *Indo. J. Chem. Res.*, 7 (1), 51–60.
- Takase, M., Kipkoech, R., Miller, D. L., dan Buami, E. K., 2023. Optimisation of the reaction conditions for biodiesel from *Parkia biglobosa* oil via transesterification with heterogenous clay base catalyst. *Fuel Communications*, 15. <https://doi.org/10.1016/j.jfueco.2023.100089>
- Tamidji, S., Esmaeili, H. dan Moghadas, B., 2021. Performance of functionalized magnetic nano catalysts and feedstocks on biodiesel production : A review study. *Journal of Cleaner Production*, 305 (127200).
- Tatinting, G. D., Aritonang, H. F., dan Wintu, A. D., 2021. Sintesis Nanopartikel Fe₃O₄-Polietilenglikol (Peg) 6000 dari Pasir Besi Pantai Hais sebagai Adsorben Logam. *Chem. Prog*, 14 (2), 131–137.
- Wardatun, S., Harahap, Y., Mun'im, A., Sutandyo, N., 2020. Short Communication: Optimization of Extraction of sulfhydryl Compounds from Several Legume Seeds in Indonesia with Various Ethanol Concentrations. *Biodiversitas*, 21 (3), 1060–1064. DOI: 10.13057/biodiv/d210328
- Winoto, V. dan Yoswathana, N., 2019. Optimization of Biodiesel Production Using Nanomagnetic CaO-Based Catalysts with Subcritical Methanol Transesterification of Rubber Seed Oil. *energies*, 12 (230), 1–13.
- Wiyata, I. Y. P. dan Broto, R. T. W., 2021. Pembuatan Biodiesel Minyak Goreng Bekas dengan Memanfaatkan Limbah Cangkang Telur Bebek sebagai Katalis CaO. *Jurnal Pengabdian Vokasi*, 2 (1), 69–74.

Wijayanto, A., Rahardja, B.S., Satyantini, W.H., 2015. Perbandingan Viskositas, Titik Nyala, dan Titik Beku Biodiesel Dari Rumput Laut (*Eucheuma denticulatum*), Minyak Ikan Lemuru, (*Sardinella longiceps*), dan Biodiesel Komersil. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 7 (2), 141–148.

Yanti, Irnawati, F., Vivian, M., dan Wulandari, Y., 2015. Extraction Yield And Antioxidant Activity of Biomolecule and Bioactive Fractions from Seed and Peel Parts of *Pithecellobium jiringa*. *Scholars Academic Journal of Biosciences (SAJB)*, 3 (9), 790–795.