

**SINTESIS NANOPARTIKEL MAGNETIT (Fe_3O_4)
TERMODIFIKASI EKSTRAK SERASAH DAUN GLOKOKAN
(*Polyalthia Longifolia*) SERTA APLIKASINYA SEBAGAI
KATALIS PADA PIROLISIS LIMBAH PLASTIK LDPE (*Low-Density polyethylene*)**

Skripsi

**Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat sarjana Kimia**

Oleh:

Maria Shofiyanna

21106030015

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

JURUSAN KIMIA

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA

YOGYAKARTA

2025

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-1154/Un.02/DST/PP.00.9/06/2025

Tugas Akhir dengan judul : SINTESIS NANOPARTIKEL MAGNETIT (Fe_3O_4) TERMODIFIKASI EKSTRAK SERASAH DAUN GLODOKAN (*Polyalthia Longifolia*) SERTA APLIKASINYA SEBAGAI KATALIS PADA PIROLISIS LIMBAH PLASTIK LDPE (LowDensity polyethylene)

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : MARIA SHOFIYANNA
Nomor Induk Mahasiswa : 21106030015
Telah diujikan pada : Selasa, 10 Juni 2025
Nilai ujian Tugas Akhir : A-

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

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang
Prof. Dr. Maya Rahmayanti, S.Si. M.Si.
SIGNED

Valid ID: 6850ec398cedb



Penguji I
Didik Krisdiyanto, S.Si., M.Sc
SIGNED

Valid ID: 684099a26be15



Penguji II
Priyagung Dhemi Widiakongko, M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 6850b4e176f30



Yogyakarta, 10 Juni 2025
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 6850fc05255de

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Maria Shofiyanna
NIM : 21106030015
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **“Sintesis Nanopartikel Magnetit (Fe_3O_4) Termodifikasi ekstrak Serasah Daun Glodokan (*Polyalthia longifolia*) serta aplikasinya sebagai Katalis pada Pirolisis limbah plastik LDPE (Low-Density Polyethylene)”** 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, 31 Mei 2025

Mahasiswa



Maria Shofiyanna
Maria Shofiyanna
NIM . 21106030015

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga

FM-UINSK-BM-05-03/R1

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 : Maria Shofiyanna
NIM : 21106030015
Judul Skripsi : Sintesis Nanopartikel Magnetit (Fe_3O_4) Termodifikasi ekstrak Serasah Daun Glodokan (*Polyalthia longifolia*) serta aplikasinya sebagai Katalis pada Pirolisis limbah plastik LDPE (*Low-Density Polyethylene*)

sudah dapat diajukan kembali kepada Fakultas Sains dan Teknologi Program Studi Kimia 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 dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Yogyakarta, 31 Mei 2025

Pembimbing

Prof. Dr. Maya Rahmayanti, S.Si. M.Si
NIP. 19810627 200604 2 003

HALAMAN MOTO

“Have no fear of perfection, you'll never reach it”

(Marie Curie)

“Kesalahan orang-orang pandai ialah menganggap yang lain bodoh, dan kesalahan orang-orang bodoh ialah menganggap orang lain pandai”

“Manusia punya kodratnya masing-masing dan tak ada seorangpun bisa merubah kodrat itu”

(Pramoedya Ananta Toer)



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim, Skripsi ini penulis persembahkan kepada:

Kedua orangtua yang telah mendidik hingga dapat menginjak sarjana, saudara kandung, teman serta seluruh pihak yang bertanya “kapan lulus?”, “berapa semester lagi?”, “kapan sidang?”, “kapan wisuda?”, “Sudah selesai belum?” dan sejenisnya. Seluruh pihak inilah yang menjadi alasan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Skripsi ini juga dipersembahkan kepada Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan kalijaga



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alamin, puji syukur penulis panjatkan kepada sang pencipta Allah SWT atas rahmat, hidayah dan karunia-Nya yang telah memberikan ilmu, kesabaran dan kekuatan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Sintesis Nanopartikel Magnetit (Fe_3O_4) Termodifikasi Ekstrak Serasah Daun Glodokan (*Polyalthia Longifolia*) serta Aplikasinya sebagai Katalis pada Pirolisis Limbah Plastik Ldpe (*Low-Density Polyethylene*)”. Penulis menyadari bahwa tanpa adanya bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka penyusunan skripsi ini tidak dapat berjalan dengan baik. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya atas waktu, tenaga dan pikirannya kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga
2. Ibu Prof. Dr. Maya Rahmayanti, M. Si. selaku Ketua Program studi Kimia sekaligus dosen Pembimbing skripsi yang telah mengingatkan untuk selalu teliti, memberikan motivasi dan arahan serta sabar dan selalu meluangkan waktunya sehingga penyusunan skripsi ini telah selesai tepat waktu.
3. Seluruh dosen program studi kimia yang telah memberikan ilmu dan pengalaman selama perkuliahan. Serta staff administrasi Fakultas yang memberikan kemudahan dalam pengumpulan berkas-berkas sehingga penyusunan skripsi dapat selesai.
4. Seluruh Pranata Laboratorium Pendidikan (PLP) Laboratorium Kimia UII, Laboratorium Kimia UIN Sunan kalijaga dan Laboratorium Teknik Industri UIN Sunan kalijaga yang telah membantu dan mengarahkan selama penelitian.
5. Ibu Minarsih dan Bapak Noorkholish selaku orang tua tercinta yang telah mengorbankan waktu, tenaga, dan uang untuk membiayai kebutuhan dan pendidikan. Selalu memberikan dukungan serta do'anya yang tidak pernah terlupakan dimanapun berada sehingga penyusunan skripsi dapat selesai.
6. Keluarga saya terutama kedua kakak saya yaitu Khoirul Anwar sekeluarga dan Hidayatul Khotimah yang selalu menanyakan kabar, memberikan nasehat dan semangat selama perkuliahan.

7. Seseorang yang berarti dalam hidup saya setelah keluarga, yaitu Muhammad Yusril Abullah. Terimakasih atas bantuannya, selalu menemani serta menghibur saya dalam kondisi apapun hingga terselesainya skripsi ini.
8. Mba dede dan mas zaka selaku kakak tingkat yang senantiasa sabar menjawab apapun pertanyaan dan kebingungan saya selama penyusunan proposal hingga skripsi.
9. Teman se-perbimbingan khususnya Isyfi Asfiya yang telah sabar membantu saya dari awal penyusunan proposal hingga skripsi selesai. Terimakasih telah meluangkan waktunya untuk rela jauh-jauh ke UII dan hujan-hujan menemani saya penelitian sampai berhasil.
10. Teman-teman Scandium terkhusus Nurul, Endah, Dewi, Nias, Mar'atus, Rofiq, Oyan, Ridwan, Rafdi dan Yuda yang telah membantu saya dalam kepengurusan HM-PS Kimia hingga selesai dan mengajak saya dalam agenda *per-heeling-an*, konser, makan bareng serta mengerjakan tugas bareng selama perkuliahan.
11. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Yogyakarta, 31 Mei 2025

Penulis

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI	iv
HALAMAN MOTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
INTISARI	xiv
ABSTRACT	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Batasan Masalah	5
C. Rumusan Masalah	6
D. Tujuan Penelitian	6
E. Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	8
A. Tinjauan Pustaka	8
B. Landasan teori	15
1. Nanopartikel Magnetit (Fe_3O_4)	15
2. Serasah Daun Glodokan (<i>Polyalthia longifolia</i>)	17
3. Metode Kopresipitasi	19
4. Pirolisis Katalitik	21
5. Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red (FTIR)	27
6. X-Ray Diffraction (XRD)	29
7. Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)	31
8. Uji Kualitas Minyak	33
C. Kerangka Berpikir dan Hipotesis Penelitian	37
BAB III METODE PENELITIAN	42
A. Waktu dan Tempat Penelitian	42
B. Alat-alat Penelitian	42
C. Bahan Penelitian	42
D. Cara Kerja Penelitian	43
1. Preparasi Ekstrak serasah daun glodokan (<i>Polyalthia longifolia</i>)	43
2. Sintesis Nanopartikel Magnetit (Fe_3O_4) termodifikasi serasah daun glodokan (<i>Polyalthia longifolia</i>)	43
3. Karakterisasi nanopartikel magnetik (Fe_3O_4) termodifikasi serasah daun Glodokan)	44
4. Proses pirolisis	45

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	49
A. Karakterisasi katalis Fe_3O_4 termodifikasi serasah daun Glodokan dan Ekstrak serasah duan glodokan.....	49
B. Pirolisis katalitik limbah plastik LDPE menggunakan Fe_3O_4 termodifikasi ekstrak serasah daun glodokan	58
1. Pirolisis Limbah plastik LDPE.....	58
2. Uji Kualitas produk minyak hasil pirolisis.....	64
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	77
A. Kesimpulan.....	77
B. Saran	78
DAFTAR PUSTAKA	79
LAMPIRAN.....	88
Lampiran 1. Spektra FTIR Fe_3O_4 termodifikasi ekstrak serasah daun glodokan	88
Lampiran 2. Spektra FTIR ekstrak serasah daun glodokan	88
Lampiran 3. Difaktogram dan Perhitungan ukuran kristal.....	89
Lampiran 4. Perhitungan Randemen minyak hasil pirolisis	89
Lampiran 5. Perhitungan densitas	90
Lampiran 6. Perhitungan Viskositas kinematic	91
Lampiran 7. Perhitungan Nilai kalor.....	92
Lampiran 8. Perhitungan Kadar air.....	92
Lampiran 9. Hasil Uji Viskositas Minyak pirolisis.....	94
Lampiran 10. Hasil Uji Nilai kalor Minyak pirolisis	95
Lampiran 11. Hasil Uji GC-MS Minyak hasil PirolisiS	96
Lampiran 12. Dokumentasi Penelitian.....	96

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Karakteristik Frekuensi Absorpsi IR	28
Tabel 2. 2. Struktur hidrokarbon minyak bumi (Karnowo dkk., 2021)	33
Tabel 2. 3. Standar Nilai Densitas Bahan Bakar Minyak	34
Tabel 2. 4. Nilai kalor beberapa minyak	36
Tabel 4. 1 Hasil FWHM dan ukuran kristal Fe_3O_4 termodifikasi ekstrak serasah daun glodokan.....	55
Tabel 4. 2 Perbandingan ukuran kristal Fe_3O_4 yang dipengaruhi dari ekstrak tanaman	56
Tabel 4. 3 Pengamatan suhu tetesan awal, suhu tetesan tertinggi dan suhu tetesan akhir minyak pirolisis plastik LDPE.....	59
Tabel 4. 4 Waktu tetesan awal dan akhir proses pirolisis	61
Tabel 4. 5 Waktu suhu tertinggi dan waktu suhu mulai turun	61
Tabel 4. 6 Randemen minyak, gas dan residu hasil pirolisis plastik LDPE	63
Tabel 4. 7 Komposisi senyawa kimia minyak hasil pirolisis.....	65
Tabel 4. 8 Sifat fisik dan sifat kimia minyak hasil pirolisis menggunakan katalis Fe_3O_4 termodifikasi ekstrak serasah daun glodokan 2,5 gram.....	68
Tabel 4. 9 Hasil Densitas dengan variasi jumlah katalis 0 – 2,5 gram	69
Tabel 4. 10 Hasil pengujian titik nyala minyak hasil pirolisis.....	73
Tabel 4. 11 Hasil uji kadar air minyak hasil pirolisis	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 (a) Struktur kristal Fe_3O_4 , (b) struktur sub kisi oktahedral dan tetrahedral (Malega, Indrayana, & Suharyadi, 2018).....	15
Gambar 2. 2 Daun Glodokan	17
Gambar 2. 3 Alat Pirolisis Sederhana	22
Gambar 2. 4 Pola difraksi XRD	30
Gambar 2. 5 Alat Viskometer	35
Gambar 4. 1 Spektra FTIR Fe_3O_4 termodifikasi ekstrak serasah daun glodokan dan Ekstrak serasah daun glodokan.....	50
Gambar 4. 2. Difaktogram XRD Fe_3O_4 termodifikasi ekstrak SDG, Fe_3O_4 , Fe_2O_3 dan FeO	54
Gambar 4. 3 Kromatogram minyak hasil pirolisis	64
Gambar 4. 4 Tiga komponen utama minyak hasil pirolisis	65

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Spektra FTIR Fe ₃ O ₄ -SDG	88
Lampiran 2. Spektra FTIR ekstrak serasah daun glodokan	88
Lampiran 3. Difaktogram dan Perhitungan ukuran kristal.....	89
Lampiran 4. Perhitungan Randemen minyak hasil pirolisis	89
Lampiran 5. Perhitungan densitas	90
Lampiran 6. Perhitungan Viskositas kinematic	91
Lampiran 7. Perhitungan Nilai kalor.....	92
Lampiran 8. Perhitungan Kadar air	92
Lampiran 9. Hasil Uji Viskositas Minyak pirolisis.....	94
Lampiran 10. Hasil Uji Nilai kalor Minyak pirolisis	95
Lampiran 11. Hasil Uji GC-MS Minyak hasil Pirolisis	96
Lampiran 12. Dokumentasi Penelitian.....	96

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

INTISARI

Sintesis Nanopartikel Magnetit (Fe_3O_4) Termodifikasi Ekstrak Serasah Daun Glodokan (*Polyalthia Longifolia*) serta Aplikasinya sebagai Katalis pada Pirolisis Limbah Plastik LDPE (*Low-Density Polyethylene*)

Oleh:

Maria Shofiyanna

Pembimbing:

Prof. Dr. Maya Rahmayanti, M.Si

Limbah plastik Low-Density Polyethylene (LDPE) sulit terdegradasi, sehingga menyebabkan penumpukan sampah yang mencemari lingkungan. Pirolisis katalitik merupakan solusi efektif untuk mengolah limbah plastik menjadi bahan bakar cair, tetapi memerlukan katalis yang efisien. Nanopartikel magnetit (Fe_3O_4) termodifikasi ekstrak serasah daun glodokan (*Polyalthia longifolia*) berpotensi sebagai katalis ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik nanopartikel magnetit (Fe_3O_4) termodifikasi ekstrak serasah daun glodokan, mengevaluasi pengaruhnya terhadap pirolisis limbah plastik LDPE dalam hal kuantitas dan kualitas minyak, serta menganalisis komposisi kimia minyak hasil pirolisis. Nanopartikel Fe_3O_4 disintesis dengan metode kopresipitasi dan dikarakterisasi menggunakan FTIR dan XRD. Pirolisis LDPE dilakukan dengan variasi massa katalis (0–2,5 g), diikuti analisis kualitas minyak (densitas, viskositas, nilai kalor, titik nyala, dan kadar air) serta komposisi kimia menggunakan GC-MS. Hasil analisis FTIR menunjukkan gugus Fe–O pada rentang $428,15\text{--}553,10\text{ cm}^{-1}$, sedangkan analisis XRD mengungkapkan struktur kristal dengan ukuran rata-rata 3,74 nm. Katalis meningkatkan rendemen minyak hingga 73% (2,5 g), dengan densitas 0,85706 g/mL, viskositas 2,98 cSt, dan nilai kalor 45,79 MJ/kg yang mendekati standar solar, tetapi titik nyala (46°C) rendah dan kadar air (4,97%) tinggi. Analisis GC-MS mendeteksi senyawa fenolik dominan (41,25%). Katalis Fe_3O_4 termodifikasi ekstrak serasah daun glodokan efektif meningkatkan rendemen dan kualitas minyak pirolisis, tetapi memerlukan pemurnian untuk mengurangi kadar air dan senyawa fenolik. Disarankan untuk melakukan distilasi fraksionasi, mengoptimalkan penyimpanan, dan menguji performa mesin diesel.

Kata kunci: Fe_3O_4 , pirolisis, LDPE, serasah daun glodokan, bahan bakar alternatif.

ABSTRACT

Synthesis of Magnetite Nanoparticles (Fe_3O_4) Using Glodokan Leaf Litter Extract (*Polyalthia Longifolia*) and Its Application as a Catalyst in Pyrolysis of LDPE (Low Density Polyethylene) Plastic Waste

By:

Maria Shofiyanna

Supervisor:

Prof. Dr. Maya Rahmayanti, M.Si

Low-Density Polyethylene (LDPE) plastic waste is difficult to degrade, leading to waste accumulation and environmental pollution. Catalytic pyrolysis offers an effective solution for converting plastic waste into liquid fuel, but it requires an efficient catalyst. Magnetite nanoparticles (Fe_3O_4) synthesized using *Polyalthia longifolia* leaf litter extract show potential as an eco-friendly catalyst. This study aims to characterize Fe_3O_4 nanoparticles using *Polyalthia longifolia* leaf litter extract, evaluate their effect on the pyrolysis of LDPE waste in terms of oil yield and quality, and analyze the chemical composition of the resulting oil. Fe_3O_4 -SDG nanoparticles were synthesized via co-precipitation and characterized using FTIR and XRD. LDPE pyrolysis was conducted with varying catalyst masses (0–2.5 g), followed by analysis of oil quality (density, viscosity, calorific value, flash point, and water content) and chemical composition using GC-MS. FTIR analysis revealed Fe–O bonds at 428.15–553.10 cm^{-1} , while XRD confirmed a crystalline structure with an average size of 3.74 nm. The catalyst increased oil yield up to 73% (2.5 g), with a density of 0.85706 g/mL, viscosity of 2.98 cSt, and calorific value of 45.79 MJ/kg, approaching diesel standards. However, the flash point (46°C) was low, and water content (4.97%) was high. GC-MS analysis detected a dominant phenolic compound content (41.25%). The Fe_3O_4 using *Polyalthia longifolia* leaf litter extract catalyst effectively enhanced pyrolysis oil yield and quality but requires further purification to reduce water and phenolic content. Fractionation distillation, optimized storage, and diesel engine performance testing are recommended.

Keywords: Fe_3O_4 , pyrolysis, LDPE, *Polyalthia longifolia* leaf litter, alternative fuel.

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Salah satu sampah yang dihasilkan dari rumah tangga adalah plastik (Riswan, Sunoko, & Hadiyanto, 2011). Data SIPSN 2023, plastik menduduki peringkat ke dua jenis sampah paling banyak di Indonesia (SIPN, 2024). Sampah plastik sangat potensial mencemari lingkungan karena plastik merupakan material yang sulit terdegradasi karena tidak bisa terdekomposisi secara alami (*non biodegradable*) sehingga pengelolaan sampah plastik dengan *landfill* maupun *open dumping* tidak tepat dilakukan (Firman Laili Sahwan, Martono, Wahyono, & Wisoyodharmo, 2005; Wahyudi dkk., 2018).

Menurut Awoyera dan Adesina (2020), pembuangan sampah plastik sebagian besar merupakan plastik jenis LDPE. Plastik *Low-Density Polyethylene* (LDPE) ini merupakan jenis plastik polietilen yang paling umum digunakan di dunia (Ghatge, Yang, Ahn, & Hur, 2020). Pengelolaan sampah plastik melibatkan proses daur ulang untuk mengubahnya menjadi sesuatu yang bermanfaat. Meskipun di Indonesia telah banyak kegiatan daur ulang plastik, terutama jenis *Polyethylene Terephthalate* (PETE/PET), pengelolaan plastik jenis *Low-Density Polyethylene* (LDPE) masih kurang optimal, sehingga sering menjadi limbah yang menumpuk (Embun sari Ayu & Yulcherlina, 2020). Salah satu teknologi daur ulang untuk menanggulangi sampah plastik yang bermanfaat yaitu proses pirolisis (Wahyudi dkk., 2018). Pirolisis adalah proses dekomposisi secara termal dari material organik tanpa melibatkan oksigen di

dalamnya. Proses ini mengakibatkan terjadinya pemutusan rantai senyawa kimia, sehingga dihasilkan senyawa baru yang memiliki rantai ikatan lebih pendek. Plastik sebagai bentuk polimer dengan monomer utama berupa rantai hidrokarbon yang memiliki peluang untuk diolah secara pirolisis dengan harapan hasil akhir senyawa hidrokarbon memiliki rantai C yang lebih pendek (Pratiwi, 2015). Proses pirolisis plastik pada umumnya menghasilkan gas, padatan, dan minyak (Didik Iswadi dkk., 2017)

Menurut Syamsiro (2015), pirolisis memiliki beberapa kelemahan signifikan. Pertama, rendemen produk yang dihasilkan cenderung rendah karena proses pirolisis konvensional tidak dapat memecah bahan baku secara efisien. Kedua, kualitas produk yang dihasilkan sering kali tidak konsisten, yang disebabkan oleh variasi dalam bahan baku dan kondisi operasi. Selain itu, pirolisis memerlukan suhu yang sangat tinggi, yang mengakibatkan kebutuhan energi yang besar dan membuat proses menjadi tidak ekonomis (Prasetyawan, Nafasyeila, & Fardhayanti, 2022). Produk yang dihasilkan juga cenderung memiliki kandungan hidrokarbon bercabang yang lebih rendah, yang dapat mempengaruhi kualitas bahan bakar yang dihasilkan. Oleh karena itu, penggunaan katalis dalam pirolisis mulai dikembangkan untuk mengatasi kelemahan-kelemahan ini dan meningkatkan efisiensi serta kualitas produk. Kehadiran katalis memainkan peran penting dalam proses pirolisis. Katalis dapat mengurangi kebutuhan energi dibandingkan tanpa katalis, serta menghasilkan lebih banyak hidrokarbon bercabang. Selain itu, katalis mempercepat reaksi awal dan meningkatkan kualitas dan kuantitas produk

akhir. Katalis juga mempengaruhi selektivitas produk akhir sesuai dengan yang diinginkan (Syamsiro, 2015). Penggunaan katalis dalam proses pirolisis terbukti meningkatkan hasil dan kualitas produk dibandingkan tanpa katalis. Katalis yang digunakan dapat berupa genteng tanah liat, zeolit alam dan *Residue Catalytic Cracking* (RCC). Hasil pirolisis dengan katalis menunjukkan peningkatan *yield*, kecepatan reaksi, dan kualitas produk (Embun sari Ayu & Yulcherlina, 2020). Selain itu, penggunaan katalis juga menghasilkan residu yang lebih sedikit dibandingkan tanpa katalis (Ermawati, Jati, Rumondang, Oktarina, & Naimah, 2016). Metode ini berpotensi sebagai solusi untuk mengurangi limbah plastik dan menghasilkan sumber energi alternatif.

Katalis nanopartikel magnetit merupakan solusi yang lebih ekonomis dan efisien dalam pirolisis sampah plastik (Mukundan, Xuan, Dann, & Wagner, 2023). Katalis nanopartikel dapat digunakan untuk pengolahan air tanah, air permukaan sebagai penghilang unsur-unsur beracun dan lebih banyak digunakan untuk mendegradasi produk akhir dekomposisi *non-biodegradable* (Din dkk., 2019). Selain itu, Magnetit (Fe_3O_4) memiliki sifat feromagnetik, yang berarti bahwa Fe_3O_4 menunjukkan magnetisasi spontan bahkan tanpa adanya medan magnet eksternal sehingga mudah dipisahkan dari campuran reaksi menggunakan medan magnet eksternal dalam proses pirolisis (Azmiyawati dkk., 2018). Katalis nanopartikel magnetit dapat di sintesis melalui beberapa metode yaitu karbonisasi hidrotermal, reaksi dalam mikroemulsi, pirolisis-impregnasi, deposisi reduktif, *cross-linking*, penggilingan mekanis, litografi berkas elektron, deposisi fasa gas, metode ledakan listrik, kopresipitasi, dan sol-

gel. (Mojiri, Kazeroon and Gholami, 2019; Rahmayanti, 2024). Diantara metode-metode tersebut, metode kopresipitasi merupakan metode yang paling umum digunakan karena memiliki keuntungan seperti mudah dilakukan pada larutan berair, modifikasi permukaan sangat sederhana dan menguntungkan secara ekonomi (LaGrow dkk., 2019; Rahmayanti, 2024; Rahmayanti, Syakina, Fatimah, & Sulistyaningsih, 2022).

Sintesis nanomagnetik yang hemat biaya, ramah lingkungan, dapat dilakukan dalam skala besar, memiliki efisiensi produksi yang lebih baik, menghasilkan partikel dengan ukuran lebih kecil dan homogen, serta tidak memerlukan surfaktan atau bahan kimia sintesis sebagai agen penstabil dan reduktor yaitu menggunakan ekstrak dari limbah tanaman (Rahmayanti, 2024). Limbah tanaman mengandung senyawa seperti flavonoid, alkaloid, polifenol, dan saponin yang dapat berperan sebagai agen penstabil dalam proses sintesis nanomaterial (Marfu'ah dkk., 2020; Prasetiowati, Prasetya, & Wardani, 2018).

Salah satu limbah tanaman yang dapat di sintesis nanopartikel magnetik yaitu serasah daun glodokan (*Polyalthia longifolia*). *Polyalthia longifolia* adalah salah satu jenis tanaman dari famili *Annonaceae* yang sering ditemukan di sekitar pekarangan kampus, jalan, dan hutan. Daun glodokan tiang memiliki bentuk panjang, berwarna hijau tua, sempit, dan mengkilap. Pisau daunnya berbentuk bulat telur-lonjong dengan tepi yang bergelombang (Jothy dkk., 2013). Selain itu, daun Glodokan tiang (*Polyalthia longifolia*) memiliki kandungan senyawa metabolit sekunder antara lain senyawa flavonoid, tanin, saponin, alkaloid dan fenol (Kurniawati, Putri, Dwi, Faizah, & Rokhim, 2021).

Pada dasarnya senyawa-senyawa ini dapat mereduksi ion perak menjadi atom perak dan membentuk nanopartikel perak (Asworo, Hanandayu Widwastuti, & Widayanti, 2023).

Pemanfaatan terkait *Polyalthia longifolia* sudah banyak dilakukan terutama pada uji anti-bakteri. Namun, penelitian yang lebih spesifik mengenai limbahnya, terutama serasah daun yang tersebar di bawah pohon *Polyalthia longifolia* untuk sintesis nanopartikel masih belum dilaporkan. Salah satu aplikasi potensial dari penelitian ini adalah sebagai katalis pada proses pirolisis katalitik plastik LDPE menjadi bahan bakar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh katalis nanopartikel magnetit (Fe_3O_4) termodifikasi serasah daun Glodokan (*Polyalthia Longifolia*) pada proses pirolisis terhadap kualitas produk minyak yang dihasilkan.

B. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Limbah Plastik LDPE yang digunakan berupa kantong plastik dan berasal dari limbah rumah tangga di sekitar Sleman, Yogyakarta
2. Limbah serasah daun Glodokan berasal dari sepanjang pinggiran jalan kota Yogyakarta
3. Sintesis nanopartikel magnetit (Fe_3O_4) termodifikasi serasah daun Glodokan menggunakan metode kopresipitasi
4. Pelarut yang digunakan saat ekstrak serasah daun glodokan (*Polyalthia Longifolia*) menggunakan pelarut berbasis air.

5. Karakterisasi gugus fungsi katalis Fe_3O_4 termodifikasi serasah daun Glodokan menggunakan instrumen spektrofotometer *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) dan *X-Ray Diffractometry* (XRD).
6. Variasi proses pirolisis plastik LDPE dilakukan tanpa katalis dan menggunakan katalis sebanyak 0,5 g; 1 g; 1,5 g; 2 g dan 2,5 g
7. Analisis komposisi produk cair yang dihasilkan dari pirolisis menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS)
8. Uji kualitas minyak melalui pengukuran viskositas, densitas, titik nyala, nilai kalor dan kadar air.

C. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik gugus fungsi dan struktur kristal katalis Fe_3O_4 termodifikasi serasah daun Glodokan berdasarkan spektrofotometer FTIR dan XRD ?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan katalis Fe_3O_4 termodifikasi serasah daun Glodokan pada proses pirolisis terhadap kuantitas dan kualitas produk minyak yang dihasilkan?
3. Bagaimana komposisi kimia minyak hasil pirolisis berdasarkan analisis menggunakan GC-MS?

D. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sintesis Fe_3O_4 serta identifikasi gugus fungsi dan struktur kristal nanopartikel magnetit (Fe_3O_4) termodifikasi ekstrak serasah daun glodokan

(*Polyalthia Longifolia*) berdasarkan instrumen spektrofotometer FTIR dan XRD.

2. Aplikasi katalis Fe_3O_4 termodifikasi ekstrak serasah daun glodokan untuk reaksi pirolisis plastik LDPE terhadap pengaruh produk minyak yang dihasilkan melalui pengukuran viskositas, densitas, titik nyala, nilai kalor dan kadar air.
3. Mengidentifikasi dan menganalisis komponen kimia yang terdapat dalam minyak hasil pirolisis dengan menggunakan Instrumen *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS).

E. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan wawasan terkait pemanfaatan limbah melalui pirolisis dan membantu mengurangi penumpukan sampah plastik serta memberikan alternatif energi yang lebih berkelanjutan.
2. Memberikan pemahaman lebih lanjut bagaimana pengaruh katalis pada proses pirolisis plastik LDPE terhadap produk akhir yang bermanfaat.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Analisis FTIR menunjukkan ekstrak serasah daun glodokan (*Polyalthia longifolia*) mengandung gugus fungsi seperti C–H, C–O, C=C, C≡C, dan –OH dan gugus Fe–O pada $428,15\text{ cm}^{-1}$ dan $553,10\text{ cm}^{-1}$ mengkonfirmasi pembentukan nanopartikel Fe_3O_4 . Analisis XRD mengidentifikasi struktur kristal Fe_3O_4 termodifikasi ekstrak serasah daun glodokan dengan 6 puncak khas pada sudut 2θ ($30,06^\circ$; $35,57^\circ$; $43,14^\circ$; $53,82^\circ$; $56,48^\circ$; $62,42^\circ$), sesuai JCPDS No. 19-0629, dengan ukuran kristal rata-rata 3,74 nm, termasuk kategori nanopartikel.
2. Penggunaan katalis Fe_3O_4 termodifikasi ekstrak serasah daun glodokan dengan variasi berat (0,5–2,5 gram) meningkatkan rendemen minyak hingga 73% (2,5 gram katalis) dibandingkan 54% (tanpa katalis), mengurangi residu dari 10,3% menjadi 4%, dan menghasilkan densitas ($0,85706\text{ g/mL}$), viskositas (2,98 cSt), dan nilai kalor ($45,79\text{ MJ/kg}$) yang mendekati standar solar ASTM D-975, meskipun titik nyala (46°C) lebih rendah dari standar (52°C) dan kadar air (4,97%) melebihi batas (0,05%).
3. Analisis GC-MS menunjukkan minyak pirolisis didominasi senyawa fenolik seperti fenol (41,25%), fenol 2-methyl (15,62%), fenol 4-methyl (36,47%), dan senyawa beroksigen seperti oxirane tetradecyl (1,81%) dan

1,2-benzenedicarboxylic acid mono(2-ethylhexyl) ester (1,84%).

Keberadaan senyawa fenolik dan beroksigen disebabkan oleh oksidasi selama penyimpanan dan pengaruh katalis, menunjukkan perlunya pemurnian untuk meningkatkan kandungan hidrokarbon rantai panjang yang menyerupai solar.

B. Saran

Untuk meningkatkan kualitas dan optimalisasi pemanfaatan minyak pirolisis sebagai bahan bakar alternatif, beberapa saran dapat dipertimbangkan untuk penelitian lebih lanjut:

1. Melakukan pemurnian lanjutan, seperti distilasi fraksionasi, untuk mengurangi kadar air dan senyawa beroksigen seperti fenol guna memenuhi standar solar ASTM D-975.
2. Mengoptimalkan kondisi penyimpanan minyak pirolisis untuk mencegah oksidasi yang dapat mengubah komposisi kimia dan menurunkan kualitas bahan bakar.
3. Melakukan regerasi residu pirolisis yang mengandung Fe_3O_4 dengan pemisahan magnetik, diikuti pencucian termal untuk menghilangkan kontaminan sehingga dapat digunakan kembali.
4. Mengeksplorasi variasi parameter sintesis katalis Fe_3O_4 termodifikasi ekstrak serasah daun glodokan dan kondisi pirolisis, seperti suhu dan rasio katalis, untuk meningkatkan efisiensi proses dan kualitas produk minyak pirolisis.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, R. F., Hassan, M. J. M., & Rheima, A. M. (2023). Magnetic solid-phase extraction of Fast Green dye based on magnetic nanoparticles (GO/Co₃O₄/Fe₃O₄) prepared by photo-irradiation method. *Green Analytical Chemistry*, 7(November), 100086. <https://doi.org/10.1016/j.greeac.2023.100086>
- Abdullah, Irawati, U., Qomariah, N., & Ain, N. (2020). *Buku Ajar Teknologi Tepat Guna Mengolah Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak*.
- Adoe, D. G. H., Gusnawati, & Ernanto, N. (2020). Analisis Pengaruh Temperatur pada Metode Pirolisis dari Sampah Plastik PP (Polypropylene) terhadap Kapasitas dan Kuantitas Minyak Pirolisis. *Jurnal Penelitian Enjiniring (JPE)*, 24(2), 175–182. <https://doi.org/10.25042/jpe.112020.10>
- Aladin, A., Modding, B., Syarif, T., Witani, L., & Azis, hijrah amaliyah. (2023). *Pirolisis Simultan*. Yogyakarta: Nas Media Pustaka.
- Anggraini, I. F. (2018). E Estimasi Ketidakpastian Dari Pengukuran Nilai Viskositas Kinematik (V_k) Pelumas Berdasarkan Standar Astm D 445 Pada Temperatur 40 °C Dan 100 °C Di Laboratorium Pelumas Pusat Penelitian Dan Pengembangan Minyak Dan Gas Bumi (Ppptmgb) Lemigas. *Jurnal Teknik Patra Akademika*, 9(01), 65–82. <https://doi.org/10.52506/jtpa.v9i01.70>
- Arahim, A. A., Widayat, W., & Hadiyanto, H. (2020). Pengaruh Katalis Genteng Tanah Liat dalam Proses Produksi Bahan Bakar Cair dari Limbah Ban Bekas dengan Proses Pirolisis. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 1(2), 62–67. <https://doi.org/10.14710/jebt.2020.9909>
- Astuti, & Hasanah, A. P. I. (2012). Pengaruh Waktu Pemanasan Terhadap Sintesis Nanopartikel Fe₃O₄. *Jurnal Ilmu Fisika | Universitas Andalas*, 4(1), 20–25. <https://doi.org/10.25077/jif.4.1.20-25.2012>
- Asworo, R. Y., Hanandayu Widwastuti, W., & Widayanti, E. (2023). Sintesis Nanopartikel Perak menggunakan Ekstrak Kulit Sirsak sebagai Bioreduktor. *Indonesian Journal of Pharmaceutical (e-Journal)*, 3(3), 2775–3670. <https://doi.org/10.37311/ijpe.v3i3.22310>
- Atolani, O., Areh, E. T., Oguntoye, O. S., Zubair, M. F., Fabiyi, O. A., Oyegoke, R. A., ... Olatunji, G. A. (2019). Chemical composition, antioxidant, anti-lipoxygenase, antimicrobial, anti-parasite and cytotoxic activities of *Polyalthia longifolia* seed oil. *Medicinal Chemistry Research*, 28(4), 515–527. <https://doi.org/10.1007/s00044-019-02301-z>
- Awoyera, P. O., & Adesina, A. (2020). Plastic wastes to construction products: Status, limitations and future perspective. *Case Studies in Construction Materials*, 12, e00330. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00330>
- Azmiyawati, C., Sawitri, E., & Siahaan, P. (2018). Silica Magnetite Adsorbent: Effect of Drying Temperature of Silica Sol Gel on Magnetite Core Structure.

- Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 21(3), 149–154.
<https://doi.org/10.14710/jksa.21.3.149-154>
- Balasundram, V., Ibrahim, N., Kasmani, R. M., Hamid, M. K. A., Isha, R., Hasbullah, H., & Ali, R. rasit. (2017). Thermogravimetric Catalytic Pyrolysis and Kinetic Studies of Coconut Copra and Rice Husk for Possible Maximum Production of Pyrolysis Oil. *Journal of Cleaner Production*, 167, 218–228.
<https://doi.org/DOI:10.1016/j.jclepro.2017.08.173>
- Bouafia, A., Laouini, S. E., Tedjani, M. L., Ali, G. A. M., & Barhoum, A. (2022). Green biosynthesis and physicochemical characterization of Fe₃O₄ nanoparticles using Punica granatum L. fruit peel extract for optoelectronic applications. *Textile Research Journal*, 92(15–16), 2685–2696.
<https://doi.org/10.1177/00405175211006671>
- Burbano, A. A., Medina, G. A. M., Sánchez, F. H., Lassalle, V. L., Horst, M. F., Gascó, G., & Méndez, A. (2022). Influence of post-pyrolysis treatment on physicochemical properties and acid medium stability of magnetic carbon nanocomposites. *Biomass Conversion and Biorefinery*, (0123456789).
<https://doi.org/10.1007/s13399-022-03517-7>
- Cai, N., Li, X., Xia, S., Sun, L., Zhang, X., Bartocci, P., ... Yang, H. (2021). Pyrolysis-catalysis of different waste plastics over Fe/Al₂O₃ catalyst: High-value hydrogen, liquid fuels, carbon nanotubes and possible reaction mechanisms. *Energy Conversion and Management*, 229(113794), 1–23.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113794>
- Chan, K., & Zinchenko, A. (2024). Functional upcycling of waste PET plastic to the hybrid magnetic microparticles adsorbent for cesium removal. *Chemosphere*, 354(December 2023), 141725.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141725>
- Chen, W.-H., & Lin, B.-J. (2016). Characteristics of products from the pyrolysis of oil palm fiber and its pellets in nitrogen and carbon dioxide atmospheres. *Energy*, 94(2), 569–578.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.11.027>
- Desai, G. N., Patil, J. H., & Khandelwal, P. (2024). Transforming Waste Plastics Through Pyrolysis : A Sustainable Solution for Polymer Resource Recovery. *Polymer science & Engineering*, 10(2), 12–19.
- Desnia, E., Rosie, E., Hartono, S. B., Simanullang, W. F., Anggorowati, A. A., & Lourentius, S. (2024). Optimization of pyrolysis of polypropylene and polyethylene based plastic waste become an alternative oil fuel using bentonite catalyst. *E3S Web of Conferences*, 475.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202447505006>
- Devleena Mani, MS Kalpana, DJ Patil, A. D. (2017). Organic matter in gas shales: origin, evolution, and characterization. In *Shale Gas* (hal. 25–54). Elsevier.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809573-7.00003-2>
- Diantoro, M., Nasikhudin, & Khofifah, S. A. (2023). Photosupercapacitor · DSSC · TiO₂ · Rutile phase · Annealing temperature. *Prosiding Seminar Nasional*

- Fisika*, 2(1), 386–396. Diambil dari <http://proceedings.upi.edu/index.php/sinafi>
- Din, M. I., Raza, M., Hussain, Z., & Mehmood, H. A. (2018). Fabrication of magnetite nanoparticles (Fe_3O_4 -NPs) for catalytic pyrolysis of nutshells biomass. *Soft Materials*, 17(1), 24–31. <https://doi.org/10.1080/1539445X.2018.1542315>
- Embun sari Ayu, E. S. A., & Yulcherlina. (2020). Analisa Biaya Perkerasan Aspal Dengan Substitusi Plastik. *Jurnal Rekayasa*, 10(1), 137–151. <https://doi.org/10.37037/jrftsp.v10i1.49>
- Endang, S., Heriyanto, H., Anam, M. K., Aulia, A., Rizki Putri, A., & Wardalia. (2024). The Effect of HCl Concentration on The Activation of Bentonite as A Catalyst in The Pyrolysis Process of Polypropylene (PP) Plastic Waste at The Integrated Waste Management Facility of Asari Cilegon. *WORLD CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL*, 8(1), 19–25.
- Ermawati, R., Jati, B. N., Rumondang, I., Oktarina, E., & Naimah, S. (2016). Pengaruh Residue Catalytic Cracking (RCC) dan Zeolit terhadap Kualitas Crude Oil Hasil Pirolisis Limbah Plastik Polietilena. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 38(1), 47. <https://doi.org/10.24817/jkk.v38i1.1978>
- Faham Partogi Siregar, R., Misran, E., & Tri Cahyadi, I. (2019). Proses Ekstraksi Asam Asetat dari Distilat Asap Cair Tempurung Kelapa Menggunakan Pelarut Etil Asetat. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 8(2), 90–98. <https://doi.org/10.32734/jtk.v8i2.1964>
- Firdaus, F., Rizqi, A., Tabrani, H., Saefullah, A., & Antarnusa, G. (2024). Analisis gugus fungsi nanopartikel magnetite Fe_3O_4 yang disintesis hijau menggunakan ekstrak moringa oleifera, 7(November), 19–24. <https://doi.org/10.20884/1.jtf.2024.7.2.12690>
- Firman Laili Sahwan, Martono, D. H., Wahyono, S., & Wisoyodharmo, L. A. (2005). Sistem Pengelolaan Limbah Plastik Di Indonesia [Plastic Waste Management System in Indonesia]. *Jurnal Teknologi Lingkungan BPPT*, 6(1), 311–318.
- Ghatge, S., Yang, Y., Ahn, J. H., & Hur, H. G. (2020). Biodegradation of polyethylene: a brief review. *Applied Biological Chemistry*, 63(1). <https://doi.org/10.1186/s13765-020-00511-3>
- Ghoohestani, E., Samari, F., Homaei, A., & Yosuefinejad, S. (2024). A facile strategy for preparation of Fe_3O_4 magnetic nanoparticles using Cordia myxa leaf extract and investigating its adsorption activity in dye removal. *Scientific Reports*, 14(1), 1–15. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-50550-1>
- Gilbert, A. S., Goldberg, P., Mandel, R. D., & Aldeias, V. (2023). *Encyclopedia of Geoarchaeology*. USA: Springer Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-44600-0_119-1
- Golthi, V., & Kommu, J. (2023). An eco-friendly and sustainable method for producing Fe_3O_4 nanoparticles using Jatropha podagrica leaf extract for

- efficient dye degradation and antibacterial uses. *Hybrid Advances*, 4(August), 100110. <https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2023.100110>
- Hasegawa, T. (2017). *Quantitative infrared spectroscopy for understanding of a condensed matter. Quantitative Infrared Spectroscopy for Understanding of a Condensed Matter*. <https://doi.org/10.1007/978-4-431-56493-5>
- Hinchman, M. (2022). *Nano Material. The Fairchild Books Dictionary of Interior Design*. <https://doi.org/10.5040/9781501365171.2613>
- Irundu, D., Beddu, M. alam, & Najmawati. (2020). Potensi Biomassa dan karnon tersimpan tegakan di ruang terbuka hijau kota Polewali, Sulawesi Barat. *Jurnal hutan dan Masyarakat*, 12(1), 49–57. <https://doi.org/10.24259/jhm.v12i1.9675>
- Iswadi, D., Nurisa, F., & Liastuti, E. (2017). Pemanfaatan sampah plastik LDPE dan PET menjadi bahan bakar minyak dengan proses pirolisis. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia UNPAM*, 1(2), 1–9.
- Iswadi, Didik, Nurisa, F., Liastuti, E., Kimia, J. T., Teknik, F., Pamulang, U., ... Selatan, T. (2017). Utilization of LDPE and PET Plastic Waste into Oil Fuel By Pyrolysis Process. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia UNPAM*, 1(2), 1–9. Diambil dari <http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=1050534&val=15737&title=PEMANFAATAN SAMPAH PLASTIK LDPE DAN PET MENJADI BAHAN BAKAR MINYAK DENGAN PROSES PIROLISIS>
- Jothy, L. ., Choong, Y. S., Saravanan, D., Deivanai, Latha, S., Yoga, L., ... PolyalthiaSasidharan. (2013). Longifolia Sonn: an Ancient Remedy to Explore for Novel Therapeutic Agents. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 4(1), 714–730.
- Karnowo, Maulana, D. H. A.-J., Maulana, S., Indriawan, A. D. N., & Setiadi, R. (2021). *Bahan bakar dan pelumas*. Yogyakarta: CV Mahata (Magna Raharja Tama).
- Khopkar, S. . (1985). *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: UI-Press.
- Kurniawan, E., & Nasrun. (2017). Karakterisasi Bahan Bakar dari Sampah Plastik Jenis High Density Polyethelene (HDPE) Dan Low Density Polyethelene (LDPE). *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 3(2), 41–52.
- Kurniawati, Putri, Dwi, Faizah, H., & Rokhim, S. (2021). Skrining Fitokimia Ekstrak Etanol Daun Glodokan Tiang (*Polyalthia longifolia*). *Journal of Biology Science and Biodiversity Journal homepage*, 1(3), 216–223. Diambil dari <http://jurnalsaintek.uinsby.ac.id/mhs/index.php/biometric/index>
- LaGrow, A. P., Besenhard, M. O., Hodzic, A., Sergides, A. K., Bogart, L., Gavriilidis, D., & Thanh, N. K. (2019). Unravelling the growth mechanism of the coprecipitation of iron oxide nanoparticles with the aid of synchrotron X-Ray diffraction in solution. *Nanoscale*, 11.
- Legasari, L., Riandi, R., Febriani, W., & Pratama, R. A. (2023). Analisis Kadar Air Dan Asam Lemak Bebas Pada Produk Minyak Goreng Dengan Metode

- Gravimetri Dan Volumetri. *Jurnal Redoks : Jurnal Pendidikan Kimia Dan Ilmu Kimia*, 6(2), 51–58. <https://doi.org/10.33627/re.v6i2.1228>
- Lestari, K. R. (2021). *Sintesis, Klasifikasi, dan Sifat Bahan Nano*. Jakarta: LP UNAS.
- Liestiono, R. P., Cahyono, M. S., Widyawidura, W., Prasetya, A., & Syamsiro, M. (2017). Karakteristik Minyak dan Gas Hasil Proses Dekomposisi Termal Plastik Jenis Low Density Polyethylene (LDPE). *Jurnal Offshore: Oil, Production Facilities and Renewable Energy*, 1(2), 1. <https://doi.org/10.30588/jo.v1i2.288>
- Mafruddin, M., Handono, S. D., Mustofa, M., Mujiyanto, E., & Saputra, R. (2022). Kinerja bom kalorimeter sebagai alat ukur nilai kalor bahan bakar. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 11(1), 125–134. <https://doi.org/10.24127/trb.v11i1.2048>
- Malega, F., Indrayana, I. P. T., & Suharyadi, E. (2018). Synthesis and Characterization of the Microstructure and Functional Group Bond of Fe₃O₄ Nanoparticles from Natural Iron Sand in Tobelo North Halmahera. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 7(2), 129–138. <https://doi.org/10.24042/jipfalbiruni.v7i2.2913>
- Marfu'ah, S., Rohma, S. M., Fanani, F., Hidayati, E. N., Nitasari, D. W., Primadi, T. R., ... Fajaroh, F. (2020). Green Synthesis of ZnO Nanoparticles by Using Banana Peel Extract as Capping agent and Its Bacterial Activity. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 833(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/833/1/012076>
- Maulina, S. (2017). Pengaruh Suhu , Waktu , Dan Kadar Air Bahan Baku Terhadap Pirolisis Serbuk Pelepah Kelapa Sawit Effect of Temperature , Time , and Water Content of Raw Material on the Pyrolysis of Palm Midrib Powder. *Jurnal Teknik Kimia*, 6(2), 35–40.
- Mayora, E. M., Arifin, A., & Nugraheni, P. W. (2023). Pirolisis Limbah Plastik Jenis Low Density Polyethylene (LDPE) dan Polypropylene (PP) Menggunakan Katalis Zeolit Alam. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 11(3), 773. <https://doi.org/10.26418/jtlb.v11i3.69221>
- Meiliana, M., Syahputra, R., & Fauzan, F. (2022). Pengaruh Suhu Terhadap Viskositas Minyak Pelumas Shell Mysella S3N40 Pada Mesin Gas Type W18V50Sg Di Pltmg Sumbagut -2 Peaker. *Jurnal TEKTR0*, 6(1), 92–97.
- Mojiri, A., Kazeroon, R. A., & Gholami, A. (2019). Cross-Linked Magnetic Chitosan/Activated Biochar for Removal of Emerging Micropollutants from Water : Optimization by the Artificial Neural Network. *Water*, 11(9), 551.
- Mujamilah, Sulungbudi, G. T., Sukirman, E., & Sarwanto, Y. (2012). Struktur Dan Sifat Magnetik Nanopartikel Magnetik (Fe-R) (R = Fe, Tb, Dy, Co) dari Hasil Proses Milling Energi Tinggi. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 13(3), 159–167.
- Mukundan, S., Xuan, J., Dann, S. E., & Wagner, J. L. (2023). Highly active and magnetically recoverable heterogeneous catalyst for hydrothermal

- liquefaction of biomass into high quality bio-oil. *Bioresource Technology*, 369, 128479. Diambil dari <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128479>
- Muttaqin, R., Prayitno, W. S. W., & Nurbaiti, U. (2023). Pengembangan Buku Panduan Teknik Karakterisasi Material: X-ray Diffractometer (XRD) Panalytical Xpert3 Powder. *Indonesian Journal of Laboratory*, 6(1), 9–16. <https://doi.org/10.22146/ijl.v1i1.78970>
- Nandiyanto, A. B. D., Hadirahmanto, A. T., Ahid, A., Cinthya, F., Jafarian, M. B., Murida, R., ... Liswanti, W. (2017). *Pengantar Sains dan Teknologi Nano*. Bandung: UPI Press.
- Nengsih, S. (2019). Karakteristik Nanopartikel Magnetite Besi Oksida Lampanah Aceh Besar Melalui Metode Kopresipitasi. *Elkawnie*, 5(1), 76. <https://doi.org/10.22373/ekw.v5i1.4517>
- Nengsih, S. (2021). Sintesis Pasir Besi Menjadi Nanopartikel Magnetit Melalui Penerapan Metode Kopresipitasi. *Jurnal Amina*, 3(3), 112–122.
- Nguyen, M. D., Tran, H.-V., Xu, S., & Lee, T. R. (2021). Fe₃O₄ Nanoparticles : Structures , Synthesis , Magnetic Properties , Surface Functionalization , and Emerging Applications. *Appl. Sci.*, 11, 11301.
- Novarini, Kurniawan, S., Rusdianasari, & Bow, Y. (2021). Kajian Karakteristik dan Energi pada Pirolisis Limbah Plastik Low Density Polyethylene (LDPE). *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, 5(1), 61–70. <https://doi.org/10.33795/jtkl.v5i1.190>
- Novarini, Rusdianasari, Bow, Y., & Kurniawan, S. (2021). Study of Temperature and Use of Catalysts in the Pyrolysis of LDPE Plastic Waste on the Quantity of Oil Fuel Products Produced. *Proceedings of the 4th Forum in Research, Science, and Technology (FIRST-T1-T2-2020)*, 7, 24–28. <https://doi.org/10.2991/ahe.k.210205.005>
- Novia, T. (2021). Pengolahan Limbah Sampah Plastik Polythylene Terephthlate (PET) Menjadi Bahan Bakar Minyak dengan Proses Pirolisis. *GRAVITASI: Jurnal Pendidikan Fisika dan Sains*, 4(01), 33–41. <https://doi.org/10.33059/gravitasi.jpfs.v4i01.3481>
- Pasieczna Patkowska, S., Cichy, M., & Flieger, J. (2025). Application of Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy in Characterization of Green Synthesized Nanoparticles. *Molecules*, 30(3), 1–36. <https://doi.org/10.3390/molecules30030684>
- Prasetiawan, H., Nafasyeila, T. D., & Fardhayanti, D. S. (2022). Pengolahan Sampah Plastik Menggunakan Metode Pirolisis Sebagai Upaya Pengurangan Limbah Plastik Pada Lingkungan. *Technopex*, 1–19.
- Prasetiowati, A. L., Prasetya, A. T., & Wardani, S. (2018). Sintesis Nanopartikel Perak dengan Bioreduktor Ekstrak Daun Belimbing Wuluh (Averrhoa Bilimbi L .) sebagai Antibakteri. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(2), 160–166. Diambil dari <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- Prasetyowati, R., Widiawati, D., & Swastika, P. E. (2021). BERBASIS PASIR

BESI PANTAI GLAGAH KULON PROGO DENGAN METODE KOPRESIPITASI PADA BERBAGAI VARIASI KONSENTRASI NH₄OH. *Jurnal Sains Dasar*, 10(2), 57–61.

- Pratama, A. S. C., & Sa'diyah, K. (2023). Pengaruh Jenis Biomassa Terhadap Karakteristik Asap Cair Melalui Metode Pirolisis. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 8(1), 36–44. <https://doi.org/10.33795/distilat.v8i1.260>
- Pratiwi, D. (2015). Pengaruh Penggunaan Katalis Zeolit Alam Dalam Pirolisis Limbah Plastik Jenis HDPE menjadi Bahan Bakar Cair Setara Bensin. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta*, (November), 1–5.
- Rahma Nuryanti, Ineke Febrina Anggraini, Dian Kurnia Sari, & Sonya. (2023). Uji Kualitas Bahan Bakar Biodiesel Dari Minyak Jelantah (Penggorengan Pecel Lele) Dengan Parameter Uji Spesific Gravity 60/60 °F Astm D-1298, Distilasi Astm D-86, Viskositas Kinematik Astm D-445, Flash Point Pm Astm D-93, Pour Point Astm D-97 Dan Cetane. *Jurnal Cakrawala Ilmiah*, 3(1), 229–236. <https://doi.org/10.53625/jcijurnalcakrawalailmiah.v3i1.6538>
- Rahmayanti, M. (2024). *KEMAJUAN TERKINI DAN PERSPEKTIF MASA DEPAN MATERIAL NANOMAGNETIK BERBASIS LIMBAH UNTUK REMEDIASI ZAT WARNA*. *Pidato Pengukuhan Guru Besar Bidang Ilmu Kimia Lingkungan*. digilib.uin-suka.ac.id.
- Rahmayanti, M., Putra, M. D., Karmanto, & Sedyadi, E. (2023). Potential organic magnetic nanoparticles from peel extract of Archidendron pauciflorum for the effective removal of cationic and anionic dyes. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 40(11), 2759–2770. <https://doi.org/10.1007/s11814-023-1499-7>
- Rahmayanti, M., Syakina, N. A., Fatimah, I., & Sulistyaningsih, T. (2022). Green synthesis of magnetite nanoparticles using peel extract of jengkol (Archidendron pauciflorum) for methylene blue adsorption from aqueous media. *Chemical Physics Letters*, 803(July), 139834. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2022.139834>
- Rahmayanti, M., Yahdiyani, A., & Afifah, I. Q. (2022). Eco-friendly synthesis of magnetite based on tea dregs (Fe₃O₄-TD) for methylene blue adsorbent from simulation waste. *Communications in Science and Technology*, 7(2), 119–126. <https://doi.org/10.21924/cst.7.2.2022.965>
- Restanti, R. B. A., & Mirwan, M. (2023). Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak Alternatif dengan Metode Pirolisis. *Jurnal Serambi Engineering*, 8(4), 7224–7231. <https://doi.org/10.32672/jse.v8i4.6789>
- Riswan, Sunoko, H. R., & Hadiyanto, A. (2011). Kesadaran Lingkungan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 9(1), 31–39. Diambil dari <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/ilmulingkungan/article/view/2085>
- Rusydi, S. M. (2019). Sulhatun Mah m ud Rusydi Editor: Prof. DR. IR. Rosdanelli Hasibuan, M:I, 1–93.
- Sabitah, A., Ardiyat, I. N., Misbachudin, Wusko, I. U., & Ningsih, R. P. (2024).

ANALISIS PROSES PIROLISIS LIMBAH PLASTIK HDPE DAN PET: PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU REAKSI DALAM UPAYA DAUR ULANG PLASTIK. *SJME Kinematika*, 9(1), 98–106. <https://doi.org/10.20527/sjmekinematika.v9i1.318>

- Sania, S., & Rubianto, L. (2020). Studi Literatur Pengaruh Suhu Pemanasan Dan Jenis Katalis Terhadap Produksi Minyak Pirolisis Sampah Plastik. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 6(2), 171–175. <https://doi.org/10.33795/distilat.v6i2.72>
- Saragi, T. (2018). Optical and crystalline characteristics of magnetite nanoparticles. *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika*, 2(1), 53–56.
- Saragi, T., Permana, B., Saputri, M., Safriani, L., Rahayu, I., & Risdiana, R. (2017). Sintesis Nanopartikel Magnetik Dengan Metode Kopresipitasi. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, 7(02), 17–20. <https://doi.org/10.24198/jmei.v7i02.15393>
- Sarwendah, M., Feriadi, F., Wahyuni, T., & Arisanti, T. N. (2019). PEMANFAATAN LIMBAH KOMODITAS PERKEBUNAN UNTUK PEMBUATAN ASAP CAIR / Utilization of Plantation Commodities Waste for Liquid Smoke. *Jurnal Penelitian Tanaman Industri*, 25(1), 22. <https://doi.org/10.21082/litri.v25n1.2019.22-30>
- Setiabudi, A., Hardian, R., & Muzakir, A. (2012). *Karakterisasi Material: Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia*. UPI Press (Vol. 1).
- Silverstein, R. M., Webster, F. X., & Kiemle, D. J. (2005). Spectrometric Identification Of Organik Compouns. New York: John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.1.c51>
- SIPN. (2024). Data Komposisi sampah. Diambil dari <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/data/komposisi>
- Siti Zulaicha, A., Syahjoko Saputra, I., Puspita Sari, I., & Annas, D. (2020). Sintesis dan Kararkterisasi Modifikasi Mikropartikel Magnetit (Fe₃O₄) Dalam Pemanfaatan Karat dengan Ekstrak Daun Ilalang (*Imperata Cylindrica* L). *Jurnal Jejaring Matematika dan Sains*, 2(2), 51–55. <https://doi.org/10.36873/jjms.2020.v2.i2.405>
- Situmorang Br, D., Lubis, R. Y., & Husnah, M. (2025). Karakterisasi Dan Aktivitas Fotokatalitik Green Synthesized Nanokomposit Fe₃O₄/TiO₂ Menggunakan Ekstrak Daun Kelor Untuk Degradasi Methylene Blue. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 8(1), 66–73.
- Skoog, A. D., West, D. M., & Holler, F. J. (1991). *Fundamental of Analytical Chemistry* (7 ed.). New York: Saunders College Publishing.
- Srinivasa, R. M., Rao, C. S., & Kumari, A. S. (2022). Synthesis, stability, and emission analysis of magnetite nanoparticle-based biofuels. *Journal of Engineering and Applied Science*, 69(1), 1–38. <https://doi.org/10.1186/s44147-022-00127-y>
- Standar Nasional Indonesia, R. (2023). Nanotechnologies — Vocabulary — Part 1:

Core vocabulary. *RSNI3 ISO 80004-1*, 2023.

- Sukarya, D. G. (2018). *Panduan Praktis Mengenal Tumbuhan di Sekitar Kita*. Jakarta: PT SUKARYA & SUKARYA PANDETAMA.
- Sumartono. (2023). Karakteristik Bahan Bakar Minyak Dari Limbah Plastik High Density Polyethylene B 25 Peralite. *SINERGI POLMED: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 4(2), 1–7. <https://doi.org/10.51510/sinergipolmed.v4i2.1054>
- Syakina, A. N., & Rahmayanti, M. (2023). Removal of methyl violet from aqueous solutions by green synthesized magnetite nanoparticles with Parkia Speciosa Hassk. peel extracts. *Chemical Data Collections*, 44(December 2022), 101003. <https://doi.org/10.1016/j.cdc.2023.101003>
- Syamsiro, M. (2015). Study of the effect of use of catalyst on the quality of oil products from plastic pyrolysis. *Jurnal Teknik*, 5(1), 47–56.
- Tapan K, S., & Rogach, A. L. (2012). *Complex-Shaped Metal Nanoparticles: Bottom-Up Syntheses and Applications*. German: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9783527652570.ch11>
- Usman, N. W., & Kalla, R. (2025). Pengaruh variasi waktu dan suhu pirolisis terhadap kualitas bio-oil dari limbah biomassa plant filter aid (Lignoselulosa D07). *UTIN : Jurnal Teknik Industri Terintegrasi Volumeerintegrasi Volume*, 8(1), 1484–1493. <https://doi.org/10.31004/jutin.v8i1.42125>
- Wahyudi, J., Prayitno, H. T., Astuti, A. D., Perencanaan, B., Daerah, P., & Pati, K. (2018). Pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan baku pembuatan bahan bakar alternatif the utilization of plastic waste as raw material for producing alternative fuel, *XIV(1)*, 58–67. Diambil dari <https://media.neliti.com/media/publications/271770-pemanfaatan-limbah-plastik-sebagai-bahan-d2c72e6c.pdf>
- Waluyo, J., Amal, R. R. I., Yudistira, A. A., Mustofa, H., & Maulana, M. L. (2022). Pengaruh Fly Ash sebagai Katalis pada Proses Pirolisis Pelet Sekam Padi terhadap Karakteristik Termal dan Produksi Synthetic Gas (Syngas). *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 18(2), 148. <https://doi.org/10.20961/alchemy.18.2.55193.148-157>
- Wati, R., Wardana, I., Winarto, W., Sukarni, S., & Puspitasari, P. (2018). Pengaruh Penambahan Nanokatalis MnFe₂O₄ Terhadap Proses Pirolisis Sampah Plastik HDPE. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 9(3), 221–225. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2018.009.03.9>
- Yudono, B., Hasanudin, Sarno, Mohadi, R., & Satya, O. C. (2021). Pirolisis Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak Menggunakan Pemanas Induksi di Desa Binaan Pulau Semambu, Inderalaya, Kab. Ogan Ilir. *Jurnal Pengabdian Sriwijaya*, 9(1), 1212–1221.