

**SINTESIS MAGNETIT TERMODIFIKASI EKSTRAK KULIT SINGKONG
(*Manihot esculenta*) DAN APLIKASINYA SEBAGAI KATALIS DALAM
PIROLISIS LIMBAH PLASTIK *LOW-DENSITY POLYETHYLENE* (LDPE)**

Skripsi

**Untuk memenuhi Sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana Kimia**



**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
2024**

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-1411/Un.02/DST/PP.00.9/08/2024

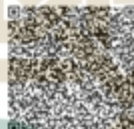
Tugas Akhir dengan judul : SINTESIS MAGNETIT TERMODIFIKASI EKSTRAK KULIT SINGKONG (Manihot esculenta) DAN APLIKASINYA SEBAGAI KATALIS DALAM PIROLISIS LIMBAH PLASTIK LOW-DENSITY POLYETHYLENE (LDPE)

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : MUHAMAD ZAKARIYA
Nomor Induk Mahasiswa : 20106030037
Telah diujikan pada : Kamis, 08 Agustus 2024
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

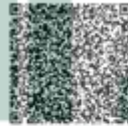
Valid ID: 66b5dca20c35



Penguji I

Gunawan Budi Susilo, M.Eng.
SIGNED

Valid ID: 66b5eb33e138



Penguji II

Endaruji Sedyadi, M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 66b5b1ae78dc



Yogyakarta, 08 Agustus 2024
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

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

Valid ID: 66bed5f047d7

PENGESAHAN 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 : Muhamad Zakariya

NIM : 20106030037

Judul Skripsi : Sintesis Magnetit Termomodifikasi Ekstrak Kulit Singkong (*Manihot esculenta*) dan Aplikasinya Sebagai Katalis dalam Pirolisis Limbah Plastik *Low-Density Polyethylene* (LDPE).

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, 22 Juli 2024

Pembimbing

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

NIP: 19810627 200604 2 003

PERNYATAAN

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Muhamad Zakariya
NIM : 20106030037
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “**Sintesis Magnetit Termodifikasi Ekstrak Kulit Singkong (*Manihot esculenta*) dan Aplikasinya Sebagai Katalis dalam Pirolisis Limbah Plastik *Low-Density Polyethylene* (LDPE)**” 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, 24 Juli 2024



Muhamad Zakariya
NIM. 20106030037

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim,

Alhamdulillahillahirabbil'alamin. Puji syukur Penulis panjatkan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat, hidayah dan karunia-Nya sehingga Penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Shalawat serta salam semoga tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, insan pilihan yang menjadi teladan sempurna bagi umat manusia. Skripsi ini disusun sebagai salah satu prasyarat mencapai drajat sarjana kimia. Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah mendukung, membimbing dan membantu selama penelitian dan penulisan skripsi ini. Ucapan terimakasih khusus Penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Phil. Al Makin, S.Ag., M.A. Selaku rektor UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
2. Ibu Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si. Selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
3. Ibu Dr. Imelda Fajriati, M.Si. Selaku ketua Program Studi Kimia UIN Sunan Kalijaga
4. Ibu Prof. Dr. Maya Rahmayanti, M.Si. selaku Dosen Pembimbing (DP) selama penelitian dan penulisan skripsi yang telah memberikan segenap arahan, tuntunan, dan nasihat kepada penulis baik sebelum, selama, dan sesudah penelitian serta penulisan skripsi berlangsung
5. Ibu, almarhum Bapak, Mas, dan Mbak Penulis selaku *support system* penuh yang telah memberikan dukungan, doa, penyemangat, motivasi, serta pengingat

kepada penulis untuk melakukan dan menyelesaikan semua kegiatan penelitian terkhusus dalam penulisan skripsi ini

6. Semua pihak yang terlibat dan tidak dapat penulis sebutkan satu persatu atas bantuannya baik secara materil maupun non-materil.

Skripsi ini berjudul “Sintesis Magnetit Termodifikasi Ekstrak Kulit Singkong (*Manihot esculenta*) dan Aplikasinya Sebagai Katalis dalam Pirolisis Limbah Plastik *Low-Density Polyethylene* (LDPE)”. Skripsi ini disusun secara sistematis mulai dari pendahuluan, tinjauan pustaka, metodologi, hasil dan pembahasan hingga kesimpulan. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat bagi pengembangan ilmu kimia khususnya dalam metode sintesis hijau dan pirolisis limbah plastik. Penulis memahami bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang sangat membangun sangat Penulis harapkan demi perbaikan dan usulan pengembangan di masa yang akan datang. Akhir kata, Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 22 Juli 2024

Penulis

PERSEMBAHAN

Skripsi ini penulis dedikasikan untuk:

Ibu, Almarhum Bapak, Mas, Mbak, dan Semua Keluarga

Serta Almamater Program Studi Kimia

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
PERSEMBAHAN	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
INTISARI.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Batasan Masalah	4
C. Rumusan Masalah.....	5
D. Tujuan Penelitian.....	5
E. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	7
A. Tinjauan Pustaka.....	7
B. Landasan Teori	11
C. Kerangka Berpikir dan Hipotesis Penelitian	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	32
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	32
B. Alat-alat Penelitian	32
C. Bahan-bahan Penelitian	32
D. Prosedur Kerja Penelitian	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37

A.	Sintesis dan Karakterisasi Katalis $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ME}$	37
1.	Ekstraksi Kulit Singkong	37
2.	Sintesis Katalis $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ME}$	38
3.	Karakterisasi Gugus Fungsi $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ME}$ menggunakan Spektrofotometer FTIR.....	40
4.	Analisis Kristalinitas $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ME}$ Menggunakan Instrumen XRD.....	42
B.	Performa katalis $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ME}$ dalam Pirolisis Limbah Plastik LDPE.....	46
1.	Pirolisis Limbah Plastik LDPE	46
2.	Uji Kualitas Minyak.....	53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		61
A.	Kesimpulan.....	61
B.	Saran	62
DAFTAR PUSTAKA		63
LAMPIRAN.....		71

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik magnetit.....	16
Tabel 4.1 FWHM dan Ukuran Kristal Pada Posisi Puncak 2 Theta	44
Tabel 4.2 Perbandingan Ukuran Kristal dengan Penelitian Terdahulu.....	45
Tabel 4.3 Suhu Tetesan Pertama, Suhu Tertinggi, dan Suhu Tetesan Akhir Minyak Pirolisis Plastik LDPE.....	49
Tabel 4.4 Waktu Tetesan Pertama, Waktu Suhu Tertinggi, Waktu Suhu Turun, dan Waktu Tetesan Akhir Minyak Pirolisis Plastik LDPE.....	50
Tabel 4.5 Rendemen Cairan, Residu, dan Gas Minyak Hasil Pirolisis Plastik LDPE	52
Tabel 4.6 Sifat fisik dan sifat kimia minyak hasil pirolisis menggunakan katalis Fe ₃ O ₄ -ME sebanyak 1,25 gram.....	54
Tabel 4.7 Komposisi Senyawa Kimia dalam Minyak Hasil Pirolisis	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.2 Kode plastik LDPE.....	12
Gambar 2.3 Struktur molekul LDPE.....	12
Gambar 2.4 Rangkaian alat pirolisis	14
Gambar 2.5 Struktur sel unit magnetit	16
Gambar 2.6 Diagram Pourbaix	18
Gambar 2.7 Morfologi Ubi kayu/singkong.....	19
Gambar 4.1 Ilustrasi Mekanisme Sintesis Katalis $\text{Fe}_3\text{O}_4\cdot\text{ME}$	39
Gambar 4.1 Ilustrasi Mekanisme Sintesis Katalis $\text{Fe}_3\text{O}_4\cdot\text{ME}$	39
Gambar 4. 2 Spektre FTIR (a) Fe_3O_4 , (b) Ekstrak Kulit Singkong, dan (c) $\text{Fe}_3\text{O}_4\cdot\text{ME}$	41
Gambar 4.3 Difaktogram XRD Katalis $\text{Fe}_3\text{O}_4\cdot\text{ME}$	43
Gambar 4.5 Kromatogram dengan Luas Area 4,28%.....	58
Gambar 4.6 Kromatogram dengan Luas Area 4,30%.....	58
Gambar 4.7 Kromatogram dengan Luas Area 4,41%.....	58
Gambar 4. 8 Komponen Utama yang Terkandung dalam Minyak Pirolisis.....	59

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Contoh Plastik LDPE.....	71
Lampiran 2. Spektra FTIR Fe_3O_4 , Ekstrak Kulit Singkong, $\text{Fe}_3\text{O}_4\cdot\text{ME}$	71
Lampiran 3. Difaktogram XRD dan Perhitungan Ukuran Kristal Menggunakan Persamaan Debye-Scherrer	73
Lampiran 4. Rancangan Alat Pirolisis dan Alat Pirolisis yang digunakan	76
Lampiran 5. Rendemen Cairan, Residu, dan Gas Minyak Hasil Pirolisis Plastik LDPE	77
Lampiran 6. Perbandingan Minyak Hasil Pirolisis dengan Standar Solar Murni .	80
Lampiran 7. Hasil Uji Nilai Kalor Minyak Hasil Pirolisis.....	81
Lampiran 8. Hasil Uji Viskositas Minyak Hasil Pirolisis	83
Lampiran 9. Hasil Uji Titik Nyala Minyak Hasil Pirolisis	86
Lampiran 10. Hasil Uji Densitas Minyak Hasil Pirolisis	87
Lampiran 11. Difaktogram GC-MS dari minyak hasil pirolisis	88
Lampiran 12. Dokumentasi Kegiatan Penelitian	89



INTISARI

Sintesis Magnetit Termodifikasi Ekstrak Kulit Singkong (*Manihot esculenta*) dan Aplikasinya Sebagai Katalis dalam Pirolisis Limbah Plastik *Low-Density Polyethylene* (LDPE)

Oleh: Muhamad Zakariya

Pembimbing: Prof. Dr. Maya Rahmayanti, M.Si.

Sintesis magnetit termodifikasi ekstrak kulit singkong (*Manihot esculenta*) dan aplikasinya sebagai katalis dalam pirolisis limbah plastik *Low-Density Polyethylene* (LDPE) telah berhasil dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis gugus fungsi dan kristalinitas katalis magnetit ($\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ME}$) menggunakan teknik FTIR dan XRD, mengkaji pengaruh variasi massa katalis $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ME}$ pada proses pirolisis plastik LDPE terhadap rendemen produk minyak pirolisis yang dihasilkan, menentukan kualitas minyak hasil pirolisis berdasarkan parameter nilai kalor, viskositas, titik nyala, dan densitas, serta mengidentifikasi komposisi minyak hasil pirolisis menggunakan analisis GC-MS. Katalis $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ME}$ disintesis menggunakan metode kopresipitasi terbalik dengan bahan baku $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, NaOH, dan ekstrak kulit singkong. Sintesis dilakukan pada pH 12 selama 60 menit pada temperatur 60 °C. Analisis FTIR menunjukkan adanya serapan khas pada puncak 570,93 cm^{-1} dan 3410,15 cm^{-1} , mengindikasikan bahwa $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ME}$ yang terbentuk sudah sesuai. Analisis XRD mengindikasikan kristalinitas magnetit dengan ukuran kristal rata-rata 4,73 nm. Katalis $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ME}$ dengan variasi massa 0,25, 0,5, 0,75, 1, dan 1,25 gram diaplikasikan pada pirolisis limbah plastik LDPE. Rendemen minyak tertinggi diperoleh pada penggunaan katalis 1,25 gram. Karakterisasi GCMS menunjukkan keberadaan senyawa alkana. Densitas, nilai kalor dan viskositas minyak hasil pirolisis berturut-turut adalah 0,81455 g/mL, 10104,5653 kal/g, dan 29,6 cp. Data yang didapatkan mengkonfirmasi bahwa penelitian ini berjalan dengan baik.

Kata kunci: Magnetit, ekstrak kulit singkong, katalis, pirolisis, plastik.

ABSTRACT

*Synthesis of Modified Magnetite of Cassava Peel Extract (*Manihot esculenta*) and Its Application as a Catalyst in the Pyrolysis of Low-Density Polyethylene (LDPE) Plastic Waste*

By: Muhamad Zakariya

Supervisor: Prof. Dr. Maya Rahmayanti, M.Si.

*The synthesis of modified magnetite of cassava peel extract (*Manihot esculenta*) and its application as a catalyst in the pyrolysis of Low-Density Polyethylene (LDPE) plastic waste has been successfully carried out. This study aims to analyze the functional group and crystallinity of magnetite catalyst ($\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ME}$) using FTIR and XRD techniques, examine the effect of $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ME}$ catalyst mass variation on the LDPE plastic pyrolysis process on the yield of pyrolysis oil products, determine the quality of pyrolysis oil based on the parameters of calorific value, viscosity, flash point, and density, and identify the composition of pyrolysis oil using GC-MS analysis. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ME}$ catalyst was synthesized using the reverse coprecipitation method with $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, NaOH, and cassava peel extract. Synthesis was carried out at pH 12 for 60 minutes at 60 °C. FTIR analysis showed typical uptake at peaks of 570.93 cm^{-1} and 3410.15 cm^{-1} , indicating that the $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ME}$ formed was appropriate. XRD analysis indicated the crystallinity of magnetite with an average crystal size of 4.73 nm. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ME}$ catalysts with mass variations of 0.25, 0.5, 0.75, 1, and 1.25 grams were applied to LDPE plastic waste pyrolysis. The highest oil yield was obtained at the use of a catalyst of 1.25 grams. GC-MS characterization indicates the presence of alkane compounds. The density, calorific value and viscosity of pyrolysis oil were 0.81455 g/mL, 10104.5653 cal/g, and 29.6 cp, respectively. The data obtained confirmed that this study was going well.*

Keywords: Magnetite, cassava quit extract, catalyst, pyrolysis, plastic.

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Produksi plastik telah meningkat pesat seiring dengan perkembangan industri, teknologi, dan populasi (Prawitasari et al, 2022). Lima puluh tahun terakhir, produksi plastik global tahunan melonjak dari 1,8 MT pada 1950-an menjadi 465 MT pada 2018, dan diperkirakan akan meningkat 9% hingga 13% pada 2025 (Alrazen et al., 2023). Plastik memegang peranan penting di berbagai sektor seperti perawatan kesehatan, konstruksi, dan transportasi (Park et al., 2019). Namun, limbah plastik menjadi masalah serius, karena sekitar 300 juta ton limbah plastik dihasilkan setiap tahun, 10% diantaranya termasuk limbah padat kota (MSW) (Lebreton et al., 2019).

Low-Density Polyethylene (LDPE) adalah salah satu jenis plastik polietilen yang paling banyak digunakan (Ghatge et al., 2020). Plastik LDPE sering digunakan dalam bahan bangunan, tas, dan kemasan, yang penting bagi kehidupan sehari-hari di negara berkembang (Awoyera et al., 2020). Plastik LDPE juga banyak digunakan untuk pembungkus paket karena fleksibel dan tahan air. Pembungkus LDPE melindungi produk dari kerusakan fisik, kelembaban, dan kontaminasi. LDPE mudah diproses dan dicetak, sehingga bisa dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran sesuai kebutuhan pengemasan (Muriara et al., 2024). Namun, kualitas LDPE yang rendah menyebabkan masa pakai yang singkat, meningkatkan produksi dan limbah plastik LDPE semakin meningkat (Arinze et al., 2022). Plastik LDPE memberikan dampak signifikan terhadap lingkungan.

Karena sifatnya yang tidak mudah terurai, LDPE dapat bertahan di lingkungan selama bertahun-tahun, menyebabkan pencemaran tanah dan air. LDPE memiliki kepadatan rendah, berkisar antara 0,91 dan 0,94 g/mL, dengan titik leleh sekitar 115°C (Genet et al., 2021).

Untuk mengurangi dampak lingkungan dari limbah plastik, berbagai inisiatif internasional, nasional, dan regional telah dikembangkan. Langkah-langkah ini mencakup biaya, pajak lingkungan, dan larangan produk plastik sekali pakai (Schnurr et al., 2018). Namun, tindakan ini belum cukup efektif. Diperlukan regulasi yang lebih kuat dalam pelacakan, pengolahan, dan pembuangan sampah plastik (Patrício Silva et al., 2020). Pendekatan ekonomi sirkular, seperti penggunaan kembali produk, rekondisi, remanufaktur, daur ulang, dan pengolahan limbah, menjadi solusi yang menjanjikan (Fatimah et al., 2023).

Penelitian sebelumnya di negara berkembang menunjukkan bahwa pengelolaan sampah masih berfokus pada pengumpulan dan pengangkutan sampah daripada pendekatan holistik (Nguyen et al., 2023). Tujuan pengelolaan sampah adalah melindungi kesehatan manusia dan lingkungan dengan mengurangi jumlah sampah yang dihasilkan serta dampak negatifnya (Schmidt et al., 2023). Pengelolaan sampah di negara berkembang sering kali fokus pada pengumpulan dan pengangkutan sampah ke TPA, menyebabkan TPA cepat penuh dan lingkungan tercemar. Proses daur ulang yang tidak efektif, terutama untuk plastik memperburuk masalah ini karena infrastruktur yang terbatas dan rendahnya partisipasi masyarakat. Pengelolaan sampah yang buruk juga meningkatkan emisi gas rumah kaca dan risiko kesehatan (Mahyudin, 2017). Oleh karena itu, diperlukan

metode pengolahan yang lebih efektif dan berkelanjutan untuk mengatasi masalah ini.

Pirolisis adalah salah satu teknologi daur ulang bahan baku yang mengubah plastik menjadi cairan, gas, dan padatan (Hariadi et al., 2021). Katalis ferromagnetik seperti Magnetit (Fe_3O_4), menunjukkan hasil yang lebih baik dalam pirolisis (Mukundan et al., 2023). Namun, metode sintesis magnetit konvensional seperti hidrotermal, metode sonokimia, teknik mikro-emulsi, rute elektrokimia, dan teknik sol-gel memiliki beberapa kelemahan seperti suhu tinggi, waktu reaksi yang lama, penggunaan agen pelapis yang mahal, berbahaya, dan beracun (Prasad et al., 2017).

Untuk mengurangi dampak lingkungan dari metode konvensional, metode sintesis hijau menggunakan bahan alami, seperti ekstrak tanaman, telah dikembangkan (Sari et al., 2023). Din et al., (2020) berhasil mensintesis katalis Fe_3O_4 termodifikasi ekstrak tongkol jagung, yang menunjukkan hasil pirolisis yang lebih optimal dibandingkan tanpa katalis.

Indonesia, sebagai negara agraris, memiliki potensi besar dalam penggunaan limbah pertanian, seperti kulit singkong, yang kaya akan tanin dan saponin (Farihatul Uzma et al., 2023). Tanin dapat berfungsi sebagai reduktor dan agen penstabil dalam sintesis magnetit (Anggraini et al, 2021). Meskipun demikian, penelitian tentang penggunaan ekstrak kulit singkong dalam sintesis katalis magnetit dan penerapannya dalam pirolisis plastik LDPE masih langka.

Berdasarkan latar belakang masalah, maka penelitian berjudul “Sintesis Magnetit Termodifikasi Ekstrak Kulit Singkong (*Manihot esculenta*) dan

Aplikasinya Sebagai Katalis dalam Pirolisis Limbah Plastik *Low-Density Polyethylene* (LDPE)” perlu dilakukan. Penelitian ini diharapkan dapat mengungkap kondisi optimal pirolisis dengan variasi massa katalis Fe_3O_4 termodifikasi ekstrak kulit singkong dan dampaknya terhadap kualitas produk yang dihasilkan, memberikan solusi ramah lingkungan dalam pengelolaan sampah plastik.

B. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Limbah plastik LDPE berasal dari limbah rumah tangga jenis plastik bekas pembungkus paket yang berada di daerah Bantul
2. Sintesis magnetit termodifikasi ekstrak kulit singkong ($\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ME}$) dilakukan menggunakan metode kopresipitasi terbalik pada temperatur 60°C selama 1 jam
3. Karakterisasi gugus fungsi katalis magnetit termodifikasi ekstrak kulit singkong ($\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ME}$) dilakukan menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) dan karakterisasi kristalinitas katalis $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ME}$ menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD)
4. Variasi katalis yang digunakan ialah 0,25, 0,5, 0,75, 1, dan 1,25 gram
5. Hasil pirolisis yang dilakukan analisis ialah produk cairan (minyak)
6. Uji minyak pirolisis meliputi uji densitas, viskositas, nilai kalor, dan titik nyala
7. Uji kualitas minyak hasil pirolisis limbah plastik LDPE hanya dilakukan pada minyak dengan rendemen terbesar.
8. Analisis minyak pirolisis menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS).

C. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik gugus fungsi dan kristalinitas katalis $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ME}$ berdasarkan spektrofotometer FTIR dan XRD?
2. Bagaimana pengaruh variasi massa katalis $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ME}$ pada proses pirolisis plastik LDPE terhadap rendemen produk minyak pirolisis yang dihasilkan?
3. Bagaimana kualitas minyak hasil pirolisis berdasarkan parameter nilai kalor, viskositas, titik nyala, dan densitas?
4. Bagaimana komposisi kimia minyak hasil pirolisis berdasarkan analisis menggunakan GC-MS?

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Menganalisis gugus fungsi dan kristalinitas katalis magnetit ($\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ME}$) menggunakan teknik FTIR dan XRD.
2. Mengkaji pengaruh variasi massa katalis $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{ME}$ pada proses pirolisis plastik LDPE terhadap rendemen produk minyak pirolisis yang dihasilkan.
3. Menentukan kualitas minyak hasil pirolisis berdasarkan parameter nilai kalor, viskositas, titik nyala, dan densitas.
4. Mengidentifikasi komposisi kimia minyak hasil pirolisis menggunakan analisis GC-MS.

E. Manfaat Penelitian

1. Memberikan wawasan baru dalam mengelola limbah plastik LDPE melalui pendekatan pirolisis katalitik dengan katalis magnetit yang dimodifikasi ekstrak

kulit singkong, serta memahami pengaruh variasi katalis terhadap konversi sampah plastik menjadi produk berguna.

2. Membuka jalan bagi penelitian lanjutan dalam pengembangan teknologi pirolisis katalitik dengan fokus pada efisiensi, keberlanjutan, dan pengurangan dampak lingkungan dari limbah plastik LDPE.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

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

1. Katalis magnetit (Fe_3O_4) berhasil disintesis menggunakan ekstrak kulit singkong. Karakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) menunjukkan serapan khas pada puncak 570,93, 1033,85, 1442,75, 1620,21, 2345,44, dan 3410,15 cm^{-1} , mengidentifikasi bahwa keberadaan gugus fungsi yang sesuai dengan karakteristik Fe_3O_4 -ME, sedangkan analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) menunjukkan puncak difraksi pada $2\theta = 30^\circ, 35^\circ, 42^\circ, 57^\circ, \text{ dan } 62^\circ$ yang mengindikasikan kristalinitas magnetit dengan ukuran kristal rata-rata 4,73 nm mengkonfirmasi tingkat kristalinitas yang diharapkan. Hasil ini menunjukkan bahwa metode sintesis menggunakan ekstrak kulit singkong efektif dalam menghasilkan katalis Fe_3O_4 -ME dengan sifat-sifat yang diperlukan.
2. Penggunaan variasi massa katalis pada proses pirolisis menunjukkan bahwa peningkatan massa katalis berpengaruh positif terhadap rendemen produk minyak yang dihasilkan. Pirolisis dengan massa katalis yang lebih tinggi menghasilkan rendemen minyak yang lebih tinggi dengan rendemen minyak 38,27% hingga 55,04%, yang mengindikasikan peningkatan efisiensi konversi limbah plastik LDPE menjadi produk cair.

3. Minyak hasil pirolisis limbah plastik LDPE menggunakan katalis Fe_3O_4 -ME memiliki nilai kalor 42,29 MJ/kg, viskositas 29,6 cp, titik nyala 36 °C, dan densitas 814,5 kg/m³. Menunjukkan potensi sebagai bahan bakar alternatif dengan karakteristik yang lebih kental, mudah menguap, dan kandungan hidrokarbon yang ringan.
4. Analisis GC-MS menunjukkan 3 puncak kromatogram yang memiliki area paling besar dengan komponen utama alkana seperti dekana, tridekana, dan tetradekana. Komponen ini penting untuk kualitas bahan bakar, memberikan stabilitas pembakaran dan energi. Beberapa komponen senyawa yang teridentifikasi sesuai dengan minyak solar yang memiliki atom karbon dari C_{14} – C_{18} .

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terdapat beberapa saran untuk penelitian selanjutnya seperti dilakukan pengujian kualitas minyak pada semua hasil minyak pirolisis. Pengujian parameter viskositas menggunakan viskositas kinematik dan pengujian parameter tambahan seperti angka setana, indeks setana, titik tuang, bilangan asam dan sebagainya berdasarkan SNI 7182:2015 agar dapat diuji coba pada mesin. Selanjutnya perlu dilakukan kajian terhadap residu dan produk gas hasil dari pirolisis limbah plastik LDPE.

DAFTAR PUSTAKA

- Adoe, D. G. H., Bunganaen, W., Krisnawi, I. F., & Soekwanto, F. A. (2016). Pirolisis Sampah Plastik PP (Polypropylene) menjadi Minyak Pirolisis sebagai Bahan Bakar Primer. *LONTAR Jurnal Teknik Mesin Undana*, 3. <http://ejournal-fst-unc.com/index.php/LJTMU>
- Adzra, Z., Hadisantoso, E., & Setiadji, S. (2022). Pengaruh Konsentrasi Prekursor, Konsentrasi Agen Pengendap, Kecepatan, dan Waktu Pengadukan pada Sintesis ZnO Nanopartikel dan Aplikasinya untuk Penanganan Metilen Biru secara Fotokatalisis. *Gunung Djati Conference Series*, 7.
- Afriyanto, B., Indriyati, E. W., & Hardini, P. (2019). Pengaruh Limbah Plastik Low Density Polyethylene Terhadap Karakteristik Dasar Aspal. *Jurnal Transportasi*, 19(1), 59–66.
- Agustinus, N., Fatimah, Fauziah, W. F. N., & Sihombing, R. P. (2020). Konversi Karat Besi Menjadi Besi (III) Sulfat dan Pemanfaatannya Sebagai Adsorpsi Pewarna Tekstil. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 6(3), 177–183. <https://doi.org/10.22487/kovalen.2020.v6.i3.15308>
- Al-Muhtaseb, A. H., Jamil, F., Osman, A. I., Tay Zar Myint, M., Htet Kyaw, H., Al-Hajri, R., Hussain, M., Ahmad, M. N., & Naushad, M. (2022). State-of-the-art novel catalyst synthesised from waste glassware and eggshells for cleaner fuel production. *Fuel*, 330. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.125526>
- Alrazen, H. A., Aminossadati, S. M., Mahmudul Hasan, M., & Konarova, M. (2023). Effectiveness of co-solvents in boosting LDPE depolymerization in diesel. *Fuel*, 345. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.128135>
- Anggraini, D., & Safaat, M. (2021). Bioteknologi & Biosains Indonesia Review: Peran Nanopartikel Dalam Menghambat Pertumbuhan Parasit Plasmodium Penyebab Malaria Review: The Role of Nanoparticles in Inhibiting the Growth of the Plasmodium Parasite Causing Malarial Disease. *J Bioteknol Biosains Indonesia*, 8, 127–128. <http://ejurnal.bppt.go.id/index.php/JBBI>
- Arinze, R. U., Oramah, E., Chukwuma, E. C., Okoye, N. H., & Chris-Okafor, P. U. (2022). Mechanical impact evaluation of natural fibres with LDPE plastic composites: Waste management in perspective. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2022.100344>
- Asiah, N., Mulkiya, K., Syafnir, L., Farmasi, P., Matematika, F., Ilmu, D., & Alam, P. (2019). Prosiding Farmasi Identifikasi Golongan Senyawa Antibakteri Ekstrak dan Fraksi Kulit Singkong (Manihot Esculenta Crantz) terhadap Bakteri Staphylococcus aureus dengan Metode KLT Bioautografi Identification of Antibacterial Compound from Extract and Fraction of Cassava Peel (Manihot esculenta Crantz) against Staphylococcus aureus with TLC Bioautography. *Prosiding Farmasi*, 646–647.
- ASTM International. (2013). ASTM D975 - Standard Specification for Diesel Fuel Oils. <https://doi.org/10.1520/D0975-13>
- Aswan, A., Syakdani, A., Manggala, A., Monika, I., Dwi Cendani, M., Kimia, T., & Negeri Sriwijaya Jl Sriwijaya, P. (2021). Koneversi Limbah Plastik LDPE Menjadi Bahan Bakar Cair (BBC) Menggunakan Katalis Alumunium Oksida

- Zeolit pada Multistage Separator. *Jurnal Kinetika*, 12(02), 51–57.
<https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index>
- Asworo, R. Y., Widayanti, E., Arief, A., Program, A., D3, S., Farmasi, A., Makanan, D., Gizi, J., & Malang, K. (2022). Identifikasi Kandungan Kimia Kulit Sirsak (*Annoa muricata* linn) Identification Chemical Content of Rind Soursop (*Annoa muricata* linn). *Jurnal Kimia Mulawarman*, 19.
- Awoyera, P. O., & Adesina, A. (2020). Plastic wastes to construction products: Status, limitations and future perspective. *Case Studies in Construction Materials*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00330>
- Azis, H., & Rante, H. (2021). Produksi Bahan Bakar Cair Dari Limbah Plastik Polypropylene (PP) Metode Pirolisis. *Journal of Chemical Process Engineering*, 6, 21–22.
- Bow, Y., Lestari, S. P., Sihombing, S. R., Kharissa, S. A., Salam, Y. A., & Sriyaya Negara Bukit Besar-Palembang, J. (2018). Pengolahan Sampah Low Density Polyethylene (LDPE) dan Polypropylene (PP) Menjadi Bahan Bakar Cair Alternatif Menggunakan Prototipe Pirolisis Thermal Cracking. *Jurnal Kinetika*, 9(03), 1–6. <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index>
- Cai, W., Kumar, R., Zheng, Y., Zhu, Z., Wong, J. W. C., & Zhao, J. (2023). Exploring the potential of clay catalysts in catalytic pyrolysis of mixed plastic waste for fuel and energy recovery. *Heliyon*, 9(12), e23140. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23140>
- Chairunnisa, S., Wartini, N., & Suhendra, L. (2019). Pengaruh Suhu dan Waktu Maserasi terhadap Karakteristik Ekstrak Daun Bidara (*Ziziphus mauritiana* L.) sebagai Sumber Saponin Effect of Temperature and Maseration Time on Characteristics of Bidara Leaf Extract (*Ziziphus mauritiana* L.) as Saponin Source. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 7, 556–557.
- Din, M. I., Sadaf, S., Hussain, Z., & Khalid, R. (2020). Assembly of superparamagnetic iron oxide nanoparticles (Fe₃O₄-Nps) for catalytic pyrolysis of corn cob biomass. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*. <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1767235>
- Dudchenko, N., Pawar, S., Perelshtein, I., & Fixler, D. (2022). Magnetite Nanoparticles: Synthesis and Applications in Optics and Nanophotonics. In *Materials* (Vol. 15, Issue 7). MDPI. <https://doi.org/10.3390/ma15072601>
- Eldwita, K., Dwi Lestari, S., & Effendy, S. A. (2020). Effect of the Amount of Catalyst and Temperature on the Production of Liquid Fuel From Used Tyres Using Catalytic Cracking Method. *Jurnal Kinetika*, 11(02), 19–25. <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index>
- Faiz, F., Hidayat, D., & Siregar, I. H. (2022). Uji Karakteristik Minyak Pirolisis Berbahan Baku Limbah Plastik Polypropylene.
- Farihatul Uzma, S., Anam, K., & Utami, W. (2023). Uji Aktivasi Anti Bakteri Ekstrak Etanol Kulit Singkong (*Manihot esculenta* Crantz) Terhadap *Staphylococcus epidermidis*. *Journal of Research in Pharmacy*, 3, 101–102.
- Fatimah, Y. A., Kannan, D., Govindan, K., & Hasibuan, Z. A. (2023). Circular economy e-business model portfolio development for e-business applications: Impacts on ESG and sustainability performance. *Journal of Cleaner Production*, 415. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137528>

- Firdausy, M., Safitri, N., Listiara, W., & Mizwar, A. (2023). Pemanfaatan Sampah Plastik Jenis Plastik Polypropylene (PP), High-Density Polyethylene (HDPE), Polyethylene Terephthalate (PET) dan Low-Density Polyethylene (LDPE) Menjadi Bahan Bakar Minyak (BBM) Alternatif dengan Proses Pirolisis dalam Upaya Pengurangan Sampah An-Organik. *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*, 2, 87–88.
- Firmansyah, A. F., Gunawan, A. I., Sulistijono, I. A., & Hanurawan, D. (2022). Pengukuran Nilai Densitas pada Minyak Pelumas Sepeda Motor dengan Gelombang Ultrasonik. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 18(1).
<https://doi.org/10.17529/jre.v18i1.24919>
- Genet, M. B., Sendekie, Z. B., & Jembere, A. L. (2021). Investigation and optimization of waste LDPE plastic as a modifier of asphalt mix for highway asphalt: Case of Ethiopian roads. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2021.100150>
- Ghatge, S., Yang, Y., Ahn, J. H., & Hur, H. G. (2020). Biodegradation of polyethylene: a brief review. In *Applied Biological Chemistry* (Vol. 63, Issue 1). Springer. <https://doi.org/10.1186/s13765-020-00511-3>
- Hack, R. (2018). Viscosity. *Rheological Properties*, 926–929.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-73568-9_308
- Hariadi, D., Saleh, S. M., Anwar Yamin, R., & Aprilia, S. (2021). Utilization of LDPE plastic waste on the quality of pyrolysis oil as an asphalt solvent alternative. *Thermal Science and Engineering Progress*, 23.
<https://doi.org/10.1016/j.tsep.2021.100872>
- Hartono, E., & Rachmat, N. (2022). Klasifikasi Jenis Plastik HDPE, LDPE, Dan PS Berdasarkan Tekstur Menggunakan Metode Support Vector Machine. *Jurnal Teknik Informatika Dan Sistem Informasi*, 9(2), 376400.
<http://jurnal.mdp.ac.id>
- Hendrawati, Liandi, A. R., Solehah, M., Setyono, M. H., Aziz, I., & Siregar, Y. D. I. (2023). Pyrolysis of PP and HDPE from plastic packaging waste into liquid hydrocarbons using natural zeolite Lampung as a catalyst. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 7.
<https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100290>
- Hendrian, E., & Munasir,). (2023). Green synthesis of magnetic Fe₃O₄ nanoparticles (MNPs) using plant extract and Biomedicine Applications: Targeted Anticancer Drug Delivery System. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, 12, 30–46.
- Idris, N. A., Aziz, N. A. A., Yusoff, H. M., Idris, N. H., Badar, N., Elong, K., Yusoff, F., Wai, C. P., & Hassan, N. (2023). Electrochemical Performance of Zinc Oxide Nanoparticles Prepared Via Green Synthesis Route Using Chromolaena Odorata Leaves Extract As Potential Anode Material in Sodium-ion Battery. *Journal of Sustainability Science and Management*, 18(10), 126–137. <https://doi.org/10.46754/jssm.2023.10.008>
- Jothi, N., Anandakumar, S., & Sampathkumar, V. (2023). Green synthesis and characterisation of ZnO nanoparticles from Manihot esculenta (cassava) peel and their antibacterial study. *Global Nest Journal*, 25(3), 56–62.
<https://doi.org/10.30955/gnj.004541>

- Kale, R. D., Barwar, S., Kane, P., & Bhatt, L. (2018). Green Synthesis of Magnetite Nanoparticles using Banana Leaves. *European Journal of Sciences (EJS)*, 26–34. <https://doi.org/10.29198/ejs1803>
- Kaliyaperumal, R., Nallathambi, M., Raja, K., Mathivanan, N., & Tharini, K. (2022). a Co-precipitation Method For the Synthesis and Characterization of Lead Oxide and Silver Oxide Nanoparticles. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CURRENT ENGINEERING AND SCIENTIFIC RESEARCH (IJCESR)*, 9(9). <https://www.researchgate.net/publication/363844080>
- Kalu, A. O., Egwim, E. C., Jigam, A. A., & Muhammed, H. L. (2022). Green synthesis of magnetite nanoparticles using calotropis procera leaf extract and evaluation of its antimicrobial activity. *Nano Express*, 3(4). <https://doi.org/10.1088/2632-959X/aca925>
- Langi, J. H., Wonggo, D., Damongilala, L. J., Montolalu, L. A. D. Y., Harikedua, S. D., & Makapedua, D. M. (2022). Media Teknologi Hasil Perikanan Media Teknologi Hasil Perikanan Terakreditasi Nasional (Sinta 4) FLAVONOID DAN TANIN EKSTRAK AIR SUBKRITIS BENANG SARI DAN KEPALA PUTIK BUNGA MANGROVE *Sonneratia alba*. *Media Teknologi Hasil Perikanan*. <https://doi.org/10.35800/mthp.10.3.2022.40658>
- Lebreton, L., Egger, M., & Slat, B. (2019). A global mass budget for positively buoyant macroplastic debris in the ocean. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49413-5>
- Mahyudin, R. P. (2017). Kajian Permasalahan Pengelolaan Sampah dan Dampak Lingkungan di TPA (Tempat Pemrosesan Akhir). In *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan* (Vol. 3, Issue 1).
- Mufidah, A. (2022). Uji Karakteristik Minyak Pirolisis Berbahan Baku Limbah Plastik Polyethylene Terephthalate. *JTM.*, 10, 142–143.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128479>
- Muñoz-Portero, M. J., Nachiondo, T., & García-Antón, J. (2024). Pourbaix diagrams for iron-chromium alloys in lithium bromide absorption machines. *Electrochimica Acta*, 144545. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2024.144545>
- Muriara Sari, M., Yenis Septiariva, I., Wayan Koko Suryawan, I., & Sapta Suhardono, dan. (2024). Potensi Ekonomi Pirolisis Sampah Plastik untuk Pengelolaan Berkelanjutan: Studi Kasus Plastik Pembungkus Paket. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22, 941–950. <https://doi.org/10.14710/jil.22.4.941-950>
- Nguyen, A. T., Nguyen, N., Phung, P., & Yên-Khanh, N. (2023). Residents' waste management practices in a developing country: A social practice theory analysis. *Environmental Challenges*, 13. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100770>
- Nie, C. chen, Wang, Y. yan, Zhang, H., Zhang, Y. kang, Zhang, Y. qing, Yan, Z. qing, Li, B., Lyu, X. jun, Tao, Y. jun, Qiu, J., Li, L., Zhang, G. wen, & Zhu, X. nan. (2020). Cleaner utilization of non-metallic components in separation tailings of waste printed circuit board: Pyrolysis oil, calorific value and

- building aggregate. *Journal of Cleaner Production*, 258.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120976>
- Nnadozie, E. C., & Ajibade, P. A. (2020). Green synthesis and characterization of magnetite (Fe₃O₄) nanoparticles using *Chromolaena odorata* root extract for smart nanocomposite. *Materials Letters*, 263.
<https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.127145>
- Nurtanto, M. (2017). Karakteristik dan Konsumsi Bahan Bakar Minyak Solar dengan Minyak Kemijen pada Motor Diesel. *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran, Dan Ilmu Kesehatan*, 1(2), 117–124.
- Parajuli, K., Sah, A. K., & Paudyal, H. (2020). Green Synthesis of Magnetite Nanoparticles Using Aqueous Leaves Extracts of *Azadirachta indica* and Its Application for the Removal of As(V) from Water. *Green and Sustainable Chemistry*, 10(04), 117–132.
<https://doi.org/10.4236/gsc.2020.104009>
- Park, K. B., Jeong, Y. S., & Kim, J. S. (2019). Activator-assisted pyrolysis of polypropylene. *Applied Energy*, 253.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113558>
- Parwatha, I., Kusuma, C., & Indriyanto, M. (2022). Analisa Ekonomi Pemanfaatan Gas LNG Sebagai Bahan Bakar Penggerak Kapal Ferry. *Journal of Industrial Engineering & Management Research*, 3(5), 121–122.
- Patrício Silva, A. L., Prata, J. C., Walker, T. R., Campos, D., Duarte, A. C., Soares, A. M. V. M., Barcelò, D., & Rocha-Santos, T. (2020). Rethinking and optimising plastic waste management under COVID-19 pandemic: Policy solutions based on redesign and reduction of single-use plastics and personal protective equipment. *Science of the Total Environment*, 742.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140565>
- Prasad, C., Yuvaraja, G., & Venkateswarlu, P. (2017). Biogenic synthesis of Fe₃O₄ magnetic nanoparticles using *Pisum sativum* peels extract and its effect on magnetic and Methyl orange dye degradation studies. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 424, 376–381.
<https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2016.10.084>
- Prasetyowati, R., Widiawati, D., Swastika, E., & Ariswan, W. (2021). Synthesis and Characterization of Magnetite (Fe₃O₄) Nanoparticles Based on Iron Sands at Glagah Beach Kulon Progo With Coprecipitation Methods at Various NH₄OH Concentrations. In *J. Sains Dasar* (Vol. 10, Issue 2).
- Prawitasari, N., & Andriyanto, Y. (2022). Analisis Yuridis Pencemaran Laut Yang Disebabkan Limbah Plastik. *JURNAL HUKUM PELITA*, 3(2), 21–30.
<https://doi.org/10.14203/oseana.2017.vol.42no.3.82>
- Rahmayanti, M., Nurul Syakina, 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.
<https://doi.org/10.1016/j.cplett.2022.139834>
- 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, A. N., Sulistyaningsih, T., & Hastuti, B. (2023). Synthesis of magnetite using petai (*Parkia speciosa*) peel extract with ultrasonic waves as reusable catalysts for biodiesel production from waste frying oil. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 26(4), 125–132. <https://doi.org/10.14710/jksa.26.4.125-132>
- 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>
- Rajan, K. P., Mustafa, I., Gopanna, A., & Thomas, S. P. (2023). Catalytic Pyrolysis of Waste Low-Density Polyethylene (LDPE) Carry Bags to Fuels: Experimental and Exergy Analyses. *Recycling*, 8(4). <https://doi.org/10.3390/recycling8040063>
- Raturandang, R., Wenas, D. R., Mongan, S., & Bujung, C. (2022). Analisis Spektroskopi Ftir Untuk Karakterisasi Kimia Fisik Fluida Mata Air Panas Di Kawasan Wisata Hutan Pinus Tomohon Sulawesi Utara. *Jurnal FisTa*, 3(1), 28–33.
- Regina, O., Sudrajad, H., Syaflita, D., Fisika, P., & Riau, U. (2018). Measurement of Viscosity Uses an Alternative Viscometer. *Jurnal Geliga Sains*, 6(2), 127–132.
- Riandis, J. A., Setyawati, A. R., & Sanjaya, A. S. (2021). Pengolahan Samapah Plastik dengan Metode Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Minyak Plastic Waste Processing Using Pyrolysis Method Into Fuel Oil. *Jurnal Chemurgy*, 05(1), 8–14. <http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TK>
- Ridhuan, K., Irawan, D., & Inthifawzi, R. (2019). Proses Pembakaran Pirolisis dengan Jenis Biomassa dan Karakteristik Asap Cair yang Dihasilkan. *Jurnal Program Studi Teknik Mesin UM Metro*, 8(1), 70–71.
- Riyanti, A., Perhotelan, M., Bandung, S. Y., Oktavia, R., Rini, P., Kuliner, M., & Batam, P. (2022). Pemanfaatan Tepung Kulit Singkong dalam Diversifikasi Olahan Batter. *Jurnal Manner*, 1, 46–47.
- Rozaini, N., & Harahap, A. F. (2023). Dampak Kenaikan Harga Bahan Bakar Minyak (BBM) Terhadap Sembilan Bahan Pokok (Sembako) Di Kota Medan. *Jurnal Ekonomi Manajemen Dan Bisnis (JEMB)*, 1(2), 229–236. <https://doi.org/10.47233/jemb.v1i2.676>
- Rustantono, H., Kusumaningrum, D., & Rasyid, H. (2022). Pelatihan Pemanfaatan Limbah Kulit Singkong Menjadi Keripik. *Indonesian Community Journal*, 2(1).
- Sari, E. K., Tumbelaka, R. M., Ardiyanti, H., Istiqomah, N. I., Chotimah, & Suharyadi, E. (2023). Green synthesis of magnetically separable and reusable Fe₃O₄/Cdots nanocomposites photocatalyst utilizing Moringa oleifera extract and watermelon peel for rapid dye degradation. *Carbon Resources Conversion*, 6(4), 274–286. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2023.04.003>
- Schmidt, S., & Laner, D. (2023). Environmental Waste Utilization score to monitor the performance of waste management systems: A novel indicator

- applied to case studies in Germany. *Resources, Conservation and Recycling Advances*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2023.200160>
- Schnurr, R. E. J., Alboiu, V., Chaudhary, M., Corbett, R. A., Quanz, M. E., Sankar, K., Srain, H. S., Thavarajah, V., Xanthos, D., & Walker, T. R. (2018). Reducing marine pollution from single-use plastics (SUPs): A review. *Marine Pollution Bulletin*, 137, 157–171. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.10.001>
- Selvaraju, S., Naveen, P., & N, S. (2018). Synthesis and characterization of starch nanoparticles from cassava Peel. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 3(4). <https://doi.org/10.21967/jbb.v3i4.179>
- Shahid, M. K., & Choi, Y. (2020). Characterization and application of magnetite Particles, synthesized by reverse coprecipitation method in open air from mill scale. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 495. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2019.165823>
- Sinaga, Z., & Joniwarta. (2020). Analisis Ukuran Kristal Dan Sifat Magnetik Melalui Proses Pemesinan Milling Menggunakan Metode Karakterisasi Xrd, Mechannical Alloying, Dan Ultrasonik Tekanan Tinggi Pada Material Barium Hexaferrite (Bafe12o19). *JURNAL KAJIAN TEKNIK MESIN*, 5, 10–12.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.cdc.2023.101003>
- Taha, A. B., Essa, M. S., & Chiad, B. T. (2022). Spectroscopic Study of Iron Oxide Nanoparticles Synthesized Via Hydrothermal Method. *Chemical Methodologies*, 6(12), 977–984. <https://doi.org/10.22034/CHEMM.2022.355199.1590>
- Thahir, R., Altway, A., Juliastuti, S. R., & Susianto. (2019). Production of liquid fuel from plastic waste using integrated pyrolysis method with refinery distillation bubble cap plate column. *Energy Reports*, 5, 70–77. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2018.11.004>
- Trisnayanti, N. (2020). Penggunaan Katalis dalam Pirolisis Sampah Plastik Sebagai Solusi Penanganan Sampah Plastik dan Produksi Energi. <https://www.researchgate.net/publication/339841578>
- Utami, A., Nurul, I., & Ain, Q. N. (2020). Buku Ajar Teknologi Tepat Guna.
- Varma, A. K., Shankar, R., & Mondal, P. (2018). A review on pyrolysis of biomass and the impacts of operating conditions on product yield, quality, and upgradation. In *Recent Advancements in Biofuels and Bioenergy Utilization* (pp. 227–259). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1307-3_10
- Widiyatun, F., Selvia, N., & Dwitianti, N. (2019). STRING (Satuan Tulisan Riset dan Inovasi Teknologi) ANALISIS VISKOSITAS, MASSA JENIS, DAN KEKERUHAN MINYAK GORENG CURAH BEKAS PAKAI. STRING (Satuan Tulisan Riset Dan Inovasi Teknologi), 4.

- Wisnujati, A., & Yudhanto, F. (2020). Analisis karakteristik pirolisis limbah plastik low density polyethylene (LDPE) sebagai bahan bakar alternatif. *Jurnal Program Studi Teknik Mesin UM Metro*, 102–103.
- Zhao, L., Zhou, W., Wen, M., Wu, Q., Li, W., Fu, Y., Zhu, Q., Chen, S., & Ran, J. (2023). Trifunctional Cu-Mesh/Cu₂O@FeO Nanoarrays for Highly Efficient Degradation of Antibiotic, Inactivation of Antibiotic-Resistant Bacteria, and Damage of Antibiotics Resistance Genes. *Energy and Environmental Materials*, 6(1). <https://doi.org/10.1002/eem2.12299>

