

**SINTESIS TRIMETALIK KATALIS Fe-Zn-Mo/MgO-Nano-HZSM-5
UNTUK PRODUKSI BIOFUEL DARI MINYAK BIJI KARET
MENGUNAKAN PROSES *HYDROCRACKING***

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Bidang Studi Kimia Fakultas MIPA**



Oleh :

IKHTIYA FAUZIAH

08031282025037

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2024

HALAMAN PENGESAHAN

**SINTESIS TRIMETALIK KATALIS Fe-Zn-Mo/MgO-Nano-HZSM-5
UNTUK PRODUKSI BIOFUEL DARI MINYAK BIJI KARET
MENGUNAKAN POSES *HYDROCRACKING***

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelara Sarjana Sains Bidang Studi Kimia**

oleh:

IKHTIYA FAUZIAH

08031282025037

Indralaya, 26 Maret 2024

Mengetahui,

Pembimbing I



**Prof. Dr. Hasanudin, M.Si.
NIP. 197205151997021003**

Pembimbing II



**Dr. Muhammad Al-Muttaqii, M.T.
NIP. 199202132019031007**

Dekan FMIPA



**Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D.
NIP. 197111191997021001**

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi Ikhtiya Fauziah (08031282025037) dengan judul "Sintesis Trimetalik Katalis Fe-Zn-Mo/Mgo-Nano-HZSM-5 untuk Produksi Biofuel dari Minyak Biji Karet Menggunakan Poses *Hydrocraking*" telah disidangkan di hadapan Tim Penguji Sidang Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 25 Maret 2024 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Inderalaya, 26 Januari 2024

Ketua :

1. **Prof. Dr. Poedji Lockitowati H, M.Si.**

NIP. 196808271994022001

()

Sekretaris

2. **Dr. Widia Purwaningrum, M.Si.**

NIP. 19730403199032001

()

Pembimbing:

1. **Prof. Dr. Hasanudin, M.Si.**

NIP. 196006251989031006

()

2. **Dr. Muhammad Al-Muttaqi, M.T.**

NIP. 199202132019031007

()

Penguji:

1. **Dr. Desnelli, M.Si.**

NIP. 196912251997022001

()

2. **Dr. Ferlinahayati, M.Si.**

NIP. 197402052000032001

()

Mengetahui,


Dekan FMIPA
Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D.
NIP. 197111191997021001


Ketua Jurusan Kimia
Prof. Dr. Muharni, M.Si.
NIP. 196903041994122001

iii

Universitas Sriwijaya

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Ikhtiya Fauziah

NIM : 08031282025037

Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya “hak bebas royalti non-eksklusif (*non-exclusively royalty-free right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul : “Sintesis Trimetalik Katalis Fe-Zn-Mo/MgO-Nano-HZSM-5 untuk Produksi Biofuel dari Minyak Biji Karet Menggunakan Proses *Hydrocracking*”. Dengan hak bebas royalti non eksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir atau skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, 26 Maret 2024

Yang Menyatakan



METERAI
TEMPEL
118AKX813327631

Ikhtiya Fauziah

NIM. 08031282025037

**HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Ikhtiya Fauziah

NIM : 08031282025037

Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia

Menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan karya ilmiah ini belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar kesarjanaan strata (S1) dari Universitas Sriwijaya maupun perguruan tinggi lain. Semua informasi yang dimuat dalam skripsi ini berasal dari penulis lain baik yang dipublikasikan atau tidak telah diberikan penghargaan dengan mengutip nama sumber penulis secara benar. Semua isi dari skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 25 Maret 2024
Penulis



Ikhtiya Fauziah

NIM. 08031282025037

HALAMAN PERSEMBAHAN

“Kemudian, apabila kamu telah membulatkan tekad, maka bertawakallah. Sesungguhnya Allah menyukai orang-orang yang bertawakal kepada-Nya”

(Q.S Ali Imran:159)

“Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(Q.S Al-Baqarah: 286)

“Bila ingin jadi orang dalam hidup, bila ingin menghasilkan sesuatu, bila ingin menang, dengarkan kata hatimu. Bila tidak ada jawaban, tutup matamu dan sebut nama ayah dan ibu. Lihatlah, kau akan mencapai tujuan, semua kesulitan akan mudah. Kau akan menang. Hanya kau.”

(Khabi Khusi Khabi Gham)

-Skripsi ini sebagai bentuk tanda syukurku kepada Allah SWT serta Nabi Muhammad SAW-

Dan skripsi kupersembahkan kepada:

1. Kedua orang tuaku, Bapak Rusnata dan Ibu Sumiah yang selalu memberikan dukungan serta semangat dan doa yang tak pernah putus.
2. Saudara-saudariku, Teh Isna dan adik kecilku Hasyim Wiranata yang aku sayangi.
3. Keluarga besarku yang selalu mensupport dan mendoakanku.
4. Pembimbing tugas akhirku Bapak Prof. Dr. Hasanudin, M.Si. dan Bapak Dr. Muhammad Al-Muttaqii, M.T.
2. Seluruh dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya
3. Rekan-rekan seperjuangan di Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
4. Almamaterku Universitas Sriwijaya.
5. Orang-orang yang menyayangiku.

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "**Sintesis Trimetalik Katalis Fe-Zn-Mo/MgO-Nano-HZSM-5 untuk Produksi Biofuel dari Minyak Biji Karet Menggunakan Proses *Hydrocracking***" tepat pada waktunya. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, para sahabat, serta seluruh pengikutnya yang setia hingga akhir zaman. Skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains bidang studi Kimia di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.

Proses penulisan skripsi ini tentunya tidak terlepas dari berbagai rintangan, hambatan, dan cobaan. Atas bantuan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung, akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Untuk itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Hermansyah, Ph. D. selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya
2. Ibu Prof. Dr. Muharni, M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si. selaku sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Prof. Dr. Hasanudin, M.Si. selaku Dosen Pembimbing akademik dan tugas akhir yang telah bersedia meluangkan waktu, pikiran, tenaga, dan nasihat dalam membimbing serta mengarahkan penulis dalam proses penyelesaian skripsi.
5. Bapak Dr. Muhammad Al-Muttaqii, M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah mengajarkan serta memberikan wawasan baru kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan baik.
6. Ibu Dr. Desnelli, M.Si., Ibu Dr. Ferlinahayati, M.Si. dan Ibu Prof. Dr. Elfita, M.Si. sebagai dosen penguji pada sading sarjana dan dosen pembahas pada seminar penelitian penulis yang telah banyak membantu memudahkan dalam proses penulisan skripsi.
7. Seluruh Dosen Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu, mendidik dan membimbing selama masa kuliah.

8. Mbak Novi dan Kak Chosiin selaku admin jurusan yang sudah banyak membantu dan memberi penjelasan informasi kepada penulis sehingga tugas akhir dapat diselesaikan sebagaimana mestinya.
9. Seluruh Analis jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu dan bimbingan selama masa kuliah.
10. Kedua orang tuaku tersayang, Bapak Rusnata dan Ibu Sumiah, atas segala doa dan dukungannya penulis ucapkan terima kasih. Gadis kecilmu ini sedang berproses Mak Pak, tolong jangan pergi dulu, tunggu ia sukses, sebentar lagi.
11. Kakak perempuanku Isnaina, penulis ucapkan terima kasih karena telah turut serta mendukung dan membantu segala macam kesulitan yang penulis alami, dan yang menjadi penghibur, Ajju. Penulis berharap agar kalian selalu sehat, jangan sakit-sakit ya!.
12. Adik kecilku Hasyim Wiranata,. terima kasih selalu menjadi penyemangat serta selalu memberikan dukungan kepada penulis. Cepatlah tumbuh jadi pemuda yang bertanggung jawab, berbakti dan membanggakan Mak Bapak dek.
13. Keluarga besar yang selalu memberikan dukungan, doa dan bantuan kepada penulis, terima kasih banyak.
14. TA Kf Pak Hasan Squad (Betty, Sera, Hani, Mhika, Rahmah, dan Eja) terima kasih banyak atas segala kebersamaan, pengalaman dan bantuannya dalam memberikan arahan serta informasi dalam pengerjaan skripsi ini. Seru berteman dengan kalian. Sukses selalu buat kalian dimanapun kalian berada.
15. Perborisan *mama je papa* (Mhika, Rahmah, dan Eja) untuk canda tawa, cerita, dan momen bahagia yang tercipta di tangan drama perskripsian ini penulis ucapkan terima kasih banyak. Mari terus berjuang sampai akhir, mama je papa ditunggu undangannya ya!.
16. Tetanggaku, Gang Buntu Geng (Sekar, Mahar, Aul, dan Aria) yang selalu menghibur dan menjadi tempat yang nyaman untuk penulis berkeluh kesah. Terima kasih banyak atas segalanya. Penulis berharap semoga selalu dilancarkan segala urusannya dan selalu menjadi yang terdepan.
17. Grup Api-Api (Aisha, Ilyas, Novia, dan Rahmah) selaku rekan penelitian di BRIN. Terima kasih atas segala bantuannya, semoga suatu saat bisa bertemu lagi dengan keadaan yang paling baik. Sukses selalu teman-temanku.

18. Grup Kujuk Unsri (Bunga, Mahar, dan Sekar) terima kasih telah memilih Unsri. Terima kasih telah menemani penulis dari masa SMA hingga masa perkuliahan ini. Kangenn, ayo nongki di Merinem, ajak yang lain juga ya!.
19. Adik-adik NIM 037ku (Husnul'21, Diva'22, dan Poppy'23) semangat kuliahnya, semoga Allah memudahkan segala sesuatunya. Semoga kelak kita semua jadi orang sukses. Sampai jumpa lagi ya.
20. Teman-teman seperjuangaku, Elpera, Tiara Unti, Errinda, Nana, kodrat, dan teman kimia 2020 lainnya yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terima kasih telah kebersamai dan banyak memberikan dukungan kepada penulis.
21. Lepy, si laptopku yang paling antik, terimakasih sudah bertahan dan kebersamai penulis dari masa SMA sampai masa akhir penulisan skripsi ini.
22. Kepada semua orang yang telah terlibat membantu secara langsung maupun tidak langsung sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
23. Terakhir untuk diri ini, terima kasih sudah bertahan, terima kasih sudah kuat, terima kasih untuk memilih berjuang daripada menyerah. Untuk segala rasa sakit, takut dan juga semua kekhawatirannya, semoga cepat pulih, ya!. Ikhtiyaaa you did great job!.

Segala macam bentuk bantuan, masukan dan motivasi yang telah diberikan kepada penulis semoga menjadi amal shaleh dan mendapatkan balasan baik yang setimpal dari Allah SWT. Dengan kerendahan hati, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dan kesalahan, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua serta pengembangan ilmu kimia di masa yang akan datang.

Indralaya, 26 Maret 2024

Penulis

SUMMARY

SYNTHESIS OF Fe-Zn-Mo/MgO-Nano-HZSM-5 TRIMETALLIC CATALYSIS FOR BIOFUEL PRODUCTION FROM RUBBER SEED OIL USING HYDROCRACKING PROCESSES

Ikhtiya Fauziah: supervised by Prof. Dr. Hasanudin, M.Si and Dr. Muhammad Al-Muttaqii, M.T.

Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University

xi+76 Pages, 6 Tables, 13 Figures, 7 Attachments

This research aims to synthesize Fe-Zn-Mo/MgO-Nano-HZSM-5 catalyst which is used as catalyst for hydrocracking of rubber seed oil into biofuel. The preparation of Fe-Zn-Mo/MgO-Nano-HZSM-5 catalyst was carried out using wet impregnation method with the ultrasonic wave. The synthesized Fe-Zn-Mo/MgO-Nano-HZSM-5 catalyst has 5% metal loading and metal ratio of 1:1:1 and 1:2:1, which are mesoporous particles with diameter of 7 nm. The best catalyst synthesized is Fe-Zn-Mo/MgO-Nano-HZSM-5 1:1:1 ratio 5% which has the largest surface area of 163.2088 m²/gr. Fe-Zn-Mo/MgO-Nano-HZSM-5 1:1:1 catalyst 5% produces the highest conversion of 85.01% with a percentage yield of 2.01% gasoline, 17.68% kerosene, and 11.53% gasoil at 350 °C reaction conditions. Increasing the reaction temperature causes the yield of gasoline, kerosene and gasoil to increase. Increasing temperature can increase cracking activity so that it can help break long hydrocarbon chain molecules into shorter molecular chains. 350 °C produces biofuels with the most hydrocarbons consisting of alkanes (27.25%), cycloalkanes (2.22%), alkenes (1.51%), aromatic compounds (1.51%), and PAHs (9.93%).

Keywords: Trimethallic catalyst, Hydrocracking method, Biofuel, Rubber seed oil

Citation: 69 (2010-2023)

RINGKASAN

SINTESIS TRIMETALIK KATALIS Fe-Zn-Mo/MgO-Nano-HZSM-5 UNTUK PRODUKSI BIOFUEL DARI MINYAK BIJI KARET MENGUNAKAN PROSES *HYDROCRACKING*

Ikhtiya Fauziah: dibimbing oleh Prof. Dr. Hasanudin, M.Si dan Dr. Muhammad Al-Muttaqii, M.T

Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya
xi+76 Halaman, 6 Tabel, 13 Gambar, 7 Lampiran

Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis katalis Fe-Zn-Mo/MgO-Nano-HZSM-5 yang digunakan sebagai katalisator untuk proses *hydrocracking* minyak biji karet menjadi biofuel. Proses pembuatan katalis Fe-Zn-Mo/MgO-Nano-HZSM-5 dilakukan menggunakan metode impregnasi basah dengan bantuan gelombang ultrasonik. Katalis Fe-Zn-Mo/MgO-Nano-HZSM-5 yang telah disintesis memiliki loading logam 5% dan rasio logam 1:1:1 dan 1:2:1, yang merupakan partikel mesopori yang memiliki diameter sebesar 7 nm. Katalis terbaik yang berhasil disintesis adalah Fe-Zn-Mo/MgO-Nano-HZSM-5 rasio 1:1:1 5% yang memiliki luas permukaan paling besar sebesar 163.2088 m²/gr. Katalis Fe-Zn-Mo/MgO-Nano-HZSM-5 1:1:1 5% menghasilkan konversi tertinggi sebesar 85,01% dengan persen yield gasoline sebesar 2,01%, kerosene 17,68%, dan gasoil 11,53% pada kondisi reaksi suhu 350°C. Meningkatnya temperatur reaksi menyebabkan yield dari gasoline, kerosene dan gasoil semakin meningkat. Semakin meningkatnya suhu dapat meningkatkan aktivitas *cracking* sehingga dapat membantu memutuskan molekul rantai hidrokarbon yang panjang menjadi rantai molekul yang lebih pendek. Suhu 350°C menghasilkan biofuel dengan hidrokarbon terbanyak yang terdiri dari alkana (27,25%), sikloalkana (2,22%), alkena (1,51%), senyawa aromatik (1,51%), dan PAH (9,93%).

Kata Kunci : Trimetalik katalis, Metode *Hydrocracking*, Biofuel, Minyak Karet

Sitasi : 69 (2010-2023)

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
SUMMARY.....	x
RINGKASAN	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Minyak Karet.....	5
2.2 Biofuel.....	6
2.3 Katalis.....	6
2.3.1 Magnesium Oksida	6
2.3.2 Nano-HZSM-5	7
2.3.3 Logam Fe-Zn-Mo.....	8
2.4 Metode Sonikasi.....	9
2.5 Hydrocracking.....	9
2.6 Analisa Uji Kualitas	10
2.6.1 Brunauer Emmett Teller (BET).....	10
2.6.2 X-Ray Diffraction (XRD)	10

2.6.3 Scanning Electron Microscope-Energy Dispersion X-Ray Spectroscopy (SEM-EDX).....	11
2.6.4 Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS).....	11
2.7 Studi Penelitian Terdahulu	11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	13
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	13
3.2 Alat dan Bahan.....	13
3.2.1 Alat.....	13
3.2.2 Bahan	14
3.3 Prosedur Penelitian.....	14
3.3.1 Sintesis Support MgO-Nano HZSM-5.....	14
3.3.2 Impregnasi Logam Fe-Zn-Mo/ MgO-Nano HZSM 5	14
3.3.3 Karakterisasi Katalis	14
3.3.4 Preparasi Minyak.....	15
3.3.5 <i>Hydrocracking</i> Minyak Biji Karet	16
3.3.6 Analisa Hasil Produk.....	16
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	17
4.1 Karakterisasi Katalis Fe-Zn-Mo/MgO-Nano-HZSM-5 dengan XRD..	17
4.2 Karakterisasi Katalis Fe-Zn-Mo/MgO-Nano-HZSM-5 dengan BET...	19
4.3 Karakterisasi Katalis Fe-Zn-Mo/MgO-Nano-HZSM-5 dengan SEM-EDX.....	20
4.4 Hasil Analisa Produk Biofuel dengan GC-MS	22
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	33
5.1 Kesimpulan.....	33
5.2 Saran.....	33
DAFTAR PUSTAKA	34
LAMPIRAN.....	43
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	76

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Tabel Penelitian Terdahulu.....	12
Tabel 2. Hasil analisa BET Katalis Fe-Zn-Mo/MgO-Nano-HZSM-5.....	20
Tabel 3. Komposisi Senyawa dalam bahan baku minyak biji karet sebelum proses <i>hydrocracking</i>	23
Tabel 4. Komposisi senyawa pada setiap katalis.....	30
Tabel 5. Konversi biofuel hasil <i>hydrocracking</i>	31
Tabel 6. Komposisi gasoline, kerosene, dan gasoil menggunakan katalis Fe-Zn-Mo/MgO-Nano-HZSM-5.....	32

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Biji Karet.....	5
Gambar 2. Struktur HZSM-5 (Catalystzeolit.com, 2024)	7
Gambar 3. Rangkaian Peralatan Proses <i>Hydrocracking</i>	13
Gambar 4. Hasil analisa XRD (a) MgO-Nano-HZSM-5 (b) Fe-Zn-Mo/MgO-Nano-HZSM-5 1:1:1 5%, (c) Fe-Zn-Mo/MgO-Nano-HZSM-5 1:2:1 5%	18
Gambar 5. Jenis isoterm adsorpsi pada katalis Fe-Zn-Mo/MgO-Nano-HZSM-5 (a) 1:1:1 5%, (b) 1:2:1 5%	19
Gambar 6. Morfologi katalis Fe-Zn-Mo/MgO-Nano-HZSM-5 hasil analisa SEM (a) 1:1:1 5%, (b) 1:2:1 5%	21
Gambar 7. Hasil analisa komposisi menggunakan EDX pada katalis Fe-Zn-Mo/MgO-Nano-HZSM-5 (a) 1:1:1 5%, (b) 1:2:1 5%	22
Gambar 8. Kromatogram biofuel katalis Fe-Zn-Mo/MgO-Nano-HZSM-5 pda suhu 250°C (a) 1:1:1 5%, (b) 1:2:1 5%	25
Gambar 9. Produk biofuel hasil hydrocracking pada suhu 250°C.....	26
Gambar 10. Kromatogram biofuel katalis Fe-Zn-Mo/MgO-Nano-HZSM-5 pda suhu 300°C (a) 1:1:1 5%, (b) 1:2:1 5%	27
Gambar 11. Produk biofuel hasil hydrocracking pada suhu 300°C.....	28
Gambar 12. Kromatogram biofuel katalis Fe-Zn-Mo/MgO-Nano-HZSM-5 pda suhu 350°C (a) 1:1:1 5%, (b) 1:2:1 5%	29
Gambar 13. Produk biofuel hasil hydrocracking pada suhu 350°C.....	30

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Prosedur penelitian.....	44
Lampiran 2. Perhitungan	46
Lampiran 3. Data Karakterisasi XRD	52
Lampiran 4. Data Karakterisasi BET	53
Lampiran 5. Data Karakterisasi SEM-EDX	55
Lampiran 6. Hasil analisa GC-MS	56
Lampiran 7. Dokumentasi Penelitian	74

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bahan bakar fosil adalah sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui, mengandung hidrokarbon seperti batubara, minyak bumi, dan gas alam (Setiawan et al., 2019). Ketergantungan yang berlebihan pada bahan bakar fosil mengakibatkan masalah energi yang signifikan, serta masalah lingkungan yang serius seperti emisi gas rumah kaca terutama karbon dioksida, yang dapat menyebabkan pemanasan global, pengasaman laut, dan ancaman kesehatan bagi manusia (Orege et al., 2022). Berdasarkan data dari Kementerian ESDM RI, konsumsi bahan bakar fosil di negara Indonesia terus meningkat hampir mencapai 95%. Konsumsi bahan bakar fosil di Indonesia yang terus meningkat tidak sejalan dengan peningkatan kapasitas produksi dan ketersediaan sumber daya (Wiratmaja & Elisa, 2020). Dari sudut pandang ekonomi, ketergantungan pada bahan bakar fosil akan memengaruhi jumlah subsidi pemerintah dan biaya produksi barang yang menggunakan komponen minyak fosil. Oleh karena itu, untuk mengantisipasi harga minyak yang tidak stabil serta sumber minyak bumi yang makin lama makin menipis, perlu dilakukan pengembangan sumber energi alternatif untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil (Kurniasih, 2020).

Berdasarkan penelitian Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Indonesia memiliki lebih dari 60 jenis tanaman yang memiliki potensi sebagai sumber energi alternatif (Kurniasih, 2020). Untuk pengoptimalan sumber energi alternatif tersebut, pemerintah mengeluarkan Instruksi Presiden (Inpres) No.1/2006 tentang Penyediaan dan Penggunaan Biofuel sebagai Energi Alternatif, dengan cara mengganti penggunaan bahan bakar fosil menjadi bahan bakar nabati (BBN) (Kurniasih, 2020). Menurut Daimary et al. (2022) biofuel yang merupakan biodiesel dan bioetanol, adalah sumber bahan bakar yang potensial dan bersifat terbarukan karena dapat mengatasi kebutuhan energi yang meningkat dan meminimalkan ketergantungan pada penggunaan cadangan minyak bumi. Biofuel dikembangkan sebagai pengganti bahan bakar fosil karena sifatnya yang tidak beracun, bebas sulfur, dan dapat terurai secara hayati, serta berasal dari sumber terbarukan (Malode et al., 2021).

Indonesia merupakan salah satu negara yang mempunyai area perkebunan karet yang luas (Astuti et al, 2019). Ketersediaan benih karet di Indonesia diperkirakan sekitar 4-6 juta ton per tahun. Rendemen hasil minyak yang diekstraksi dari biji karet sekitar 40-50%, dengan demikian Indonesia dapat menghasilkan minyak biji karet sekitar 2 juta ton tiap tahun, yang dapat dijadikan sebagai bahan baku pembuatan biofuel (Ulfah et al, 2018). Minyak biji karet memiliki asam lemak yang tinggi, oleh karena itu pembuatan biofuel dilakukan dengan dua tahapan reaksi berupa esterifikasi untuk menurunkan kandungan asam lemak hingga $\leq 2\%$ dan *hydrocracking* untuk mengonversi minyak biji karet menjadi biofuel (Yuliani et al., 2010). Penelitian ini menggunakan metode *hydrocracking* untuk konversi minyak biji karet menjadi biofuel. *Hydrocracking* adalah pemutusan ikatan karbon-karbon pada molekul besar untuk menghasilkan produk yang diinginkan, proses ini akan menyebabkan penurunan besar pada titik didih (Kusniawati et al, 2021). Kelebihan proses *hydrocracking* yaitu dapat menghasilkan konversi, yield serta kualitas alkana yang mempunyai bilangan setana yang tinggi (Wafi & Budianto, 2022).

Selain pemilihan bahan baku dan metode yang tepat, katalis yang digunakan untuk mengubah minyak menjadi biofuel juga memainkan peran penting dalam kelayakan ekonomi dan hasil yang tinggi dari keseluruhan proses (Shomal et al., 2021) Menurut Mirzayantii et al, (2022), katalis heterogen merupakan jalan alternatif yang baik untuk menggantikan katalis homogen dalam konversi minyak menjadi biofuel. Katalis heterogen memiliki banyak keunggulan dibandingkan katalis homogen, diantaranya mudah dalam pemisahan dan pemurnian produk, bersifat tidak korosif, tidak toksik dan dapat didaur ulang (Mirzayantii et al, 2022). Katalis heterogen juga stabil pada suhu tinggi dan mempunyai harga yang murah karena dapat digunakan secara berulang-ulang serta ramah lingkungan (Rahardja et al., 2019). Saat ini, katalis heterogen bimetalik dan trimetalik telah diuji untuk berbagai aplikasi dalam produksi biodiesel serta digunakan untuk perbaikan lingkungan. Dimana katalis tersebut memiliki sifat yang dikontrol oleh komposisi logam, struktur morfo, dan metode pembuatannya (Dwivedi et al., 2022). Logam-logam yang sering digunakan sebagai katalis heterogen adalah jenis logam transisi yang memiliki orbital d belum penuh sehingga dapat menyediakan situs asam lewis yang mampu mengadsorpsi reaktan pada permukaan katalis (Trisunaryanti, 2018).

Penelitian ini menggunakan logam transisi Fe, Zn, dan Mo untuk meningkatkan luas permukaan katalis sehingga situs aktif katalis juga meningkat. Penggunaan Fe pada katalis dapat membantu menghasilkan senyawa n-parafin dan meningkatkan produksi bio-gasoil (Al-Muttaqii et al., 2019b), HZSM-5 yang dipromosikan Fe menghasilkan jumlah benzena yang banyak dan menunjukkan stabilitas katalis yang tinggi (Abdelsayed et al., 2015). Menurut Mirzayantii et al (2017), promotor Zn berfungsi untuk mendorong transfer oksigen selama peningkatan katalitik proses konversi. Luo et al., (2022) juga menyimpulkan prekursor katalis yang larut dalam minyak berbasis Mo dianggap sebagai kandidat favorit karena aktivitas hidrogenasi katalitiknya yang tinggi. Logam-logam tersebut diharapkan terdistribusi secara merata pada support katalis untuk menambah situs asam katalis. Keasaman katalis merupakan aspek penting karena berdampak pada aktivitas katalitik dari proses *hydrocracking*. Jumlah keasaman yang lebih tinggi akan menghasilkan situs aktif yang lebih banyak serta kapasitas adsorpsi reaktannya akan lebih besar (Hasanudin et al., 2022).

Katalis heterogen yang digunakan pada penelitian ini adalah trilogram Fe, Zn dan Mo yang diimpregnasikan pada zeolit dan oksida logam. Trilogram tersebut adalah logam transisi yang bisa digunakan secara langsung menjadi katalis, tetapi memiliki kelemahan, yaitu luas permukaan yang relatif kecil dan sering terjadi penggumpalan selama proses katalitik (Novia et al., 2020). Untuk mengurangi kelemahan tersebut, dilakukan dengan mengembangkannya pada bahan pengembang seperti HZSM-5. HZSM-5 adalah bentuk H dari ZSM-5 dan telah banyak digunakan dalam proses kimia industri dengan katalis asam (Al-dughaiter & Lasa, 2013). HZSM-5 memiliki situs asam kuat, luas permukaan yang tinggi, dan memiliki diameter pori serta selektivitas bentuk yang sesuai (Mirzayantii et al, 2017). Untuk meningkatkan hasil konversi biofuel dari minyak karet melalui *hydrocracking* katalitik, HZSM-5 harus dimodifikasi. Nano-HZSM-5 dengan ukuran kecil menunjukkan jalur difusi pendek terhadap zeolit mikron, yang memungkinkan molekul dengan mudah berdifusi masuk atau keluar dari rongga zeolit menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dan laju penonaktifan yang lebih rendah untuk proses katalitik (He et al., 2018).

Berdasarkan pemaparan tersebut, pada penelitian ini dilakukan sintesis katalis trilogam dengan menggunakan nano HZSM-5 dan logam oksida sebagai support atau bahan pengemban menggunakan metode impregnasi basah dan bantuan gelombang ultrasonik. Dalam konteks ini, trilogam yang digunakan untuk *hydrocracking* minyak karet menjadi biofuel adalah logam transisi Fe, Zn dan Mo, yang dinilai menggunakan analisa XRD, BET, serta SEM-EDX dan produk *hydrocracking* dianalisa menggunakan GC-MS.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dipelajari pada penelitian ini berupa:

1. Bagaimana mensintesis dan mengetahui sifat karakteristik katalis Fe-Zn-Mo/MgO-Nano-HZSM-5?
2. Bagaimana pengaruh variasi logam yang ditambahkan pada katalis Fe-Zn-Mo/MgO-Nano-HZSM-5 terhadap produk biofuel yang dihasilkan dari minyak biji karet menggunakan proses *hydrocracking*?
3. Bagaimana pengaruh variasi suhu terhadap produk biofuel yang dihasilkan dari minyak biji karet melalui proses *hydrocracking* menggunakan katalis Fe-Zn-Mo/MgO-Nano-HZSM-5?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mensintesis dan mengkarakterisasi katalis Fe-Zn-Mo/MgO-Nano HZSM-5.
2. Menentukan pengaruh variasi logam yang ditambahkan pada katalis Fe-Zn-Mo/MgO-Nano-HZSM-5 terhadap produk biofuel yang dihasilkan dari minyak biji karet menggunakan proses *hydrocracking*
3. Menentukan pengaruh variasi suhu terhadap produk biofuel yang dihasilkan dari minyak biji karet melalui proses *hydrocracking* menggunakan katalis Fe-Zn-Mo/MgO-Nano-HZSM-5.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang lebih banyak mengenai pemanfaatan minyak karet sebagai bahan baku pembuatan biofuel dan dapat bermanfaat untuk mengembangkan pengetahuan dan pemikiran tentang produksi biofuel dari minyak biji karet dengan katalis Fe-Zn-Mo/MgO-Nano-HZSM-5 menggunakan proses *hydrocracking*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelsayed, V., Shekhawat, D., & Smith, M. W. (2015). Effect of Fe and Zn promoters on Mo/HZSM-5 catalyst for methane dehydroaromatization. *Fuel*, *139*, 401–410. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.08.064>
- Aderibigbe, F. A., Mustapha, S. I., Adewoye, T. L., Mohammed, I. A., Gbadegesin, A. B., Niyi, F. E., Olowu, O. I., Soretire, A. G., & Saka, H. B. (2020). Qualitative role of heterogeneous catalysts in biodiesel production from *Jatropha curcas* oil. *Biofuel Research Journal*, *7*(2), 1159–1169. <https://doi.org/10.18331/BRJ2020.7.2.4>
- Al-dughaiter, A. S., & Lasa, H. De. (2013). HZSM-5 Zeolites with Different SiO₂/Al₂O₃ Ratios. Characterization and NH₃ Desorption Kinetics. *Inorg Chem*, *4*(1), 103–131.
- Al-Muttaqii, M., Kurniawansyah, F., Prajitno, D. H., & Roesyadi, A. (2019a). Bio-kerosene and bio-gasoil from coconut oils via hydrocracking process over Ni-Fe/HZSM-5 catalyst. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis*, *14*(2), 309–319. <https://doi.org/10.9767/bcrec.14.2.2669.309-319>
- Al-Muttaqii, M., Kurniawansyah, F., Prajitno, D. H., & Roesyadi, A. (2019b). Hydrocracking of coconut oil over Ni-Fe/HZSM-5 catalyst to produce hydrocarbon biofuel. *Indonesian Journal of Chemistry*, *19*(2), 319–327. <https://doi.org/10.22146/ijc.33590>
- Astuti, D. H., Sani, S., Yuandana, Y. G., & Karlin, K. (2018). Kajian Karakteristik Biochar Dari Batang Tembakau, Batang Pepaya Dan Jerami Padi Dengan Proses Pirolisis. *Jurnal Teknik Kimia*, *12*(2), 41–46. <https://doi.org/10.33005/tekkim.v12i2.1083>
- Astuti, N. K. D., Simpen, I. N., & Suarsa, I. W. (2019). Transesterifikasi Minyak Biji Karet (*Hevea brasiliensis*) Menggunakan Katalis Heterogen Cangkang Kepiting Limbah Seafood Termodifikasi K₂O. *Jurnal Kimia*, *13*(1), 1–8. <https://doi.org/10.24843/jchem.2019.v13.i01.p01>

- Badriyah, L., & Falah, I. I. (2017). Gasoline Production from Coconut Oil Using The Ni-MCM-41 and Co/Ni-MCM-41 Catalyst. *JKPK (Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia)*, 2(1), 22. <https://doi.org/10.20961/jkpk.v2i1.8516>
- Badriyah, L., Kadarwati, S., & Harjito. (2012). Pengaruh Temperatur pada Reaksi Hidrodenitrogenasi Piridin dengan Katalis Ni-Mo/Zeolit Alam. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 1(1), 61–67.
- Budiman, A., Kusumaningtyas, R., Pradana, Y., Lestari, N., & Dewi. (2018). *Biodiesel: Bahan Baku, Proses, dan Teknologi*. Gadjah Mada University Press: Yogyakarta.
- Cheng, Y. T., Jae, J., Shi, J., Fan, W., & Huber, G. W. (2012). Production of renewable aromatic compounds by catalytic fast pyrolysis of lignocellulosic biomass with bifunctional Ga/ZSM-5 catalysts. *Angewandte Chemie - International Edition*, 51(6), 1387–1390. <https://doi.org/10.1002/anie.201107390>
- Daimary, N., Boruah, P., Eldiehy, K. S. H., Pegu, T., Bardhan, P., Bora, U., Mandal, M., & Deka, D. (2022). Musa acuminata peel: A bioresource for bio-oil and by-product utilization as a sustainable source of renewable green catalyst for biodiesel production. *Renewable Energy*, 182, 450–462.
- Darwin. (2020). *Bioenergi dan Biofuel, Teori dan Terapan*. Syiah Kuala University Press: Banda Aceh.
- Denardin, F., & Perez-Lopez, O. W. (2019). Tuning the acidity and reducibility of Fe/ZSM-5 catalysts for methane dehydroaromatization. *Fuel*, 236(September 2018), 1293–1300. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.09.128>
- Du, L., Li, Z., Ding, S., Chen, C., Qu, S., Yi, W., Lu, J., & Ding, J. (2019). Synthesis and characterization of carbon-based MgO catalysts for biodiesel production from castor oil. *Fuel*, 258(September), 116122. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116122>
- Dwivedi, G., Jain, S., Shukla, A. K., Verma, P., Verma, T. N., & Saini, G. (2022).

Impact analysis of biodiesel production parameters for different catalyst. *Environment, Development and Sustainability*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-02073-w>

Efendi, R., Aulia, H., Faiz, N., & Firdaus, E. R. (2018). Pembuatan Biodiesel Minyak Jelantah Menggunakan Metode Esterifikasi-Transesterifikasi Berdasarkan Jumlah Pemakaian Minyak Jelantah Biodiesel Production From Waste Cooking Oil By Esterification-Transesterification Methods Based on Amount of Used Cooking Oi. *Industrial Research*, 7182, 2,4.

Evilina, D. (2010). *Ensiklopedia dan Kimia Unsur*. ALPRIN: Semarang.

Fahlepy, M. R., Tiwow, V. A., & Subaer. (2018). Characterization of magnetite (Fe₃O₄) minerals from natural iron sand of Bonto Kanang Village Takalar for ink powder (toner) application. *Journal of Physics: Conference Series*, 997(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/997/1/012036>

Febriyanti, E., Roesyadi, A., & Prajitno, D. H. (2020). Konversi Minyak Biji Nyamplung (*Callophyllum Inophyllum* Linn). *Berkala Sainstek*, 3(3), 89–95.

Fernandes, M., RB Singh, K., Sarkar, T., Singh, P., & Pratap Singh, R. (2020). Recent Applications of Magnesium Oxide (MgO) Nanoparticles in various domains. *Advanced Materials Letters*, 11(8), 1–10. <https://doi.org/10.5185/amlett.2020.081543>

Hakim, A., & Mukhtadi, E. (2018). Pembuatan Minyak Biji Karet Dari Biji Karet Dengan Menggunakan Metode Screw Pressing: Analisis Produk Penghitungan Rendemen, Penentuan Kadar Air Minyak, Analisa Densitas, Analisa Viskositas, Analisa Angka Asam Dan Analisa Angka Penyabunan. *Metana*, 13(1), 13. <https://doi.org/10.14710/metana.v13i1.9745>

Hamid, A., Prasetyoko, D., Purbaningias, T. E., Rohmah, F., & Febrianad, I. D. (2020). Pengaruh Tahap Kristalisasi pada Sintesis ZSM-5 Mesopori dari Kaolin Alam. *IJCA (Indonesian Journal of Chemical Analysis)*, 3(2), 40–49. <https://doi.org/10.20885/ijca.vol3.iss2.art1>

- Hasanudin, H., Asri, W. R., Said, M., Hidayati, P. T., Purwaningrum, W., Novia, N., & Wijaya, K. (2022). Hydrocracking optimization of palm oil to bio-gasoline and bio-aviation fuels using molybdenum nitride-bentonite catalyst. *RSC Advances*, *12*(26), 16431–16443. <https://doi.org/10.1039/d2ra02438a>
- He, Z., Jiao, Q., Fang, Z., Li, T., Feng, C., Li, H., & Zhao, Y. (2018). Light olefin production from catalytic pyrolysis of waste tires using nano-HZSM-5/ Γ -Al₂O₃ catalysts. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, *129*(September 2017), 66–71. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2017.12.002>
- Husein, S., Wahyuni, E. T., & Mudasir, M. (2019). Synthesis of Tin(II) Oxide (SnO) Nanoparticle by Hydrothermal Method. *JKPK (Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia)*, *4*(3), 145. <https://doi.org/10.20961/jkpk.v4i3.29898>
- Kurniasih, E. (2020). *Merancang Energi Masa Depan dengan Biodiesel*. ANDI: Yogyakarta.
- Kusniawati, E., Anggraini, I. F., Saputra, R., Studi, P., Analisis, T., Migas, L., & Akamigas, P. (2021). Analisis Karakteristik Katalis Pertamina untuk Proses Hydrotreating Kerosin Menjadi Avtur The Analysis of Pertamina Catalyst Characteristics for Kerosene Hydrotreating Process Into Aviation Fuel. *Jurnal Teknik Patra Akademika*, *12*(1), 4–12.
- Luo, H., Sun, J., Deng, W., Li, C., & Du, F. (2022). Preparation of Oil-soluble Fe-Ni sulfide nanoparticles for Slurry-Phase hydrocracking of residue. *Fuel*, *321*(April), 124029. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124029>
- Malode, S. J., Prabhu, K. K., Mascarenhas, R. J., Shetti, N. P., & Aminabhavi, T. M. (2021). Recent advances and viability in biofuel production. *Energy Conversion and Management: X*, *10*(September 2020), 100070. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2020.100070>
- Mirzayanti, Y. W., Prajitno, D. H., & Roesyadi, A. (2017). Catalytic hydrocracking of Kapuk seed oil (Ceiba pentandra) to produce biofuel using Zn-Mo supported HZSM-5 catalyst. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *67*(1). <https://doi.org/10.1088/1755->

1315/67/1/012023

- Mirzayanti, Y. W., Udyani, K., Cahyaningsih, R., & Darmawan, M. P. T. (2022). Konversi Minyak Biji Kapuk Menjadi Biodiesel Menggunakan Katalis CaO/HTC. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 13(2), 417–425. <https://doi.org/10.21776/jrm.v13i2.1045>
- Mukminin, A., Megawati, E., Warsa, I. K., Yuniarti, Y., Umoro, W. A., & Islamiati, D. (2022). Analisis Kandungan Biodiesel Hasil Reaksi Transesterifikasi Minyak Jelantah Berdasarkan Perbedaan Konsentrasi Katalis NaOH Menggunakan GC-MS. *Sang Pencerah: Jurnal Ilmiah Universitas Muhammadiyah Buton*, 8(1), 146–158. <https://doi.org/10.35326/pencerah.v8i1.1897>
- Munnik, P., De Jongh, P. E., & De Jong, K. P. (2015). Recent Developments in the Synthesis of Supported Catalysts. *Chemical Reviews*, 115(14), 6687–6718. <https://doi.org/10.1021/cr500486u>
- Novia, Kachairisma, & Anggraini, L. (2011). Pembuatan Bio-gasoline dari Minyak Jarak Pagar Melalui Proses Hydrocracking. *Jurnal Teknik Kimia*, 17(5), 50–58.
- Nugrahaningtyas, K. D., Zalfa, S. N., Rahmawati, F., Nurcahyo, I. F., & Hidayat, Y. (2023). Studi Awal Kestabilan Struktur Katalis Logam Transisi Periode Pertama Berbasis H₂sm-5. *Jurnal Rekayasa Proses*, 17, 83–91. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.76449>
- Orege, J. I., Oderinde, O., Kifle, G. A., Ibikunle, A. A., Raheem, S. A., Ejeromedoghene, O., Okeke, E. S., Olukowi, O. M., Orege, O. B., Fagbohun, E. O., Ogundipe, T. O., Avor, E. P., Ajayi, O. O., & Daramola, M. O. (2022). Recent advances in heterogeneous catalysis for green biodiesel production by transesterification. In *Energy Conversion and Management* (Vol. 258, Issue December 2021). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115406>
- Pahlepi, R., Sembiring, S., & Pandiangan, K. D. (2013). Pengaruh Penambahan

- MgO Pada SiO₂ Berbasis Silika Sekam Padi Terhadap Karakteristik Komposit MgO-SiO₂ Dan Kesesuaiannya Sebagai Bahan Pendukung Katalis. *JURNAL Teori Dan Aplikasi Fisika*, 01(02), 161–169.
- Permana, E., Cristine, I., Murti, S. D. S., & Yanti, F. M. (2020). Preparasi dan Karakterisasi Katalis Cu/ZnO dengan Support Karbon Aktif menggunakan Aktivator H₃PO₄ dan ZnCl₂. *Jurnal Teknologi*, 13(1), 6–15.
- Precelia, S. C., Subagyo, R. D. J. N., & Saleh, C. (2018). Sintesis Silika Mesopori Tersulfonasi dari Abu Daun Bambu Petung (*Dendrocalamus asper*). *Jurnal Atomik*, 03(1), 61–67.
- Rifqi, K., Kadarwati, S., & Wahyuni, S. (2012). Preparasi, Karakterisasi dan Uji Aktivitas Katalis Ni-Mo/Zeolit Alam dalam Proses Catalytic Cracking Jelantah Menjadi Biodiesel. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 1(2252).
- Sani, R. A. (2019). *Karakterisasi Material*. Bumi Aksara: Jakarta Timur.
- Sarwono, R., & Tursiloadi, S. (2015). Morfologi dan Aktifitas Katalis Logam Cu dengan Penyangga Mono- dan Bimetalik Oksida untuk Konversi Gliserol menjadi Propandiol. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 16(2), 76–82.
- Savitri, Nugraha, A. S., & Aziz, I. (2016). Pembuatan Katalis Asam (Ni/γ-Al₂O₃) dan Katalis Basa (Mg/γ-Al₂O₃) untuk Aplikasi Pembuatan Biodiesel dari Bahan Baku Minyak Jelantah. *Jurnal Kimia VALENSI: Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Ilmu Kimi*, 2(1), 1–10.
- Setiawan, A., Tua, D. P., & Husin, M. K. E. (2019). Pengaruh Konsumsi Bahan Bakar Fosil Terhadap Produk Domestik Bruto Indonesia dan Hubungan Timbal Balik diantara Keduanya. *Jurnal Teknologi Mineral Dan Batubara*, 15(03), 213–223. <https://doi.org/10.30556/jtmb.Vol15.No3.2019.931>
- Setyono, G., Kholili, N., & Khusna, D. (2022). Implementasi Minyak Wijen Sebagai Bahan Bakar Alternatif Untuk Kendaraan Matic Terhadap Pelaku Bengkel Di Sambi Kerep Surabaya. *Pengabdian Masyarakat Dan Inovasi Teknologi (DIMASTEK)*, 1(02), 35–39.

<https://doi.org/10.38156/dimastek.v1i02.30>

Shaikh, I. R., Shaikh, R. A., Shaikh, A. A., War, J. A., Hangirgekar, S. P., Shaikh, A. L., Shaikh, P. R., & Shaikh, R. R. (2015). H-ZSM-5 Zeolite Synthesis by Sourcing Silica from the Wheat Husk Ash: Characterization and Application as a Versatile Heterogeneous Catalyst in Organic Transformations including Some Multicomponent Reactions. *Journal of Catalysts*, 2015, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2015/805714>

Shomal, R., Ogubadejo, B., Shittu, T., Mahmoud, E., Du, W., & Al-zuhair, S. (2021). Advances in enzyme and ionic liquid immobilization for enhanced in mofs for biodiesel production. *Molecules*, 26(12). <https://doi.org/10.3390/molecules26123512>

Supriatna, J. (2023). *Biologi Terapan untuk Masa Depan dan Kemajuan Bangsa*. Yayasan Pustaka Obor Indonesia: Jakarta.

Surani, S., Pujiasmoro, C., & Kadarohman, A. (2023). Determination of Optimum Programmed Temperature for Fatty Acid Analysis of Chlorella Microalgae Extract Using GCMS Instrument. *Unesa Journal of Chemistry*, 12(1), 20–25. <https://doi.org/10.26740/ujc.v12n1.p20-25>

Syamsul, E. S., Amanda, N. A., & Lestari, D. (2020). Perbandingan Ekstrak Lamur *Aquilaria malaccensis* dengan Metode Maserasi dan Refluks. *Jurnal Riset Kefarmasian Indonesia*, 2(2), 97–104. <https://doi.org/10.33759/jrki.v2i2.85>

Syamsuri, Basuki, M., Budianto, A., Lukmandono, Yulfiah, Widjajanti, W. W., Yuliawati, E., Mirzayanti, Y. W., Hendriyono, R. E., Rachim, A. M., Hidayat, M. J., Rachman, A., & Suparjo. (2020). *Pengembangan Teknologi Terapan Berwawasan Lingkungan: Menjawab Tantangan Industri*. Ma Chung Press.

Syamsuri, M. M. F., Sutarno, & Suyanta. (2017). Pengaruh Waktu Sonikasi Selama Sintesis terhadap Kristalinitas MCM-41 berbasis Silikat. *CAKRA KIMIA (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*, 5, 58–66. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/cakra/index>

- Trisunaryanti, W. (2018). *Material Katalis dan Karakteristiknya*. Gadjah Mada University Press: Yogyakarta.
- Ulfah, M., Mulyazmi, M., Burmawi, B., Praputri, E., Sundari, E., & Firdaus, F. (2018). Biodiesel production methods of rubber seed oil: A review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 334(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/334/1/012006>
- Vichaphund, S., Aht-ong, D., Sricharoenchaikul, V., & Atong, D. (2014). Catalytic upgrading pyrolysis vapors of Jatropha waste using metal promoted ZSM-5 catalysts: An analytical PY-GC/MS. *Renewable Energy*, 65, 70–77. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.07.016>
- Vichaphund, S., Aht-Ong, D., Sricharoenchaikul, V., & Atong, D. (2015). Production of aromatic compounds from catalytic fast pyrolysis of Jatropha residues using metal/HZSM-5 prepared by ion-exchange and impregnation methods. *Renewable Energy*, 79(1), 28–37. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.10.013>
- Wafi, M., & Budianto, A. (2022). Review Jurnal : Produksi Biofuel dari Palm Oil dengan Berbagai Metode Proses. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 1(4), 368–375. <https://doi.org/10.55123/insologi.v1i4.633>
- Wang, Z., Wang, F., Lu, Y., Xu, M., & Li, Q. (2016). Induction of zinc particles on the morphology and photoluminescent property of globular Zn/ZnO core/shell nanorod heterojunction array architectures. *Journal of Experimental Nanoscience*, 11(5), 383–394. <https://doi.org/10.1080/17458080.2015.1072879>
- Wijaya, K., Hadi, K., Herlina, I., & Kurnia, A. T. (2016). *Nanomaterial: Aplikasinya dalam Pembuatan Biofuel*. Gadjah Mada University Press: Yogyakarta.
- Wildan, A., A., D. I., Hartati, & Widayat, I. (2013). Proses Pengambilan Minyak Dari Limbah Padat Biji Karet Dengan Metode Ekstraksi Berpengaduk. *Momentum*, 9(1), 1–5.

- Wiratmaja, I. G., & Elisa, E. (2020). Kajian Peluang Pemanfaatan Bioetanol Sebagai Bahan Bakar Utama Kendaraan Masa Depan Di Indonesia. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 8(1), 1–8. <https://doi.org/10.23887/jptm.v8i1.27298>
- Yanti Novia, R., Hambali, E., Pari, G., & Suryani, A. (2020). Karakteristik Arang Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit Yang Dimpregnasi Logam Nikel Sebagai Katalis. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 38(3), 129–138. <https://doi.org/10.20886/jpjh.2020.38.3.129-138>
- Yuliani, F., Primasari, M., Rachmaniah, O., & Rachimoellah, D. M. (2010). Pengaruh Katalis Asam (H_2SO_4) dan Suhu Reaksi pada Reaksi Esterifikasi Minyak Biji Karet (*Hevea brasiliensis*) menjadi Biodiesel oleh. *Jurnal Teknik Kimia*, 2.
- Yunira, E. N., Suryani, A., Dadang, D., & Tursiloadi, S. (2021). Identifikasi Karakteristik Pengecilan Ukuran dengan Metode Sonikasi dari Formula Insektisida yang Ditambahkan Surfaktan Berbasis Sawit. *Journal of Science and Applicative Technology*, 5(1), 85. <https://doi.org/10.35472/jsat.v5i1.395>
- Zhao, X., Wei, L., Cheng, S., Huang, Y., Yu, Y., & Julson, J. (2015). Catalytic cracking of camelina oil for hydrocarbon biofuel over ZSM-5-Zn catalyst. *Fuel Processing Technology*, 139, 117–126. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2015.07.033>