

**KARAKTERISASI KATALIS Ni-Mo/HZSM-5 DAN UJI KINERJA PADA
*HYDROCRACKING CRUDE PALM OIL (CPO) MENJADI BIOFUEL***

SKRIPSI

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



Rizky Azahra

08031182126011

JURUSAN KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2025

HALAMAN PENGESAHAN

**KARAKTERISASI KATALIS Ni-Mo/HZSM-5 DAN UJI KINERJA PADA
HYDROCRACKING CRUDE PALM OIL (CPO) MENJADI BIOFUEL**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Sains Bidang
Studi Kimia

Diusulkan Oleh:

RIZKY AZAHRA
08031182126011

Indralaya, 16 Juni 2025

Telah Disetujui Oleh

Dosen Pembimbing I



Dr. Ady Mara, M.Si
NIP. 196404301990031003

Dosen Pembimbing II



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

Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi Rizky Azahra (08031182126011) dengan judul "Karakterisasi Katalis Ni-Mo/HZSM-5 dan Uji Kinerja pada *Hydrocracking Crude Palm Oil* (CPO) Menjadi *Biofuel*". Telah disidangkan dihadapan Tim Penguji Seminar Hasil Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada 12 Juni 2025 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 16 Juni 2025

Ketua :

1. **Dr. Addy Rachmat, M.Si**
NIP. 197409282000121001

()

Anggota :

1. **Dr. Ady Mara, M.Si**
NIP. 196404301990031003
2. **Dr. Muhammad Al-Muttaqii, M.T**
NIP. 199202132019031007
3. **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

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Mahasiswa : Rizky Azahra
NIM : 08031182126011
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 lainnya. 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, 16 Juni 2025

Yang menyatakan,



Rizky Azahra

NIM. 08031182126011

HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama Mahasiswa : Rizky Azahra
NIM : 08031182126011
Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya "Karakterisasi Katalis Ni-Mo/HZSM-5 dan Uji Kinerja pada *Hydrocracking Crude Palm Oil* (CPO) Menjadi *Biofuel*." dengan hak bebas royalti non eksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih, edit/memformatkan, 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, 16 Juni 2025

Yang menyatakan,



Rizky Azahra

NIM. 08031182126011

HALAMAN PERSEMBAHAN

“Everything happens for a reason.”

“Bentuk kesabaran yang paling sulit adalah kemampuan untuk bertahan dalam situasi yang tidak kamu inginkan.”

“It may be that you dislike a thing which is good for you and that you like a thing which is bad for you. Allah knows while you don't know”

(QS. Al-Baqarah : 216)

Dengan rasa syukur yang mendalam, skripsi ini penulis persembahkan untuk :

1. Kakek dan Nenek penulis, yang terus berjuang demi penulis meraih gelar sarjana dengan penuh rasa cinta.
2. Keluarga besar penulis yang selalu hadir dan mendengar segala keluhan kesah penulis serta memberikan semangat agar penulis tidak pantang menyerah.
3. Avga Spica yang tidak pernah habis energi nya untuk menyemangati dan menjadi tumpuan penulis.
4. Dosen Pembimbing (Bapak Dr. Ady Mara, M.Si dan Bapak Dr. Muhammad Al-Muttaqii, M.T).
5. Seluruh dosen jurusan Kimia.
6. Tempat penulis bertumbuh sampai meraih gelar (Universitas Sriwijaya).
7. Diri saya sendiri-yang selalu bertahan.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang senantiasa memberikan kemudahan, kelancaran dan keberkahan bagi penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Karakterisasi Katalis Ni-Mo/HZSM-5 dan Uji Kinerja pada *Hydrocracking Crude Palm Oil* (CPO) Menjadi *Biofuel*” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana Sains bidang studi Kimia Universitas Sriwijaya. Dengan segenap cinta dan kasih, penulis persembahkan ucapan terimakasih untuk:

1. Allah SWT. Yang telah memberikan penulis keberkahan, kelancaran serta keridhaan nya sehingga penulis dapat melewati ini semua dengan penuh ketenangan.
2. Kepada yang tercinta kakek dan nenek sebagai sandaran hidup penulis yang mengusahakan segala cara agar penulis tidak pernah merasa sendirian, memenuhi rasa cinta dalam diri penulis. Terimakasih telah menggantikan posisi orang tua dalam hidup penulis dengan penuh kesabaran, ketegaran dan doa yang mengalir setiap harinya. Tolong hidup lebih lama di dunia.
3. Keluarga besar dengan segala kebesaran hatinya. Ayah, Tante Dini, Om Dueng, Om Roby, Tante Aimi, Bunda, serta Adik-adik penulis, yang selalu menjaga mental penulis agar tetap kuat dan tegar menghadapi sulitnya kehidupan penulis. Terimakasih sudah selalu meng *cross check* kehidupan penulis agar setiap hari nya penulis selalu merasa bahagia.
4. Salah satu Mahasiswa Universitas Indonesia bernama “Avga Spica”. Terimakasih telah menjadi bagian dalam proses perjalanan penulis menyusun skripsi, berkontribusi sebagai rumah tempat pulang penulis dengan segala kesabarannya dan tingkah lucunya sehingga penulis tetap ingin melanjutkan ke *strugglean* skripsi. Teruslah ada dalam kehidupan penulis selama nya.
5. Bapak Prof. Hermansyah, M.Si., Ph.D. selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.
6. Ibu Prof. Dr. Muharni, M. Si. selaku ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.

7. Bapak Pembimbing Universitas Sriwijaya Dr. Ady Mara, M.Si. terimakasih banyak atas bimbingan, arahan, dan motivasi bagi penulis serta selalu mengingatkan penulis untuk selalu berserah diri sebagai hamba-Nya. Terimakasih bapak telah menjadi sosok pembimbing yang sangat saya syukuri dengan segala kebaikan yang bapak punya.
8. Bapak pembimbing BRIN Dr. Muhammad Al-Muttaqii, M.T (papi). Terimakasih bapak atas bimbingan, arahan serta keseruan yang dijalankan selama penelitian. Terimakasih telah memberi penulis pelajaran dan pengalaman yang banyak terutama pada manajemen waktu yang harus sesuai deadline sehingga penulis dapat belajar untuk tepat waktu atas apa yang penulis lakukan selama penelitian.
9. Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si, Ibu Heni Yohandini, M.Si dan Ibu Dr. Ferlinahayati, M.Si selaku pembahas dan penguji sidang penulis. Terimakasih atas saran, masukan, dan ilmu yang diberikan dalam menyempurnakan tulisan penulis sehingga penulis dapat menyusun skripsi dengan lebih sempurna.
10. Seluruh Dosen FMIPA Kimia yang telah mendidik dan membimbing selama di bangku perkuliahan. Terima kasih atas ilmu yang telah bapak dan ibu berikan, semoga ilmu tersebut dapat bermanfaat bagi penulis untuk seterusnya.
11. Kak Iin dan mbak Novi, Selaku Admin Jurusan Kimia FMIPA. Terima kasih banyak atas bantuannya dalam mengurus dan mengatur jadwal pelaksanaan seminar sampai sidang skripsi sehingga semuanya dapat terlaksana dengan baik. Terimakasih telah mengurus surat menyurat penulis sampai akhirnya penulis bisa sampai di titik ini.
12. Amanda Nabila Putri teman dengan NIM 039 (mbanda), yang selalu menemani penulis dan memberi afirmasi positif. Senyuman yang diberikan serta doa yang mengiringi sehingga penulis dapat berada di titik ini. Terimakasih telah mendengar keluh kesah penulis walaupun penulis tau mbanda punya masalahnya sendiri, namun telinga nya tidak pernah tertutup untuk mendengar penulis. Penulis berharap akan terus menjalin hubungan setelah ini, karena kita keluarga bukan sekedar teman.
13. Cici utami (kibow/ciut), *sleepmate* yang selalu menjadi dokter utama dikala penulis merasa kurang enak badan terutama pada saat menjalankan penulisan

- ini. Terimakasih telah menyediakan segala obat baik obat farmasi maupun validasi agar penulis tetap terus semangat dan tidak pernah berhenti menulis.
14. Awny Athalia Syahrani (pembalap dari timur/dara yea), terimakasih telah memberi tawa bagi penulis dengan segala ke random an mu. Terimakasih sudah memberi waktu serta selalu *excited* dan membantu penulis dalam belajar menghadapi seminar serta sidang dan validasi mu “lu pasti bisa kya” selalu memberikan penulis kepercayaan diri. Terimakasih juga selalu memberi tumpangan kepada penulis.
 15. Ananda Cecilia Recoba (Cesil), terimakasih telah menjadi sandaran penulis dalam hal hati. Selalu mengerti posisi penulis dalam menyarankan Langkah selanjutnya yang penulis harus tempuh. Terimakasih sudah mau direpotkan selama ini. Selalu sehat dan hiduplah lebih lama cesil.
 16. Marauli Anhar Ritonga (anan) dan Ilga Aziz (aga) selaku teman penulis dari maba. Terimakasih telah menemani segala cerita dan menemani penulis untuk mengetahui daerah indralaya disaat penulis tidak punya siapa-siapa. Terimakasih selalu bertahan menjadi teman penulis dan tidak pernah lelah untuk membuat penulis tertawa dengan candaan kalian berdua. Terimakasih telah menjadi alasan penulis untuk bertahan disaat penulis sedang terpuruknya keadaan.
 17. Teman seperjuangan “Gang Buntu” -Gilsat, Aditw, Tristan, Mbanda, Ciut, Unit, Sesil, Aan dan Aga-. Terimakasih telah menemani hari-hari penulis dengan penuh canda tawa. Terimakasih telah menjadi ‘rumah’ pulang bagi penulis selama penulis meraih gelar sarjana. Tanpa kalian mungkin hari-hari penulis terasa hambar dan hanya kuliah-pulang, namun dengan adanya kalian setidaknya kehidupan kampus terasa menyenangkan, jika waktu lebih banyak ingin rasanya lebih sering bersama hanya sekedar makan bareng dan nonton di bestcamp. Semoga cerita betapa indahnya pertemanan ini abadi di hati tiap-tiap teman penulis serta penulis nya sendiri. Hidup lah bahagia karena kalian berhak mendapatkan nya.
 18. Models -Iffah, Izzah, Lulu, Shafa, Jafna-. Terimakasih telah ada disetiap perjuangan penulis dari *step by step*. Terimakasih sudah meluangkan waktunya dikala kalian memiliki kesibukan sendiri. Terimakasih telah menjadi senderan

penulis dikala penulis tidak tau harus bersender kemana. Mari kita lanjutkan pertemanan ini, karena kita keren.

19. Teman teman SMA 63 -Fidya, Ganis, Kasih, Adriel-. Terimakasih atas doa dan semangat bagi penulis. Terimakasih atas apresiasi yang diberikan agar penulis selalu merasa dibanggakan. Terimakasih berusaha selalu ada pada hari besar penulis.
20. Chacinta dan Hafilah Ican, Terimakasih sudah hadir di kehidupan penulis dan apresiasi serta tetap bertahan sejauh ini. semoga pertemanan ini long last, soalnya udah dari SD saying kalua tidak dilanjutkan.
21. Teruntuk anak-anak H. Santeng Putra Ibadah -Ameng dan Uti- Terimakasih telah mengapresiasi perjalanan panjang ini. terus *live update* ya, walaupun cuma pas lebaran.
22. Aghni Hafidzah Manuri (noyk). Terimakasih sudah ada dititik terakhir penulis yang selalu mendengar keluh kesah penulis selama penelitian dengan segala keribetan nya. Terimakasih telah mempercayai penulis untuk menjadi teman noyk dan diberi kepercayaan untuk mengetahui cerita-cerita noyk. Hari-hari di batan dan di BRIN mungkin akan terasa membosankan jika tidak ada teman untuk naik angkot, naik *shuttle*, jalan ke taman jajan, bikin tiktok. Terimakasih telah menjadi alasan tersenyum setiap harinya walaupun selama penelitian sangat amat menguras energi penulis.
23. Info Qosidah – Noyk, Via, Yantok, Vina, Aca-. Terimakasih telah hadir di kehidupan maba penulis, selama menjalani kehidupan kampus online kalian lah sumber informasi penulis. Walaupun sudah terpisah karena gelar, penulis berharap kita dapat berkumpul kembali untuk ke PIM mencoba kursi pijat hehe.
24. Br(a)in Out -Noyk, Gilsat, Rahel, Wiwik dan Tristan-. Terimakasih telah menjadi teman cerita selama penelitian. Terimakasih telah mewarnai penelitian penulis dengan keluh kesah masing-masing. Terimakasih sudah merakit cerita indah walaupun hanya 6 bulan, namun rasanya seperti memiliki keluarga baru yang terbentuk karena magang. Terimakasih telah menemani serta bersama-sama berjuang. Walaupun tidak sesuai dengan yang kita harapkan, namun penulis bersyukur kita sudah melewati kesulitan tersebut dan satu persatu meraih gelar.

25. Ka Novi BRIN, terimakasih banyak atas ilmu, saran dan masukkan. Terimakasih telah membantu penulis selama penelitian sampai penulis sidang. Tanpa bantuan ka Novi mungkin penulis tidak dapat berkembang sejauh ini. Terimakasih juga atas ilmu kehidupan nya serta telah memberikan penulis kebahagiaan dengan diperkenalkan oleh seseorang nomor 4.
26. Kepada teman-teman High Risk yang Namanya tidak dapat disebutkan satu-satu. Terimakasih banyak atas rasa kebersamaan, kekeluargaan serta perhatian yang selama ini diberikan untuk penulis. Terimakasih telah meringankan beban penulis selama penelitian dan membantu penulis menemukan jalan keluar disetiap masalah yang penulis hadapi serta tekanan yang penulis dapat selama di BRIN. Terimakasih banyak atas kehangatan yang diberikan, mungkin penulis tidak akan merasakan penelitian yang begitu mengasyikkan kalau tidak dengan kalian.
27. Kepada bolo-bolo/Chibi-chibi papi -Kacandra,Kazulfa dan Rifqy- Terimakasih telah mewarnai hari-hari penelitian penulis. Sebagai teman sejuangan penulis selama penelitian, terimakasih atas bantuan dan *back up* selama ini terutama dalam menghadapi papi. Terimakasih banyak sudah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian. Semoga kita terus berteman tidak hanya sekedar *viewer sw*
28. Agnes Theresia (Aney) dan Nur Salsabila (NZ). Terimakasih banyak telah menemani penulis sedari maba. Selayaknya memiliki saudara perempuan karena sering nginep bertiga, hari-hari sulit karena selalu begadang dan harus tetap belajar padahal sudah Lelah tapi rasanya masih memiliki energi untuk tertawa bersama. Terimakasih selalu merayakan setiap momen penulis. *My one and only aney and NZ*.
29. Deviriana Ivada (depi), teman maba yang tidak begitu dekat lalu menjadi sobat di akhir semester karena mungkin merasa senasib. Terimakasih sudah menyayangi penulis dan menghargai penulis sebagai teman. Penulis sangat senang bisa dekat dengan depi. Terimakasih atas semangat dan motivasi nya bagi penulis sehingga penulis dapat menempuh ini semua dengan *peace*.
30. HIMAKI, tempat dimana penulis bertumbuh dan menyalurkan ide-ide nya. Terimakasih telah menjadi naungan penulis dikala penulis jenuh, menjadi tempat penulis berkembang dengan proker yang dijalankan. Terimakasih telah

memberikan banyak penulis pengalaman terutama dalam bidang organisasi dan kepemimpinan serta bagaimana meng *handle* acara-acara besar.

31. Teman seperjuangan ku Angkatan 2021 “Lawrensium”, terimakasih telah menjadi bagian besar dalam kehidupan penulis selama 4 tahun berkuliah.
32. Gadis kecil yang tumbuh dengan segenap cinta yang diberikan sehingga dapat bertahan apapun yang di hadapinya, diri saya sendiri. Terimakasih sudah bertahan melewati banyak nya rintangan, selalu berafirmasi positif untuk dirinya sendiri dan selalu ingin terlihat Bahagia walaupun diri nya tidak baik-baik saja. Terimakasih sudah kuat menopang beban yang begitu besar, karena penulis yakin terdapat doa yang besar juga sehingga penulis bisa sampai di titik ini. *You Really did a great job Kya!*

Demikian ucapan terimakasih ini penulis sampaikan. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi perbaikan di masa mendatang. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Indralaya, 17 Juni 2025

Penulis

Rizky Azahra

NIM. 08031182126011

SUMMARY

**CHARACTERIZATION OF Ni-Mo/HZSM-5 CATALYST AND
PERFORMANCE TEST ON HYDROCRACKING CRUDE PALM OIL
(CPO) INTO BIOFUEL**

Rizky Azahra: Supervised Dr. Ady Mara, M.Si and Dr. Muhammad Al-Muttaqii,
M.T

Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya

University xx + 69 Pages, 4 Tables, 21 Pictures, 9 Appendices

The increasing demand for energy has driven the development of environmentally friendly alternative energy sources. Crude Palm Oil (CPO), which is abundantly available in Indonesia, can serve as a vegetable oil source for energy conversion and has potential to be transformed into biofuel through hydrocracking. This study aims to evaluate the performance of the Ni-Mo/HZSM-5 catalyst and to examine the effect of hydrocracking reaction temperature on the characteristics of the resulting biofuel. The Ni-Mo/HZSM-5 catalyst was synthesized via the dry impregnation method with a metal loading of 10%, and was characterized using X-Ray Diffraction (XRD) to determine crystallinity and crystal size calculated by the Debye-Scherrer equation, Brunauer-Emmett-Teller (BET) analysis to evaluate surface area and pore volume, and Scanning Electron Microscopy (SEM) to observe the morphology of the metal-impregnated HZSM-5 zeolite. Degummed CPO was then subjected to hydrocracking at 300°C, 325°C, and 350°C. Product analysis was performed using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) to identify functional groups in CPO before and after the hydrocracking process. The results showed that after degumming, the density, viscosity, and acid number of CPO decreased, indicating improved oil quality. The crystalline structure of HZSM-5 was preserved after metal impregnation, with crystallinity increasing from 69.37% to 75.94%. The decrease in surface area due to pore blocking by metal was compensated by the formation of active sites that enhanced catalytic activity. FTIR characterization of the biofuel products revealed that a reaction temperature of 350°C led to more complete deoxygenation, as indicated by a reduced C–O absorption band intensity. Overall, the Ni-Mo/HZSM-5 catalyst was effective in converting CPO into biofuel via hydrocracking, with the best performance observed at a reaction temperature of 350°C.

Keywords : Crude Palm Oil (CPO), Hydrocracking, Ni-Mo/HZSM-5 catalyst

Citation : 93 (1998-2025)

RINGKASAN

KARAKTERISASI KATALIS Ni-Mo/HZSM-5 DAN UJI KINERJA PADA HYDROCRACKING CRUDE PALM OIL (CPO) MENJADI BIOFUEL

Rizky Azahra: Dibimbing oleh Dr. Ady Mara, M.Si dan Dr. Muhammad Al-Muttaqii, M.T

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya xx + 69 halaman, 4 Tabel, 21 Gambar, 9 Lampiran

Kebutuhan energi yang terus meningkat mendorong pengembangan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan. *Crude Palm Oil* (CPO) dapat dijadikan sumber minyak nabati yang dikonversi menjadi energi dengan kelimpahan di Indonesia dan berpotensi dikonversi menjadi *biofuel* melalui proses *hydrocracking*. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja katalis Ni-Mo/HZSM-5 dan mengkaji pengaruh variasi suhu reaksi *hydrocracking* terhadap karakteristik *biofuel* yang dihasilkan. Katalis Ni-Mo/HZSM-5 disintesis menggunakan metode impregnasi kering dengan loading logam 10%, kemudian dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk melihat kristalinitas dan ukuran kristal dengan perhitungan Debyes-Scherrer, *Brunauer-Emmett-Teller* (BET) untuk melihat luas permukaan serta volume pori katalis dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) melihat morfologi katalis hasil impregnasi logam pada zeolit HZSM-5. CPO yang telah melalui proses *degumming* kemudian direaksikan melalui *hydrocracking* pada temperatur 300°C, 325°C, dan 350°C. Analisis produk dilakukan menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) untuk melihat gugus fungsi pada *Crude Palm Oil* (CPO) sebelum dan setelah dilakukan proses *hydrocracking*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah *degumming*, densitas dan viskositas CPO mengalami penurunan, sedangkan bilangan asam juga menurun, menunjukkan kualitas minyak yang lebih baik. Struktur kristalin HZSM-5 tetap terjaga setelah impregnasi logam, dengan peningkatan kristalinitas dari 69,37% menjadi 75,94%. Penurunan luas permukaan akibat blocking pori oleh logam dikompensasi dengan pembentukan situs aktif yang meningkatkan aktivitas katalitik. Karakterisasi FTIR terhadap produk *biofuel* menunjukkan bahwa suhu 350°C menghasilkan deoksigenasi yang lebih sempurna, ditandai dengan berkurangnya intensitas pita serapan C-O pada temperatur reaksi 350°C. Secara keseluruhan, katalis Ni-Mo/HZSM-5 efektif dalam mengkonversi CPO menjadi *biofuel* melalui proses *hydrocracking*, dengan hasil terbaik diperoleh pada suhu reaksi 350°C.

Kata Kunci : *Crude Palm Oil* (CPO), *Hydrocracking*, Katalis Ni-Mo/HZSM-5

Sitasi : 93 (1998-2025)

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
SUMMARY	xiii
RINGKASAN	xiv
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 <i>Crude Palm Oil</i> (CPO)	4
2.2 <i>Degumming</i>	4
2.3 Karakterisasi fisika kimia CPO	5
2.3.1 Densitas	5
2.3.2 Viskositas	6
2.3.3 Bilangan asam	7
2.4 <i>Biofuel</i>	7
2.5 Katalis.....	8
2.6 Zeolit.....	9
2.7 HZSM-5.....	9
2.8 Logam Nikel (Ni)	10
2.9 Logam Molibdenum (Mo).....	11

5.1 Kesimpulan.....	42
5.2 Saran	42
DAFTAR PUSTAKA.....	43
LAMPIRAN.....	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Anatomi biji Kelapa Sawit (Harun <i>et al.</i> , 2016).	4
Gambar 2	Ilustrasi metode impregnasi (Sun <i>et al.</i> , 2019).....	12
Gambar 3	Mekanisme reaksi <i>hydrocracking</i> (Stasi <i>et al.</i> , 2025).....	13
Gambar 4	Mekanisme reaksi <i>hydrocracking</i> dengan katalis Ni-Mo/HZSM-5...	15
Gambar 5	Pembentukan puncak pada proses XRD	15
Gambar 6	Pola difraktogram (a) HZSM-5, (b) Ni-Mo/HZSM-5 loading logam..	16
Gambar 7	Klasifikasi IUPAC (a) hysteresis loop 1, (b) hysteresis loop 2, (c) hysteresis loop 3, (d) hysteresis loop 4 (Donohue & Aranovich, 1998).	18
Gambar 8	Skema komponen utama GC-MS (Emwas <i>et al.</i> , 2015).	19
Gambar 9	Skema spektroskopi inframerah (Alauhdin <i>et al.</i> , 2021).	20
Gambar 10	Spektrum FTIR pada minyak <i>Crude Palm Oil</i> (CPO) (Sheng <i>et al.</i> , 2019).	20
Gambar 11	Hasil analisis SEM (a) zeolite HZSM-5(Sanz-Martínez <i>et al.</i> , 2022), (b) katalis Ni-Mo micrograph (Nadeina <i>et al.</i> , 2023).	21
Gambar 12	Difraktogram XRD (a) Ni-Mo/HZSM-5 10%, (b) HZSM-5, (c) JCPDS Mo No. 00-032-0671, (d) JCPDS Ni No. 00-022-1189 dan (e) JCPDS HZSM-5 No. 00-042-0023.....	28
Gambar 13	Difraktogram dekonvolusi (a) HZSM-5, (b) Mo dan (c) Ni-Mo.	31
Gambar 14	Grafik <i>Adsorpsi-Desorpsi Isotherm</i> (a) HZSM-5 dan (b) Ni-Mo/HZSM-5 10%.	32
Gambar 15	Volume pori HZSM-5 dan Ni-Mo/HZSM-5 10%.....	33
Gambar 16	(a) Morfologi HZSM-5 dan (b) Ni-Mo/HZSM-5 loading logam 10%.	34
Gambar 17	Pengaruh temperatur reaksi terhadap Yield dan fraksi produk <i>Biofuel</i> dengan katalis Ni-Mo/HZSM-5 0,5 g.	36
Gambar 18	Pengaruh temperatur reaksi terhadap Konversi <i>Biofuel</i> dengan katalis Ni-Mo/HZSM-5 0,5 g.	36
Gambar 19	Spektrum FTIR <i>Crude Palm Oil</i> (CPO) <i>hydrocracking</i> katalis 0,5 g (a) temperatur 300°C, (b) temperatur 325°C dan (c) temperatur 350°C.....	38
Gambar 20	Spektrum FTIR <i>Crude Palm Oil</i> (CPO) hasil <i>degumming</i>	38
Gambar 21	CPO hasil <i>hydrocracking</i> menggunakan katalis Ni-Mo/HZSM-5 0,5 g dengan temperatur (a) 300°C (b) 325°C (c) 350°C.	40

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Parameter uji fisika-kimia CPO	27
Tabel 2 Kristalinitas dan ukuran kristal	30
Tabel 3 Luas permukaan, volume pori, dan diameter katalis serta support.	33
Tabel 4 Analisa FTIR.....	39

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Skema Flowchart Prosedur Penelitian	53
Lampiran 2. Perhitungan berat total katalis	57
Lampiran 3. Perhitungan Uji Viskositas	58
Lampiran 4. Perhitungan Uji Densitas	59
Lampiran 5. Perhitungan Uji Bilangan Asam	60
Lampiran 6. Difraktogram XRD Katalis.....	61
Lampiran 7. Perhitungan Persen Kristalinitas XRD	62
Lampiran 8. Perhitungan Ukuran Kristal XRD.....	63
Lampiran 9. Difraktogram GC-MS.....	65
Lampiran 10. Gambar	67

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan yang mendukung berbagai aktivitas mulai dari industri, transportasi hingga kebutuhan rumah tangga. Meningkatnya aktivitas manusia beriringan dengan peningkatan pemanfaatan energi sehingga dibutuhkan bahan bakar alternatif untuk mengurangi penggunaan energi fosil. Menurut Azhar & Satriawan (2018) bahan bakar fosil dapat menyebabkan persediaan cadangan minyak bumi habis dan menimbulkan polusi udara seperti gas rumah kaca karena kandungan karbon dioksida dan karbon monoksida yang berlebihan di alam, sehingga diperlukannya penemuan sumber energi alternatif, salah satunya *Biofuel*.

Menurut Rodionova *et al.*, (2017) *biofuel* memiliki sifat yang lebih ramah lingkungan sehingga dapat dipakai berkelanjutan tanpa menyebabkan kerusakan lingkungan. Upaya pengganti bahan bakar fosil dengan pemanfaatan energi berbasis bahan nabati seperti *Crude Palm Oil* (CPO) melalui konversi menjadi senyawa hidrokarbon rantai pendek (Fira *et al.*, 2023). Sumber daya alam CPO merupakan sumber daya melimpah di Indonesia. Pada tahun 2019 *Crude palm oil* memiliki kelimpahan sebanyak 47,18 juta ton. Menurut penelitian Widyastuti *et al.*, (2024) konversi CPO menggunakan HZSM-5 sebagai katalis dengan rasio CPO:zeolit (1:125) pada temperatur 400°C selama 1,5 jam, menghasilkan biogasoline yield 39,56% melalui metode *hydrocracking* dengan penggunaan zeolit sebagai katalis .

Metode *hydrocracking* membutuhkan katalis seperti Ni-Mo/HZSM-5. Menurut Wei *et al.*, (2020) menunjukkan bahwa impregnasi basah logam Ni-Mo ke dalam ZSM-5 tidak merusak struktur kristalnya, dibuktikan dari hasil XRD yang tetap mempertahankan pola khas ZSM-5. Analisis BET menunjukkan luas permukaan dan volume pori tidak berubah signifikan, menandakan pori zeolit tetap terbuka. SEM memperlihatkan morfologi kristal yang seragam tanpa aglomerasi logam, menandakan distribusi Ni-Mo yang baik di permukaan zeolit. Katalis berbasis logam transisi seperti nikel (Ni) dan molybdenum (Mo) memiliki keunggulan dalam proses *hydrocracking* yakni menghasilkan konversi *biofuel* tinggi, minimnya produk samping seperti *coke*, mempercepat reaksi dan memecah

ikatan C-O (Sahu *et al.*, 2015). Menurut Liu *et al.*, (2015) minyak jarak menggunakan katalis berbasis Ni/HZSM-5 mampu menghasilkan konversi menjadi *biofuel* hingga 98-99%. Penggunaan logam nikel dan molybdenum diharapkan mampu menjaga stabilitas termal yang baik dan aktivitas katalitik yang tinggi (Sugianto *et al.*, 2015 dan da Silva Neto *et al.*, 2016). Katalis berbasis NiW pada HZSM-5 dengan impregnasi basah menciptakan situs aktif bimetalik yang efektif dalam mengkonversi CPO menjadi hidrokarbon yang bernilai tinggi (Subsadsana & Ruangviriyachai, 2016). Menurut Allwar *et al.*, (2022) pada penelitian menggunakan Ni-Mo pada suhu 350°C menghasilkan biogasoline (C₅-C₁₀) sebesar 20,41% dengan kerosine (C₁₁-C₁₆) 67,10% dalam metode *hydrocracking*.

Hydrocracking adalah metode penting dalam mengonversi CPO menjadi *biofuel*. Proses *hydrocracking* melibatkan pemecahan rantai hidrokarbon dengan bantuan hidrogen yang dilakukan pada suhu dan tekanan yang lebih tinggi menggunakan katalis. Proses ini menghasilkan bahan bakar yang lebih bersih dengan kandungan sulfur dan oksigen yang lebih rendah, serta menghasilkan produk *biofuel* dengan kualitas yang lebih baik. *Hydrocracking* umumnya menghasilkan produk dengan nilai setana yang lebih tinggi dan lebih sedikit residu. Dengan demikian, *hydrocracking* menawarkan produk *biofuel* yang lebih murni dan stabil (Hasanudin *et al.*, 2023).

Berdasarkan uraian tersebut, dilakukan penelitian yang berjudul karakterisasi katalis Ni-Mo/HZSM-5 dan uji kinerja pada *Hydrocracking* menjadi *Biofuel* dengan melihat karakter sifat fisik dan kimia katalis serta dengan menganalisis yield *biofuel* yang dihasilkan menggunakan variasi temperatur 300°C, 325°C dan 350°C sehingga dapat dijadikan sebagai bahan bakar alternatif dalam mencukupi kebutuhan energi.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana hasil impregnasi logam nikel dan molibdenum dalam zeolit HZSM-5 melalui metode impregnasi kering dengan karakterisasi yang digunakan.
2. Bagaimana optimasi terhadap pengaruh temperatur *hydrocracking* untuk menghasilkan produk *biofuel*.

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menentukan pengaruh preparasi impregnasi kering terhadap sifat fisika kimia katalis dengan logam Ni dan Mo berpengembang support zeolit HZSM-5.
2. Menentukan optimasi produk terhadap pengaruh temperatur yang digunakan pada reaksi *hydrocracking* menghasilkan produk *biofuel*.

1.4 Manfaat

Manfaat penelitian untuk memperoleh karakteristik katalis berbasis Nikel dan Molibdenum dengan zeolit HZSM-5 melalui metode impregnasi kering untuk membantu proses *hydrocracking Crude Palm Oil* serta mengetahui temperatur optimum dalam proses *hydrocracking Crude Palm Oil*.

DAFTAR PUSTAKA

- Mohammed, A & Abdullah, A. (2018). Scanning Electron Microscopy (SEM): A review. *Proceedings of 2018 International Conference on Hydraulics and Pneumatics - HERVEX*, 77–85.
- Abriyani, E., Syalomita, D., Apriani, I. P., Puspawati, I., & Adiputra, S. (2024). Pengaruh Pengolahan Termal Terhadap Struktur Molekul Material Polimer Studi dengan Spektroskopi FTIR. *Innovative: Journal of Social Science Research*, 4(1), 3424–3432.
- Adrine, E. A. F. (2019). *Sintesis dan Karakterisasi Nio/Zeolit Serta Uji Aktivitasnya Pada Catalytic Cracking Crude Biodiesel*. (Skripsi, Universitas Islam Negeri).
- Agharadatu, R. H., Wijaya, K., Prastyo, Wangsa, Hauli, L., & Oh, W. C. (2024). Application of Mesoporous NiMo/Silica (NiMo/SiO₂) as a Catalyst in the Hydrocracking of used Cooking Oil into Jet Fuel. *Silicon*, 16(1), 331–343.
- Al-Mishaal, O. F., Suwaid, M. A., Al-Muntaser, A. A., Khelkhal, M. A., Varfolomeev, M. A., Djimasbe, R., Zairov, R. R., Saeed, S. A., Vorotnikova, N. A., Shestopalov, M. A., Yuan, C., & Hakimi, M. H. (2022). Octahedral Cluster Complex of Molybdenum as Oil-Soluble Catalyst for Improving in Situ Upgrading of Heavy Crude Oil: Synthesis and Application. *Catalysts*, 12(10).
- Al-muttaqii, M., Rinaldi, N., & Irawan, C. (2024). Produksi Biofuel dari Minyak Nyamplung Menggunakan Reaksi Hydrocracking. *Jurnal Teknologi Berkelanjutan*. 13(02), 67–76.
- Alauhdin, M., Willy, T. E., & Dante, A. (2021). Aplikasi Spektroskopi Inframerah untuk Analisis Tanaman dan Obat Herbal. *Inovasi Sains Dan Kesehatan*, 84–118.
- Allwar, A., Indriyani, N., Maulina, R., & Rahmawati, F. (2022). Hydrocracking Optimization of Palm Oil Over NiMoO₄/Activated Carbon Catalyst to Produce Biogasoline and Kerosine. *Open Chemistry*, 20(1), 1643–1652.
- Alonso-Ramírez, G., Cuevas-García, R., Sanchez-Minero, F., Ramírez, J., Moreno-Montiel, M., Ancheyta, J., & Carbajal-Vielman, R. (2020). Catalytic Hydrocracking of a Mexican Heavy Oil on a MoS₂/Al₂O₃ Catalyst: I. Study of the Transformation of Isolated Saturates Fraction Obtained from SARA Analysis. *Catalysis Today*, 353(July), 153–162.
- Armenise, S., Costa, C. S., Luig, W. S., Ribeiro, M. R., Silva, J. M., Onfroy, T., Valentin, L., Casale, S., Muñoz, M., & Launay, F. (2023). Evaluation of Two Approaches for the Synthesis of Hierarchical Micro-/Mesoporous Catalysts for HDPE Hydrocracking. *Microporous and Mesoporous Materials*, 356(4).
- Ayodele, O. B., Farouk, H. U., Mohammed, J., Uemura, Y., & Daud, W. M. A. W.

- (2015). Hydrodeoxygenation of Oleic Acid into N- and Iso-Paraffin Biofuel using Zeolite Supported Fluoro-Oxalate Modified Molybdenum Catalyst: Kinetics Study. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 50(2014), 142–152.
- Azhar, M., & Satriawan, D. A. (2018). Implementasi Kebijakan Energi Baru dan Energi Terbarukan dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional. *Administrative Law and Governance Journal*, 1(4), 398–412.
- Budianto, A., Sumari, S., Pambudi, W. S., & Andriani, N. (2019). Uji Coba Produksi Biofuel dari RBD Stearin dalam Reaktor Fixed Bed dengan Metode Cracking. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan*, 735–740.
- Chiosso, M. E., Crespo, I., Merlo, A. B., & Valle, B. (2023). Metal-Doped HZSM-5 Zeolite Catalysts for Catalytic Cracking of Raw Bio-Oil: Exploring Activity toward Value-Added Products. *Catalysts*, 13(8).
- Christyaningsih, R. Y. (2020). *Aplikasi Fisika Kuantum-Hamburan pada " X-Ray Diffraction (XRD) "*. (Skripsi, Universitas Diponegoro)
- da Silva Neto, A. V., Leite, E. R., da Silva, V. T., Zotin, J. L., & Urquieta-González, E. A. (2016). NiMoS HDS Catalysts – The Effect of the Ti and Zr Incorporation into the Silica Support and of the Catalyst Preparation Methodology on the Orientation and Activity of the Formed MoS₂ Slabs. *Applied Catalysis A: General*, 528, 74–85.
- de Almeida, E. S., da Silva Damaceno, D., Carvalho, L., Victor, P. A., Dos Passos, R. M., de Almeida Pontes, P. V., Cunha-Filho, M., Sampaio, K. A., & Monteiro, S. (2021). Thermal and Physical Properties of Crude Palm Oil with Higher Oleic Content. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(15).
- Demirbas, A. (2009). Biofuels Securing the Planet's Future Energy Needs. *Energy Conversion and Management*, 50(9), 2239–2249.
- Dewi, K. E., Mardawati, E., & Nurhasanah, S. (2023). Evaluasi Perubahan Warna dalam Tahapan Pengolahan Minyak Mentah Sawit Menjadi Minyak Sawit Merah dan Minyak Goreng Sawit Sebagai Indikator Kandungan β -Karoten Minyak. *Biomass, Biorefinery, and Bioeconomy*, 1(1), 25–29.
- Dharma, S., Hassan, M. H., Ong, H. C., Sebayang, A. H., Silitonga, A. S., Kusumo, F., & Milano, J. (2017). Experimental Study and Prediction of the Performance and Exhaust Emissions of Mixed Jatropha Curcas-Ceiba Pentandra Biodiesel Blends in Diesel Engine using Artificial Neural Networks. *Journal of Cleaner Production*, 164, 618–633.
- Dian, N. L. H. M., Hamid, R. A., Kanagaratnam, S., Isa, W. R. A., Hassim, N. A. M., Ismail, N. H., Omar, Z., & Sahri, M. M. (2017). Palm Oil and Palm Kernel Oil: Versatile Ingredients for Food Applications. *Journal of Oil Palm*

Research, 29(4), 487–511.

- Donohue, M. D., & Aranovich, G. L. (1998). Adsorption Hysteresis in Porous Solids. *Journal of Colloid and Interface Science*, 205(1), 121–130.
- Emwas, A. M., Al-talla, Z. A., Yang, Y., & Kharbatia, N. M. (2015). Chapter 8 Gas Chromatography – Mass Spectrometry of Biofluids and Extracts. *Metabonomics*, 1277, 91–112.
- Fanani, Z., Asri, W. R., Dwiyantri, B., Rinaldi, N., Maryana, R., Al Muttaqii, M., Riyanti, F., Mara, A., Zainul, R., & Hasanudin, H. (2024). Efficient Catalytic Hydrocracking of Crude Palm Oil Over EDTemplate-assisted $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{NiMo}$ Catalysts. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 68(4), 552–560.
- Fira, P. M., Sitinjak, M. W. J., Wulandari, R. F., Purnamasari, F. D., Aulia, D., & Hasanuddin, H. (2023). Produksi Energi Hijau (Biogasoline dan Bioavtur) dengan Katalis CeN Berpendukung Si/Al dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS). *Jurnal Penelitian Sains*, 25(3), 267.
- Furqon, Nugroho, A. K., & Anshorulloh, M. K. (2019). Study of using KOH Catalyst on Biodiesel Production using Reverse Flow Biodiesel Batch Reactor. *Rona Teknik Pertanian*, 12(1), 22–31.
- Hakim, L., Dirgantara, M., & Nawir, M. (2019). Karakterisasi Struktur Material Pasir Bongkahan Galian Golongan C dengan Menggunakan X-Ray Difrraction (X-RD) di kota Palangkaraya. *Jurnal Jejaring Matematika Dan Sains*, 1(1), 44–51.
- Hartati., Widiasti, A. A., & Lutfiah, K. (2019). Sintesis Zeolit ZSM-5 dari Metakaolin Terdealuminasi Tanpa Cetakan Organik dengan Metode Desilikasi. *Akta Kimia Indonesia*, 4(1), 63.
- Hasanudin, H., Asri, W. R., Permatahati, U., Purwaningrum, W., Hadiah, F., Maryana, R., Muttaqii, M. Al, & Hendri, M. (2023). Conversion of Crude Palm Oil to Biofuels via Catalytic Hydrocracking Over NiN-Supported Natural Bentonite. *AIMS Energy*, 11(2), 197–212.
- 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.
- Hasanudin, H., Rachmat, A., Said, M., & Wijaya, K. (2020). Kinetic Model of Crude Palm Oil Hydrocracking Over Ni/Mo ZrO_2 -Pillared Bentonite Catalyst. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 64(2), 238–247.
- Herizal. (2020). Sintesis Katalis Zeolit H-ZSM-5 dari Zeolit Alam Wonosari untuk Konversi Etanol Menjadi Olefin. *Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi*, 54(3), 159–167.

- Hongloi, N., Prapainainar, P., Seubsai, A., Sudsakorn, K., & Prapainainar, C. (2019). Nickel Catalyst with Different Supports for Green Diesel Production. *Energy*, 182, 306–320.
- Indarwati, E. R. & Sanik, S. (2022). Artikel Review: Pemanfaatan Katalis Abu Cangkang pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Jelantah Menjadi Biodiesel. *UNESA Journal of Chemistry* 11(2), 113–122.
- Irawan, W., Bahrudin, & Amri, A. (2021). Penentuan Kadar Bleaching Earth dan Phosphoric Acid pada Proses Degumming dan Bleaching Crude Palm Oil. *Journal of the Bioprocess, Chemical, and Environmental Engineering Science*, 2, 1–14.
- Isharyadi, F., B. Sitanggang, A., Nur Faridah, D., & Andarwulan, N. (2019). Verifikasi Metode Pengujian Densitas Crude Palm Oil Menggunakan Standar Iso 6883:2017. *Jurnal Standardisasi*, 21(2), 161.
- Istadi, I., Riyanto, T., Buchori, L., Anggoro, D. D., Gilbert, G., Meiranti, K. A., & Khofiyandita, E. (2020). Enhancing Brønsted and Lewis Acid Sites of the Utilized Spent RFCC Catalyst Waste for the Continuous Cracking Process of Palm Oil to Biofuels. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 59(20), 9459–9468.
- Kang, X., Wang, D., Liu, J., Tian, C., Xu, H., Xu, J., & Fu, H. (2022). Ni-Promoted MoS_2 in Hollow Zeolite Nanoreactors: Enhanced Catalytic Activity and Stability for Deep Hydrodesulfurization. *Journal of Materials Chemistry A*, 10(13), 7263–7270.
- Kheang, L. S., & May, C. Y. (2012). Influence of a Lubricant Auxiliary From Palm Oil Methyl Esters on the Performance of Palm Olein-Based Fluid. *Journal of Oil Palm Research*, 24(8), 1388–1396.
- Kong, X., & Liu, J. (2014). Influence of Alumina Binder Content on Catalytic Performance of Ni/HZSM-5 For Hydrodeoxygenation of Cyclohexanone. *PLOS ONE*, 9(7), 5–10.
- Kurniawan, R., Azzahra, S. F., & Yohaningsih, N. T. (2023). Pengaruh Jenis Adsorben pada Proses Bleaching di Pemurnian Crude Palm Oil (CPO) Sebagai Bahan Baku pada Proses Green Fuel. *Jurnal Teknologi Ramah Lingkungan*, 7(2), 101–111.
- Lee, J. L., Chong, G. H., Hiraga, Y., Sato, Y., Ota, M., & Smith, R. L. (2025). Experimental Liquid Densities of Red Palm Oil at Pressures up to 150 MPa from (312 to 352) K and Dynamic Viscosities at 0 . 1 MPa from (293 to 353) K. *Liquids* 2025,5,13.
- Liu, S., Zhu, Q., Guan, Q., He, L., & Li, W. (2015). Bio-Aviation Fuel Production from Hydroprocessing Castor Oil Promoted by the Nickel-Based Bifunctional Catalysts. *Bioresource Technology*, 183, 93–100. h

- Masruroh, Manggara, A., Papilaka, T., & T, R. T. (2013). *Penentuan Ukuran Kristal (Crytallite Size) Lapisan Tipis PZT Melalui Pendekatan Persamaan Debye Scherrer*. (Skripsi. FMIPA Universitas Brawijaya), 1(2), 24–29.
- Maulina, R. (2022). *Konversi Minyak Kelapa Sawit Menjadi Biofuel Melalui Proses Continue Hydrocracking dengan Katalis Nikel Oksida-Kadmium Oksida/Karbon Aktif*. (Tesis, Universitas Islam Indonesia).42.
- Mehrabadi, B. A. T., Eskandari, S., Khan, U., White, R. D., & Regalbuto, J. R. (2017). A Review of Preparation Methods for Supported Metal Catalysts. *In Advances in Catalysis* (1st ed., Vol. 61).
- Mondal, M., Biswas, B., Garai, S., Sarkar, S., Banerjee, H., Brahmachari, K., Bandyopadhyay, P. K., Maitra, S., Brestic, M., Skalicky, M., Ondrisik, P., & Hossain, A. (2021). Zeolites Enhance Soil Health, Crop Productivity and Environmental Safety. *Agronomy*, 11(3).
- Moniruzzaman, M., Yaakob, Z., Shahinuzzaman, M., Khatun, R., & Aminul Islam, A. K. M. (2017). Jatropa Biofuel Industry: The Challenges. *Frontiers in Bioenergy and Biofuels*.
- Nadeina, K. A., Budukva, S. V., Vatutina, Y. V., Mukhacheva, P. P., Gerasimov, E. Y., Pakharukova, V. P., Prosvirin, I. P., Larina, T. V., Klimov, O. V., Noskov, A. S., & Atuchin, V. V. (2023). Optimal Choice of the Preparation Procedure and Precursor Composition for a Bulk Ni–Mo–W Catalyst. *Inorganics*, 11(2), 1–23.
- Nugrahaningtyas, K. D., Sabiilagusti, A. I., Rahmawati, F., Heraldly, E., & Hidayat, Y. (2024). Hydrodeoxygenation of Anisole via Cu supported on Zeolite: HZSM-5, MOR, and Indonesian Activated Natural Zeolite. *Ingenieria e Investigacion*, 44(1).
- Nugroho, A. S. (2019). Pemanfaatan Limbah Tempurung Kelapa Sawit Sebagai Campuran Bahan Bakar Diesel. *Prosiding SNST Fakultas Teknik*, 21–26.
- Nuriah, S., Putri, M. D., Rahayu, S., Advaita, C. V., Nurfadhila, L., & Utami, M. R. (2023). Analisis Kualitatif Senyawa Parasetamol pada Sampel Biologis Menggunakan Metode Gas Chromatography - Mass Spectrometry (GC-MS). *Journal of Pharmaceutical and Sciences*, 6(2), 795–803.
- Ogunkunle, O., Oniya, O. O., & Adebayo, A. O. (2017). Yield Response of Biodiesel Production from Heterogeneous and Homogeneous Catalysis of Milk Bush Seed (*Thevetia peruviana*) Oil . *Energy and Policy Research*, 4(1), 21–28.
- Parahita, I. . G. A. A. (2018). *Pembuatan Katalis Heterogen Ni-Mo/ H-ZSM-5 untuk Memproduksi Biofuel dari Minyak Biji Kapuk Randu (Ceiba pentandra) melalui Proses Catalytic Hydrocracking*. (Thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).

- Pathmasiri, T. K. K. S., & Perera, G. I. P. (2020). Potential of using Polyethylene as Ciscosity Enhancer of Palm Oil to use as a Lubricating Oil. *Advances in Mechanical Engineering*, 12(11), 1–13.
- Pekmezci Karaman, B., & Oktar, N. (2020). Tungstophosphoric Acid Incorporated Hierarchical HZSM-5 Catalysts for Direct Synthesis of Dimethyl Ether. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(60), 34793–34804.
- Peng, Z., Zhu, M., Zhang, J., Zhao, S., He, H., Kang, Z., Ma, H., & Xu, B. (2021). Physicochemical and Structural Changes in Myofibrillar Proteins from Porcine Longissimus Dorsi Subjected to Microwave Combined with Air Convection Thawing Treatment. *Food Chemistry*, 343, 128412.
- Permana, E., Cristine, I., Murti, S. D. S., & Yanti, F. M. (2020). Preparation and Characterization of Cu/ZnO Catalysts with Activated Carbon Support using H₃PO₄ and ZnCl₂ Activators. *Jurnal Teknologi*, 13(1), 6–15.
- Pinheiro, C. I. C. (2016). A Multivariable Model Predictive Control Project in a Computer Aided Master's Degree Course. In *Computer Aided Chemical Engineering* (Vol. 38). Elsevier Masson SAS.
- Poncowaty, W., & Harmawan, T. (2023). Pengaruh Waktu Penyimpanan Terhadap Kelembaban dan Asam Lemak serta Pengotor pada Crude Palm Oil (CPO). *Jurnal Kimia Sains Dan Terapan*, 5(4), 10–13.
- Praputri, E., Sundari, E., Firdaus, F., & Sofyan, S. (2018). Penggunaan Katalis Homogen dan Heterogen pada Proses Hidrolisis Pati Umbi Singkong Karet menjadi Glukosa. *Jurnal Litbang Industri*, 8(2), 105.
- Prihatini, E., Ismail, R., Sekartining Rahayu, I., Dwi Laksono, G., & Khairunissa, D. (2024). Compatibility Testing of Synthesized TiO₂ Nanoparticles on the Fast-Growing Wood Physical Properties. *Jurnal Sains Natural*, 14(2), 62–72.
- Purnama, E. F., & Langenati, S. N. R. (2006). Dibuat dengan Media Air dan Cairan Tubuh Buatan (Synthetic Body Fluid) Preparasi Pelarut Sbf 1 Liter Identifikasi Hidroksiapatit dengan XRD Identifikasi Hidroksiapatit dengan FTIR. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 154–159.
- Ramli, M. R., Siew, W. L., Ibrahim, N. A., Hussein, R., Kuntom, A., Razak, R. A. A., & Nesaretnam, K. (2011). Effects of Degumming and Bleaching on 3-MCPD Esters Formation during Physical Refining. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 88(11), 1839–1844.
- Rodionova, M. V., Poudyal, R. S., Tiwari, I., Voloshin, R. A., Zharmukhamedov, S. K., Nam, H. G., Zayadan, B. K., Bruce, B. D., Hou, H. J. M., & Allakhverdiev, S. I. (2017). Biofuel Production: Challenges and Opportunities. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(12), 8450–8461.
- Rozali, N. L., Azizan, K. A., Singh, R., Syed Jaafar, S. N., Othman, A., Weckwerth, W., & Ramli, U. S. (2023). Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy

- Approach Combined with Discriminant Analysis and Prediction Model for Crude Palm Oil Authentication of Different Geographical and Temporal Origins. *Food Control*, 146(5).
- Sahu, R., Song, B. J., Im, J. S., Jeon, Y. P., & Lee, C. W. (2015). A Review of Recent Advances in Catalytic Hydrocracking of Heavy Residues. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 27, 12–24.
- Sanz-Martínez, A., Lasobras, J., Soler, J., Herguido, J., & Menéndez, M. (2022). Methanol to Gasoline (MTG): Preparation, Characterization and Testing of HZSM-5 Zeolite-Based Catalysts to be used in a Fluidized Bed Reactor. *Catalysts*, 12(2).
- Saputra, H., Rantawi, A. B., Siregar, A. L., Rahardja, I. B., & Simatupang, D. F. (2024). Red Palm Oil from Crude Palm Oil Refinement using the Acid Degumming Method. *International Journal of Applied Research and Sustainable Sciences (IJARSS)*, 2(6), 455–464.
- Saragih, M. A., Hasibuan, M. I., Simangunsong, L., Pulungan, A. N., & Sihombing, J. L. (2023). Hydrodeoxygenation of Castor Oil as an Alternative Source of Biohydrocarbon using Nickel Catalyst Loaded On HZSM-5 Zeolite. *Elkawnie*, 8(2), 221.
- Setiadji, S., B. N. T., Sudiartati, T., Prabowo, E., & N. B. W. (2017). Alternatif Pembuatan Biodiesel Melalui Transesterifikasi Minyak Castor (*Ricinus communis*) menggunakan Katalis Campuran Cangkang Telur Ayam dan Kaolin. *Jurnal Kimia VALENSI*, 3(1), 1–10.
- Sharma, Y. C., Yadav, M., & Upadhyay, S. N. (2019). Latest Advances in Degumming Feedstock Oils for Large-Scale Biodiesel Production. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 13(1), 174–191.
- Sheng, N. J., Fadhullah, W., Kadir, M. O. A., Rodhi, A. M., Abu Bakar, N. H. H., & Muhammad, S. A. (2019). An Assessment of FT-IR And FT-NIR Capability in Screening Crude Palm Oil Authenticity and Quality Combined with Chemometrics. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 23(5), 870–879.
- Silaghi, M. C., Chizallet, C., & Raybaud, P. (2014). Challenges on Molecular Aspects of Dealumination and Desilication of Zeolites. *Microporous and Mesoporous Materials*, 191, 82–96.
- Stasi, C. Di, Torres, D., Pinilla, J. L., & Suelves, I. (2025). Catalytic Hydrodeoxygenation of Waste Cooking Oil into Green Diesel Range Hydrocarbons : From Batch to Continuous Processing. *Chemical Engineering Journal*. 503(12).
- Subsadsana, M., & Ruangviriyachai, C. (2016). Effect of NiW Modified HZSM-5 and HY Zeolites on Hydrocracking Conversion of Crude Palm Oil to Liquid Hydrocarbons. *Oriental Journal of Chemistry*, 32(2), 839–844.

- Sugianto, D. J., Wijaya, K., & Tahir, I. (2015). Karakterisasi dan Aplikasi Katalis Nikel-Molibdenum Teremban pada Zeolit Alam Aktif untuk Hidrorengkah Tir Batubara. *Jurnal Natur Indonesia*, 16(1), 10.
- Sun, L., Jiang, L., Hua, X., Zheng, Y., Sun, X., Zhang, M., Su, H., & Qi, C. (2019). Preparation of Au/xCeO₂-Al₂O₃ Catalysts with Enhanced Catalytic Properties for the Selective Acetylene Hydrogenation. *Journal of Alloys and Compounds*, 811, 152052.
- Syafrianti, A., Lubis, Z., & Elisabeth, J. (2021). Study of Crude Palm Oil (CPO) Handling and Storage Process in Palm Oil Mills in an Effort to Improve CPO Quality and Reduce the Risk of Contaminants Formation. *Journal of Food and Pharmaceutical Sciences*, 9(2), 461–470.
- Syafrinal, S., & Renastio, R. (2021). Penentuan Acid Value pada Fatty Acid dengan Metode Titration Alkalimetri dan Kromatografi Gas. *REACTOR: Journal of Research on Chemistry and Engineering*, 2(1), 5.
- Thangaraj, B., Solomon, P. R., Muniyandi, B., Ranganathan, S., & Lin, L. (2019). Catalysis in Biodiesel Production - A review. *Clean Energy*, 3(1), 2–23.
- Thommes, M., Kaneko, K., Neimark, A. V., Olivier, J. P., Rodriguez-Reinoso, F., Rouquerol, J., & Sing, K. S. W. (2015). Physisorption of Gases, with Special Reference to the Evaluation of Surface Area and Pore Size Distribution (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 87(9–10), 1051–1069.
- Trisunaryanti, W., Kartika, I. A., Mukti, R. R., Hartati, H., Triyono, T., Widyawati, R., & Suarsih, E. (2022). Preparation of Ni- and Mo-Based Catalysts Supported on γ -Al₂O₃ for Hydrocracking of Calophyllum Inophyllum Oil. *Biofuels*, 13(2), 231–236.
- Trisunaryanti, W., Wijaya, K., & Tazkia, A. M. (2024). Preparation of Ni/ZSM-5 and Mo/ZSM-5 Catalysts for Hydrotreating Palm Oil into Biojet Fuel. *Communications in Science and Technology*, 9(1), 161–169.
- Ulfa, S. M., & Pramesti, I. N. (2015). Katalis Bifungsional Ni/MgO untuk Reaksi Kondensasi dan Hidrogenasi Furfural dalam Satu Tahap Menghasilkan Senyawa Turunan Alkana C₈-C₁₃. *Natural-B*, 3(2), 135–142.
- Ulfiati, R., Dhaneswara, D., Harjanto, S., & Fatriansyah, J. F. (2022). Synthesis and Characterization ZSM-5 Based on Kaolin as a Catalyst for Catalytic Cracking of Heavy Distillate. *International Journal of Technology*, 13(4), 860–869.
- Union, I., Pure, O. F., & Chemistry, A. (1994). Recommendations for the Characterization of Porous Solids (Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 66(8), 1739–1758.
- Untari, B., Miksusanti, & Ainna, A. (2020). Penentuan Kadar Asam Lemak Bebas dan Kandungan Jenis Asam Lemak dalam Minyak yang Dipanaskan dengan

- Metode Titration Asam Basa dan Kromatografi Gas. *Jurnal Ilmiah Bakti Farmasi*, 1(1), 1–10.
- Wei, Q., Zhang, P., Liu, X., Huang, W., Fan, X., Yan, Y., Zhang, R., Wang, L., & Zhou, Y. (2020). Synthesis of Ni-Modified ZSM-5 Zeolites and Their Catalytic Performance in n-Octane Hydroconversion. *Frontiers in Chemistry*, 8(12), 1–8.
- Widyastuti, Zulfa, L. L., Safrida, N., Ardhyanta, H., Triwicaksono, S., Kurniawansyah, F., Anityasari, M., Ali, B. T. I., & Raihan, J. N. (2024). Catalytic Cracking of Crude Palm Oil into Biogasoline Over HZSM-5 and USY-Zeolite Catalysts: A Comparative Study. *South African Journal of Chemical Engineering*, 50(7), 27–38.
- Yao, X., Strathmann, T. J., Li, Y., Cronmiller, L. E., Ma, H., & Zhang, J. (2021). Catalytic Hydrothermal Deoxygenation of Lipids and Fatty Acids to Diesel-Like Hydrocarbons: A Review. *Green Chemistry*, 23(3), 1114–1129.
- Zhang, Z., Chang, H., Gao, T., Lan, T., Zhang, J., Sun, M., Xu, L., & Ma, X. (2019). Catalytic Upgrading of Coal Pyrolysis Volatiles over Metal-Loaded HZSM-5 Catalysts in a Fluidized Bed Reactor. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 139(12), 31–39.
- Zhu, P., Yang, G., Sun, J., Fan, R., Zhang, P., Yoneyama, Y., & Tsubaki, N. (2017). A Hollow Mo/HZSM-5 Zeolite Capsule Catalyst: Preparation and Enhanced Catalytic Properties in Methane Dehydroaromatization. *Journal of Materials Chemistry A*, 5(18), 8599–8607.
- Žula, M., Grilc, M., & Likozar, B. (2022). Hydrocracking, Hydrogenation and Hydro-Deoxygenation of Fatty Acids, Esters and Glycerides: Mechanisms, Kinetics and Transport Phenomena. *Chemical Engineering Journal*, 444(4).