

**PREPARASI, KARAKTERISASI, DAN UJI KINERJA KATALIS NiS
BERPENDUKUNG Si/Al DENGAN *TEMPLATE* PORI EDTA UNTUK
HYDROCRACKING CPO MENJADI *BIOFUEL***

SKRIPSI

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



Oleh:

RAHEL NATALIA

08031282126078

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

2025

HALAMAN PENGESAHAN

**PREPARASI, KARAKTERISASI, DAN UJI KINERJA KATALIS NiS
BERPENDUKUNG SWAI DENGAN *TEMPLATE* PORI EDTA UNTUK
HYDROCRACKING CPO MENJADI BIOFUEL**

SKRIPSI

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

Oleh:

**Rahel Natalia
08031282126078**

Indralaya, 21 Mei 2025

Mengetahui

Pembimbing I


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

Pembimbing II


**Dr. Eng. Nino Rinaldi
NIP. 197706122001121001**

Dekan FMIPA,


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

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi ini dengan judul "*Preparasi, Karakterisasi, dan Uji Kinerja Katalis NiS Berpendukung Si/Al dengan Template Pori EDTA untuk Hydrocracking CPO Menjadi Biofuel*" dipertahankan dihadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 21 Mei dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 21 April 2025

Pembimbing,

1. **Prof. Dr. Hasanudin, M.Si.**
NIP. 197205151997021003
2. **Prof. Dr. Eng. Nino Rinaldi**
NIP. 197706122001121001

()

()

Penguji,

1. **Fahma Riyanti, M. Si.**
NIP. 197204082000032001
2. **Dr. Ferlinahayati, M. Si.**
NIP. 197402052000032001

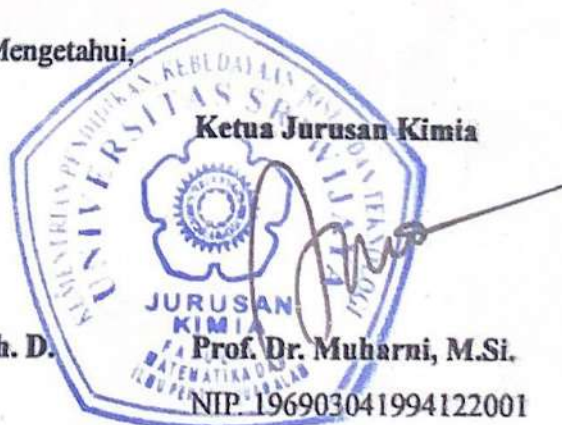
()

()

Mengetahui,



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



Prof. Dr. Muharni, M.Si.
NIP. 196903041994122001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Rahel Natalia

NIM : 08031282126078

Fakultas/Jurusan : MIPA/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 yang 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.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 21 Mei 2025

Penulis



Rahel Natalia

NIM. 08031282126078

HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademika Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan dibawah ini:

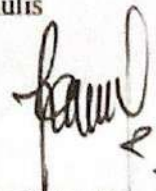
Nama Mahasiswa : Rahel Natalia
NIM : 08031282126078
Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia
Jenis Karta : Skripsi

Demikian pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya "hak bebas royalti non-eksklusif" (non-exclusively royalty-free right) atas karya ilmiah yang berjudul "Preparasi, Karakterisasi, dan Uji Kinerja Katalis NiS Berpendukung Si/Al dengan *Template* Pori EDTA untuk *Hydrocracking* CPO". 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, 21 Mei 2025

Penulis



Rahel Natalia

NIM. 08031282126078

HALAMAN PERSEMBAHAN

Amsal 23:18

“Karena masa depan sungguh ada, dan harapanmu tidak akan hilang”

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus
2. Bapak William, Bapak Alpon dan Ibu Jenty Sirait selaku orang tua tersayang, Cindy Alfionita selaku saudara perempuan saya, Ardy Timoty selaku saudara laki-laki saya serta keponakan ku Elisheba yang selalu mendukung semua hal tentang hidup penulis, memberikan semangat, motivasi serta dukungan terhadap penulis.
3. Seluruh keluarga besar yang telah memberikan doa dan semangat.
4. Dosen pembimbing pertama saya Prof. Dr. Hasanudin, M.Si., Dosen pembimbing kedua saya Dr. Eng. Nino Rinaldi dan Dosen pembimbing akademik saya Prof. Dr. Elfita, M.Si.
5. Sahabat dan teman-teman seperjuangan serta Almamaterku yang selalu aku banggakan, Universitas Sriwijaya.
6. Diri sendiri

KATA PENGANTAR

Puji Tuhan atas berkat dan anugerah Tuhan Yesus Kristus penulis diberikan kemampuan untuk menyelesaikan penelitian dan skripsi yang berjudul “Preparasi, Karakterisasi, dan Uji Kinerja Katalis NiS Berpendukung Si/Al dengan *Template* Pori EDTA untuk *Hydrocracking* CPO Menjadi *Biofuel*”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.

Penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya apabila terdapat kesalahan serta kekurangan di dalam skripsi. Penyusunan skripsi ini tentu tidak lepas dari bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada dosen pembimbing Bapak Prof. Dr. Hasanudin, M. Si. dan Bapak Dr. Eng. Nino Rinaldi yang telah banyak memberikan bimbingan, motivasi, pengalaman, saran dan petunjuk kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus yang telah memberikan Rahmat dan Anugerah-Nya yang begitu besar hingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
2. Ketiga orang tua penulis, Papa, Si Bos dan Mama yang menjadi alasan utama untuk penulis menyelesaikan perkuliahan ini. Terima kasih untuk semua perhatian, cinta, dan kasih sayang serta doa yang tidak pernah lepas untuk penulis. Dukungan yang tidak pernah berhenti untuk penulis membuat penulis bisa sampai di titik ini. Ini bukan akhir dari perjuangan penulis tetapi justru menjadi titik awal penulis berjuang untuk membahagiakan kalian.
3. Seluruh keluarga besar penulis yang tidak bisa disebut satu persatu, yang telah memberikan doa, semangat, dan motivasi kepada penulis.
4. Prof. Hermasyah, S.Si., M.Si., Ph.D selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.
5. Ibu Prof. Dr. Muharni, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
6. Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.

7. Bapak Prof. Dr. Hasanudin, M.Si. selaku pembimbing I. Terima kasih penulis ucapkan untuk bapak yang sudah mau menerima penulis menjadi anak bimbingan. Banyak kekurangan dan kesalahan penulis selama ini baik dari kata, tingkah laku, dan perbuatan yang belum sesuai kriteria anak bimbingan bapak, namun percayalah pak dengan semua kekurangan ini penulis berusaha penuh untuk melakukan yang terbaik. Penulis berharap bapak sehat selalu dan segala hal baik menyertai bapak, amin.
8. Bapak Dr. Eng. Nino Rinaldi selaku pembimbing ke-II, terimakasih bapak sudah selalu membimbing dan mengajari hal-hal baru ketika penulis melakukan penelitian di BRIN. Mohon maaf jika ada kesalahan penulis terhadap bapak selama menjalani penelitian. Semoga bapak sehat selalu dan dilancarkan untuk segala urusan serta pekerjaan sebagai peneliti BRIN.
9. Ibu Fahma Riyanti, M.Si. dan Ibu Dr. Ferlinahayati, M.Si. selaku dosen penguji penulis. Terima kasih untuk Ibu Fahma yang selalu mempermudah dan membantu penulis dalam proses revisi sampai berlangsungnya sidang skripsi. Kebajikan ibu tidak pernah penulis lupakan dan penulis berharap segala hal baik selalu dalam penyertaan Ibu. Terima kasih juga penulis ucapkan untuk Ibu Dr. Ferlinahayati, M.Si yang selalu berusaha untuk membuat penulis paham betul apa yang penulis tulis dalam skripsi ini. Penulis berharap segala hal baik selalu menyertai Ibu.
10. Seluruh Dosen FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu, mendidik dan membimbing selama masa studi penulis.
11. Kak iin dan Mba Novi selaku Admin Jurusan Kimia yang selalu baik, ramah, sabar dan mau membantu penulis selama perkuliahan hingga lulus. Terimakasih terkhususnya penulis ucapkan untuk mbak novi yang ikut andil membantu penulis untuk masuk dalam tahap sidang skripsi. Penulis mengucapkan permintaan maaf yang sedalam-dalamnya untuk mba novi atas kejadian yang menimpa dalam proses sidang skripsi penulis. Kebajikan mba novi tidak pernah penulis lupakan dan akan selalu penulis ingat sepanjang perjalanan hidup ini.
12. Devi Juliana yang sangat penulis kasihi dan sayangi selaku sahabat sedari awal hingga akhir perkuliahan. Tidak bisa diutarakan dengan kalimat semua kebaikan dan kenangan yang sudah devi berikan kepada penulis. Terima kasih

sudah menyediakan telinga untuk mendengarkan semua cerita penulis. Besar harapan penulis kepada devi agar di masa depan kita tetap menjadi sahabat karib yang tidak pernah melupakan satu sama lain.

13. Okta Jiwaro yang sangat penulis kasihi dan sayangi selaku sahabat sedari awal hingga akhir perkuliahan. Terima kasih selama ini sudah menjadi sosok adik yang baik, perhatian, penyayang, maupun sedikit pemarah bagi penulis. Bersyukur sekali penulis bisa mengenal keluarga Okta yaitu Kopek, Ibu, Bapak yang sangat baik dan menyayangi penulis dengan begitu tulus dan tidak pernah penulis lupakan semua kebaikannya.
14. Mira dan Utik yang menjadi teman dekat penulis dan sudah membantu penulis selama ini. Terima kasih penulis ucapkan untuk memori indah yang sudah kita rangkai. Penulis meminta maaf jika ada kesalahan yang penulis lakukan sehingga membuat pertemanan kita di penghujung ini menjadi renggang. Doa terbaik selalu penulis panjatkan untuk kalian berdua semoga di masa depan kita bisa dipertemukan kembali di waktu dan keadaan yang tepat.
15. Mama Tigan yang memberikan luka terdalam sekaligus penyembuh bagi penulis dalam proses penyusunan skripsi ini. Terima kasih sudah berusaha memperbaiki dan menjadi *support system* kembali bagi penulis. Doa terbaik dari penulis untuk ndu kedepannya supaya bisa menyelesaikan skripsi dengan tepat waktu.
16. Sarah selaku teman dekat dan satu dosen pembimbing penulis yang sangat baik dan tulus selama ini. Penulis bersyukur bisa bertemu sarah yang selalu ada untuk penulis dalam keadaan apapun. Kata-kata positif dan dukungan yang diberikan sarah untuk penulis sangat berarti selama ini. Semoga sarah diperlancar dan dipermudah untuk segala urusan kedepannya.
17. Cindy , Mia, dan Sarie teman yang selalu mendukung penulis dalam proses skripsi ini. Terima kasih untuk perhatian, kebaikan dan kasih sayang terhadap penulis selama ini. Semoga Mia dan Sarie dipermudah dalam penelitiannya dan bisa lulus tahun ini, amin.
18. Yessy, kak mio dan teman-teman JK3 yang selalu ada untuk penulis. Terima kasih untuk dukungan doa kalian selama ini. Doa yang baik berbalik ke kalian juga pastinya.

19. Kak novi, Kya, Tristan, Gilang dan teman-teman *High Risk* di BRIN yang namanya tidak bisa diucapkan satu per satu. Terima kasih untuk bantuan, perhatian, dan kasih sayang yang sudah kalian berikan kepada penulis. Kenangan indah selama penelitian di BRIN bersama kalian akan selalu penulis ingat pastinya.
20. Aghni, Wiwik, Nima selaku teman satu dosen pembimbing. Terima kasih selama ini kita sudah saling membantu dalam penelitian. Semoga kita dipermudah dan diperlancar dalam urusan apapun di hari depan. Wiwik semangat mengejar sidangnya ya wik, aku yakin pasti bisa. Doa terbaik untukmu.
21. Depi abidin selaku teman dekat penulis sedari ospek. Terima kasih untuk tidak pernah berubah dan selalu ada untuk penulis hingga saat ini. Doa terbaik untuk depi kedepannya.
22. Teman-teman seperjuangan penulis Kimia angkatan 21 yang semua namanya tidak bisa penulis sebutkan. Terima kasih untuk kebersamaan kita di perkuliahan ini dan bagi teman yang masih penelitian semoga dipermudah dan diperlancar, amin.
23. Grace, Om pendeta dan tante serta keluarga Yobel. Terima kasih untuk kebersamaan dan hal-hal baik yang sudah kalian berikan untuk penulis. Penulis berdoa semoga hal baik selalu menyertai kalian semua. Tuhan berkatilah.
24. Terima kasih untuk diri penulis yang sudah kuat dan bisa sampai titik ini. Apapun hasil akhirnya, proses menjadi hal terpenting yang dapat membentuk diri penulis hingga saat ini. Tetap kuat dan tetap andalkan Tuhan Yesus dalam keadaan apapun.

Indralaya, 21 Mei 2025

Penulis



Rahel Natalia

NIM. 08031282126078

SUMMARY

PREPARATION, CHARACTERIZATION, AND PERFORMANCE TEST OF NiS CATALYST SUPPORTED ON Si/Al WITH EDTA PORE TEMPLATE FOR CPO HYDROCRACKING INTO BIOFUEL

Rahel Natalia: Supervised by Prof. Dr. Hasanudin, M.Si and Dr. Eng. Nino Rinaldi
Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences,
Universitas Sriwijaya

xvii + 71 pages + 8 figures + 4 tables + 8 attachments

Preparation of NiS catalyst supported on $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ with EDTA pore template was carried out by impregnating Ni metal into $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ EDTA, followed by calcination, sulfidation, and hydrocracking processes with CPO. This study aims to enhance the activity and selectivity of the catalyst in breaking down fatty acid molecules from CPO into the desired biofuel fractions. The hydrocracking process was conducted at three different temperatures, namely 250°C, 300°C, and 350°C. Based on XRF analysis, the sulfur (S) content in $\text{NiS/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ increased significantly after the sulfidation process, from 0.36% to 3.87%. This indicates that the sulfidation process successfully converted NiO in the catalyst into nickel sulfide (NiS). The PSA analysis results showed that the average particle size of $\text{NiS/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ catalyst was 44,41 μm . Characterization using SAA with the BET method revealed that the $\text{NiS/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ catalyst had a surface area of 27.57 m^2/g , a pore volume of 0.10 cm^3/g , and a pore diameter of 25.45 nm. The XRD analysis results showed the presence of SiO_2 peaks at $2\theta = 21.85^\circ$, 28.38° , and 31.32° ; Al_2O_3 peaks at $2\theta = 35.94^\circ$; NiO peaks at $2\theta = 36.04^\circ$, 37.18° , 43.31° and 62.80° ; and NiS peaks at $2\theta = 31.21^\circ$, 35.95° , 37.93° , 50.13° , and 55.24° . The GC-MS analysis of hydrocracking products using $\text{NiS/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ catalyst showed the highest biogasoline selectivity of 47.96% at a temperature of 350°C. This result indicates that the catalyst performed more effectively at 350°C in the hydrocracking of CPO compared to temperatures of 250°C and 300°C.

Keywords: CPO, Hydrocracking, Catalyst, Process, EDTA Template

Citations: 86 (2013–2024)

RINGKASAN

PREPARASI, KARAKTERISASI, DAN UJI KINERJA KATALIS NiS BERPENDUKUNG Si/Al DENGAN *TEMPLATE* PORI EDTA UNTUK *HYDROCRACKING* CPO MENJADI *BIOFUEL*

Rahel Natalia: Dibimbing oleh Prof. Dr. Hasanudin, M.Si dan Dr. Eng. Nino Rinaldi

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya

xvii + 71 halaman + 8 gambar + 4 tabel + 8 lampiran

Proses pembuatan katalis NiS berpendukung $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan *template* pori EDTA dimulai dengan mengimpregnasi logam Ni ke dalam $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ yang kemudian masuk dalam proses kalsinasi, sulfidasi, dan *hydrocracking* dengan CPO. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan aktivitas dan selektivitas katalis dalam memecah molekul asam lemak dari CPO menjadi fraksi *biofuel* yang diinginkan. Proses *hydrocracking* CPO dilakukan dengan 3 variasi suhu, yaitu 250°C, 300°C, dan 350°C. Berdasarkan hasil analisis XRF, kandungan Sulfur (S) pada NiS/ $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ diperoleh sebesar 3,87%. Hal ini menunjukkan bahwa proses sulfidasi berhasil mengubah NiO pada katalis menjadi nikel sulfida (NiS). Hasil analisis PSA pada katalis NiS/ $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ menunjukkan rata-rata ukuran partikel diperoleh sebesar 44,41 μm . Karakterisasi SAA dengan metode BET menunjukkan katalis NiS/ $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ memiliki luas permukaan sebesar 27,57 m^2/g dengan volume pori sebesar 0,10 cm^3/g , dan diameter pori sebesar 25,45 nm. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan adanya puncak SiO_2 terdeteksi pada sudut $2\theta = 21,85^\circ$; $28,38^\circ$; dan $31,32^\circ$; puncak Al_2O_3 muncul pada sudut $2\theta = 35,94^\circ$; puncak NiO terdeteksi pada sudut $2\theta = 36,04^\circ$; $37,18^\circ$; $43,31^\circ$; $62,80^\circ$; dan puncak NiS pada sudut $2\theta = 31,21^\circ$; $35,95^\circ$; $37,93^\circ$; $50,13^\circ$; dan $55,24^\circ$. Hasil analisis GC-MS produk *hydrocracking* CPO dengan katalis NiS/ $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ menunjukkan % selektivitas tertinggi yang diperoleh pada produk *biogasoline* sebesar 47,96% dengan suhu 350°C. Hal ini membuktikan bahwa katalis tersebut bekerja lebih efektif pada suhu 350°C dalam proses *hydrocracking* CPO dibandingkan dengan suhu 250°C dan 300°C.

Kata Kunci : CPO, *Hydrocracking*, Katalis, Proses, *Template* EDTA

Sitasi : 86 (2013-2024)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
SUMMARY	xi
RINGKASAN	xii
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 <i>Crude Palm Oil (CPO)</i>	4
2.2 <i>Biofuel</i>	4
2.3 <i>Hydrocracking</i>	5
2.4 Katalis	6
2.5 Nikel dan Nikel Sulfida	7
2.6 Silika Alumina	8
2.7 <i>Ethylene Diamine Tetraacetic Acid (EDTA)</i>	9
2.8 KARAKTERISASI	10
2.8.1 <i>X-Ray Diffraction</i>	10
2.8.2 <i>X-ray fluorescence (XRF)</i>	11
2.8.3 <i>Particle Size Analyzer (PSA)</i>	12
2.8.4 <i>Brunauer-Emmet-Teller (BET)</i>	12
2.8.5 <i>Gass Chromatography–Mass Spectroscopy (GC-MS)</i>	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Waktu dan Tempat	15

3.2	Alat dan Bahan.....	15
3.2.1	Alat	15
3.2.2	Bahan	15
3.3	Metode Penelitian	15
3.3.1	Preparasi $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan <i>Template</i> EDTA	15
3.3.2	Sintesis Katalis Logam Ni dengan $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$	16
3.3.3	Proses Sulfidasi Katalis $\text{NiS/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$	16
3.3.4	Proses <i>Hydrocracking</i> CPO dengan $\text{NiS/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ menjadi <i>Biofuel</i>	18
3.3.5	Karakterisasi Sampel.....	18
3.3.5.1	Karakterisasi Komposisi Unsur dari Support dan Katalis dengan XRF	13
3.3.5.2	Karakterisasi Struktur Kristal Support dan Katalis dengan XRD.....	13
3.3.5.3	Karakterisasi Ukuran Partikel Support dan Katalis dengan PSA.....	19
3.3.5.4	Karakterisasi Support dan Katalis dengan SSA Menggunakan Metode BET	19
3.3.5.5	Analisis data <i>Hydrocracking</i> dengan GC-MS.....	19
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	20
4.1	Preparasi Logam Nikel dengan Silika Alumina	20
4.2	Aktivasi Logam $\text{NiO/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ menjadi $\text{NiS/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ Melalui Proses Sulfidasi.....	20
4.3	Karakterisasi Katalis Menggunakan <i>X-ray Fluorescence</i> (XRF).....	21
4.4	Karakterisasi Katalis Menggunakan <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA)..	22
4.5	Karakterisasi Katalis Menggunakan SAA dengan Metode <i>Brunauer-Emmet-Teller</i> (BET)	24
4.6	Karakterisasi Katalis Menggunakan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	26
4.7	Produk Hasil <i>Hydrocracking</i>	27
4.8	Pengukuran Menggunakan GC-MS Terhadap Hasil <i>Hydrocracking</i> .	28
BAB V	PENUTUP.....	31
5.1	Kesimpulan.....	31
5.2	Saran	31
DAFTAR PUSTAKA.....		32
LAMPIRAN.....		41
DAFTAR RIWAYAT HIDUP		71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Diagram skema proses <i>hydrocracking</i>	6
Gambar 2. Struktur EDTA	9
Gambar 3. Contoh difraktogram XRD	11
Gambar 4. Proses sulfidasi	21
Gambar 5. Kurva distribusi ukuran partikel	23
Gambar 6. Kurva isotherm katalis	24
Gambar 7. Hasil difraktogram XRD.....	26
Gambar 8. Kromatogram CPO dan kromatogram hasil <i>hydrocracking</i>	28

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Hasil karakterisasi <i>X-Ray Fluoresence</i> (XRF)	21
Tabel 2. Hasil karakterisasi <i>Particel Size Analyzer</i> (PSA).....	23
Tabel 3. Hasi karakterisasi <i>Brunauer-Emmet-Teller</i> (BET).....	25
Tabel 4. Hasil persentase selektivitas <i>Biogasoline</i> , <i>Bioavtur</i> , dan <i>Biodiesel</i> ...	30

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Prosedur penelitian	42
Lampiran 2. Perhitungan preparasi katalis	46
Lampiran 3. Data hasil karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	47
Lampiran 4. Data hasil SSA menggunakan metode BET	49
Lampiran 5. Perhitungan luas permukaan, volume pori, jari-jari pori, dan diameter pori dengan metode BET	51
Lampiran 6. Data hasil difraktogram GC-MS.....	56
Lampiran 7. Hasil perhitungan % selektivitas produk <i>hydrocracking</i> CPO ..	67
Lampiran 8. Dokumentasi penelitian.	69

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia masih bergantung pada energi minyak bumi sebagai sumber utama bahan bakar. Ketergantungan ini menyebabkan permasalahan serius, seperti berkurangnya cadangan minyak bumi dan pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan alternatif energi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan (Rahmayanti dkk, 2021). Salah satu solusi yang dapat dikembangkan adalah *biofuel*, yang berasal dari bahan baku nabati dan memiliki keunggulan sebagai energi terbarukan serta rendah emisi. Salah satu minyak nabati yang dapat digunakan sebagai bahan baku *biofuel* adalah *Crude Palm Oil* (CPO) (Hasanudin *et al.*, 2023). Metode yang menjanjikan untuk konversi CPO menjadi *biofuel* berkualitas tinggi adalah *hydrocracking*.

Hydrocracking adalah proses perengkahan yang melibatkan hidrogen dan katalis untuk mengubah molekul besar dalam CPO menjadi hidrokarbon rantai lurus yang sesuai untuk bahan bakar (Vela *et al.*, 2023). Namun, *hydrocracking* memerlukan kondisi suhu dan tekanan tinggi, sehingga pemilihan katalis yang tepat menjadi kunci dalam meningkatkan efisiensi proses ini (Wafi dan Budianto, 2022). Katalis bifungsional yang digunakan dalam *hydrocracking* terdiri dari komponen logam transisi sebagai situs aktif hidrogenasi dan material pendukung asam sebagai pusat perengkahan (Rasyid dkk, 2015). Logam transisi yang biasanya digunakan sebagai katalis adalah Co (Sihombing *et al.*, 2020), Mo (Trisunaryanti *et al.*, 2019), Ni (Lanzafame *et al.*, 2017), dan support katalis asamnya terdiri dari zeolit (Hadi *et al.*, 2018), Al_2O_3 (Widiyadi *et al.*, 2018), SiO_2 (Asri *et al.*, 2023), dan lain-lainnya.

Nikel menjadi salah satu logam transisi yang memiliki aktivitas katalitik yang baik dalam reaksi deoksigenasi katalitik maupun reaksi *hydrocracking*. Aktivitas katalitik dari logam nikel hampir setara dengan logam mulia. Nikel lebih reaktif atau lebih mampu menerima pasangan elektron bebas, sehingga memiliki keasaman yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan logam transisi lainnya. Keasaman ini diperlukan dalam reaksi perengkahan (Aziz *et al.*, 2023). Namun, nikel memiliki beberapa keterbatasan, seperti luas permukaan yang relatif kecil serta

kecenderungan mengalami aglomerasi selama proses katalitik berlangsung (Yanti dkk, 2020). Hal ini dapat diatasi dengan menambahkan bahan pendukung yang berfungsi meningkatkan efektivitas katalis. Beberapa variasi katalis nikel di antaranya Ni-Mo (Li *et al.*, 2022), Ni-N (Hasanudin *et al.*, 2023), Ni-Fe (Al-Muttaqii *et al.*, 2018).

Salah satu katalis berbahan dasar logam nikel yang dapat berpotensi tinggi dalam *hydrocracking* adalah nikel sulfida (NiS). Hal ini karena NiS memiliki aktivitas katalitik yang baik (Zhang *et al.*, 2024). Namun, aktivitas dan kestabilan NiS masih perlu ditingkatkan dengan penggunaan material pendukung yang tepat. $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ merupakan penyangga yang menawarkan berbagai manfaat selama proses *hydrocracking*. Material ini memiliki diameter pori yang cukup untuk mendukung deposisi logam, difusi pori, dan dispersi logam aktif serta tingkat keasaman yang sesuai untuk memecah molekul besar sekaligus mengurangi pembentukan kokas (Fanani *et al.*, 2024). Luas permukaan yang tinggi pada silika-alumina sangat menguntungkan dalam penggunaannya sebagai bahan pendukung katalis. Situs asamnya mampu berinteraksi dengan logam transisi (Rohman dan Maharani, 2014). Kombinasi NiS dengan $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ diharapkan dapat meningkatkan aktivitas katalis dalam perengkahan CPO dan meningkatkan stabilitas katalis selama reaksi. Untuk meningkatkan efisiensi dan kontrol struktur pori katalis maka digunakan *template* pori *Ethylene Diamine Tetraacetic Acid* (EDTA) dalam sintesis katalis.

EDTA merupakan agen pengkelat stabil yang dapat membentuk kompleks dengan ion logam transisi, sehingga dapat digunakan untuk mengontrol distribusi pori dan meningkatkan luas permukaan katalis. EDTA berperan sebagai ligan heksadentat dengan menggunakan empat gugus karboksilat dan dua gugus amina untuk membentuk ikatan kovalen koordinasi yang stabil dengan kation logam (Al Sheidi *et al.*, 2024). Kemampuan koordinasi yang luas dan kestabilan yang dimiliki EDTA dapat menghasilkan struktur pori yang lebih seragam yang dapat meningkatkan difusi reaktan serta kestabilan katalis dalam *hydrocracking* CPO. Menurut penelitian yang dilakukan Hasanudin *et al.*, (2022), keberadaan EDTA dalam proses sintesis dapat mempengaruhi sifat tekstur dari katalis. EDTA sebagai *template* akan membentuk struktur pori yang lebih besar, sehingga meningkatkan

volume pori katalis, sementara perannya sebagai agen pengkelat justru mengurangi volume total pori pada katalis. Selain itu, berdasarkan penelitian yang dilakukan Fanani *et al.*, (2024) penggunaan EDTA sebagai *template* berhasil meningkatkan keasaman, dispersi logam, dan karakteristik tekstural pada katalis sehingga memberikan kinerja *hydrocracking* yang lebih baik. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan katalis NiS dengan menggunakan EDTA sebagai agen *template* guna meningkatkan sifat fisikokimia katalis. Dispersi NiS ke dalam penyangga $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ diharapkan dapat meningkatkan kinerja dalam proses *hydrocracking* CPO sehingga menghasilkan konversi yang lebih tinggi.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik dari *support* $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\text{NiO/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ dan $\text{NiS/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ dalam mendukung proses *hydrocracking* CPO menjadi *biofuel*?
2. Bagaimana pengaruh variasi suhu terhadap produk *hydrocracking* CPO menjadi *biofuel* dengan katalis $\text{NiS/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menentukan karakteristik dari *support* $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\text{NiO/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ dan $\text{NiS/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ dalam mendukung proses *hydrocracking* CPO menjadi *biofuel*?
2. Menentukan pengaruh variasi suhu terhadap produk *hydrocracking* CPO menjadi *biofuel* dengan katalis $\text{NiS/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang katalisis, khususnya dalam preparasi dan karakterisasi kinerja katalis NiS berpendukung Si/Al dengan *template* pori EDTA dalam proses *hydrocracking* CPO menjadi *biofuel* sehingga diharapkan dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Afolabi O, and Onwona A. (2023). Application of Incipient Wet Impregnation (IWI) Methodology in the Synthesis of Ni/SiO₂ Catalysts for Hydrodeoxygenation Processes. *Journal of Sustainable Energy*, 14(2), 77-85.
- Abdillah, K., Primasyukra, M. A., dan Ulina, S. (2023). Sosialisasi dan Simulasi *Centrifuge* Berbasis Arduino At Mega 16 dengan Pembacaan *Timer* dan Suhu pada Motor. *Jurnal Abdimas Mutiara*, 4(2), 289-293.
- Ali, P. P., Nugraha, I. W. A., Ghozali, M., dan Suminar, D. R. (2021). Pengaruh Senyawa Alumina (Al₂O₃) dan Silika (SiO₂) dalam Kualitas Batubara. *Saintis*, 3(1), 42-49.
- Al-Muttaqii, M., Kurniawansyah, F., Prajitno, D. H., dan Roesyadi, A. (2018). Hydrocarbon Biofuel Production by Hydrocracking Process with Nickel-Iron Supported on HZSM-5 Catalyst. *International Symposium of Indonesian Chemical Engineering (ISICChem)*, 543(1), 1-7. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/543/1/012055>
- Al-Muttaqii, M. A., Rinaldi, N., dan Irawan, C. (2024). Produksi *Biofuel* dari Minyak Nyamplung Menggunakan Reaksi *Hydrocracking*. *Jurnal Teknologi Berkelanjutan*, 13(2), 67-76. <http://jtb.ulm.ac.id/index.php/JTB>
- Al Sheidi, A. S. A., Dyer, L. G., and Tadesse, B. (2024). Leaching Efficacy of Ethylenediaminetetraacetic Acid (EDTA) to Extract Rare-Earth Elements from Monazite Concentrate. *Journal of Crystals*, 14(10), 1-16. <https://doi.org/10.3390/cryst14100829>
- Amelia, R., Harjito, D., dan Kunci, K. (2016). Pengaruh Ethylenediaminetetraacetate dan Ph Larutan Terhadap Karakteristik Nanorods ZnO. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 5(2), 159-163. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- Andalus, A., dan Ermawati, F. U. (2023). Karakterisasi Struktur dan Distribusi Ukuran Partikel Serbuk Mg(Ti_{0,96}Sn_{0,04}) Hasil Sintesis dengan Metode Pencampuran Larutan Sebagai Akibat Variasi Waktu Tahan Kalsinasi. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, 12(3), 1-9.
- Asri, W. R., Hasanudin, dan Wijaya, K. (2023). Preparation of Zirconium Nitride supported on SiO₂ Catalyst for Vegetable Oil Conversion. *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*, 8(2), 98-104. <https://doi.org/10.24845/ijfac.v8.i2.98>
- Aziz, I., Sugita, P., Darmawan, N., dan Dwiatmoko, A. A. (2023). Synthesis of Green Diesel from Palm Oil Using Nickel-Based Catalyst: A Review. *Jurnal Kimia Valensi*, 9(1), 59–75. <https://doi.org/10.15408/jkv.v9i1.26488>
- Bergslien, E. T. (2022). X-ray Diffraction (XRD) Evaluation of Questioned

- Cremains. *Forensic Science International*, (332), 1-5.
<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2022.111171>
- Brame, J., and Griggs, C. (2016). Surface Area Analysis Using the Brunauer-Emmett-Teller (BET) Method. *Scientific Operating Procedure Series: SOP-C Environmental Laboratory*. www.erdc.usace.army.mil.
- Duralliu, A., Matejtschuk, P., and Williams, D. R. (2019). Measuring the Specific Surface Area (SSA) of Freeze-Dried Biologics Using Inverse Gas Chromatography. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 142, 216–221. <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2019.06.026>
- Eddy, D. R., Noviyanti, A. R., dan Janati, D. (2016). Sintesis Silika Metode Sol-Gel Sebagai Penyangga Fotokatalis TiO_2 Terhadap Penurunan Kadar Kromium dan Besi. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 17(2), 82-89.
- Fanani, Z., Asri, W. R., Dwiyantri, B., Rinaldi, N., Maryana, R., Muttaqii, M. Al, Riyanti, F., Mara, A., Zainul, R., and Hasanudin, H. (2024). Efficient Catalytic Hydrocracking of Crude Palm Oil Over EDTA Template-Assisted $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{NiMo}$ Catalysts. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 68(4), 552–560.
- Fatimah, S., Ragadhita, R., Husaeni, D. F. A., and Nandiyanto, A. B. D. (2021). How to Calculate Crystallite Size from X-Ray Diffraction (XRD) using Scherrer Method. *ASEAN Journal of Science and Engineering*, 2(1), 65-76.
<https://doi.org/10.17509/ijost.v6ix>
- Febriana, I., Ramadhini, T. K., dan Aulia, T. (2020). Pengaruh Temperatur dan Waktu Reaksi Minyak Jelantah dengan Zeolit Alam pada Produksi Biofuel. *Jurnal Kinetika*, 11(3), 53-59.
- Ferdiansyah, R., Rachmaniar, R., dan Herman, V. Y. (2019). Karakterisasi Kristalinitas Lemak Biji Tengkawang (*Shorea stepnotera Ridley*) Menggunakan X-Ray Diffraction (XRD), Fourier Transform Infra Red (FTIR) dan Automatic Melting Point. *JSTFI Jurnal Sains Dan Teknologi Farmasi Indonesia*, 8(2), 29-38.
- Fira, P. M., Sitinjak, M. W. J., Wulandari, R. F., Purnamasari, F. D., Aulia, D., dan Hasanudin. (2023). Produksi Energi Hijau (*Biogasoline* dan *Bioavtur*) dengan Katalis CeN Berpendukung Si/Al dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS). *Jurnal Penelitian Sains*, 25(3), 267-272.
<http://ejurnal.mipa.unsri.ac.id/index.php/jps/index>
- Genchi, G., Carocci, A., Lauria, G., Sinicropi, M. S., and Catalano, A. (2020). Nickel: Human Health and Environmental Toxicology. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), 1-21.
<https://doi.org/10.3390/ijerph17030679>
- Gerasimov, A. M., Eremina, O. V., Cherkasova, M. V., & Dmitriev, S. V. (2021).

- Application of Particle-Size Analysis in Various Industries. *Journal of Physics: Conference Series*, 1728(1), 1-7. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1728/1/012003>
- Hadi, M., Aghabozorg, H. R., Bozorgzadeh, H. R., and Ghazemi, M. R. (2018). The Effect of Aluminum Source on Performance of Beta Zeolite as a Support for Hydrocracking Catalyst. *Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 13(3), 543-552. <https://bcrec.undip.ac.id/>
- Hajj, D. S., Aprilia, D., dan Budianto, A. (2019). Pembuatan Biofuel dengan Proses Perengkahan dari Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) Menggunakan Katalis CaO. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan VII*, 607-614.
- Hakim, L., Dirgantara, M., dan Nawir, M. (2019). Karakterisasi Struktur Material Pasir Bongkahan Galian Golongan C Dengan Menggunakan X-Ray Diffraction (X-RD) di Kota Palangkaraya. *Jurnal Jejaring Matematika dan Sains* 1(1), 44-51. <http://e-journal.upr.ac.id/index.php/JMS>
- Haryono, Natanael, C. L., Rukiah., dan Yulianti, Y. B. (2018). Kalsium Oksida Mikropartikel dari Cangkang Telur Sebagai Katalis pada Sintesis Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, 8(1), 8-15.
- Hasanudin, H., Asri, W. R., Fanani, Z., Adisti, S. J., Hadiah, F., Maryana, R., Al Muttaqii, M., Zhu, Z., and Machado, N. T. (2022). Facile Fabrication of SiO₂/Zr Assisted with EDTA Complexed-Impregnation and Templated Methods for Crude Palm Oil to Biofuels Conversion via Catalytic Hydrocracking. *Catalysts*, 12(12), 1-15. <https://doi.org/10.3390/catal12121522>
- Hasanudin, H., Asri, W. R., Mara, A., Al Muttaqii, M., Maryana, R., Rinaldi, N., Sagadevan, S., Zhang, Q., Fanani, Z., and Hadiah, F. (2023). Enhancement of Catalytic Activity on Crude Palm Oil Hydrocracking over SiO₂/Zr Assisted with Potassium Hydrogen Phthalate. *ACS Omega*, 8(23), 20858–20868. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c01569>
- Hasanudin, H., Asri, W. R., Permatahati, U., Purwaningrum, W., Hadiah, F., Maryana, R., Muttaqii, M. Al, and Hendri, M. (2023). Conversion of Crude Palm Oil to Biofuels via Catalytic Hydrocracking Over NiN-Supported Natural Bentonite. *AIMS Energy*, 11(2), 197–212. <https://doi.org/10.3934/energy.2023011>
- Hasanudin, H., Rachmat, A., Said, M., and Wijaya, K. (2020). Kinetic Model of Crude Palm Oil Hydrocracking over Ni/Mo ZrO₂-Pillared Bentonite Catalyst. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 64(2), 238–247. <https://doi.org/10.3311/PPch.14765>
- Ibrahim, M. A., Araby, R. E., Abdelkader, E., Saied, M. E., Abdelsalam, A. M., and Ismail, E. H. (2023). Waste Cooking Oil Processing Over Cobalt

- Aluminate Nanoparticles for Liquid Biofuel Hydrocarbons Production. *Nature*, 13(3876), 1–17. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-30828-0>
- Iko, W., Eze, S., and Oscar, O. (2015). Gas Chromatography Mass Spectrometry of Quassia undulata Seed Oil. *Nig J. Biotech*, 30, 53–58. <https://doi.org/10.4314/njb.v30i2.7>
- Inglezakis, V. J., Pouloupoulos, S. G., and Kazemian, H. (2018). Insights into the S-Shaped Sorption Isotherms and Their Dimensionless Forms. *Microporous and Mesoporous Materials*, 272, 166–176. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2018.06.026>
- Irwansyah, F. S., Amal, A. I., Diyanthi, E. W., Hadisantoso, E. P., Noviyanti, A. R., Eddy, D. R., and Risdiana, R. (2024). How to Read and Determine the Specific Surface Area of Inorganic Materials using the Brunauer-Emmett-Teller (BET) Method. *ASEAN Journal of Science and Engineering*, 4(1), 61–70. <https://doi.org/10.17509/ajse.v4i1.60748>
- Lanzafame, P., Perathoner, S., Centi, G., Heracleous, E., Lliopoulou, E. F., Triantafyllidis, K. S., and Lappas, A. A. (2017) Effect of the Structure and Mesoporosity in Ni/Zeolite Catalysts for n-Hexadecane Hydroisomerisation and Hydrocracking. *ChemCatChem*, 9(1), 1632–1640. <https://doi.org/10.1002/cctc.201601670>
- Lestari, P., Berliani, R. A., Pratama, E. A., Al-Jannata, R. A., Pratiwi, D. V., dan Widiyandari, H. (2023). Extraction of Silica (SiO₂) from Rare-Earth Metal Zircon (ZrSiO₄) as Lithium-Ion Battery Anode Material. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 26(3), 79–84. <https://doi.org/10.14710/jksa.26.3.79-84>
- Li, M., Ihli, J., Verheijen, M. A., Holler, M., Guizar-Sicairos, M., Van Bokhoven, J. A., Hensen, E. J. M., and Weber, T. (2022). Alumina-Supported NiMo Hydrotreating Catalysts-Aspects of 3D Structure, Synthesis, and Activity. *Journal of Physical Chemistry C*, 126(43), 18536–18549. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.2c05927>
- Maji, S. R., Roy, C., and Sinha, S. K. (2023). Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS): a Comprehensive Review of Synergistic Combinations and Their Applications in The Past Two Decades. *Journal of Analytical Sciences and Applied Biotechnology*, 5(1), 72-85. <https://doi.org/10.48402/IMIST.PRSM/jasab-v5i2.40209>
- Mandviwala, C., Vilches Berdugo, T., Seemann, M., González-Arias, J., and Thunman, H. (2022). Unraveling the hydrocracking capabilities of fluidized bed systems operated with natural ores as bed materials. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 166, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2022.105603>
- Mi, L., Chen, Y., Wei, W., Chen, W., Hou, H., and Zheng, Z. (2013). Large-scale urchin-like micro/nano-structured NiS: Controlled synthesis, cation exchange and lithium-ion battery applications. *RSC Advances*, 3(38), 17431–17439.

<https://doi.org/10.1039/c3ra42859a>

- Mirzan, M., Duda, N. A., Khairuddin, Nurakhirawati, dan Ruslan. (2024). Sintesis dan Karakterisasi Katalis Bentonit Termodifikasi TiO₂ dan Terinpregnasi Logam Ni. *Kovalen: Jurnal Riset Kimia*, 10(3), 233–243. <https://doi.org/10.22487/kovalen.2024.v10.i3.17411>
- Mungkin, M., and Pengaruh Bahan, S. (2018). Studi Pengaruh Bahan Aditif NaCl dan Na-EDTA pada Elektrolit Baterai Berbahan Filtrasi Air Jeruk Nipis. In *Journal of Electrical Technology*, 3(1), 34-39.
- Murjana, L., dan Handayani, W. (2022). Analisis Pengendalian Kualitas Crude Palm Oil (CPO) dengan Menggunakan Metode Statistical Quality Control (SQC) pada PT Sapta Karya Damai Kalimantan Tengah. *Widyakala: Journal of Pembangunan Jaya University*, 9(1), 47-61.
- Nugroho, A. P. P., Fitriyanto, D., dan Roesyadi, A. (2014). Pembuatan *Biofuel* dari Minyak Kelapa Sawit melalui Proses *Hydrocracking* dengan Katalis Ni-Mg/ γ -Al₂O₃. *Jurnal Teknik Pomits*, 3(2), 117-121.
- Nurmalasari. (2017). Sintesis Katalis NiMo secara Sequential Deposition dan Codeposition pada Silika Mesopori Tercetak Gelatin. *Jurnal Chemica*, 18(1), 1-9.
- Ulya, I. N., Jumaeri., Wawan., Rahayu, E. F., dan Wijayati, N. (2019). Uji Aktivitas Katalitik Hidrodesulfurisasi Campuran Light Gas Oil (LGO) dan Light Diesel Oil (LDO) dengan Katalis CoMo/ γ -Al₂O₃. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 9(2), 117-124. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- Oko, S., dan Feri, M. (2019). Pengembangan Katalis CaO dari Cangkang Telur Ayam dengan Impregnasi KOH dan Aplikasinya Terhadap Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jarak. *Jurnal Teknologi*, 11(2), 103-110. <https://doi.org/10.24853/jurtek.11.2.103-110>
- Papa, F., Vasile, A., and Dobrescu, G. (2022). Effect of the Modification of Catalysts on the Catalytic Performance. *Catalysts*, 12(12), 1-4. <https://doi.org/10.3390/catal12121637>
- Pratama, S. A., and Nazarudin. (2022). Catalysts to Produce Biofuels from Palm Oil-based Feedstock in Jambi Province: A Review of Performance and Potential. *Journal of Bio & Geo Material and Energy (BiGME)*, 2(1), 13-20.
- Purbasari, A., Ariyanti, D., Sumardiono, S., Masyaroh, M., and Salsabila, T. R. (2021). Physical Properties and Structural Characteristics of Alkali Modified Fly Ash. *Journal of Physics: Conference Series*, 1912(1), 1-6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1912/1/012012>
- Putri, D. O., Mardawati, E., dan Putri, S. H. (2019). Perbandingan Metode Degumming CPO (Crude Palm Oil) Terhadap Karakteristik Lesitin yang Dihasilkan. *Jurnal Industri Pertanian*, 1(3), 88-94.

<http://jurnal.unpad.ac.id/justin>

- Putri, N. S., Rahim, A., Patiung, O., Afasedanja, M. M. T. (2023). Pengujian X-Ray Fluorescence Terhadap Kandungan Mineral Logam Pada Endapan Sedimen di Sungai Amamapare Kabupaten Mimika, Papua Tengah. *Jurnal Teknik AMATA*, 04(1), 6-10.
- Rafiani, A., Aulia, F., Dwiatmoko, A. A., Rinaldi, N., Nurhasni, and Widjaya, R. (2020). Studies on Nickel-based Bimetallic Catalysts for the Hydrodeoxygenation of Stearic Acid. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 722(1), 1-8. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/722/1/012001>
- Rahdar, A., Aliahmad, M., and Azizi, Y. (2015). NiO Nanoparticles: Synthesis and Characterization. *JNS*, 5(1), 145-151.
- Rahmayanti, L., Rahmah, D. M., dan Larashati. (2021). Analisis Pemanfaatan Sumber Daya Energi Minyak Dan Gas Bumi Di Indonesia. *Jurnal Sains Edukatika Indonesia (JSEI)*, 3(2), 9–16.
- Ramadhanti, Y. (2023). Peran Katalis dalam Reaksi Kimia: Mekanisme dan Aplikasi. *Jurnal Ilmiah Teknik*, 2(2), 74-78.
- Rani, S. R. A. (2022). Studi Analisis Data Difraksi Sinar-X pada Material Zircon Pasir Alam Melalui Metode Rietveld. *Jurnal Fisika Dan Terapannya*, 9(1), 16–22. <https://doi.org/10.24252/jft.v9i1.25470>
- Rasyid, R., Wicaksono, R. A.S., Lusita, D. D., Mahfud, dan Roesyadi, A. (2015). Efektifitas Katalis Co/Mo pada Hydrocracking Minyak Nyamplung. *Reaktor*, 15(4), 268-273. <https://doi.org/10.14710/reaktor.15.4.268-273>
- Ribeiro, C., Tkach, A., Costa, M. E., and Vilarinho, P. M. (2024). Exploring the low temperature fabrication and properties of barium strontium titanate tunable dielectric ceramics. *Journal of the European Ceramic Society*, 44(8), 4985–4991. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2024.02.041>
- Rohman, M. N. K., Dina, D., dan Maharani, K. (2014). Katalis Campuran Oksida Logam Cu/Zn Synthesis and Characterization of Silica-Alumina with Calcination Temperature Variation as Matrix Cu/Zn Mixed Metal Oxide Catalyst. In *UNESA Journal of Chemistry*, 3(2), 35-39.
- Roni, K. A., Sari, I. D. P., Herawati, L. N., and Juniar, H. (2023). Pyrolysis of Kapok Seed Oil (*Ceiba pentandra*) into Liquid Fuel with Variations of Temperature and Reaction Time. *Global Journal of engineering and Technology*, 2(2), 24-28.
- Sari, M. P., Suseno, A., dan Ismiyarto. (2018). Pengaruh Rasio Katalis/Minyak Jelantah Terhadap Aktivitas Katalis Ni-Cu/Al₂O₃-Bentonit untuk Hidrorengkah Minyak Jelantah Menjadi Biogasoline. *Jurnal Undip*, 1-9.

- Septianti, S. A., Andryani, S. D., dan Parapat, R. Y. (2021). Sintesis Nanokatalis ZnO dengan Support Nanomineral untuk Pirolisis Asbuton Menjadi Bahan Bakar Cair. *Prosiding Diseminasi FTI*, 1-7.
- Sharpe, L. R. (2024). Exploring Matrix Effects on the Determination of Iron in Soil Using X-ray Fluorescence. *Journal of Chemical Education*, 101(3), 1227–1232. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c01032>
- Sihombing, J. L., Gea, S., Wirjosentono, B., Agusnar, H., Pulungan, A. N., Herlinawati, H., Yusuf, M., and Hutapea, Y. A. (2020). Characteristic and Catalytic Performance of Co and Co-MoMetal Impregnated in Sarulla Natural Zeolite Catalyst for Hydrocracking of MEFA Rubber Seed Oil into Biogasoline Fraction. *Catalysts*, 10(121), 2–14. <http://dx.doi.org/10.3390/catal10010121>
- Sihotang, A., Heriyanti, S. I., Murti, S. D. S., Yanti, F. M., Gusti, D. R., Ichsan, A. F., dan Putri, A. A. (2022). The Effect of Metal Impregnation of Fe, Cu, and Co on Surface Area of Zsm-5 Catalyst Analyzed Using Surface Area Analyzer (SAA). *Jurnal Al-Kimia*, 10(2), 170–179. <https://doi.org/10.24252/al-kimiav10i2.32912>
- Subamia, I. D. P., Widiasih, N. N, Wahyuni, I. G. A. N. S., dan Kristiyanti, P. L. P. (2023). Optimasi Kinerja Alat *Fourier Transform Infrared* (FTIR) Melalui Studi Perbandingan Komposisi dan Ketebalan Sampel-KBr. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, 5(2), 58-69.
- Sulaiman, A. A., Amruddin, A., Bahrin, A. H., Yuna, K., and Keela, M. (2024). New Challenges and Opportunities of Indonesian Crude Palm Oil in International Trade. *Caraka Tani: Journal of Sustainable Agriculture*, 39(1), 94–106. <https://doi.org/10.20961/carakatani.v39i1.81957>
- Sunarno., Budiman, A., and Mulyono, P. (2018). Silica-Alumina Based Catalytic Cracking of Bio-Oil Using Double Series Reactor. *International Journal of Renewable Energy Research*, 8(1), 414-420.
- Tahier, T., Mohiuddin, E., Botes, A., Frazenburg, M., Botha, S., and Mdleleni, M. M. (2022). Synthesis, Characterization, and Catalytic Activity of Nickel Sulfided Catalysts for the Dehydrogenation of Propane: Effect of Sulfiding Agent and Sulfidation Temperature. *Catalysts*, 12(5), 2-27. <https://doi.org/10.3390/catal12050483>
- Trisunaryanti, W., Kartika, I. A., Mukti, R. R., Hartati, H., Triyono, T., Widyawati, R., and Suarsih, E. (2019). Preparation of Ni- and Mo-Based Catalysts Supported on γ -Al₂O₃ for Hydrocracking of Calophyllum Inophyllum Oil. *Biofuels*, 1-6. <https://doi.org/10.1080/17597269.2019.1669871>
- Vasques, S. T., Salinas, M., Murillo, H., and Oñate, W. (2022). Ethanol to High-Octane Hydrocarbons Using HZSM-5 as Catalyst. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 1094(1), 1-5. <https://doi.org/10.1088/1755->

1315/1094/1/012005

- Vela, F. J., Palos, R., Rodríguez, S., Azkoiti, M. J., Bilbao, J., and Gutiérrez, A. (2023). Study on the Role of the Reaction Time in the Upcycling of HDPE by Co-Hydrocracking it with VGO. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 170(1), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2023.105928>
- Villarreal, A., Ramírez, J., Caero, L. C., Villalón, P. C., and Gutiérrez-Alejandre, A. (2014). Importance of the Sulfidation Step in the Preparation of Highly Active NiMo/SiO₂/Al₂O₃ Hydrodesulfurization Catalysts. *Catalysis Today*, 250, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2014.03.035>
- Wafi, M., dan 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>
- Wählich, A., Wansleben, M., Unterumsberger, R., Kayser, Y., and Beckhoff, B. (2023). Reference-free X-ray Fluorescence Analysis Using Well-Known Polychromatic Synchrotron Radiation. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 38(9), 1865–1873. <https://doi.org/10.1039/d3ja00109a>
- Wang, J., Jia, Z., Wang, Q., Zhao, S., Xu, Z., Yang, W., and Frenkel, A. I. (2016). XAFS Characterization Of Industrial Catalysts: In Situ Study of Phase Transformation of Nickel Sulfide. *Journal of Physics: Conference Series*, 712(1), 1-5. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/712/1/012145>
- Widiyati, A., Guspiyani, G. A., Riadi, J., Andreanto, R., Chaiunnisa, S. D., and Widayat, W. (2018). Preparation and Characterization of NiMo/Al₂O₃Catalyst for Hydrocracking Processing. *ICENIS*, 31, 1-4. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183103011>
- Windy, Y. M., Dilla, K. N., Claudia, J., Noval., dan Hakim. A. R. (2018). Karakterisasi dan Formulasi Nanopartikel Ekstrak Tanaman Bundung (*Atinoscripus grossus*) dengan Variasi Konsentrasi Basis Kitosan dan NA-TPP Menggunakan Metode Gelasi Ionik. *Jurnal Surya Medika (JSM)*, 8(3), 25-29. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183103011>
- Xavier, C. A., Muthu, S. M., and Prem Anand, D. (2022). Synthesis, Characterization and Antibacterial Activity of Aluminium Oxide Nanoparticles 18(4), 1-5. <http://xisdxjsu.asia>
- Yanti, R. N., Hambali, E., Pari, G., dan Suryani, A. (2020). Karakteristik Arang Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit yang Diimpregnasi Logam Nikel Sebagai Katalis. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 38(3), 129–138. <https://doi.org/10.20886/jphh.2020.38.3.129-13>
- Yulistiono, S., dan Brotowati, S. (2018). Pengaruh Suhu Kalsinasi Pada Sintesis Katalis Padat Titanium Dioksida Tersulfonasi Terhadap Konversi Pembentukan Ester pada Reaksi Esterifikasi Destilat Asam Lemak Minyak

- Sawit Menggunakan Metanol. *Prosiding Seminar Hasil Penelitian (SNP2M)*, 167–171.
- Yulita, D., Putra, M. I. R., Dini, S. U., Erlina, Jessika, Pradana, A., Handayani, M., and Anshori, I. (2021). Simple Qualitative Modelling of Particle Size Analysis using Ray Tracing Method. *Journal of Physics: Conference Series*, 2243(1), 1-9. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2243/1/012083>
- Yurdakal, S., Garlisi, C., Özcan, L., Bellardita, M., & Palmisano, G. (2019). (Photo)catalyst Characterization Techniques: Adsorption Isotherms and BET, SEM, FTIR, UV-Vis, Photoluminescence, and Electrochemical Characterizations. *Heterogeneous Photocatalysis: Relationships with Heterogeneous Catalysis and Perspectives*, 87–152. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64015-4.00004-3>
- Zhang, B., Li, X., and Liu, M. (2024). Effect of Nickel Sulfide Catalysts with Different Morphologies on High Efficiency Alkaline Hydrogen Evolution Reaction. *International Journal of Electrochemical Science*, 19(6), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.ijoes.2024.100579>
- Zhang, H., Lin, H., and Zheng, Y. (2014). The Role of Cobalt and Nickel in Deoxygenation of Vegetable Oils. *Applied Catalysis B: Environmental*, 160–161(1), 415–422. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2014.05.043>
- Zhang, M., Qin, B., Zhang, W., Zheng, J., Ma, J., Du, Y., and Li, R. (2020). Hydrocracking of Light Diesel Oil Over Catalysts with Industrially Modified Y Zeolites. *Catalysts*, 10(8), 1-12. <https://doi.org/10.3390/catal10080815>