

**PREPARASI, KARAKTERISASI DAN UJI KINERJA KATALIS
 $\text{Ni}_3\text{N}/\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ UNTUK *HYDROCRACKING* CPO MENJADI *BIOFUEL***

SKRIPSI

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



**OLEH:
NI'MATUSSHOLIKHAH
08031382126095**

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

**PREPARASI, KARAKTERISASI DAN UJI KINERJA KATALIS
 $\text{Ni}_3\text{N}/\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ UNTUK *HYDROCRACKING* CPO MENJADI *BIOFUEL***

SKRIPSI

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

OLEH:

NI'MATUSSHOLIKHAH

08031382126095

Indralaya, 21 Mei 2025

Mengetahui,

Pembimbing 1



Prof. Dr. Hasanudin, M.Si.

NIP. 197205151997021003

Pembimbing 2



Dr. Eng. Nino Rinaldi

NIP. 197706122001121001

Dekan FMIPA



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

NIP. 197111191997021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi Ni'matussholikhah (08031382126095) dengan judul "Preparasi, Karakterisasi dan Uji Kinerja Katalis $\text{Ni}_3\text{N}/\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ untuk *Hydrocracking* CPO Menjadi *Biofuel*" telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 19 Mei 2025 dan telah diperbaiki, diperiksa serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 21 Mei 2025

Ketua:

1. **Prof. Drs. Dedi Rohendi, M.T., Ph.D.**
NIP. 196704191993031001

()

Anggota:

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

()

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

()

3. **Dra. Fatma, M.Si.**
NIP. 196207131991022001

()

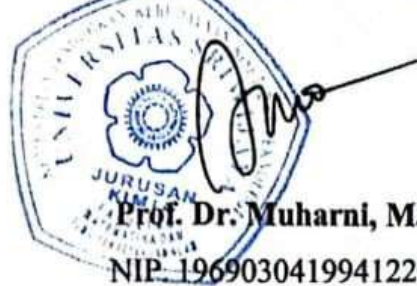
Mengetahui,

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 : Ni'matussholikhah

NIM : 08031382126095

Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia

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

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya,

Indralaya, 21 Mei 2025

Penulis,



Ni'matussholikhah

NIM. 08031382126095

HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama Mahasiswa : Ni'matussholikhah

NIM : 08031382126095

Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya “hak bebas royalti non-eksklusif” (*non- exclusively royalty- free right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul: “Preparasi, Karakterisasi dan Uji Kinerja Katalis $\text{Ni}_3\text{N}/\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ untuk *Hydrocracking* 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, 21 Mei 2025

Yang menyatakan,



Ni'matussholikhah

NIM. 08031382126095

HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.”

(Q.S Al-Insyirah: 5-6)

“Apapun yang menjadi takdirmu akan mencari jalannya untuk menemukanmu.”

(Ali Bin Abi Thalib)

“The future belongs to those who believe in the beauty of their dreams.”

(Eleanor Roosevelt)

“BELIEVE IN YOURSELF!!”

Skripsi ini adalah bentuk rasa syukur kepada :

- Allah SWT
- Nabi Muhammad SAW

Dan dipersembahkan kepada :

- Kedua orang tua saya tercinta
- Seluruh keluarga besar saya
- Dosen pembimbing akademik sekaligus dosen pembimbing tugas akhir saya Bapak Prof. Dr. Hasanudin, M.Si. serta pembimbing di BRIN Bapak Dr. Eng. Nino Rinaldi
- Seluruh dosen beserta civitas akademik Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya
- Almamater Universitas Sriwijaya
- Sahabat-sahabat saya dan teman-teman seperjuangan yang memberikan banyak cerita
- Apresiasi kepada diri sendiri

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, berkat rahmat dan anugerah serta pertolongan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Preparasi, Karakterisasi dan Uji Kinerja Katalis $\text{Ni}_3\text{N}/\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ untuk *Hydrocracking* CPO Menjadi *Biofuel*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains di Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya.

Penyusunan skripsi ini dihadapi dengan berbagai macam hal, seperti pengumpulan literatur, pelaksanaan penelitian, pengumpulan data dan pengolahan data. Penulis menyadari bahwa masih memiliki keterbatasan dan kekurangan dalam menulis skripsi ini. Namun, berkat bantuan, bimbingan, motivasi, semangat, saran, dan kerjasama dari banyak pihak, skripsi ini akhirnya dapat diselesaikan. Penulis mengucapkan terima kasih yang mendalam kepada pembimbing, Bapak Prof. Dr. Hasanudin, M.Si. selaku dosen pembimbing akademik dan tugas akhir serta Dr. Eng. Nino Rinaldi selaku pembimbing tugas akhir di BRIN, yang telah memberikan bimbingan, motivasi, dan petunjuk berharga yang sangat membantu dalam penyelesaian skripsi ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT, yang selalu senantiasa melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, memberikan kesabaran dan kekuatan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dan mendapatkan gelar sarjana strata 1.
2. Mama (Robiyah) tercinta yang selalu siap menjadi apa saja untuk penulis dan alm. Papa (Arif Hartoyo) tercinta selalu mendidik penulis untuk kuat mempertahankan cita-cita.
3. Yunda Rifty dan Mas Heru, serta keponakan Vicho dan Ghazia yang selalu menerima keluh kesah dan selalu memberi semangat kepada penulis.
4. Nenek tercinta yang selalu mendukung dan mendoakan penulis hingga sampai pada titik ini.
5. Keluarga besar penulis yang selalu senantiasa memberi dukungan moril maupun materil, perhatian dan semangat.
6. Bapak Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.

7. Ibu Prof. Dr. Muharni, M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
8. Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si. selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
9. Bapak Prof. Drs. Dedi Rohendi, M.T., Ph.D. dan Ibu Dra. Fatma, M.Si. selaku pembahas dan penguji sidang sarjana.
10. Seluruh Dosen FMIPA KIMIA yang telah mendidik dan membimbing selama masa perkuliahan.
11. Kak Iin dan Mbak Novi selaku admin Jurusan Kimia FMIPA, terima kasih yang telah banyak membantu penulis dalam urusan administrasi dari awal hingga akhir masa studi penulis.
12. Sahabat-sahabat terbaik penulis (Dessy, Melita, Rita) dimanapun berada yang selalu menerima keluh kesah penulis dan selalu ada disetiap moment penting di hidup penulis, serta memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis.
13. Sahabat penulis dari masa maba yang seperti Upin, Ipin dan Kak Rose, terima kasih telah membantu dan memberikan banyak pelajaran kepada penulis, membuat masa perkuliahan seru dengan jalan kaki hingga jam 03.00 pagi.
14. Sahabat penulis di perkuliahan anak Absurd (Annisah, Andini, Amel, Elsa, Nike dan Vema), terima kasih selalu ada, memberikan kebahagiaan dan membantu masa perkuliahan penulis.
15. Ade dan Cingka sebagai sahabat kocak penulis, terima kasih sudah menemani dan selalu menghibur penulis.
16. Motivator terbaik penulis berinisial D, selain memberikan motivasi dan pengetahuan baru, juga selalu menjadi penyemangat dan salah satu sumber kebahagiaan penulis menuju kesuksesan.
17. Sahabat-sahabat BRIN penulis, terima kasih telah menemani dan memberikan pengalaman berharga selama magang penulis. Terkhusus kepada anak-anak Kuaci (Kak Aya, Kak Rini, Bang Joshua, Savirna, Kak Nanda, Daffa, Faryad, Amanda, Dilla, Rahul, Dinda dan Prince), kos A4 seperti keluarga (Ibu Dewi, Nenek, Mbah, Bang Juki, Kak Nisa, Mas Bima, kak Anggi, Mawar, Miftah, Jojo, Wahri, Yuda, dan lain-lainnya), Kak Shabrina dan seperangkatnya, High Risk Team, serta anak-anak Team Badminton BRIN.

18. Kak Novi dan Mas Ikin yang selalu membantu dan memberikan arahan serta ilmu baru kepada penulis.
19. Teman-teman 21 yang menjadi teman seperjuangan dan pengisi perjalanan hidup penulis di masa perkuliahan.
20. Sekret Harmoni dan seisinya yang selalu menjadi tempat penulis merasakan kenyamanan dan kebahagiaan, serta menjadi saksi perjalanan masa perkuliahan penulis.
21. Pihak-pihak yang membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini terkhusus kepada Rita, Cingka, Vani, dan Anora.
22. Teruntuk diri sendiri, terima kasih sudah bertahan dan berjuang hingga tercapai pada titik ini.

Semoga bimbingan, ilmu, bantuan, dan masukan yang telah diberikan kepada penulis menjadi amal kebaikan yang di ridhai Allah SWT. Penulis dengan rendah hati menyadari bahwa skripsi ini memiliki banyak kekurangan, serta mengharapkan kritik dan saran dari pembaca. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua orang yang telah berkontribusi. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua orang dan bermanfaat untuk pengembangan kimia di masa depan.

Indralaya, 21 Mei 2025
Penulis,



Ni'matussholikhah
NIM. 08031382126095

SUMMARY

PREPARATION, CHARACTERIZATION AND PERFORMANCE TEST OF $\text{Ni}_3\text{N}/\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ CATALYST FOR HYDROCRACKING CPO INTO BIOFUEL

Ni'matussholikhah: Supervised by Prof. Dr. Hasanudin, M.Si and Dr. Eng. Nino Rinaldi

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

xvii + 70 pages + 8 figures + 6 tables + 9 attachments

Ni_3N is often used as a type of catalyst in making crude palm oil (CPO) into biofuel. To make the Ni_3N catalyst, catalyst supports such as $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ are added for maximum results. This research was conducted to determine the effect of adding Ni metal to the $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ support on the catalyst characterization results for testing functional groups, crystallinity, composition, surface area and particle size, as well as testing the performance of the $\text{Ni}_3\text{N}/\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ catalyst for hydrocracking CPO into biofuel. Catalyst characterization uses several instruments including Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), X-ray diffraction (XRD), X-ray fluorescence (XRF), surface area analyzer (SAA), and particle size analyzer (PSA), as well as testing the performance of the catalyst using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) analysis. The results of FTIR characterization show a spectrum peak around 1063 cm^{-1} to 1066 cm^{-1} which is characteristic of asymmetric stretching vibrations of the Si-O-Si bond and a spectrum peak around 816 cm^{-1} to 802 cm^{-1} indicates symmetric Al-O-Si vibration. XRD characterization shows that the $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ support sample before the addition of Ni is amorphous, after the NiO phase sharp 2θ peaks appear, namely 37° , 43° , 62° , 75° , and 79° , for the Ni_3N 2θ sample, namely 37° , 43° , 44° , 52° , 62° , and 75° . XRF characterization showed that the Ni content after nitriding increased from 8,47% to 8,90%. SAA with surface area results before adding Ni, NiO, Ni_3N respectively $384\text{ m}^2/\text{g}$, $346,75\text{ m}^2/\text{g}$ and $345,70\text{ m}^2/\text{g}$. Based on PSA analysis, the particle sizes obtained were 310,1 nm, 3276,0 nm, and 727,9 nm, respectively. The GC-MS results show that the chromatography temperature of 250°C has the largest area percentage of 6,16%, located at a retention time of 29,29 minutes, which is in the form of the compound hexadecanoic acid, methyl ester which has the compound formula $\text{C}_{17}\text{H}_{34}\text{O}_2$. Chromatography at a temperature of 300°C had the largest area percentage of 6,12% at a retention time of 5,96 minutes, which was in the form of the compound benzene, 1-ethyl-3-methyl- which has the compound formula C_9H_{12} . Chromatography at a temperature of 250°C had the largest area percentage of 6,26% at a retention time of 8,36 minutes, which was in the form of the compound benzene, 1,4-diethyl- which has the compound formula $\text{C}_{10}\text{H}_{14}$. Meanwhile, the highest percentage of selectivity at a temperature of 300°C was 70,39% in the form of biogasoline ($\text{C}_5\text{-C}_{11}$).

Keywords : Ni_3N , $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, Crude Palm Oil, Hydrocracking, Biofuel

Citation : 92 (2009-2025)

RINGKASAN

PREPARASI, KARAKTERISASI DAN UJI KINERJA KATALIS $\text{Ni}_3\text{N}/\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ UNTUK *HYDROCRACKING* CPO MENJADI *BIOFUEL*

Ni'matussholikhah: Dibimbing oleh Prof. Dr. Hasanudin, M.Si dan Dr. Eng. Nino Rinaldi

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

xvii + 70 halaman + 8 gambar + 6 tabel + 9 lampiran

Ni_3N sering digunakan sebagai salah satu jenis katalis dalam pembuatan *crude palm oil* (CPO) menjadi *Biofuel*. Pembuatan katalis Ni_3N ditambahkan pendukung katalis seperti $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ untuk hasil lebih maksimal. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan pengaruh penambahan logam Ni pada *support* $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ terhadap hasil karakterisasi katalis untuk pengujian gugus fungsi, kristalinitas, komposisi, luas permukaan, dan ukuran partikel, serta uji kinerja katalis $\text{Ni}_3\text{N}/\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ *hydrocracking* CPO menjadi *biofuel*. Karakterisasi katalis menggunakan beberapa instrumen diantaranya *fourier transform infrared spectroscopy* (FTIR), *X-ray diffraction* (XRD), *X-ray fluorescence* (XRF), *surface area analyzer* (SAA), dan *particle size analyzer* (PSA), serta uji kinerja dari katalis menggunakan analisis *gas chromatography-mass spectrometry* (GC-MS). Hasil karakterisasi FTIR adanya puncak spektrum sekitar 1063 cm^{-1} sampai 1066 cm^{-1} merupakan karakteristik vibrasi regangan asimetris dari ikatan Si-O-Si dan puncak spektrum sekitar 816 cm^{-1} sampai 802 cm^{-1} menunjukkan vibrasi simetris Al-O-Si. Karakterisasi XRD menunjukkan sampel *support* $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ sebelum penambahan Ni bersifat *amorf*, setelah fasa NiO muncul puncak tajam 2θ yaitu 37° , 43° , 62° , 75° , dan 79° , sampel Ni_3N 2θ yaitu 37° , 43° , 44° , 52° , 62° , dan 75° . Karakterisasi XRF menunjukkan kandungan Ni setelah nitridasi meningkat dari 8,47% menjadi 8,90%. SAA dengan hasil luas permukaan sebelum ditambah Ni, NiO, Ni_3N berturut-turut $384\text{ m}^2/\text{g}$, $346,75\text{ m}^2/\text{g}$ dan $345,70\text{ m}^2/\text{g}$. Berdasarkan analisis PSA ukuran partikel yang diperoleh secara berturut-turut 310,1 nm, 3276,0 nm, dan 727,9 nm. Hasil GC-MS menunjukkan kromatografi suhu 250°C persentase area terbesarnya 6,16% terletak pada waktu retensi 29,29 menit yang berupa senyawa hexadecanoic acid, methyl ester yang memiliki rumus senyawa $\text{C}_{17}\text{H}_{34}\text{O}_2$. Kromatografi suhu 300°C persentase area terbesarnya 6,12% pada waktu retensi 5,96 menit yang berupa senyawa benzene, 1-ethyl-3-methyl- yang memiliki rumus senyawa C_9H_{12} . Kromatografi suhu 250°C persentase area terbesarnya 6,26% pada waktu retensi 8,36 menit yang berupa senyawa benzene, 1,4-diethyl- yang memiliki rumus senyawa $\text{C}_{10}\text{H}_{14}$. Sedangkan persentase selektivitas paling tinggi pada suhu 300°C sebesar 70,39% yang berupa *biogasoline* ($\text{C}_5\text{-C}_{11}$).

Kata Kunci : Ni_3N , $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, *Crude Palm Oil*, *Hydrocracking*, *Biofuel*

Sitasi : 92 (2009-2025)

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TULIS	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
SUMMARY	x
RINGKASAN	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DATAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 <i>Crude Palm Oil</i> (CPO).....	4
2.2 <i>Hydrocracking</i>	4
2.3 Katalis.....	5
2.4 Nikel Nitrida	6
2.5 $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$	7
2.6 <i>Template</i>	7
2.7 KH-Ftalat.....	8
2.8 <i>Biofuel</i>	9
2.9 Karakterisasi	10
2.9.1 <i>Fourier Transform-Infrared Spectroscopy</i> (FT-IR)	10
2.9.2 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	10

2.9.3 <i>X-Ray Fluorescence (XRF)</i>	11
2.9.4 <i>Surface Area Analyzer (SAA)</i>	11
2.9.5 <i>Particle Size Analyzer (PSA)</i>	12
2.10 <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)</i>	13
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	14
3.1 Waktu dan Tempat	14
3.2 Alat dan Bahan	14
3.2.1 Alat	14
3.2.2 Bahan.....	14
3.3 Prosedur Penelitian.....	14
3.3.1 Preparasi $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan <i>Template</i> KH-Ftalat.....	14
3.3.2 Sintesis Katalis Logam Ni_3N dengan <i>Support</i> $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ melalui impregnasi.....	15
3.3.3 Karakterisasi Sampel $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\text{NiO/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, dan $\text{Ni}_3\text{N/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$	16
3.3.4.1 Karakterisasi Gugus Fungsi Katalis dengan FTIR..	16
3.3.4.2 Karakterisasi Struktur Kristal Katalis dengan XRD .	16
3.3.4.3 Karakterisasi Komposisi Unsur Katalis dengan XRF	17
3.3.4.4 Karakterisasi Luas Permukaan dengan SAA.....	17
3.3.4.5 Karakterisasi Ukuran Partikel Katalis dengan PSA...	18
3.3.4 Proses <i>Hydrocracking Crude Palm Oil</i> menjadi <i>Biofuel</i> .	18
3.3.5 Analisis data <i>Hydrocracking</i> dengan GC-MS.....	18
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	20
4.1 Preparasi Katalis Ni_3N dengan <i>Support</i> $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$	20
4.2 Karakterisasi Katalis dengan Menggunakan <i>Fourier Transform Infrared (FTIR)</i>	21
4.3 Karakterisasi Katalis dengan Menggunakan <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	23
4.4 Karakterisasi Katalis dengan Menggunakan <i>X-Ray Fluorescence (XRF)</i>	25
4.5 Karakterisasi Katalis dengan Menggunakan <i>Surface Area</i>	

Analyzer (SAA)	26
4.6 Karakterisasi Katalis dengan Menggunakan <i>Particle Size</i> Analyzer (PSA)	28
4.7 <i>Hydrocracking Crude Palm Oil</i> menjadi <i>Biofuel</i>	30
4.8 Analisis Data Minyak Hasil <i>Hydrocracking</i> dengan Mengguna- kan <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS).....	32
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	36
5.1 Kesimpulan.....	36
5.2 Saran	36
DAFTAR PUSTAKA	37
LAMPIRAN.....	46

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Reaktor <i>hydrocracking</i>	5
Gambar 2. Struktur kimia KH-Ftalat	9
Gambar 3. Spektrum FTIR (a) $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, (b) $\text{NiO/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, dan (c) $\text{Ni}_3\text{N/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$	22
Gambar 4. Hasil difraktogram XRD $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\text{NiO/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, dan $\text{Ni}_3\text{N/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$	23
Gambar 5. <i>Isotherm</i> katalis (a) $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, (b) $\text{NiO/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, dan (c) $\text{Ni}_3\text{N/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$	26
Gambar 6. Hasil grafik PSA (a) $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, (b) $\text{NiO/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, dan (c) $\text{Ni}_3\text{N/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$	28
Gambar 7. Kromatogram GC-MS CPO	32
Gambar 8. Kromatogram hasil <i>hydrocracking</i> dengan katalis $\text{Ni}_3\text{N/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ (a) suhu 250°C , (b) 300°C , dan (c) suhu 350°C	33

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Sudut 2θ dengan referensi JCPDS	24
Tabel 2. Hasil XRF kandungan elemen $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\text{NiO/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, dan $\text{Ni}_3\text{N/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$	25
Tabel 3. Hasil Perhitungan SAA $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\text{NiO/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, dan $\text{Ni}_3\text{N/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$	27
Tabel 4. Hasil PSA ukuran partikel katalis $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\text{NiO/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, dan $\text{Ni}_3\text{N/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$	29
Tabel 5. Pengaruh tekanan terhadap reaksi <i>hydrocracking</i> CPO menjadi <i>biofuel</i> dengan variasi 250°C , 300°C dan 350°C	31
Tabel 6. Persentase selektivitas dengan katalis $\text{Ni}_3\text{N/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ dari hasil analisis GC-MS.....	34

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. <i>Flowchart</i> Prosedur Kerja.....	47
Lampiran 2. Data Hasil Karakterisasi FTIR.....	51
Lampiran 3. Difraktogram XRD.....	53
Lampiran 4. Data Hasil Karakterisasi XRF	55
Lampiran 5. Data Hasil Karakterisasi dan Perhitungan SAA	57
Lampiran 6. Grafik PSA.....	62
Lampiran 7. Data Hasil Karakterisasi GC-MS	65
Lampiran 8. Perhitungan Persentase Selektivitas Produk Hasil <i>Hydro-cracking</i> CPO dengan Katalis $\text{Ni}_3\text{N}/\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$	67
Lampiran 9. Dokumentasi Penelitian	69

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi salah satu kebutuhan mendasar manusia yang terus meningkat seiring dengan perkembangan kehidupan. Pemenuhan kebutuhan energi saat ini dominan menggunakan bahan bakar minyak (BBM) yang biasanya menggunakan minyak bumi. Namun saat ini produksi minyak bumi Indonesia mengalami penurunan akibat penurunan cadangan dan meningkatnya impor. Upaya mengatasi hal ini, variasi energi menjadi penting dengan mengembangkan sumber energi alternatif yang lebih murah dan ramah lingkungan. Oleh karena itu, perlu dilakukan variasi energi untuk mengurangi ketergantungan pada BBM dan memperhatikan pengembangan energi terbarukan yang ramah lingkungan. Pengembangan energi terbarukan menjadi sangat penting untuk memastikan keberlanjutan energi di masa depan (Kholid, 2015). Melihat perlunya energi terbarukan, *biofuel* muncul sebagai salah satu kandidat yang menjanjikan. *Biofuel* merupakan cairan yang diperoleh dari pengolahan biomassa, terutama tumbuhan. *Biofuel* termasuk nama lain bahan bakar nabati. *Biofuel* dianggap sebagai alternatif yang ideal untuk bahan bakar fosil karena lebih ramah lingkungan (Amy dan Sachari, 2014).

Jenis *biofuel* atau bahan bakar nabati yang paling banyak dikonsumsi oleh masyarakat dunia ini berasal *Crude palm oil* (CPO), yakni sekitar 40% dari seluruh jenis minyak nabati (Wafi dan Budianto, 2022). CPO atau minyak sawit mentah ini merupakan minyak nabati yang memiliki warna jingga kemerah-merahan yang didapatkan dari daging buah kelapa sawit (Susanto, 2020). CPO dapat dijadikan sumber energi terbarukan yang potensial karena ketersediaannya yang melimpah dan dapat diperbaharui. Berdasarkan penelitian Hasanudin *et al.* (2022), Salah satu metode yang digunakan dalam pengolahan CPO menjadi *biofuel* ini berupa *hydrocracking*. *Hydrocracking* adalah jenis teknologi yang ramah lingkungan, dengan hasil bahan bakar yang berkualitas tinggi yang cocok untuk komersial, dan berkontribusi secara efektif pada pembangunan berkelanjutan.

Hydrocracking CPO ini memerlukan katalis untuk memfasilitasi proses reaksinya. Salah satu jenis katalis yang umum digunakan adalah katalis logam. Dalam sistem katalis, penambahan *support* sangat diperlukan untuk meningkatkan

kestabilan dari katalis. Menurut penelitian Hasanudin et al., (2022) katalis logam dapat dicampurkan ke dalam *support* seperti $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ karena termasuk jenis *support* katalis asam. Sifat asam dari *support* katalis dapat meningkatkan aktivitas dan kestabilan katalis logam. Setelah melalui proses pemanasan dan aktivasi, logam akan tersebar di permukaan *support* dan bertindak sebagai katalis dalam reaksi kimia. Semakin banyak logam digunakan, semakin tinggi aktivitas katalitiknya. Namun, jumlah logam yang terlalu banyak dapat menutupi permukaan *support* dan menyebabkan logam tersebut bergumpal, membentuk partikel dengan ukuran yang besar. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa partikel logam yang besar cenderung kurang aktif karena memiliki luas permukaan yang lebih kecil (Mardwita dkk, 2021). Logam yang digunakan sebagai katalis biasanya berupa logam transisi, seperti Co (kobalt), Mo (molibdenum), Ni (nikel), Cr (kromium), Zr (zirkonium), dan Pt (platina) (Rasyid dkk, 2015). Logam nikel menjadi salah satu yang sering dimanfaatkan sebagai katalis dalam *hydrocracking* karena dapat mengabsorpsi hidrogen dalam jumlah besar (Yuliusman, 2016). Berdasarkan keunggulannya logam nikel dapat dikembangkan lagi menjadi katalis nikel nitrida. Katalis ini sangat cocok digunakan karena memiliki luas permukaan spesifik yang tinggi, fitur katalitik yang fleksibel, harga relatif murah dan ketersediaan melimpah (Hasanudin et al., 2022).

Silika sering digunakan sebagai pendukung (*support*) katalis karena memiliki beberapa keunggulan yang penting. Selain berperan sebagai *support*, silika juga dipilih karena memiliki luas permukaan yang tinggi, stabilitas termal dan mekanik yang baik, distribusi pori yang seragam, kapasitas adsorpsi yang tinggi, serta jaringan pori yang teratur untuk memfasilitasi difusi substrat dan produk reaksi. Kombinasi dari sifat-sifat ini membuat silika menjadi pilihan yang ideal untuk mendukung katalis dalam berbagai aplikasi reaksi kimia (da Silva Neto et al., 2016). Adapun penggunaan KH-Ftalat sebagai *template* dalam pembentukan pori. KH-Ftalat banyak dipilih sebagai *template* karena mempunyai stabilitas kimia yang tinggi serta sifat kinetiknya yang baik (Sajikumar et al., 2016).

Pentingnya katalis dalam produksi CPO, ini menjadikan faktor untuk meningkatkan kinerja dari katalis. Salah satu cara untuk meningkatkan efisien dari katalis yaitu dengan menguji karakterisasi dan kinerja katalis Ni_3N berpendukung

SiO₂-Al₂O₃ dengan *template* pori KH-Ftalat untuk *hydrocracking* CPO menjadi *biofuel*. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi dan memberikan manfaat terhadap peningkatan kinerja katalis. Pengujian karakterisasi dari katalis ini dapat menggunakan melibatkan teknik seperti *fourier transform infrared spectroscopy* (FTIR), *X-ray diffraction* (XRD), *X-ray fluorescence* (XRF), *surface area analyzer* (SAA), dan *particle size analyzer* (PSA), sedangkan untuk uji kinerja dari katalis menggunakan analisis *gas chromatography-mass spectrometry* (GC-MS).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dipelajari pada penelitian ini berupa:

1. Bagaimana pengaruh penambahan logam Ni pada *support* SiO₂-Al₂O₃ terhadap hasil karakterisasi katalis untuk pengujian gugus fungsi, kristalinitas, komposisi, luas permukaan, dan ukuran partikel?
2. Bagaimana pengaruh katalis Ni₃N/SiO₂-Al₂O₃ terhadap uji kinerja katalis untuk *hydrocracking* CPO menjadi *biofuel*?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan pengaruh penambahan logam Ni pada *support* SiO₂-Al₂O₃ terhadap hasil karakterisasi katalis untuk pengujian gugus fungsi, kristalinitas, komposisi, luas permukaan, dan ukuran partikel.
2. Menentukan pengaruh katalis Ni₃N/SiO₂-Al₂O₃ terhadap uji kinerja katalis untuk *hydrocracking* CPO menjadi *biofuel*.

1.4 Manfaat

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi terkait pengaruh penambahan logam Ni pada *support* SiO₂-Al₂O₃ untuk memaksimalkan kinerja dari katalis, serta cara menentukan karakterisasi dan uji kinerja katalis Ni₃N/SiO₂-Al₂O₃ terhadap *hydrocracking* CPO menjadi *biofuel*.

DAFTAR PUSTAKA

- Aisah, Harini, N. dan Damat. (2021). Pengaruh Waktu dan Suhu Pengeringan Menggunakan Pengering Kabinet dalam Pembuatan MOCFAF (Modified Cassava Flour) dengan Fermentasi Ragi Tape. *Research Article*, 172-191.
- Alvarez-galvan, M.C., Campos-martin, J.M. and Fierro, J.L.G. (2019). Transition Metal Phosphides for the Catalytic Hydrodeoxygenation of Waste Oils into Green Diesel. *Catalysts*, 9(3), 1-27.
- Amy, A. dan Sachari, A. (2014). Perancangan Produk Reaktor Mikroalga Penghasil Biofuel untuk Kawasan Pesisir. *Jurnal Tingkat Sarjana Senirupa dan Desain*, 1, 1-7.
- Ardiyanto, A., Iskandar, N. and Sulardjaka. (2023). Pengaruh Persentase Binder Tanah Liat Terhadap Densitas Pelet Katalis Zeolit Alam. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 11(1), 40-43.
- Asakuma, N., Tada, S., Kawaguchi, E., Terashima, M., Honda, S., Nishihora, R. K., Carles, P., Bernard, S., & Iwamoto, Y. (2022). Mechanistic Investigation of the Formation of Nickel Nanocrystallites Embedded in Amorphous Silicon Nitride Nanocomposites. *Nanomaterials*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/nano12101644>
- Aziz, I., Tafdila, M. A., Nurbayti, S., Adhani, L., & Permata, W. (2019). Upgrading Crude Biodiesel of Used Cooking Oil using H-Zeolite Catalyst. *Jurnal Kimia Valensi*, 5(1), 79–86. <https://doi.org/10.15408/jkv.v5i1.10493>
- Balwan, W. K., & Kour, S. (2021). A Systematic Review of Biofuels: The Cleaner Energy for Cleaner Environment. *Indian Journal of Scientific Research*, 12(1), 135. <https://doi.org/10.32606/ijsr.v12.i1.00025>
- Berina, L. I. M., Ricohermoso, S. D. A. M., Tejada, V. A. C., Bautista, C. C. J. and Abigail P, C. A. (2018). Biodegradability Study of Potassium Hydrogen Phthalate and Benzene Using BOD5 Seed as Inoculum. *Journal of Bioremediation and Biodegradation*, 9(3), 1-5.
- Brame, J., & Griggs, C. (2016). Surface Area Analysis Using the Brunauer-Emmett-Teller (BET) Method Scientific Operating Procedure Series: SOP-C Environmental Laboratory. In *Scientific Operating Procedure Series: SOP-C* (1st ed., pp. i–13). U.S. Army Corps of Engineers. www.erdc.usace.army.mil.
- Bulavchenko, O. A., & Vinokurov, Z. S. (2023). In Situ X-ray Diffraction as a Basic Tool to Study Oxide and Metal Oxide Catalysts. In *Catalysts* (Vol. 13, Issue 11). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/catal13111421>
- Chorkendorff, I., & Niemantsverdriet, J. W. (2017). *Concepts of Modern Catalysis and Kinetics*. WILEY-VCH GmbH & Co. KGaA.

- Correa-Ochoa, M. A., Rojas, J., Gómez, L. M., Aguiar, D., Palacio-Tobón, C. A., & Colorado, H. A. (2023). Systematic Search Using the Proknow-C Method for the Characterization of Atmospheric Particulate Matter Using the Materials Science Techniques XRD, FTIR, XRF, and Raman Spectroscopy. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 15, Issue 11). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su15118504>
- 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.
- Das, S., Jangam, A., Du, Y., Hidajat, K., & Kawi, S. (2019). Highly Dispersed Nickel Catalysts: Via A Facile Pyrolysis Generated Protective Carbon Layer. *Chemical Communications*, 55(43), 6074–6077. <https://doi.org/10.1039/c9cc00783k>
- Dwiratna, B., & Soebagjo, S. (2015). Pengembangan Katalis Berbasis NiMo Alumina untuk Reaksi Hidrodeoksigenasi Minyak Nabati menjadi Bioavtur. *Jurnal Energi dan Lingkungan*, 11(2), 75-80.
- Eddy, D. R., Noviyanti, A. R. dan Jana, D. (2016). Sintesis Silika Metode Sol-Gel sebagai Penyangga Fotokatalis TiO₂ Terhadap Penurunan Kadar Kromium dan Besi. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 17(2), 82-89.
- Fira, P. M., Jesika Sitinjak, M. W., 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. <https://doi.org/10.56064/jps.v25i3.882>
- Fogler, H. S. (2016). *Elements of Chemical Reaction Engineering Fifth Edition*. The University of Michigan, Ann Arbor.
- Frydrych, A., & Jurowski, K. (2023). Portable X-Ray Fluorescence (pXRF) as a Powerful and Trending Analytical Tool for in Situ Food Samples Analysis: A Comprehensive Review of Application - State of the Art. In *TrAC - Trends in Analytical Chemistry* (Vol. 166). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.117165>
- Gao, Y., Walker, M. J., Barrett, J. A., Hosseinaei, O., Harper, D. P., Ford, P. C., Williams, B. J., & Foston, M. B. (2018). Analysis of Gas Chromatography/Mass Spectrometry Data for Catalytic Lignin Depolymerization Using Positive Matrix Factorization. *Green Chemistry*, 20(18), 4366–4377. <https://doi.org/10.1039/c8gc01474d>
- Gao, Z., Qi, J., Chen, M., Zhang, W., & Cao, R. (2017). An Electrodeposited NiS for Electrocatalytic Hydrogen and Oxygen Evolution Reactions in Alkaline

- Solution. *Electrochimica Acta*, 224, 412–418.
<https://doi.org/10.1016/j.electacta.2016.12.070>
- 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).
- Ghaedi and Zhao. (2022). Review on Template Removal Techniques for Synthesis of Mesoporous Silica Materials. *Energy Fuels*, 36, 2424–2446.
- Govender, B. B., Iwarere, S. A. and Ramjugernath, D. (2021). The Effect of Cobalt Catalyst Loading at Very High Pressure Plasma-Catalysis in Fischer-Tropsch Synthesis. *Catalysts*, 11(1324), 1–41.
- González, M. F., Saadatkah, N., & Patience, G. S. (2024). Experimental Methods in Chemical Engineering: X-Ray Fluorescence—XRF. In *Canadian Journal of Chemical Engineering* (Vol. 102, Issue 6, pp. 2004–2018). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/cjce.25218>
- Handoko, D. S. P., & Triyono. (2023). Characterization of Ni/Zeolite Catalyst Including Specific Surface Area, Acidity, Si/Al Ratio, Cation Content in Zeolite. *Formosa Journal of Sustainable Research*, 2(6), 1457–1470.
<https://doi.org/10.55927/fjsr.v2i6.4396>
- Hardiani, R. dan Khair, M. (2022). Impregnasi ZnO Karbon Aktif dari Sabut Kelapa (*Cocos nucifera* L) Fotokatalis Untuk Degradasi Rhodamin B. *Periodic*, 11(3), 56–59.
- Harlow, G. S., Lundgren, E., & Escudero-Escribano, M. (2020). Recent Advances in Surface X-Ray Diffraction and the Potential for Determining Structure-Sensitivity Relations in Single-Crystal Electrocatalysis. In *Current Opinion in Electrochemistry* (Vol. 23, pp. 162–173). Elsevier B.V.
<https://doi.org/10.1016/j.coelec.2020.08.005>
- Harth, A. (2024). X-Ray Fluorescence (XRF) on Painted Heritage Objects: A Review Using Topic Modeling. In *Heritage Science* (Vol. 12, Issue 1). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH.
<https://doi.org/10.1186/s40494-024-01135-2>
- Hasanudin, H., Sriwijaya, U., & Asri, W. R. (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. and Wijaya, K. (2022). Hydrocracking Optimization of Palm Oil to Biogasoline and Bio-Aviation Fuels Using Molybdenum Nitride-Bentonite Catalyst. *RSC Advances*, 12, 16431–16443.
- Hasibuan, H. A. (2020). Penentuan Rendemen, Mutu dan Komposisi Kimia Minyak Sawit dan Minyak Inti Sawit Tandan Buah Segar Bervariasi Kematangan

- sebagai Dasar untuk Penetapan Standar Kematangan Panen. In *Kelapa Sawit* (Vol. 2020, Issue 3).
- Hejral, U., Shipilin, M., Gustafson, J., Stierle, A., & Lundgren, E. (2021). High Energy Surface X-Ray Diffraction Applied to Model Catalyst Surfaces at Work. In *Journal of Physics Condensed Matter* (Vol. 33, Issue 7). IOP Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1088/1361-648X/abb17c>
- Hoten, H. Van. (2020). Analisis Karakterisasi Serbuk Biokeramik dari Cangkang Telur Ayam Broiler. *Jurnal ROTOR*, 13(1), 1–5.
- Hu, S., Feng, C., Wang, S., Liu, J., Wu, H., Zhang, L., & Zhang, J. (2019). Ni₃N/NF as Bifunctional Catalysts for Both Hydrogen Generation and Urea Decomposition. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 11(14), 13168–13175. <https://doi.org/10.1021/acsami.8b19052>
- Jayakantha, D. N. P. R., Gunawardhana, N., Bandara, H. M. N., Comini, E., Gunawardana, N. M., & Karunarathne, S. M. M. L. (2021). Low Cost Automated Instrumentation for the Measurement of the Specific Surface Area of Powders by the Brunauer–Emmett–Teller (BET) Method. *Instrumentation Science and Technology*, 50(1), 47–56. <https://doi.org/10.1080/10739149.2021.1953522>
- Jujarama, Wijaya, K., Shidiq, M., Fahrurrozi, M., & Suheryanto. (2014). Synthesis of Biogasoline from used Palm Cooking Oil Through Catalytic Hydrocracking by Using Cr-Activated Natural Zeolite as Catalyst. *Asian Journal of Chemistry*, 26(16), 5033-5038.
- Kajama, M. N. (2015). Hydrogen Permeation Using Nanostructured Silica Membranes. *Sustainable Development and Planning VII*, 1, 447–456. <https://doi.org/10.2495/sdp150381>
- Karakhanov, E., Maximov, A., Kulikov, L., Makeeva, D., Kalinina, M., Kardasheva, Y., & Glotov, A. (2020). Evaluation of Sulfide Catalysts Performance in Hydrotreating of Oil Fractions Using Comprehensive Gas Chromatography Time-of-Flight Mass Spectrometry. *Pure and Applied Chemistry*, 92(6), 941–948. <https://doi.org/10.1515/pac-2019-1120>
- Karimov, O. K., Teptereva, G. A., Chetvertneva, I. A., Movsumzade, E. M., & Karimov, E. K. (2021). The Structure of Lignosulfonates for Production of Carbon Catalyst Support. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 839(2). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/2/022086>
- Khan, H., Yerramilli, A. S., D'Oliveira, A., Alford, T. L., Boffito, D. C., & Patience, G. S. (2020). Experimental Methods in Chemical Engineering: X-Ray Diffraction Spectroscopy—XRD. In *Canadian Journal of Chemical Engineering* (Vol. 98, Issue 6, pp. 1255–1266). Wiley-Liss Inc. <https://doi.org/10.1002/cjce.23747>

- Khanam, T., Syuhada Wan Ata, W. N., & Rashedi, A. (2016). Particle Size Measurement in Waste Water Influent and Effluent Using Particle Size Analyzer and Quantitative Image Analysis Technique. *Advanced Materials Research*, 1133, 571–575. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.1133.571>
- Kholiq, I. (2015). Pemanfaatan Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan Untuk Mendukung Substitusi BBM. *Jurnal IPTEK*. 19(2), 75-91.
- Kobylarz, D., Michalska, A., & Jurowski, K. (2023). Field Portable X-Ray Fluorescence (FP-XRF) as Powerful, Rapid, Non-Destructive and ‘White Analytical Tool’ for Forensic Sciences - State of the Art. In *TrAC - Trends in Analytical Chemistry* (Vol. 169). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.117355>
- Kumar, S., & Ram, B. (2019). The Shelf Life Study of 0.1 M Sodium Hydroxide Volumetric Solution at Different Condition for Analytical Purpose in Laboratory. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, 9(4-s), 957–960. <https://doi.org/10.22270/jddt.v9i4-s.3139>
- Kusuma, A. K. K. W., Harjito, & Jumaeri. (2018). Indonesian Journal of Chemical Science Perbandingan Massa $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ dengan SBA-15 terhadap Kebasaan Katalis Reaksi Gliserolisis. *J. Chem. Sci*, 7(2)(2), 175–181. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- Li, J., Gao, M., Yan, W. and Yu, J. (2023). Regulation of the Si/Al Ratios and Al Distributions of Zeolites and Their Impact on Properties. *Chemical Science*, 14, 1935-1959.
- Lončar, A., Jovanović, P., Hodnik, N., & Gabersček, M. (2023). Determination of the Electroactive Surface Area of Supported Ir-Based Oxygen Evolution Catalysts by Impedance Spectroscopy: Observed Anomalies with Respect to Catalyst Loading. *Journal of The Electrochemical Society*, 170(044504)(4), 1–14. <https://doi.org/10.1149/1945-7111/accaad>
- Lungu, M., Dobrea, C., & Tiseanu, I. (2019). Enhanced XRF Methods for Investigating the Erosion-Resistant Functional Coatings. *Coatings*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/coatings9120847>
- Mardwita, M. Yusmartini, E. S., Rivaldo, M. C. (2021). Pengaruh Jumlah Logam dalam Katalis $\text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$. *Distilasi*, 6(1), 32-35.
- Marlinda, L., Al-Muttaqii, M., Gunardi, I., Roesyadi, A., & Prajitno, D. H. (2017). Hydrocracking of Cerbera Manghas Oil with Co-Ni/HZSM-5 as Double Promoted Catalyst. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis*, 12(2), 167–184. <https://doi.org/10.9767/bcrec.12.2.496.167-184>

- Mariyam, S., Zuhara, S., Parthasarathy, P., & McKay, G. (2023). A Review on Catalytic Fast Co-Pyrolysis Using Analytical Py-GC/MS. In *Molecules* (Vol. 28, Issue 5). MDPI. <https://doi.org/10.3390/molecules28052313>
- Mirzan, M., Wijaya, K., Falah, I. I., & Trisunaryanti, W. (2019). Synthesis and Characterization of Ni-Promoted Zirconia Pillared Bentonite. *Journal of Physics: Conference Series*, 1242(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1242/1/012013>
- Marsyahyo, E. (2009). Analisis Brunauer Emmet Teller (BET) Topografi Permukaan Serat Rami (*Boehmeria nivea*) untuk Media Penguatan pada Bahan Komposit. *Jurnal Flywheel*, 2(2), 33-41.
- Mert, K., Fikret, P., Can, G. E., & Ethem, T. (2019). The Effect of Catalyst on Bio-Oil Obtained from Fixed Bed Pyrolysis of Biomass Mixtures; a GC-MS Analysis. *Research in Applied Science*, 31–40.
- Nadzim, U. K. H. M, Yunus, R., Omar, R. and Lim, B. Y. (2020). Factors Contributing to Oil Losses in Crude Palm Oil Production Process in Malaysia: A Review. *International Journal of Biomass and Renewables*, 9(1), 10-24.
- Nedeljković, M., Tošić, N., Holthuizen, P., França de Mendonça Filho, F., Çopuroğlu, O., Schlangen, E., & Fennis, S. (2023). Non-Destructive Screening Methodology Based on Handheld XRF for the Classification of Concrete: Cement Type-Driven Separation. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 56(3). <https://doi.org/10.1617/s11527-023-02147-3>
- Nie, C., Zeng, W., & Li, Y. (2019). The 3D Crystal Morphologies of NiO Gas Sensor and Constantly Improved Sensing Properties to Ethanol. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 30(2), 1794–1802. <https://doi.org/10.1007/s10854-018-0451-9>
- Ni, W., Krammer, A., Hsu, C. S., Chen, H. M., Schüler, A., & Hu, X. (2019). Ni₃N as an Active Hydrogen Oxidation Reaction Catalyst in Alkaline Medium. *Angewandte Chemie - International Edition*, 58(22), 7445–7449. <https://doi.org/10.1002/anie.201902751>
- Oyerinde, A., & Bello, E. (2016). Use of Fourier Transformation Infrared (FTIR) Spectroscopy for Analysis of Functional Groups in Peanut Oil Biodiesel and Its Blends. *British Journal of Applied Science & Technology*, 13(3), 1–14. <https://doi.org/10.9734/bjast/2016/22178>
- Pachauri, T., Singla, V., Satsangi, A., Lakhani, A., & Maharaj Kumari, K. (2013). SEM-EDX Characterization of Individual Coarse Particles in Agra, India. *Aerosol and Air Quality Research*, 13(2), 523-536.
- Paukshtis, E. A., Yaranova, M. A., Batueva, I. S., & Bal'zhinimaev, B. S. (2019). A FTIR Study of Silanol Nests Over Mesoporous Silicate Materials.

Microporous and Mesoporous Materials, 288.
<https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2019.109582>

- Prihadiyono, F.I., et al. (2022). Heterogeneous Catalyst based on Nickel Modified into Indonesian Natural Zeolite in Green Diesel Production from Crude Palm Oil. *International Journal of Technology*, 13(4), 931-943.
- Priya, Deora, P. S., Verma, Y., Muhal, R. A., Goswami, C., & Singh, T. (2021). Biofuels: An Alternative to Conventional Fuel and Energy Source. *Materials Today: Proceedings*, 48, 1178–1184.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.227>
- Qadir, A., Guo, P. P., Su, Y. Z., Yang, K. Z., Liu, X., Wei, P. J., & Liu, J. G. (2025). An In-Plane Heterostructure $\text{Ni}_3\text{N}/\text{MoSe}_2$ Loaded on Nitrogen-Doped Reduced Graphene Oxide Enhances the Catalyst Performance for Hydrogen Oxidation Reaction. *Molecules*, 30(3).
<https://doi.org/10.3390/molecules30030488>
- Rasyid, R., Wicaksono, R. A. S., Lusita, D. D., Mahfud, dan Roesyadi, A. (2015). Efektivitas Katalis Co/Mo pada Hydrocracking Minyak Nyamplung. *Reaktor*, 15(4), 268-273.
- Rifin, A. (2017). Efisiensi Perusahaan Crude Palm Oil (CPO) Di Indonesia. *Jurnal Manajemen & Agribisnis*, 14(2), 103-108.
- Rodriguez-Devecchis, V. M., Carbognani Ortega, L., Scott, C. E., & Pereira-Almao, P. (2015). Use of Nanoparticle Tracking Analysis for Particle Size Determination of Dispersed Catalyst in Bitumen and Heavy Oil Fractions. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 54(40), 9877–9886.
<https://doi.org/10.1021/acs.iecr.5b02420>
- Sajikumar, A. C. (2016). Piezoelectric and Mechanical Properties of Potassium Hydrogen Phthalate Single Crystal. *International Journal of Physics and Applications*, 8(1), 53-57.
- Saleh, A. M., Saleh, N. M., & Mahdi, H. H. (2022). Production of Biofuels from Biomass as an Approach Towards Sustainable Development: A Short Review. *NTU Journal for Renewable Energy*.
- Setiawan, Y., Mahatmanti, F.W. (2018). Preparasi dan Karakterisasi Nanozeolit dari Zeolit Alam Gunungkidul dengan Metode Top-Down. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(1), 43-49.
- Schröder, J., Quinson, J., Mathiesen, J. K., Kirkensgaard, J. J. K., Alinejad, S., Mints, V. A., Jensen, K. M. Ø., & Arenz, M. (2020). A New Approach to Probe the Degradation of Fuel Cell Catalysts under Realistic Conditions: Combining Tests in a Gas Diffusion Electrode Setup with Small Angle X-Ray Scattering. *Journal of The Electrochemical Society*, 167(13), 134515.
<https://doi.org/10.1149/1945-7111/abdd2>

- Sharma, R., Bisen, D.P., Shukla, U. and Sharma, B.G. (2012). X-Ray Diffraction: A Powerful Method of Characterizing Nanomaterials. *Recent Research in Science and Technology*, 4(8), 77-79.
- Solsona, M., Vollenbroek, J. C., Tregouet, C. B. M., Nieuwelink, A. E., Olthuis, W., Van Den Berg, A., Weckhuysen, B. M., & Odijk, M. (2019). Microfluidics and Catalyst Particles. *Lab on a Chip*, 19(21), 3575–3601. <https://doi.org/10.1039/c9lc00318e>
- Song, F., Li, W., Yang, J., Han, G., Liao, P., & Sun, Y. (2018). Interfacing Nickel Nitride and Nickel Boosts Both Electrocatalytic Hydrogen Evolution and Oxidation Reactions. *Nature Communications*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-06728-7>
- Susanto, D. A. (2020). Daya Saing Ekspor Produk CPO Indonesia dan Potensi Hilirisasi Diolah Menjadi Biodiesel. *Jurnal Perspektif Bea dan Cukai*, 4(2), 64-76.
- Taha, M., Hassan, M., Essa, S., & Tartor, Y. (2013). Use of Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) Spectroscopy for Rapid and Accurate Identification of Yeasts Isolated from Human and Animals. *International Journal of Veterinary Science and Medicine*, 1(1), 15-20.
- Takarini, V., Asri, L. A. T. W., Djustiana, N., & Hadi, B. K. (2022). Simple Precipitation Method to Reduce the Particle Size of Glutinous Rice Flour: Physicochemical Evaluation. *Materials Research Express*, 9(2). <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ac4ebd>
- Trujillo, C. A., Ramírez-Marquez, N. T., and Valencia-Rios, J. S. (2020). An Affordable Ammonia Temperature-Programmed Desorption Equipment and its Calibration using the Thermal Decomposition of Ammonium Dihydrogen Phosphate. *Thermochimica Acta*, 689, 178651.
- Tumu, K., Vorst, K. and Curtzwiler, G. (2023). Endocrine Modulating Chemicals in Food Packaging: A Review of Phthalates and Bisphenols. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22(2), 1337-1359.
- Variani, V. I., F., M. Z., & Kalsum, U. (2016). Pembuatan Program Penganalisis Grafik X-Ray Fluorescence (XRF) untuk Menentukan Jenis dan Konsentrasi Unsur Suatu Material. *Jurnal Aplikasi Fisika*, 12(2), 75–85.
- Ulfah, M. dan Subagjo, S. (2012). Pengaruh Perbedaan Sifat Penyangga Alumina Terhadap Sifat Katalis Hydrotreating Berbasis Nikel-Molibdenum. *Reaktor*, 14(2), 151-157.
- Ulfa, M. (2017). Mesoporous Carbon in the Global World. *Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia*, 2(1), 54-65.

- 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.
- Xiao, W., Jones, A. M., Collins, R. N., Bligh, M. W., & Waite, T. D. (2017). Use of fourier transform infrared spectroscopy to examine the Fe(II)-Catalyzed transformation of ferrihydrite. *Talanta*, 175, 30–37. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2017.07.018>
- Yacouba, Z. S., Ye, H., dan Makaou, O. A., Abdoul Aziz, M. S., & Ke, S. X. (2023). *Characterization of Equilibrium Catalysts from the Fluid Catalytic Cracking Process of Atmospheric Residue* (pp. 1–21). Preprints. <https://doi.org/10.20944/preprints202310.1340.v1>
- Yunes, S., Kenvin, J., & Gil, A. (2023). On the Genesis of a Catalyst: A Brief Review with an Experimental Case Study. *Eng*, 4(3), 2375–2406. <https://doi.org/10.3390/eng4030136>
- Yuliusman. (2016). Recovery Logam Nikel dari Spent Katalis NiO/Al₂O₃ dengan Teknologi Leaching Menggunakan Amonia-Amonium Karbonat. *Jurnal MIPA*, 29(2), 144-149.
- Zhang, C. C., Gao, X., & Yilmaz, B. (2020). Development of ftir spectroscopy methodology for characterization of boron species in fcc catalysts. *Catalysts*, 10(11), 1–11. <https://doi.org/10.3390/catal10111327>
- Zhang, X., Xu, Y., & Wu, L. (2023). Solid Phase Synthesis Ni₃N and N-CNT Synergetic Corn-Like Multifunctional Electrocatalyst. *Inorganic Chemistry Communications*, 147. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2022.110224>
- Zhang, Z., Wang, Q., & Zhang, X. (2019). Hydroconversion of Waste Cooking Oil into Bio-Jet. *Catalysts*, 9, 455-468.
- Zahara, A., Bhernama, G., & Harahap, M. R. (2020). Literature Review: Pengaruh Suhu Kalsinasi Terhadap Sintesis Katalis Heterogen Cao dari Cangkang Telur. *Amina*, 2(2), 84–91.