

**PREPARASI, KARAKTERISASI, DAN UJI KINERJA KATALIS
NiS/SiO₂-Al₂O₃ DENGAN *TEMPLATE* PORI KH-FTALAT UNTUK
HYDROCRACKING CPO MENJADI *BIOFUEL***

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Kimia



OLEH:

WIWIK SISCIA ASANY

NIM 08031382126096

JURUSAN KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2025

HALAMAN PENGESAHAN

PREPARASI, KARAKTERISASI, DAN UJI KINERJA KATALIS $\text{NiS}/\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ DENGAN TEMPLATE PORI KH-FTALAT UNTUK HYDROCRACKING CPO MENJADI BIOFUEL

SKRIPSI

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

Oleh :

**WIWIK SISCIA ASANY
03031382126096**

Indralaya, 22 Juli 2025

Mengetahui

Pembimbing I

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

Pembimbing II

**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 Wirwik Siscia Asany (08031382126096) dengan judul "Preparasi, Karakterisasi dan Uji Kinerja Katalis $\text{NiS}/\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan Template Pori KH-Ftalat untuk *Hydrocracking* CPO menjadi *Biofuel*" telah diseminarkan dihadapan Tim Penguji Seminar Hasil Jurusan Kimia Fakultas Matematik dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 5 Mei 2025 dan telah diperbaiki, diperiksa serta disetujui sesuai dengan masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 22 Juli 2025

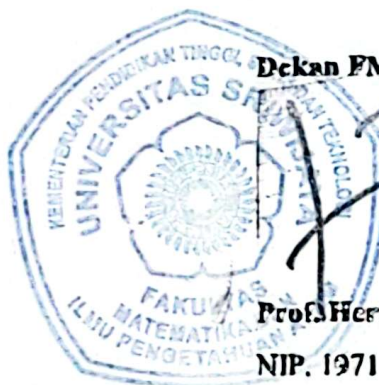
Ketua :

1. Dr. Zulfal Fanani, M. Si
NIP. 196708211995121001

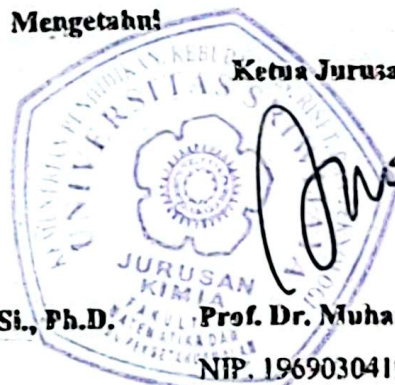
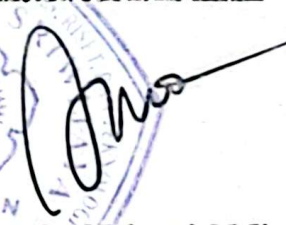
Anggota :

1. Prof. Dr. Hasanudin, M.Si
NIP. 197205151997021003
2. Dr. Eng. Nino Rinaldi
NIP. 197706122001121001
3. Dr. Widia Furwaniyung, M. Si
NIP. 197304031999032001

()
()
()
()


Dekan FMIPA

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

Mengetahui
Ketua Jurusan Kimia


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

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TULIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Wiwik Siscia Asany
NIM : 08031382126096
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, 22 Juli 2025

Penulis



Wiwik Siscia Asany

NIM. 08031382126096

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

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

Nama Mahasiswa : Wiwik Siscia Asany
NIM : 08031382126096
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 $\text{NiS/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan *Template* Pori KH-Ftalat untuk *Hydrocracking* CPO menjadi *Biofuel*”. Dengan hak bebas royalti non eksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir atau skripsi saya selama tetap mencantumkan nama sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya,

Indralaya, 22 Juli 2025

Yang Menyatakan



Wiwik Siscia Asany

NIM. 08031382126096

HALAMAN PERSEMBAHAN

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya dia mendapat (pahala) dari (kebijakan) yang dikerjakannya dan mendapat (siksa) dari (kejahatan yang diperbuatnya)” (Q.S Al-Baqarah:286).

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan” (Q.S Al-Insyirah: 5).

“Setetes keringat orang tuaku yang keluar, ada seribu langkahku untuk maju”

Skripsi ini sebagai salah satu rasa syukur kepada Allah SWT dan Baginda Rasulullah Muhammad SAW serta dipersembahkan untuk:

1. Kedua orang tuaku, Bapak Anton Wahyudi dan Mama Istiqomah
2. Saudara laki-lakiku satu-satunya Fikri Deni Pratama dan keluarga besar tersayang.
3. Dosen pembimbing tugas akhir dan akademik yaitu Bapak Prof. Dr. Hasanudin, M.Si serta pembimbing selama di BRIN Bapak Dr. Eng. Nino Rinaldi.
4. Seluruh dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya
5. Almamater Universitas Sriwijaya
6. Sahabat-sahabatku yang selalu mendoakan dan mendukung.
7. Rekan-rekan seperjuangan di Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya
8. Orang-orang baik yang sering menolong, mendukung, dan mendoakan.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, karunia, dan ridho-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Sholawat beiring salam tak lupa pula penulis haturkan kepada Baginda Nabi Muhammad SAW dan para sahabatnya yang tetap istiqomah hingga akhir zaman. Skripsi dengan judul “ Preparasi, Karakterisasi, dan Uji Kinerja Katalis NiS/SiO₂-Al₂O₃ dengan *Template* pori KH-Ftalat untuk *Hydrocracking* CPO Menjadi *Biofuel*” ini dibuat bertujuan untuk diajukan sebagai syarat memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis menyadari skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, karena di dalamnya masih terdapat kekurangan-kekurangan. Hal ini dikarenakan keterbatasan yang dimiliki oleh penulis baik dalam segi kemampuan, pengetahuan serta pengalaman penulis. Oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun agar dalam penyusunan karya tulis selanjutnya dapat menjadi lebih baik. Proses penulisan skripsi ini banyak mengalami kendala, namun berkat bantuan, bimbingan, kerjasama dari berbagai pihak terutama kepada **Prof. Dr. Hasanudin, M.Si.** selaku dosen pembimbing akademik dan tugas akhir serta **Dr. Eng. Nino Rinaldi** selaku pembimbing tugas akhir di BRIN, yang dengan sabar dan ikhlas meluangkan waktu, tenaga dan pikiran serta memberikan bimbingan, motivasi, arahan, dan saran-saran yang sangat berharga kepada penulis selama menyusun skripsi ini. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah terlibat dan membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini, diantaranya yaitu kepada:

1. Bapak Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya
2. Ibu Prof. Dr. Muharni, M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si. selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Dr. Zainal Fanani, M.Si. dan Ibu Dr. Widia Purwaningrum selaku pembahas dan penguji sidang sarjana.

5. Seluruh Dosen FMIPA KIMIA yang telah mendidik dan membimbing selama masa perkuliahan.
6. Kak Iin dan Mbak Novi, selaku Admin Jurusan Kimia FMIPA terima kasih banyak karena telah membantu dalam mengurus dan mengatur jadwal dan ikut serta berperan dalam tugas akhir saya.
7. Cinta pertama dan panutanku, Bapak Anton Wahyudi dan pintu surgaku Mama Istiqomah. Penulis menyadari bahwa tiada kata yang mampu sepenuhnya menggambarkan rasa syukur ini. Namun, dengan penuh cinta dan ketulusan, izinkan penulis mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kalian. Terima kasih atas segalanya, terima kasih doa, dukungan dan cinta yang tiada henti-hentinya kalian berikan kepada penulis, khususnya sepanjang perjalanan penelitian skripsi ini. Terima kasih telah menjadi orang tua yang supportif. Terima kasih telah berjuang bersama penulis, mengorbankan banyak waktu, tenaga dan upaya untuk mendukung penulis meraih mimpi. Tanpa kehadiran kalian, orang tua yang sangat luar biasa, pencapaian ini tidak mungkin terwujud, karena kalian merupakan sumber inspirasi dan kekuatan yang tak tergantikan bagi penulis. Penulis berharap dengan terselesaikannya skripsi ini, dapat menjadi bentuk penghormatan dan apresiasi atas segala perjuangan dan kasih sayang yang kalian berikan. Semoga Bapak dan Mama sehat, panjang umur, dan bahagia selalu, ya.
8. Kepada keluarga besar Alm. Batua Kamuli dan Alm. Yai Agung Hasan dengan tulus dan penuh rasa syukur penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada kalian yang senantiasa memberikan kasih sayang, doa dan dukungan yang tiada hentinya, terima kasih telah menjadi support sistem setiap langkah penulis.
9. Kepada kakak saya Fikri Deni Pratama, S.Si. yang terkasih dan tersayang, terima kasih yang sebesar-besarnya untuk selalu menjadi sosok inspiratif dalam hidup penulis. Dukungan, nasihat, dan keteladanan kakak telah memberikan penulis semangat dalam menjalani setiap proses, termasuk dalam penyusunan skripsi ini.

10. Terima kasih kepada seseorang yang sejak kecil telah menjadi teman bermain, teman tumbuh dan teman berbagi cerita, adik sepupu tersayang, Apriliana. Terima kasih telah menjadi sosok yang selalu hadir, bukan hanya sebagai saudara, tetapi juga sahabat sejati. Terima kasih untuk setiap nasihat, pelukan, bahkan teguran darimu membentuk penulis menjadi pribadi yang lebih baik. Terima kasih telah menjadi bagian dari proses dan cerita hidup penulis.
11. Kepada seseorang yang tak kalah penting kehadirannya, pemilik nama dari Ariyanto. Terima kasih untuk telinga yang siap mendengar, ucapan yang selalu menenangkan, tangan yang selalu diulurkan, dan seluruh hal baik yang selalu diberikan selama ini. Terima kasih sudah menjadi bagian dari perjalanan hidup saya, dari hal-hal kecil yang mungkin terlihat sederhana, hingga dukungan besar yang begitu berarti. Terima kasih sudah percaya, mendampingi dan memberi arti dalam perjalanan ini.
12. Tim *catalyst* BRIN (Aghni, Rahel, dan Nima) yang telah mengalami suka duka penelitian dari awal pengurusan surat pengantar ke BRIN, berjuang bersama di perantauan yang baru sekaligus mengerjakan penelitian tugas akhir, serta segala permasalahan yang terus menerus, terima kasih untuk tetap bertahan dan berjuang bersama hingga akhir.
13. *Brain Out* (Aghni, Kya, Rahel, Gilang, dan Tristan) terima kasih telah berjuang bersama di perantauan sana walaupun hanya satu semester. Terima kasih telah kebersamaan dalam suka dan duka penulis. *Love you all* sukses terus, ya.
14. Sahabatku (Aulia dan Vira) yang selalu mendampingi penulis di dunia perkuliahan. Kepada Aulia, makasih banyak ya aul udah mau jadi teman pertamaku di masa perkuliahan yang sulit ini, udah mau dengerin semua permasalahan hidup yang sangat amat sulit, udah mau kasih solusi yang terbaik dari setiap permasalahan, maaf banget ya kalo kadang buat kamu susah di perantauan ini hehe, makasih udah mau jadi orang baik aull, tetap jadi orang baik ya aul, sukses terus aull. Kepada Vira, terimakasih pir sudah mau nemenin perjuangan perkuliahan ini, makasih ya pir sudah mau dengerin keluh kesah, selalu dukung aku buat tetap semangat walaupun

banyak masalah dipenelitian, penyusunan, sampai akhir. Maaf ya pir sering ngerepotin dan emosi gak jelas, terimakasih sudah mau tetap bertahan walaupun sudah tahu yang jelek-jeleknya dari diri ini, makasih sudah saling menguatkan piraa, pirr kamu harus yakin sama diri kamu sendiri kalo kamu bisa, kuat-kuat sampe akhir yaa pir kutunggu kabar baiknya. Buat kalian jangan lupain aku ya walaupun setelah ini kita bakalan jarang ketemu, sehat-sehat terus dan semoga sukses ya semua.

15. Para sahabat SMA hingga sekarang (Helda , Rita dan Siti) terima kasih atas doa dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian dan skripsi ini. Terima kasih karena selalu memotivasi diri penulis ini agar tetap semangat menjalani segala permasalahan hidup ini, sukses terus kalian.
16. Untuk teman dan analis di BRIN yaitu Kak Novi, Kak Holan, Alvin, Asya, Arnin, dan lain lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terimakasih telah membantu penulis selama proses penelitian tugas akhir di BRIN. Terutama terima kasih banyak kepada kak novi yang selalu mau direpotkan dan membantu semua permasalahan di penelitian sampai mengolah data, sukses selalu, ya.
17. *Last but not least*, terima kasih kepada diri sendiri, Wiwik Siscia Asany. Terima kasih sudah mampu berusaha keras dan berjuang sejauh ini. Terima kasih sudah menepikan ego dan mengendalikan diri dari berbagai tekanan di luar keadaan. Terima kasih karena memutuskan untuk tidak menyerah sesulit apapun proses penyusunan skripsi ini dengan penyelesaian hasil sebaik dan semaksimal mungkin, ini menjadi hal yang patut diapresiasi dan dibanggakan untuk diri sendiri. Berbahagialah selalu kapanpun dan dimanapun kamu berada. Apapun kurang dan lebihmu, mari rayakan untuk diri sendiri.

Indralaya, 22 Juli 2025

Penulis

SUMMARY

PREPARATION, CHARACTERIZATION, AND PERFORMANCE TEST OF NiS/SiO₂-Al₂O₃ CATALYST WITH KH-PHTHALATE PORE TEMPLATE FOR HYDROCRACKING CPO INTO BIOFUEL

Wiwik Siscia Asany: *Supervised by Prof. Dr. Hasanudin, M.Si and Dr. Eng. Nino Rinaldi*

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

xvi + 62 pages + 8 pictures + 4 tables

The preparation of NiS/SiO₂-Al₂O₃ catalyst template KH-Phthalate was carried out by adding anhydrous nickel metal into the catalyst supported by SiO₂-Al₂O₃ template KH-Phthalate by impregnation, then the calcination process was carried out for 4 hours at a temperature of 700°C. Furthermore, the sulfidation process used ammonium sulfide gas for 2 hours at a temperature of 500°C. The purpose of this study was to analyze the effect of NiS/SiO₂-Al₂O₃ catalyst template KH-Phthalate on the efficiency and productivity of the CPO hydrocracking process and to analyze the differences in characterization parameters between NiS/SiO₂-Al₂O₃ catalyst template KH-Phthalate and SiO₂-Al₂O₃ template KH-Phthalate. Catalyst characterization was carried out by analyzing using PSA, XRD, XRF, SAA. Analysis of hydrocracking products was carried out using GC-MS. Based on XRD data, NiO peaks were detected at 2θ angles of 37°, 43°, 62°, and 75° which can be identified by JCPDS 47-1049 data. The NiS peaks appeared at 2θ angles of 30°, 34°, and 53° according to JCPDS 75-0613 data. XRF data also confirmed the presence of this element in the NiS catalyst of 0.61%. SAA characterization showed that the NiS/SiO₂-Al₂O₃ template KH-Phthalate catalyst had a surface area of 29.60 m²/g, a pore volume of 0.01 cm³/g and a pore diameter of 255.898 Å. Based on the results of GC-MS analysis, the NiS/SiO₂-Al₂O₃ catalyst template KH-Phthalate showed the highest catalytic activity with a selectivity of the biogasoline fraction of 62.70% at a temperature of 350°C.

Keyword : *Hydrocracking, NiS Catalyst, Silica Alumina, KH-Phthalate Template*

Citation : 61 (2009-2024)

RINGKASAN

PREPARASI, KARAKTERISASI, DAN UJI KINERJA KATALIS NiS/SiO₂-Al₂O₃ DENGAN *TEMPLATE* PORI KH-FTALAT UNTUK *HYDROCRACKING* CPO MENJADI *BIOFUEL*

Wiwik Siscia Asany : Dibimbing oleh Prof. Dr. Hasanudin, M.Si dan Dr. Eng. Nino Rinaldi

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

xvi + 62 halaman + 8 gambar + 4 tabel

Preparasi katalis NiS/SiO₂-Al₂O₃ *template* KH-Ftalat dilakukan dengan menambahkan logam nikel anhidrat kedalam katalis berpendukung SiO₂-Al₂O₃ *template* KH-Ftalat dengan cara impregnasi, kemudian dilakukan proses kalsinasi selama 4 jam dengan suhu 700°C. Selanjutnya proses sulfidasi menggunakan gas amonium sulfida selama 2 jam dengan suhu 500°C. Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisis pengaruh katalis NiS/SiO₂-Al₂O₃ *template* KH-Ftalat terhadap efisiensi dan produktivitas proses *hydrocracking* CPO dan menganalisis perbedaan parameter karakterisasi antara katalis NiS/SiO₂-Al₂O₃ *template* KH-Ftalat dan SiO₂-Al₂O₃ *template* KH-Ftalat. Karakterisasi katalis dilakukan dengan menganalisis menggunakan PSA, XRD, XRF, SAA. Analisis produk hasil *hydrocracking* dilakukan menggunakan GC-MS. Berdasarkan data XRD, puncak NiO terdeteksi pada sudut 2θ sebesar 37°, 43°, 62°, dan 75° yang dapat teridentifikasi data JCPDS 47-1049. Pada puncak-puncak NiS muncul pada sudut 2θ sebesar 30°, 34°, dan 53° sesuai dengan data JCPDS 75-0613. Data XRF juga mengonfirmasi adanya elemen ini dalam katalis NiS sebesar 0,61%. Karakterisasi SAA menunjukkan bahwa katalis NiS/SiO₂-Al₂O₃ *template* KH-Ftalat memiliki luas permukaan sebesar 29,60 m²/g, volume pori sebesar 0,01 cm³/g dan diameter pori sebesar 255,898 Å. Berdasarkan hasil analisis GC-MS, katalis NiS/SiO₂-Al₂O₃ *template* KH-Ftalat menunjukkan katalitik tertinggi dengan selektivitas fraksi *biogasoline* sebesar 62,70% pada suhu 350°C.

Kata kunci : *Hydrocracking*, Katalis NiS, Silika Alumina, *Template* KH-Ftalat

Sitasi : 61 (2009-2024)

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TULIS	iii
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR.....	vi
SUMMARY.....	x
RINGKASAN	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xxv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Crude Palm Oil</i> (CPO)	5
2.2 <i>Hydrocracking</i>	5
2.3 Alumina Silika.....	7
2.4 Kalium Hidrogen Ftalat (KHP)	7
2.5 Katalis.....	8
2.6 <i>Biofuel</i>	9
2.7 <i>Biogasoline</i>	9
2.8 Bioavtur	10
2.9 Karakterisasi Katalis.....	10
2.9.1 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	10
2.9.2 <i>Surface Area Analyzer</i> (SAA).....	11

2.9.3 <i>X-Ray Fluorescence (XRF)</i>	12
2.9.4 <i>Particel Size Analyzer (PSA)</i>	12
2.9.5 <i>Gas Cromatography and Mass Spectroscopy (GC-MS)</i>	13
BAB III METODELOGI 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 Silika Alumina dengan <i>Template</i> KH-Ftalat	14
3.3.2 Sintesis Katalis Logam NiS dengan <i>support</i> SiO ₂ -Al ₂ O ₃ <i>Template</i> KH-Ftalat melalui impregnasi.....	15
3.3.3 Proses <i>Hydrocracking Crude Palm Oil</i> menjadi <i>Biogasoline</i>	16
3.3.4 Karakterisasi Sampel	16
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	19
4.1 Modifikasi NiS/SiO ₂ -Al ₂ O ₃ dengan <i>Template</i> KH-Ftalat	19
4.2 Karakterisasi Katalis Menggunakan <i>X-Ray Fluorescence (XRF)</i>	20
4.3 Karakterisasi Katalis Menggunakan <i>Particel Size Analyzer (PSA)</i>	22
4.4 Karakterisasi Katalis dengan Menggunakan <i>Surface Area Analyzer</i> (SAA).	24
4.5 Karakterisasi Katalis dengan Menggunakan <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	26
4.6 Data Hasil Minyak dari Proses <i>Hydrocracking</i> katalis Menggunakan Analisis GC-MS	27
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	31
5.1 Kesimpulan.....	31
5.2 Saran	31
DAFTAR PUSTAKA.....	33
LAMPIRAN.....	39

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Reaktor <i>Hydrocracking</i>	6
Gambar 2. Diagram skema sistem difraktometer.	11
Gambar 3. Proses Preparasi $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ sebagai Katalis	20
Gambar 4. Grafik Distribusi analisis PSA (a) $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ <i>template</i> KH-Ftalat, (b) $\text{NiO/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ <i>template</i> KH-Ftalat, (c) $\text{NiS/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ <i>template</i> KH-Ftalat	23
Gambar 5. Isotherm katalis	24
Gambar 6. Hasil difraktogram $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ <i>template</i> KH-Ftalat, $\text{NiO/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ <i>template</i> KH-Ftalat dan $\text{NiS/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ <i>template</i> KH-Ftalat.....	26
Gambar 7. Kromatogram GCMS CPO.....	28
Gambar 8. Kromatogram hasil $\text{NiS/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ <i>template</i> KH-Ftalat (a) variasi 250°C, (b) variasi 300°C, (c) variasi 350°C	29

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Hasil analisis katalis menggunakan <i>X-Ray fluorescence</i>	21
Tabel 2. Hasil analisis PSA katalis $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan <i>template</i> KH-Ftalat, $\text{NiO/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan <i>template</i> KH-Ftalat, dan $\text{NiS/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan <i>template</i> KH-Ftalat	22
Tabel 3. Hasil SAA katalis $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ <i>template</i> KH-Ftalat , $\text{NiO/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ <i>template</i> KH-Ftalat, dan $\text{NiS/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ <i>template</i> KH-Ftalat	25
Tabel 4. Persentase selektivitas dari hasil analisis GC-MS	30
Tabel 5. Hasil Kromatogram CPO	49
Tabel 6. Hasil kromatogram CPO hasil <i>hydrocracking</i> menggunakan katalis $\text{NiS/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ <i>template</i> KH-Ftalat pada suhu reaksi 250°C	50
Tabel 7. Hasil kromatogram CPO hasil <i>hydrocracking</i> menggunakan katalis $\text{NiS/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ <i>template</i> KH-Ftalat pada suhu reaksi 300°C	52
Tabel 8. Hasil kromatogram CPO hasil <i>hydrocracking</i> menggunakan katalis $\text{NiS/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ <i>template</i> KH-Ftalat pada suhu reaksi 350°C	54

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Prosedur Penelitian	39
Lampiran 2. Grafik PSA	44
Lampiran 3. Grafik Isotherm SAA.....	45
Lampiran 4. Hasil Perhitungan Luas Permukaan Spesifik SAA.....	46
Lampiran 5. Difraktogram XRD	49
Lampiran 6. Kromatogram Hasil Analisis GC-MS.....	49
Lampiran 7. Hasil Perhitungan % Selektivitas Produk dari <i>Hydrocracking</i> CPO.....	57
Lampiran 8. Dokumentasi Penelitian	58

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Minyak bumi merupakan sumber energi utama yang mengendalikan banyak aspek kehidupan, mulai dari kebutuhan dasar domestik hingga operasi industri berskala besar. Pembangkit listrik, bahan baku industri petrokimia, dan bahan bakar kendaraan merupakan beberapa contoh pemanfaatan minyak bumi. Pasokan dan teknologi pemrosesan minyak bumi yang relatif berlimpah, yang telah mengalami kemajuan yang signifikan selama beberapa dekade terakhir adalah penyebab ketergantungan yang besar terhadap minyak bumi. Namun, upaya untuk memastikan keberlanjutan energi di masa depan menjadi semakin mengkhawatirkan karena semakin menipisnya sumber minyak bumi dan dampak buruknya terhadap lingkungan, termasuk polusi dan emisi gas rumah kaca (Khaidir, 2016).

Seiring dengan semakin jelas kebutuhan akan energi yang lebih ramah lingkungan, para ilmuwan dan peneliti mencari sumber energi alternatif yang dapat mengurangi atau menghilangkan ketergantungan pada bahan bakar fosil. *Biofuel* atau bahan bakar yang terbuat dari sumber daya terbarukan termasuk minyak nabati, biomassa, dan sampah organik, merupakan salah satu bahan pengganti yang berkembang pesat. Secara khusus, sifatnya yang terbarukan dan pengurangan emisi menjadikan *biofuel* lebih unggul dibandingkan bahan bakar fosil. Kemajuan dalam bidang ini dipacu oleh berbagai penelitian yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi produksi dan menurunkan biaya operasional sehingga lebih murah dan dapat bersaing dengan bahan bakar tradisional (Chadar & Ahirwar, 2022).

Bahan baku utama pembuatan *biofuel* adalah *Crude Palm Oil* (CPO) yang melimpah khususnya di Indonesia dan Malaysia. *Crude Palm Oil* (CPO) memiliki kandungan hidrokarbon rantai panjang yang tinggi, serta bebas nitrogen dan sulfur (Hasanudin, 2022). Selain itu, CPO memiliki hasil panen per hektar yang tinggi dan biaya produksi yang lebih rendah dibandingkan bahan baku minyak nabati lainnya (Wafi & Budianto, 2022). Penggunaan CPO sebagai bahan baku *biofuel* semakin menarik bagi sektor energi terbarukan karena tingginya produktivitas perkebunan kelapa sawit dan kemajuan teknologi pengolahan.

Selain itu, sejumlah penelitian menunjukkan bahwa *biofuel* berbasis CPO memiliki karakteristik fisik dan kimia yang sama dengan bahan bakar fosil, sehingga cocok untuk digunakan sebagai pengganti langsung atau campuran tanpa memerlukan modifikasi mesin besar-besaran (Wijaya *et al.*, 2021). Dengan ketersediaan yang melimpah CPO sebagai bahan baku *biofuel* dapat menjadi solusi strategis untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil serta meningkatkan ketahanan energi nasional.

Crude Palm Oil (CPO) merupakan salah satu sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku energi alternatif karena ketersediaannya yang melimpah. CPO mengandung trigliserida dan asam lemak, yang memungkinkan untuk dikonversi menjadi bahan bakar berkelanjutan melalui proses *hydrocracking* (Hasanudin *et al.*, 2023). *Hydrocracking* sendiri adalah metode yang digunakan untuk memproses CPO menjadi *biofuel* melalui reaksi dengan hidrogen dan bantuan katalis. Proses ini memecah molekul hidrokarbon menjadi komponen berukuran lebih kecil serta menghasilkan produk dengan kualitas yang lebih tinggi (Wijaya *et al.*, 2021).

Salah satu keuntungan dari *hydrocracking* adalah kemampuannya dalam mengurangi kandungan oksigen dalam minyak nabati, sehingga menghasilkan *biofuel* yang lebih stabil (Nugroho *et al.*, 2014). Untuk mencapai efisiensi dan kestabilan produk *biofuel* tersebut, diperlukan kondisi reaksi yang optimal, salah satunya melalui penggunaan katalis yang tepat. Katalis memainkan peran penting dalam proses ini karena dapat memengaruhi laju reaksi dan mutu produk akhir. Fungsi utama katalis adalah mempercepat reaksi kimia, menurunkan energi aktivasi, serta meningkatkan selektivitas dan efisiensi konversi. Oleh karena itu, pemilihan dan perancangan katalis menjadi hal yang krusial dalam mengoptimalkan proses *hydrocracking*.

Katalis yang ideal umumnya memiliki karakteristik seperti stabilitas termal tinggi, tingkat keasaman yang sesuai, serta luas permukaan yang besar. Salah satu jenis katalis yang banyak dikaji adalah katalis bifungsional seperti nikel sulfida (NiS), karena kemampuannya dalam meningkatkan efisiensi konversi biofuel. NiS dikenal memiliki aktivitas tinggi dalam reaksi hidrogenasi dan deoksigenasi, serta memiliki ketahanan terhadap senyawa sulfur dan mampu bekerja pada suhu tinggi,

sehingga sangat cocok untuk konversi biomassa menjadi bahan bakar cair (Kadarwati *et al.*, 2017).

Penelitian terdahulu telah banyak menyoroti potensi NiS dalam proses konversi biomassa. Menurut Kadarwati *et al.* (2017) bahwa nikel sulfida efektif dalam proses deoksigenasi yang menurunkan kandungan oksigen pada *biofuel*, meningkatkan stabilitas produk akhir. Penelitian lain oleh Hasanudin *et al.* (2022) membuktikan bahwa katalis NiS juga memiliki kinerja yang lebih baik dalam *hydrocracking* CPO dibandingkan katalis lain, seperti alumina atau zeolit. Begitu pula pada penelitian Wafi dkk. (2022) menguji efektivitas NiS dalam reaksi hidrogenasi, dan hasilnya menunjukkan bahwa NiS dapat mempercepat proses konversi serta meningkatkan hasil produk *biofuel*.

Untuk meningkatkan karakteristik katalis, modifikasi struktur pori diperlukan agar dapat meningkatkan akseibilitas reaktan ke situs aktif. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah pemanfaatan agen pengkhelat, seperti kalium hidrogen ftalat (KH-Ftalat) (Sajikumar, 2016). KH-Ftalat tidak hanya berperan sebagai agen pengkhelat tetapi juga sebagai *template* pori yang mampu meningkatkan stabilitas kimia serta mendukung reaksi kimia sehingga mendukung proses yang lebih efisien dalam reaksi tersebut (Alayat *et al.*, 2018). Penerapan bahan ini dalam sintesis katalis telah terbukti dapat meningkatkan aktivitas dan selektivitas, khususnya dalam proses hidrogenasi dan hidrodesulfurisasi.

Selain pemilihan bahan pengkhelat, ketersediaan sumber nikel sebagai komponen utama katalis juga menjadi faktor penting dalam sintesis katalis NiS. Nikel memiliki sifat unik seperti tahan korosi (Wahyudi dkk., 2022), penghantar listrik yang baik, serta bersifat magnetik. Secara global, nikel dapat diperoleh dari dua jenis bijih utama, yaitu laterit dan sulfida. Meskipun sebagian besar produksi historis berasal dari bijih sulfida, cadangan terbesar nikel saat ini berada dalam bijih laterit (Mudd, 2009). Oleh karena itu, eksplorasi dan pengolahan bijih nikel menjadi semakin penting dalam memastikan ketersediaan bahan baku untuk katalis dalam konversi energi berkelanjutan.

Dalam penelitian ini, katalis NiS/SiO₂-Al₂O₃ dengan *template* pori KH-Ftalat akan disintesis, dikarakterisasi, dan diuji kinerjanya dalam *hydrocracking* CPO menjadi *biofuel*. Diharapkan bahwa penelitian ini dapat berkontribusi pada

pengembangan katalis yang lebih efisien dan selektif dalam meningkatkan konversi CPO menjadi *biofuel* berkualitas tinggi, serta berpotensi menjadi solusi energi alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dipelajari pada penelitian ini berupa:

1. Bagaimana pengaruh katalis $\text{NiS/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ *template* KH-Ftalat terhadap selektivitas proses *hydrocracking* CPO?
2. Bagaimana perbandingan hasil karakterisasi antara katalis $\text{NiS/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ *template* KH-Ftalat dan *support* $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ *template* KH-Ftalat?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh katalis $\text{NiS/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ *template* KH-Ftalat terhadap selektivitas proses *hydrocracking* CPO.
2. Menganalisis perbedaan parameter karakterisasi antara katalis $\text{NiS/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ *template* KH-Ftalat dan *support* $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ *template* KH-Ftalat.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoritis dengan memperkaya keilmuan di bidang katalisis, khususnya mengenai pemanfaatan katalis NiS berpendukung $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan *template* pori KH-Ftalat. Melalui karakterisasi mendalam dan analisis mekanisme reaksi, penelitian ini akan menjelaskan keterkaitan antara struktur pori dan komposisi katalis terhadap aktivitas *hydrocracking* CPO, serta memperluas pemahaman tentang sifat reduksi dan interaksi logam-*support* pada sistem $\text{NiS/SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ *template* KH-Ftalat. Hasil-hasil ini dapat menjadi rujukan penting dalam perancangan katalis *biofuel* generasi berikutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Alharbi, M. H., Alotaibi, R. A., Rana, A. M., Alharthi, N. H., & Bokhary, A. (2019). Recent advances in the use of sulfide-based catalysts. *Applied Catalysis B: Environmental*, 243, 46–62. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2018.10.039>.
- Alayat, A. M., Echeverria, E., Mellroy, D. N., & McDonald, A. G. (2018). Characterization and catalytic behavior of EDTA modified silica nanosprings (NS)-supported cobalt catalyst for Fischer-Tropsch CO- hydrogenation. *In Journal Of Fuel Chemistry and Technology*, 46(8), 957.
- Amirali, P., Stahr, F., Liu, J., Qiao, S. Z., & Liu, G. K. (2011). Mesoporous Silica Nanoparticles for Bioadsorption, Enzyme Immobilisation & Delivery Carriers. *Nanoscale*. 1 (3): 2801-2818.
- Avramov, L., & Bakalov, I. (2016). Biofuels–Renewable Energy Sources: A Review.
- Aziz, I., Retnaningsih, T., Gustama, D., Saridewi, N., Adhani, L., & Dwiatmoko, A. A. (2021). Catalytic cracking of jatropha oil into biofuel over hierarchical zeolite supported NiMo catalyst. *AIP Conference Proceedings*, 2349, 020004. <https://doi.org/10.1063/5.0051737>.
- Behnsen, J. G., Black, K., Houghton, J. E., & Worden, R. H. (2023). A Review of Particle Size Analysis with X-ray CT. *Materials*, 16(3), 1–17. <https://doi.org/10.3390/ma16031259>
- Bunaciu, A. A., Udriștioiu, E. G., & Aboul-Enein, H. Y. (2015). X-ray diffraction: Instrumentation and applications. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 45(4), 289–299. <https://doi.org/10.1080/10408347.2014.949616>.
- Busca, G. (2020). Silica-alumina catalytic materials: A critical review. *Catalysis Today*, 357(April), 621–629. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2019.05.011>.
- Brame, J., & Griggs, C. (2016). *Surface area analysis using the Brunauer–Emmett–Teller (BET) method* (Scientific Operating Procedure Series: SOP-C). U.S. Army Engineer Research and Development Center.
- Chadar, S. N., & Ahirwar, A. K. (2022). Biofuel from biomass as an alternative energy source for sustainable development. *Open Access Research Journal of Science and Technology*, 6(1), 071–074.
- Ferreiro González, M., Saadatkhan, N., & Patience, G. S. (2024). Experimental methods in chemical engineering: X-ray fluorescence—XRF. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 102(6), 2004–2018.
- Gambino, M., Veselý, M., Filez, M., Oord, R., Ferreira Sanchez, D., Grolimund, D., Nesterenko, N., Minoux, D., Maquet, M., Meirer, F., & Weckhuysen, B. M. (2020). Nickel poisoning of a cracking catalyst unravelled by single-particle X-ray fluorescence-diffraction-absorption tomography. *Angewandte Chemie International Edition*, 59(10), 3922–3927.
- 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). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1728/1/012003>
- Gupta, S. K., Kumar, R., Sharma, M., & Singh, R. (2019). The role of particle size on the catalytic activity of sulfide catalysts. *Chemical Engineering Journal*, 375, 122067. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122067>.
- Hasanudin, H., Asri, W. R., Permatahati, U., Purwaningrum, W., Hadiah, F., Maryana, R., Al Muttaqqi, M., dan Hendri, (2023). Conversion of crude palm oil to biofuels via catalytic hydrocracking over NiN- supported Natural Bentonite. *AIMS Energi*. 11(12), 197-212.
- Hasanudin, H., Asri, W. R., Said, M., Hidayati, P. T., Purwaningrum, W., Novia, N., & Wijaya, K. (2022). Hydrocracking optimization of palm oil to bio-gasoline and bio-aviation fuels using molybdenum nitride-bentonite catalyst. *RSC Advances*, 12(26), 16431–16443. <https://doi.org/10.1039/d2ra02438a>.
- Hasanudin, H., Asri, W. R., Zulaikha, I. S., Ayu, C., Rachmat, A., Riyanti, F., Hadiah, F., Zainul, R., & Maryana, R. (2022). Hydrocracking of crude palm oil to a biofuel using zirconium nitride and zirconium phosphide-modified bentonite. *RSC Advances*, 12(34), 21916–21925. <https://doi.org/10.1039/d2ra03941a>.
- Hasanudin, H., Putra, M. P., & Suharto, D. (2022)^[4]. "Hydrocracking of crude palm oil using nickel sulfide (NiS) as a catalyst: Comparative performance with alumina and zeolite." *RSC Advances*, 12, 21916-21929. <https://doi.org/10.1039/D2RA03941A>.
- Herawati, N., & Melani, A. (2018). Pembuatan Biogasoline dari Ampas Tebu. *Jurnal Distilasi*, 3(1), 16–21.
- Indriani, S., Saputri, W. D., & Aziz, I. T. A. (2023). Analisis GC-MS (Gas Chromatography-Mass Spectrometry) terhadap batang kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Agroplanta: Jurnal Ilmiah Terapan Budidaya dan Pengelolaan Tanaman Pertanian dan Perkebunan*, 12(2), 147–155.
- Iriany, Taslim, Bani,O., Aldi, A. and Rahmadani, S. (2022). Preparation and Application of Heterogeneous Catalyst Based on KOH Impregnated Activated Carbon from Rubber Seed Kernel for Biodiesel Synthesis. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1115(1): 1-6.
- Irwansyah, F. S., Amal, A. I., Diyanthi, E. W., Hadisantoso, E. P., Noviyanti, A. R., Eddy, D. R., & 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>.
- Kadarwati, L., Kusuma, P. D., & Santosa, S. (2017). Deoxygenation of biofuels using nickel sulfide (NiS) catalyst: A study on the stability and efficiency." *Journal of Energy and Environmental Science*, 10(3), 121-135. <https://doi.org/10.1016/j.jees.2017.03.015>.

- Kadarwati, N., Putra, A., Sari, D., & Lestari, R. (2017). Nikel sulfida sebagai katalis dalam proses konversi biomassa. *Jurnal Kimia Indonesia*, 16(2), 101–110.
- Karam, L., Bacariza, M. C., Lopes, J. M., Henriques, S., & Ribeiro, F. (2020). Assessing the potential of $x\text{Ni}-y\text{Mg}-\text{Al}_2\text{O}_3$ catalysts prepared by EISA-one-pot synthesis towards CO_2 methanation: An overall study. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(53), 28767–28781.
- Khaidir. (2016). Pengolahan Limbah Pertanian Sebagai Bahan Bakar Alternatif [Agricultural Waste Processing As Alternative Fuels]. *Jurnal Agrium*, 13(2), 63-68. <https://doi.org/ISSN 1829-9288>.
- Kurnia, J. C., Jangam, S. V., Akhtar, S., Sasmito, A. P., & Mujumdar, A. S. (2016). Advances in biofuel production from oil palm and palm oil processing wastes: A review. *In Biofuel Research Journal*, 3(1)333-339.
- Mae Berina, L. L., Angelika Marie Ricohermoso, S. D., Charmaine Tejada, V. A., Jay Bautista, C. C., & Abigail P, C. A. (2018). Biodegradability Study of Potassium Hydrogen Phthalate and Benzene Using BOD5 Seed as Inoculum. *Journal of Bioremediation & Biodegradation*, 09(3), 1.
- Malik, R., Kumar, S., & Singh, A. (2023). Application of X-ray fluorescence spectrometry for elemental analysis in environmental samples. *Environmental Chemistry Letters*, 21(4), 345–360. <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01456-7>.
- Marsyahyo, E. (2009). Analisis Brunnaeur Emmet Teller (BET) Topografi PEermukaan Serat Rami (*Boehmeria nivea*) untuk Media Penguatan pada Bahan Komposit. *Jurnal Flywheel*, 2(2), 33–41.
- Mudd, G. M. (2009). Global trends and environmental issues in nickel mining: Sulfides versus laterites. *Ore Geology Reviews*, 38(1–2), 9–26.
- Muhaimin, M., Chaerunisaa, A. Y., & Bodmeier, R. (2021). Real-time particle size analysis using focused beam reflectance measurement as a process analytical technology tool for continuous microencapsulation process. *Scientific Reports*, 11(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98984-9>
- Muttaqin, A., Hidayat, R., & Lestari, N. (2023). Pengembangan buku panduan teknik karakterisasi material: X-ray diffractometer (XRD) di Laboratorium Fisika Universitas Negeri Semarang. *Indonesian Journal of Laboratory*, 6(1), 9–16. <https://doi.org/10.22146/ijl.78970>
- Moiseeva, E. G., Ilmensky, A. S., Mishagin, K. A., Petrov, S., Lakhova, A., & Bashkirtseva, N. (2022). Synthesis and Study of Carbon-Supported Nickel-Aluminum Oxide Catalysts. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. DOI: 10.32935/0023-1169-2022-630-2-21-26
- Nugroho, A. P. P., Fitriyanto, D., & Roesyadi, A. (2014). Pembuatan Biofuel dari Minyak Kelapa Sawit melalui Proses Hydrocracking dengan Katalis Ni-Mg/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. *Jurnal Teknik POMITS*, 3(2). ISSN: 2337-3539.

- Nuriah, S., Wulandari, R., & Fauzi, A. (2023). Recent advances in gas chromatography–mass spectrometry (GC-MS) techniques for analysis of environmental pollutants. *Journal of Analytical Science and Technology*, 14(1), 45–62. <https://doi.org/10.1186/s40543-023-00345-7>.
- Palcheva, R., Kaluža, L., Moravčík, J., Tyuliev, G., Dimitrov, L., Jirátová, K., Avdeev, G., Tenchev, K., & Spojakina, A. (2020). NiMo Catalysts Supported on Al-Based Mixed Oxide Prepared By Hydrothermal Method: Effect of Zn/Al Ratio and Addition of Silica on HDS Activity. *Catalysis Letters*, 151, 1-11. DOI: 10.1007/s10562-020-03232-w
- Puello-Polo, E., Arias, D., & Márquez, E. (2022). Al₂O₃-MgO Supported Ni, Mo, and NiMo Mixed Phosphidic-Sulphidic Phase for Hydrotreating of Stearic and Oleic Acids Into Green Diesel. *Frontiers in Chemistry*, 10. DOI: 10.3389/fchem.2022.880051
- Purnama, K. O., Setyaningsih, D., Hambali, E., & Taniwiryo, D. (2020). Processing, Characteristics, and Potential Application of Red Palm Oil - A review. *International Journal of Oil Palm*, 3(2), 42–4.
- Purnami, Wardana, I. dan Veronika, K. (2015). Pengaruh Penggunaan Katalis Terhadap Laju dan Efisiensi Pembentukan Hidrogen. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 6(1): 51-59.
- Rahmawati, D. A., Intaningrum, D. dan Istadi. (2013). Pembuatan dan Karakterisasi Katalis Heterogen SO₄²⁻-ZnO dan SO₄²⁻/ZnO dengan Metode Kopresipitasi dan Impregnasi untuk Produksi Biodiesel dari Minyak Kedelai. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. 2(4): 243-252.
- Rasyid, R., Wicaksono, R. A. S., Lusita, D. D., Mahfud, & 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>.
- Rifin, A. (2017). Efisiensi Perusahaan Crude Palm Oil (CPO) Di Indonesia [Efficiency of Crude Palm Oil (CPO) Companies in Indonesia]. *Jurnal Manajemen & Agribisnis*, 14(2), <https://doi.org/10.17358/JMA.14.2.103>.
- Rohman, M. N. K., & Maharani, D. K. (2014). Sintesis dan Karakterisasi Padatan Silika-Alumina dengan Variasi Suhu Kalsinasi sebagai Pendukung Katalis Campuran Oksida Logam Cu/Zn. *UNESA Journal of Chemistry*, 3(2), 35.
- Sabarman, J. S., Legowo, E. H., Widiputri, D. I., & Siregar, A. R. (2019). Bioavtur Synthesis from Palm Fatty Acid Distillate through Hydrotreating and Hydrocracking Processes. *In Indonesian Journal of Energi* (Vol. 2, Issue 2).
- Sajikumar, A. C. (2016). Piezoelectric and Mechanical Properties of Potassium Hydrogen Phthalate Single Crystal. *International Journal of Physics and Applications*, 8(1), 53-57.
- Shivale, A., Kumar, R., & Mehta, P. (2024). Role of biofuels in sustainable transportation and climate mitigation. *Renewable Energy Research Journal*, 12(1), 22–35.

- Silalahi, D., Supeno, M., & Taufik, M. (2021). Conversion of Palm Oil (CPO) into Fuel Biogasoline through Thermal Cracking Using a Catalyst Based NaBentonite and Limestone of Soil Limestone NTT. *International Journal of Biological, Physical and Chemical Studies*, 3(2), 01–15. <https://doi.org/10.32996/ijbpcs.2021.3.2.1>
- Singh, H. K. G., Yusup, S., Quitain, A. T., Abdullah, B., Ameen, M., Sasaki, M., Kida, T., & Cheah, K. W. (2020). Biogasoline production from linoleic acid via catalytic cracking over nickel and copper-doped ZSM-5 catalysts. *Environmental Research*, 186(April), 109616. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109616>
- Sirajudin, N., Jusoff, K., Yani, S., Ifa, L., & Roesyadi, A. (2013). Biofuel production from catalytic cracking of palm oil. *World Applies Sciences Journal*, 26(26), 67-71.
- Sitanggang, A., Isharyadi, F., Faridah, D., & Andarwulan, N. (2019). Physicochemical Characterization of Crude Palm Oil (CPO) in Sumatra and Non-Sumatra Region. In *Proceedings of the 2nd SEAFast International Seminar (2nd SIS 2019) - Facing Future Challenges: Sustainable Food Safety, Quality and Nutrition*. (pp. 43-48). ISBN: 978-989- 758-466-4. DOI: 10.5220/0009978000430048.
- Tiwari, D., Sailo, L., Yoon, Y. Y., Lee, S. M. (2018). Efficient Use Of Ferrate (VI) In The Oxidative Removal Of Potassium Hydrogen Phtalate (KHP) From Aquades Solutions. *Environmental Engineering Research*.
- Wafi, M. dan Budianto, A. (2022). Review Jurnal : Produksi Biofuel dari Palm Oil dengan Berbagai Metode Proses. *INSOLOGI : Jurnal Sains dan Teknologi*, 1(4), 368-369.
- Wafi, M., Budianto, A. S., & Andika, P. (2022). "Hydrogenation of biofuels with NiS catalysts: Enhanced reaction rates and improved fuel yield." *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 1(4), 368-375.
- Wahyudi, S., Soepriyanto, S., & Anggolo, S. P. (2022). Studi Pengaruh Rasio Konsentrasi Nikel Sulfat/Nikel Klorida dan Rapat Arus Terhadap Efisiensi Arus pada Sintesis Serbuk Nikel dengan Metode Elektrolisis. *Jurnal Vokasi Teknologi Industri (Jvti)*, 4(2), 09–013. <https://doi.org/10.36870/jvti.v4i2.307>
- Widayatno, R. L., W, A. D., & Abidin, Z. (2016). Analysis Bioavtur for Energy Security. *Jurnal Pertahanan*, 2(3), 243. <https://doi.org/10.33172/jp.v2i3.102>.
- Wijanarko, A., Mawardi, D. A., Nasikin, M. (2016). Produksi Biogasoline Dari Minyak Sawit Melalui Reaksi Perengkahan Katalis Dengan Katalis Alumina. *Makara Jurnal of Teknologi*. 2(10), 51.
- Wijaya, A., Saputri, W. D., & Aziz, I. T. A. (2021). Hydrocracking of crude palm oil into biofuel: A review on process and catalysts. *Journal of Renewable Energy Science*, 45(3), 245–258..
- Wu, Z., & Zou, Z. (2020). Effects of calcination temperatures on the physicochemical properties of Ni-based catalysts. *Applied Catalysis B*:

Environmental.

Zamhari, M., Yuniar, Sari, D. I., Saputri, N. S. (2019). Pembuatan Katalis Heterogen Basa dari Serbuk Kayu Akasia. *Jurnal Kinetika*. 10(1): 38-45.

Zhang, Z., Wang, Q., & Zhang, X. (2019). Hydroconversion of Waste Cooking Oil into Bio-Jet. *Catalysts*, 9, 455–468.