

**MODIFIKASI  $\text{SiO}_2/\text{ZrP}$  BERPORI SEBAGAI KATALIS  
*HYDROCRACKING* CPO MENJADI *BIOGASOLINE* DAN *BIOAVTUR***

**SKRIPSI**

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



**Disusun Oleh:**

**MUTIARA DEA KHARISMA**

**08031381924052**

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

**2023**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**MODIFIKASI  $\text{SiO}_2/\text{ZrP}$  BERPORI SEBAGAI KATALIS  
*HYDROCRACKING* CPO MENJADI *BIOGASOLINE* DAN *BIOAVTUR***

**SKRIPSI**

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

**Oleh:**

**MUTIARA DEA KHARISMA**

**08031381924052**

Indralaya, 23 Februari 2023

**Mengetahui,  
Pembimbing**



**Dr. Hasanudin, M.Si.**

**NIP. 197205151997021003**

**Dekan FMIPA**



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

**NIP. 197111191997021001**

## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi Mutiara Dea Kharisma (08031381924052) dengan judul “Modifikasi  $\text{SiO}_2/\text{ZrP}$  Berpori sebagai Katalis *Hydrocracking* CPO Menjadi *Biogasoline* dan *Bioavtur*” telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 21 Februari 2023 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 23 Februari 2023

Ketua :

1. **Drs. H. Dasril Basir, M.Si.**

NIP. 195810091986031005

Sekretaris :

1. **Dr. Heni Yohandini, M.Si.**

NIP. 197011152000122004

( )

Pembimbing :

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

NIP. 197205151997021003

( )

Penguji :

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

NIP. 196912251997022001

( )

2. **Dra. Fatma, MS.**

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 di bawah ini :

Nama Mahasiswa : Mutiara Dea Kharisma  
NIM : 08031381924052  
Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia

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

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 23 Februari 2023

Yang menyatakan,



Mutiara Dea Kharisma

NIM. 08031381924052

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

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertandatangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Mutiara Dea Kharisma

NIM : 08031381924052

Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia

Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya “Modifikasi  $\text{SiO}_2/\text{ZrP}$  Berpori sebagai Katalis *Hydrocracking* CPO Menjadi *Biogasoline* dan *Bioavtur*” 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, 23 Februari 2023

Yang menyatakan,



Mutiara Dea Kharisma

NIM. 08031381924052

## HALAMAN PERSEMBAHAN

آتَىٰ أَمْرُ اللَّهِ فَلَا تَسْتَعْجِلُوهُ ۗ سُبْحٰنَهُ وَتَعَالَىٰ عَمَّا يُشْرِكُونَ

"Ketetapan Allah pasti datang, maka janganlah kamu meminta agar dipercepat (datang)nya. Maha Suci Allah dan Maha Tinggi Dia dari apa yang mereka persekutukan."

-QS. An-Nahl: 1-

اللَّهُمَّ لَا سَهْلَ إِلَّا مَا جَعَلْتَهُ سَهْلًا وَأَنْتَ تَجْعَلُ الْحَزْنَ إِذَا شِئْتَ سَهْلًا

“Ya Allah, tidak ada kemudahan kecuali apa yang Engkau jadikan mudah. Sedang yang susah bisa Engkau jadikan mudah, apabila Engkau menghendakinya.”

Skripsi ini sebagai tanda syukur dan terima kasih kepada Alah SWT dan Baginda Rasul Muhammad SAW, dan saya persembahkan kepada:

- Ayah, Ade Fitriansyah, S.KM, dan Bunda, Herlis Yunita, S.Pd, yang ayuk na cintai dan sayangi, terima kasih telah mendoakan dan memberi support dalam bentuk apapun dikala senang maupun sedih, serta telah menguatkan yuk na untuk selalu teguh dalam pendirian.
- Adikku tersayang, Muthi'ah Bunga Permata, yang sudah memberi semangat kepada ayuknya yang cantik dan manis. Terima kasih sudah menguatkan yuk na dan menjadi pendengar yang baik.
- Keluarga besar penulis
- Dosen pembimbing (Dr. Hasanudin, M.Si.)
- Orang-orang yang memotivasiku selama masa perkuliahan
- Sahabat dan teman-teman yang terlibat dan membantu dalam perkuliahan
- Teman-teman seperjuangan dan Almamaterku yang aku banggakan, Universitas Sriwijaya
- Diri sendiri

## KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur atas rahmat dan karunia Allah SWT sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Modifikasi  $\text{SiO}_2/\text{ZrP}$  Berpori sebagai Katalis *Hydrocracking* CPO Menjadi *Biogasoline* dan *Bioavtur*”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Kimia Universitas Sriwijaya.

Proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari berbagai rintangan, mulai dari penyusunan judul, pengumpulan literatur, penelitian, pengumpulan data, pengolahan data maupun tahap penulisan. Namun dengan kesabaran dan ketekunan yang dilandasi dengan rasa tanggung jawab sebagai mahasiswa serta bantuan dari berbagai pihak lain baik berupa moril maupun material, akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan. Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada bapak **Dr. Hasanudin, M.Si**, yang telah banyak membantu, memfasilitasi selama penelitian, memberikan bimbingan, bantuan, saran, nasihat, dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada:

1. **Ayah dan Bunda** terhebat, terima kasih atas semua doa dan dukungan yang telah diberikan dan nasihat kebaikan yang selalu menjadi penyemangat untuk melangkah dalam kehidupan hingga saat ini.
2. **Adikku** tersayang, terima kasih dek na telah memberi semangat dan dukungan dikala ayuk merasa letih. Semangat terus untuk adek ayuk sayang, selalu jadi kebanggaan ayah dan bunda, belajarlah dengan giat untuk mencapai cita-cita yang adek inginkan. Semangat muraja'ah hapalan Al-Qur'annya, pasti bisa sampai 30 juz dan istiqamah selalu. Semangat terus ya anak IPB! Ayuk bangga dengan dek na.
3. **Opa dan Almh. Nenekku** tercinta, terima kasih sudah menjadikan Tiara sosok yang kuat.
4. Bapak **Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D.** selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.

5. Ibu **Prof. Dr. Muharni, M.Si.** selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
6. Bapak **Dr. Addy Rachmat, M.Si.** selaku sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
7. Bapak **Drs. H. Dasril Basir, M.Si.** selaku Dosen Pembimbing Akademik.
8. Bapak **Dr. Hasanudin, M.Si.** selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang sudah memberikan banyak ilmu dan memfasilitasi selama penelitian. Semoga menjadi amal jariyah bagi bapak dan selalu dalam lindungan Allah.
9. Ibu **Dr. Desnelli, M.Si.** dan Ibu **Dra. Fatma, MS.** selaku pembahas dan penguji sidang sarjana.
10. Seluruh **Dosen Kimia** FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu, mendidik dan membimbing selama masa kuliah.
11. **Mba Novi** dan **Kak Chosiin** selaku Admin Jurusan Kimia yang banyak membantu dalam proses perkuliahan hingga tugas akhir.
12. D2S2MT (Dheatantry, Dinda, Selvi, Siska, dan Tri), terima kasih sudah membersamai sejak mahasiswa baru dan menjadi keluargaku. Aku hanya bisa berdoa agar kalian selalu dilindungi dimana pun berada, sukses selalu untuk sahabat-sahabatku. Semoga persahabatan kita tidak hanya sampai disini ya bestieku, sampai surga, aamiin allahumma aamiin.
13. Biofuel Research Group 19 (Dhea, Selvi, Andini, Azriel, dan Afghan), terima kasih sudah berjuang sampai akhir dan banyak membantu. Kalian hebat sudah berjuang sejauh ini. Semoga pertemanan kita tetap terus berlanjut ya.
14. Teman terbaik, Fitria, terima kasih sudah menjadi teman yang baik dan mendengarkan keluh kesah selama kuliah. Kita yang nekat masuk MIPA Kimia walaupun belum ada satu pun alumni dari SMA, semangat selalu ya.
15. Kakak-kakak tingkatku di kimia dan farmasi (Mbak Utari, Kak Bening, Kak Anjas, dan Bang Wan), terima kasih sudah membantu selama perkuliahan dan tugas akhir.



16. Adik-adikku yang cantik dan ganteng (Adelvin, Aan dan Bagus), terima kasih atas dukungan dan supportnya selama ini. Adelvin, semangat kuliah dan tugas akhirnya. Aan, semangat dalam menjalankan amanah sebagai bupati dan semoga tidak menulis laporan H-jam lagi, hehe. Bagus, semangat selalu kuliahnya anak ambis.

Semoga bimbingan, ilmu, bantuan, dan masukan yang telah diberikan kepada penulis menjadi amal shaleh dan pahala yang setimpal dari Allah SWT. Semoga bantuan kalian menjadi kemudahan dalam menjalankan kehidupan yang dirahmati Allah SWT. Dengan kerendahan hati, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dan kesalahan, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua serta pengembangan ilmu kimia di masa yang akan datang.

Indralaya, Februari 2023

Penulis

## SUMMARY

### **MODIFICATION OF *POROUS* SiO<sub>2</sub>/ZrP AS A CATALYST FOR HYDROCRACKING CPO INTO BIOGASOLINE AND BIOAVTUR**

Mutiara Dea Kharisma: Supervised by Dr. Hasanudin, M.Si.

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

xvi + 79 pages, 12 pictures, 3 tables, 11 attachments

Alternative renewable fuels can be seen in the potential of Indonesia's raw materials, such as palm oil. Crude palm oil (CPO) is vegetable oil from palm oil which can be processed to produce renewable fuels. The conversion of CPO into biogasoline and bioavtur can be done through a hydrocracking process and requires an acid catalyst to increase the resulting product. The catalysts used were SiO<sub>2</sub>/ZrP catalyst, SiO<sub>2</sub>/ZrP catalyst with the EDTA template method, and SiO<sub>2</sub>/ZrP catalyst with the EDTA chelate method. This study aims to determine the physicochemical properties through XRD characterization, acidity analysis, and FTIR, as well as the catalytic activity and selectivity of the catalyst.

The preparation of silica begins with the formation of a gel using 20 mL of distilled water and 200 mL of ethanol, then 100 mL of TEOS is added to make porous silica. Impregnation of Zr was carried out by preparing a ZrOCl<sub>2</sub> solution from a mixture of 2.578 grams of ZrOCl<sub>2</sub>.8H<sub>2</sub>O and 200 mL of demineralized water. Phosphide impregnation was carried out by mixing 1.0564 grams of (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> and 100 mL of demineralized water. The addition of ammonia is done drop by drop because it can affect the resulting particle size. The XRD characterization results showed that the SiO<sub>2</sub>/ZrP samples using the EDTA template method showed good characterization results because they had sharp peaks and high intensities. This is due to the overlap between Zr metal and silica pores, resulting in a cristobalite structure and the presence of a tetragonal phase. However, in the SiO<sub>2</sub>/ZrP and SiO<sub>2</sub>/ZrP samples using the EDTA chelation method, there were broad peaks indicating an amorphous structure.

Analysis of total acidity using ammonia and surface acidity using pyridine to determine the acid sites. The SiO<sub>2</sub>/ZrP catalyst has the highest acidity value because it contains the most acid sites with a total acidity value of 1.0352 mmol/g and a surface acidity value of 0.3728 mmol/g. The results of the FTIR characterization of the three catalysts contained Bronsted acid sites at wave numbers 1637.08–1615.98 cm<sup>-1</sup> due to a reaction between the sample and pyridine which was characterized by adsorbed and protonated pyridine molecules. The SiO<sub>2</sub>/ZrP catalyst produced the highest conversion of 97.27% and had the highest selectivity of the bioavtur fraction of 23.98%, while the highest selectivity of the biogasoline fraction was found in the SiO<sub>2</sub>/ZrP catalyst with the EDTA chelate method of 57.07%.

Keywords : CPO, hydrocracking, catalyst, biogasoline, bioavtur

Citation : 68 (2010-2022)

## RINGKASAN

### MODIFIKASI $\text{SiO}_2/\text{ZrP}$ BERPORI SEBAGAI KATALIS *HYDROCRACKING* CPO MENJADI *BIOGASOLINE* DAN *BIOAVTUR*

Mutiara Dea Kharisma: Dibimbing oleh Dr. Hasanudin, M.Si.

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

xvi + 79 halaman, 12 gambar, 3 tabel, 11 lampiran

Alternatif bahan bakar terbarukan dapat dilihat dari potensi bahan baku yang dimiliki Indonesia, seperti kelapa sawit. *Crude palm oil* (CPO) merupakan minyak nabati dari kelapa sawit yang dapat diolah menghasilkan bahan bakar terbarukan. Konversi CPO menjadi *biogasoline* dan *bioavtur* dapat dilakukan melalui proses *hydrocracking* dan memerlukan katalis asam untuk mengoptimalkan produk yang dihasilkan. Katalis yang digunakan berupa katalis  $\text{SiO}_2/\text{ZrP}$ , katalis  $\text{SiO}_2/\text{ZrP}$  dengan metode template EDTA, dan katalis  $\text{SiO}_2/\text{ZrP}$  dengan metode khelat EDTA. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan sifat fisikokimia melalui karakterisasi XRD, analisis keasaman, dan FTIR, serta menentukan aktivitas katalitik dan selektivitas dari katalis.

Pembuatan silika diawali dengan pembentukan gel menggunakan 20 mL akuades dan 200 mL etanol, kemudian ditambahkan 100 mL TEOS untuk membuat silika yang berpori. Impregnasi logam Zr dilakukan dengan membuat larutan  $\text{ZrOCl}_2$  dari campuran 2,578 gram  $\text{ZrOCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  dan 200 mL air demin. Impregnasi fosfida dilakukan dengan mencampurkan 1,0564 gram  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  dan 100 mL air demin. Penambahan amonia dilakukan tetes demi tetes karena dapat mempengaruhi ukuran partikel yang dihasilkan. Hasil karakterisasi XRD didapatkan bahwa sampel  $\text{SiO}_2/\text{ZrP}$  dengan metode template EDTA menunjukkan hasil karakterisasi yang baik karena memiliki puncak yang tajam dan intensitas tinggi. Hal ini dikarenakan adanya tumpang tindih antara logam Zr dan pori silika, sehingga terbentuk struktur kristobalit dan adanya fasa tetragonal. Namun, sampel  $\text{SiO}_2/\text{ZrP}$  dan  $\text{SiO}_2/\text{ZrP}$  dengan metode khelat EDTA terdapat puncak melebar yang menandakan struktur amorf.

Analisis keasaman total menggunakan amonia dan keasaman permukaan menggunakan piridin untuk menentukan situs asam. Katalis  $\text{SiO}_2/\text{ZrP}$  memiliki nilai keasaman paling tinggi karena mengandung situs asam paling banyak dengan nilai keasaman total sebesar 1,0352 mmol/g dan nilai keasaman permukaan sebesar 0,3728 mmol/g. Hasil karakterisasi FTIR ketiga katalis terdapat situs asam Bronsted pada bilangan gelombang 1637,08–1615,98  $\text{cm}^{-1}$  karena terjadi reaksi antara sampel dan piridin yang ditandai dengan teradsorpsi dan teptonasi molekul piridin. Katalis  $\text{SiO}_2/\text{ZrP}$  menghasilkan konversi paling tinggi sebesar 97,27% dan memiliki selektivitas fraksi *bioavtur* paling tinggi sebesar 23,98%, sedangkan selektivitas fraksi *biogasoline* paling tinggi terdapat pada katalis  $\text{SiO}_2/\text{ZrP}$  dengan metode khelat EDTA sebesar 57,07%.

Kata kunci : CPO, *hydrocracking*, katalis, *biogasoline*, *bioavtur*

Sitasi : 68 (2010-2022)

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>x</b>
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>xvi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Katalis Heterogen .....	5
2.2 Silika (SiO <sub>2</sub> ) .....	5
2.3 <i>Ethylene Diamine Tetraacetic Acid</i> (EDTA) .....	7
2.4 Zirkonium Fosfida.....	8
2.5 <i>Crude Palm Oil</i> (CPO).....	8
2.6 Proses <i>Hydrocracking</i> .....	9
2.7 Bahan Bakar <i>Biogasoline</i> .....	10
2.8 Bahan Bakar <i>Bioavtur</i> .....	11
2.9 Karakterisasi Katalis.....	11
2.9.1 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	11
2.9.2 <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR) .....	11
2.9.3 Analisis Keasaman .....	12
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>13</b>
3.1 Waktu dan Tempat .....	13
3.2 Alat dan Bahan .....	13
3.2.1 Alat.....	13
3.2.2 Bahan .....	13
3.3 Prosedur Penelitian.....	13
3.3.1 Preparasi SiO <sub>2</sub> .....	13

3.3.2 Modifikasi SiO <sub>2</sub> .....	14
3.3.2.1 Preparasi SiO <sub>2</sub> /ZrP .....	14
3.3.2.2 Preparasi SiO <sub>2</sub> /ZrP dengan Metode Template EDTA .....	15
3.3.2.3 Preparasi SiO <sub>2</sub> /ZrP dengan Metode Khelat EDTA.....	16
3.3.3 Konversi CPO Melalui <i>Hydrocracking</i> .....	17
3.3.4 Karakterisasi Katalis .....	18
3.3.4.1 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	18
3.3.4.2 <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR) .....	18
3.3.4.3 Analisis Keasaman Total .....	18
3.3.4.4 Analisis Keasaman Permukaan.....	19
3.4 Analisis Data .....	20
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>21</b>
4.1 Preparasi SiO <sub>2</sub> .....	21
4.2 Modifikasi SiO <sub>2</sub> .....	22
4.2.1 Preparasi SiO <sub>2</sub> /ZrP .....	22
4.2.2 Modifikasi SiO <sub>2</sub> / ZrP dengan Metode Template EDTA.....	23
4.2.3 Preparasi SiO <sub>2</sub> / ZrP dengan KhelatTemplate EDTA .....	24
4.3 Karakterisasi Katalis Menggunakan XRD .....	25
4.4 Analisis Keasaman Total dan Permukaan Katalis .....	26
4.5 Karakterisasi Katalis Menggunakan Spektrofotometer FTIR .....	28
4.6 Produk Cair Hasil <i>Hydrocracking</i> CPO .....	31
4.7 Pengukuran Hasil Konversi CPO Menggunakan GC-MS .....	32
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>37</b>
5.1 Kesimpulan.....	37
5.2 Saran.....	37
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>38</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>45</b>

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
<b>Gambar 1.</b> Struktur EDTA .....	7
<b>Gambar 2.</b> Skema Alat <i>Hydrocracking</i> .....	10
<b>Gambar 3.</b> Padatan SiO <sub>2</sub> .....	22
<b>Gambar 4.</b> Padatan SiO <sub>2</sub> /ZrP .....	23
<b>Gambar 5.</b> Hidrogenasi Sampel Katalis .....	24
<b>Gambar 6.</b> Difraktogram XRD Katalis .....	25
<b>Gambar 7.</b> Spektra FTIR Katalis Sebelum Menyerap Piridin .....	28
<b>Gambar 8.</b> Spektra FTIR Katalis Setelah Menyerap Piridin .....	29
<b>Gambar 9.</b> Spektra FTIR Katalis Sebelum dan Setelah Menyerap Piridin ....	30
<b>Gambar 10.</b> Hasil <i>Hydrocracking</i> CPO Menggunakan Katalis.....	31
<b>Gambar 11.</b> Kromatogram Minyak CPO.....	32
<b>Gambar 12.</b> Kromatogram <i>Hydrocracking</i> CPO dengan Katalis .....	35

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
<b>Tabel 1.</b> Hasil Analisis Keasaman Katalis.....	27
<b>Tabel 2.</b> Konversi dan Rendemen Sampel dari <i>Hydrocracking</i> CPO .....	33
<b>Tabel 3.</b> Selektivitas Sampel dari <i>Hydrocracking</i> CPO .....	36

## DAFTAR LAMPIRAN

	<b>Halaman</b>
<b>Lampiran 1.</b> Flow Chart Preparasi dan Modifikasi Katalis .....	46
<b>Lampiran 2.</b> Hasil Karakterisasi XRD .....	53
<b>Lampiran 3.</b> Perhitungan Analisis Keasaman Total .....	56
<b>Lampiran 4.</b> Perhitungan Analisis Keasaman Permukaan .....	58
<b>Lampiran 5.</b> Hasil Karakterisasi FTIR Sebelum Menyerap Piridin .....	60
<b>Lampiran 6.</b> Hasil Karakterisasi FTIR Setelah Menyerap Piridin .....	62
<b>Lampiran 7.</b> Perhitungan % Konversi Produk <i>Hydrocracking</i> .....	64
<b>Lampiran 8.</b> Perhitungan % Selektivitas Produk <i>Hydrocracking</i> .....	65
<b>Lampiran 9.</b> Perhitungan % Rendemen Produk <i>Hydrocracking</i> .....	67
<b>Lampiran 10.</b> Hasil Karakterisasi GC-MS Produk <i>Hydrocracking</i> .....	69
<b>Lampiran 11.</b> Dokumentasi Penelitian .....	78



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Permintaan konsumsi energi semakin meningkat seiring dengan adanya kegiatan ekonomi dan pertumbuhan penduduk, sedangkan cadangan energi semakin menipis dan mengalami keterbatasan. Bahan bakar fosil sangat dibutuhkan baik dalam kehidupan dan dunia transportasi maupun industri kimia, namun hanya bertahan kurang dari satu abad (Chiang *et al.*, 2017). Bahan bakar fosil dapat menyebabkan polusi udara yang menyebabkan dampak buruk baik bagi lingkungan dan makhluk hidup, sehingga harus dikurangi dan diminimalisir menggunakan bahan bakar terbarukan yang memiliki polusi rendah terhadap lingkungan (Ogunkunle and Ahmed, 2021). Maka dari itu, Indonesia perlu memperkuat sumber energi terbarukan yang menghasilkan produk pengganti bahan bakar fosil, sehingga ketersediaan energi yang cukup dan terjangkau untuk meningkatkan kesejahteraan hidup, memenuhi kebutuhan energi nasional, dan mengurangi impor minyak mentah.

*Biofuel* dapat digunakan karena ramah lingkungan dan berpotensi mengurangi emisi gas rumah kaca dan karbon dioksida (Dolah *et al.*, 2021). Alternatif bahan bakar terbarukan yang dibutuhkan dapat dilihat dari potensi sumber energi bahan baku dari pertanian yang dimiliki Indonesia, seperti minyak nabati dari kelapa sawit. Kajian tentang konversi minyak nabati menjadi bahan bakar sebagai energi alternatif menarik karena bahan dari minyak nabati tidak mengandung unsur nitrogen, belerang, dan logam berat lainnya, sehingga minyak yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai energi terbarukan yang ramah lingkungan. Studi katalitik melalui proses *hydrocracking* minyak nabati menjadi bahan bakar hidrokarbon telah dilakukan, seperti minyak candelilla, minyak rapeseed, minyak sawit, minyak kedelai, dan minyak jarak (Hasanudin *et al.*, 2012).

*Hydrocracking* adalah proses pengolahan minyak melalui pemutusan ikatan dimana hidrokarbon yang memiliki berat molekul tinggi diubah menjadi berat molekul lebih rendah dengan menghilangkan heteroatom, seperti S dan N (Zhang *et al.*, 2020). *Crude palm oil* (CPO) berasal dari minyak nabati yang dapat diolah

melalui proses *hydrocracking* menjadi bahan bakar ramah lingkungan (Silalahi *et al.*, 2021). Proses reaksi berlangsung secara endotermik karena melibatkan temperatur tinggi (Sadighi *et al.*, 2018).

Konversi CPO menjadi bahan bakar ramah lingkungan membutuhkan katalis asam dengan aktivitas optimal, stabilitas suhu tinggi, dan selektivitas tinggi (Salamah *et al.*, 2022). Beberapa katalis yang biasanya digunakan dalam *hydrocracking* adalah silika, NiW termodifikasi zeolit, ZSM-5, bentonit, MCM-41, dan zeolit (Hasanudin *et al.*, 2022). Diantara banyak katalis yang tersedia, katalis silika mesopori menarik perhatian untuk dijadikan penelitian karena sifat porositasnya yang tinggi dan kinerja yang lebih baik. Promotor logam diperlukan untuk meningkatkan aktivitas dan selektivitas katalis yang digunakan, sehingga dapat meningkatkan sifat fisikokimia katalis (Salamah *et al.*, 2022).

Silika biasanya digunakan sebagai pendukung katalis karena memiliki kekuatan mekanik yang tinggi, luas permukaan spesifik, dan distribusi pori yang baik (Dai *et al.*, 2020). Silika dapat diimpregnasi dengan logam transisi berupa zirkonium yang membentuk  $\text{SiO}_2/\text{Zr}$ . Apabila dilakukan kalsinasi, maka akan terbentuk oksida berupa  $\text{SiO}_2/\text{ZrO}_2$ . Campuran oksida tersebut dapat meningkatkan performa katalitik dari katalis, memiliki keasaman permukaan yang kuat, dan stabil pada kondisi termal tinggi (Prihartini dkk, 2016). Selain itu, logam zirkonium dari katalis tersebut dapat dimodifikasi dengan diammonium hidrogen fosfat dan dilakukan hidrogenasi dapat membentuk zirkonium terfosfidasi. Zirkonium fosfida memiliki sifat elektronik dan struktural menghasilkan kinerja katalitik yang baik dalam aplikasi energi, seperti bahan bakar (Downes *et al.*, 2022). Selain itu, katalis logam fosfida memiliki selektivitas yang tinggi, stabilitas termal yang baik, sehingga dapat meningkatkan sifat keasaman dari hasil reaksi *hydrocracking*, seperti *biogasoline* dan *bioavtur* (Hasanudin *et al.*, 2022).

Katalis yang digunakan dalam *hydrocracking* dapat dimodifikasi dengan menambahkan EDTA sebagai template dan agen pengkhelat. Apabila  $\text{SiO}_2/\text{Zr}$  dimodifikasi dengan menambahkan EDTA, maka akan terbentuk ikatan kompleks yang kuat antara ion logam dan EDTA, sehingga dapat menghasilkan adsorben dengan kapasitas adsorpsi tinggi (Kumar *et al.*, 2013). Kemampuan sifat khelat dari EDTA dan pertukaran ion logam yang berbeda dapat menyebabkan

imobilisasi pada berbagai bahan pendukung untuk meningkatkan aktivitas dan selektivitas katalis (Huang *et al.*, 2012). EDTA sebagai template diasumsikan sebagai cetakan yang dapat meningkatkan struktur silika menjadi kristal (Hasanudin *et al.*, 2022).

Berdasarkan uraian di atas, dilakukan penelitian untuk melakukan sintesis katalis  $\text{SiO}_2/\text{ZrP}$ , katalis  $\text{SiO}_2/\text{ZrP}$  dengan metode template EDTA, dan katalis  $\text{SiO}_2/\text{ZrP}$  dengan metode khelat EDTA untuk membandingkan aktivitas katalitik dalam konversi *crude palm oil* (CPO) menjadi *biogasoline* dan *bioavtur* melalui reaksi *hydrocracking*. Karakterisasi untuk penentuan struktur kisi dan ukuran partikel dari katalis menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD). Gugus fungsi dari sintesis katalis yang dikarakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Analisis keasaman katalis total menggunakan amonia dan keasaman permukaan menggunakan piridin. Analisis senyawa yang terkandung dari hasil *hydrocracking* menggunakan katalis dilakukan karakterisasi GC-MS.

## 1.2 Rumusan Masalah

Alternatif dari bahan bakar yang ramah lingkungan sangat diperlukan dalam dunia industri. Maka dari itu, dilakukan penelitian untuk menghasilkan alternatif tersebut melalui proses *hydrocracking* untuk mengubah CPO menjadi *biogasoline* dan *bioavtur*, serta dirumuskan beberapa masalah diantaranya bagaimana sifat fisikokimia dari katalis  $\text{SiO}_2/\text{ZrP}$ ,  $\text{SiO}_2/\text{ZrP}$  dengan metode template EDTA, dan  $\text{SiO}_2/\text{ZrP}$  dengan metode khelat EDTA yang digunakan untuk *hydrocracking*, serta aktivitas dan selektivitas katalis dalam konversi CPO menjadi *biogasoline* dan *bioavtur* melalui proses *hydrocracking*.

## 1.3 Tujuan Penelitian

1. Melakukan sintesis katalis  $\text{SiO}_2/\text{ZrP}$ ,  $\text{SiO}_2/\text{ZrP}$  dengan metode template EDTA, dan  $\text{SiO}_2/\text{ZrP}$  dengan metode khelat EDTA, kemudian menentukan sifat fisikokimia menggunakan karakterisasi XRD, analisis keasaman menggunakan amonia dan piridin, serta karakterisasi FTIR.
2. Menentukan aktivitas katalitik dan selektivitas dari katalis  $\text{SiO}_2/\text{ZrP}$ ,  $\text{SiO}_2/\text{ZrP}$  dengan metode template EDTA, dan  $\text{SiO}_2/\text{ZrP}$  dengan metode

khelat EDTA terhadap konversi CPO menjadi *biogasoline* dan *bioavtur* melalui proses *hydrocracking*.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian yang dilakukan diharapkan dapat memberikan informasi lebih dalam penggunaan katalis  $\text{SiO}_2/\text{ZrP}$ ,  $\text{SiO}_2/\text{ZrP}$  dengan metode template EDTA, dan  $\text{SiO}_2/\text{ZrP}$  dengan metode khelat EDTA dan mengaplikasikan modifikasi katalis dalam mengubah *crude palm oil* menjadi *biogasoline* dan *bioavtur* pada proses *hydrocracking* sebagai alternatif bahan bakar ramah lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Allwar, A., Maulina, R., Julianto, T. S., and Widyaningtyas, A. A. 2022. Hydrocracking of Crude Palm Oil over Bimetallic Oxide NiO-CdO/Biochar Catalyst. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis*. 17(2): 476-485.
- Azlina, H. N., Hasnidawani, J. N., Norita, H., and Surip, S. N. 2016. Synthesis of SiO<sub>2</sub> Nanostructures Using Sol-Gel Methode. *Acta Physica Polonica A*. 129(4): 842-845.
- Balzer, C., Waag, A. M., Gehret, S., Reichenauer, G., Putz, F., Husing, N., Paris, O., Bernstein, N., Gor, G. Y., and Neimark, A. V. 2017. Adsorption-Induced Deformation of Hierarchically Structured Mesoporous Silica Effect of Pore-Level Anisotropy. *Langmuir*. 33(22): 1-11.
- Becker, P. J., Celse, B., Guillaume, D., Costa, V., Bertier, L., Guillon, E., and Pirngruber, G. 2016. A Continuous Lumping Model for Hydrocracking on A Zeolite Catalysts: Model Development and Parameter Identification. *Journal of Fuel*. 164(1): 73-82.
- Boosari, S. S. H., Makouei, N., and Stewart, P. 2017. Application of Bayesian Approach in the Parameter Estimation of Continuous Lumping Kinetic Model of Hydrocracking Process. *Advances in Chemical Engineering and Science*. 7(1): 257-269.
- Bunaciu, A. A., Udristioiu, E. G., and Enein, H. Y. A. 2015. X-Ray Diffraction: Instrumentation and Application. *Critical Review in Analytical Chemistry*. 45(4): 289-299.
- Chiang, C. L. and Lin, K. S. 2017. Preparation and Characterization of CuO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Catalyst for Dimethyl Ether Production via Methanol Dehydration. *International Journal of Hydrogen Energy*. 42(37): 23526-23538.
- Dai, Y., Lv, R., Fan, J., Peng, H., Zhang, Z., Cao, X., and Liu, Y. 2020. Highly Ordered Macroporous Silica Dioxide Framework Embedded with Supramolecular as Robust Recognition Gent for Removal of Cesium. *Journal of Hazardous Materials*. 391(1): 1-10.
- Darmawan, A., Karlina, L., Astuti, Y., Sriatun, Motuzas, J., Wang, D. K., and Costa, J. C. D. 2016. Structural Evolution of Nickel Oxide Silica Sol-Gel for The Preparation of Interlayer-Free Membranes. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 447(1): 9-15.
- Dolah, R., Karnik, R., and Hamdan, H. 2021. A Comprehensive Review on Biofuels from Oil Palm Empty Bunch (EFB): Current Status, Potential, Barriers, and Way Forward. *Journal of Sustainability*. 13(18): 1-29.
- Downes, C. A., Allsburg, K. M. V., Tacey, S. A., Unocic, K. A., Baddour, F. G., Ruddy, D. A., LiBretto, N. J., O'Connor, M. M., Farberow, C. A., Schaidle,

- J. A., and Habas, S. E. 2022. Controlled Synthesis of Transition Metal Phosphide Nanoparticles to Establish Composition-Dependent Trends in Electrocatalytic Activity. *Chemistry of Materials*. 34(14): 6255-6267.
- Eddy, D. R., Noviyanti, A. R., dan Janati, D. 2016. Sintesis Silika Metode Sol-Gel sebagai Penyangga Fotokatalis TiO<sub>2</sub> terhadap Penurunan Kadar Kromium dan Besi. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 17(2): 82-89.
- Eni, Y., Agustina, C., Melinna, M., Bella, R., Arguelles, R. M., and Estella, S. S. 2020. The Factors Affecting Efficiency of Crude Palm Oil in Indonesia Palm Oil Industry. *International Journal of Organizational Business Excellence*. 3(1): 17-24.
- Garces, M. V. R., Sanches, J., Rivera, K. L. L., Pedrosa, D. E. D. T., Jaramillo, T. F., and Colon, J. L. 2020. Morphology Control of Metal-Modified Zirconium Phosphate Support Structures for the Oxygen Evolution Reaction. *Dalton Transactions*. 49(1): 1-10.
- Hasanudin, H., Asri, W. R., Fanani, Z., Adisti, S. J., Hadiyah, F., Maryana, R., Muttaqi, M. A., Zhu, Z., and Machado, N. T. 2022. Facile Fabrication of SiO<sub>2</sub>/Zr Assisted with EDTA Complexed-Impregnation and Templated Methods for Crude Palm Oil to Biofuels Conversion via Catalytic Hydrocracking. *Journal of Catalysts*. 12(12): 1-17.
- Hasanudin, H., Asri, W. R., Zulaikha, I. S., Ayu, C., Rachmat, A., Riyanti, F., Hadiyah, F., Zainul, R., and Maryana, R. 2022. Hydrocracking of Crude Palm Oil to a Biofuel Using Zirconium Nitride and Zirconium Phosphide-Modified Bentonite. *Royal Society of Chemistry*. 12(1): 21916-21925.
- Hasanudin, H., Rachmat, A., Said, M., and Wijaya, K. 2020. Kinetic Model of Crude Palm Oil Hydrocracking Over Ni/Mo ZrO<sub>2</sub>-Pillared Bentonite Catalyst. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*. 64(2): 238-247.
- Hasanudin, H., Said, M., Faizal, M., Dahlan, M. H., and Wijaya, K. 2012. Hydrocracking of Oil Residue from Palm Oil Mill Effluent to Biofuel. *Sustainable Environment Research*. 22(6): 395-400.
- Hashem, A. M., Ghany, A. E. A., Abuzeid, H. M., Tawil, R. S. E., Indris, S., Ehrenberg, H., Mauyger, A., and Julien, C. M. 2017. EDTA as Chelating Agent for Sol-Gel Synthesis of Spinel LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Cathode Material for Lithium Batteries. *Journal of Alloys and Compounds*. 737(1): 758-766.
- Huang, J., Ye, M., Qu, Y., Chu, L., Chen, R., He, Q., and Xu, D. 2012. Pb (II) Removal from Aqueous Media by EDTA-Modified Mesoporous Silica SBA-15. *Journal of Colloid and Interface Science*. 385(1): 137-146.
- Il'ves, V. G., Zuev, M. G., and Sokovnin, S. Y. 2015. Properties of Silicon Dioxide Amorphous Nanopowder Produced by Pulsed Electron Beam Evaporation. *Journal of Nanotechnology*. 2015(18): 1-8.

- Jambhrunkar, S., Yu, M., Yang, J., Zhang, J., Shrotri, A., Munoz, L. E., Moreau, J. E., Lu, G. M., and Yu, C. 2013. Stepwise Pore Size Reduction of Ordered Nanoporous Silica Materials at Angstrom Precision. *Journal of the American Chemical Society*. 135(23): 8444-8447.
- Jung, C. Y., Kim, J. S., Chang, T. S., Kim, S. T., Lim, H. J., and Koo, S. M. 2010. One-Step Synthesis of Structurally Controlled Silicate Particles from Sodium Silicates using a Simple Precipitation Process . *Langmuir*. 26(8): 5456-5461.
- Kapridaki, C., Verganelaki, A., Dimitriadou, P., and Kalaitzaki, P. M. 2018. Conservation of Monuments by a Three-Layered Compatible Treatment of TEOS-Nano-Calcium Oxalate Consolidant and TEOS-PDMS-TiO<sub>2</sub> Hydrophobic/Photoactive Hybrid Nanomaterials. *Journal of Materials*. 11(5): 1-23.
- Kim, Y. H., Yeo, G., Lee, J. S., and Choi, S. C. 2016. Influence of Silicon Carbide As A Mineralizer on Mechanical and Thermal Properties of Silica-Based Ceramic Cores. *Ceramics International*. 42(13): 14738-14742.
- Kulkarni, S. J. 2015. A Review on Studies and Research on Catalysts with Emphasis on Catalyst Deactivation. *International Journal of Research and Review*. 2(10): 610-614.
- Kumar, R., Barakat, M. A., Daza, Y. A., Woodcock, H. I., and Kuhn, J. N. 2013. EDTA Functionalized Silica for Removal of Cu(II), Zn (II), and Ni (II) from Aqueous Solution. *Journal of Colloid and Interface Science*. 408(1): 200-205.
- Kumar, S. Bhunia, S., and Ojha, A. K. 2015. Effect Of Calcination Temperature on Phase Transformation, Structural, and Optical Properties of Sol–Gel Derived ZrO<sub>2</sub> Nanostructures. *Physica E*. 66(1): 74-80.
- Lani, N. S., Ngadi, N., Yahya, N. Y., and Rahman, R. A. 2016. Synthesis, Characterization, and Performance of Silica Impregnated Calcium Oxide as Heterogeneous Catalyst in Biodiesel Production. *Journal of Cleaner Production*. 146(1): 116-124.
- Lestari, S., Sundaryono, A., dan Elvia, R. 2019. Preparasi dan Karakterisasi Katalis Mo-Ni/HZ dengan Metode Impregnasi untuk Cracking Katalitik Minyak Limbah Cair Pengolahan Kelapa Sawit menjadi Bahan Bakar Nabati. *Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Kimia*. 3(1): 91-97.
- Li, Z., Chen, N., Wang, J., Li, P., Guo, M., Wang, Q., Li, C., Wang, C., Guo, T., and Chen, S. 2017. Efficient Reduction of Nitric Oxide using Zirconium Phosphide Powders Synthesized by Elemental Combination Method. *Scientific Reports*. 7(1): 1-7.

- Liu, Y., McCue, A. J., and Li, D. 2021. Metal Phosphides and Sulfides in Heterogeneous Catalysis: Electronic and Geometric Effects. *American Chemical Society Catalysis*. 11(1): 9102-9127.
- Mohammadi, Z., Shalavi, S., and Jafarzadeh, H. 2013. Ethylenediaminetetraacetic Acid in Endodontics. *European Journal of Dentistry*. 7(1): 135-142.
- Nandiyanto, A. B. D., Oktiani, R., and Ragadhita, R. 2019. How to Read and Interpret FTIR Spectroscopy of Organic Material. *Indonesian Journal of Science and Technology*. 4(1): 97-118.
- Narola, B., Singh, A. S., Mitra, M., Santhakumar, P. R., and Chandrashekar, T. G. 2011. A Validated Reverse Phase Hplc Method for the Determination of Disodium Edta in Meropenem Drug Substance with UV-Detection using Precolumn Derivatization Technique. *Analytical Chemistry Insights*. 6(1): 7-14.
- Natsir, M. H., Sjojfan, O., and Ardyansyah, R. H. 2020. Effect Of Dietary Agaricus Bisporus and Auricularia Auricula Crude Extract Supplementation on Carcass Quality of Broiler. *Journal of Animal Science and Technology*. 15(3): 183-193.
- Nugroho, A. P. P., Fitriyanto, D., dan Roesyadi, A. 2014. Pembuatan Biofuel dari Minyak Kelapa Sawit Melalui Proses Hydrocracking dengan Katalis Ni-Mg/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Jurnal Teknik Pomits*. 3(2): 117-121.
- Nurchayani, M., Masyhuri., and Hartono, S. 2018. The Export Supply of Indonesian Crude Palm Oil (CPO) to India. *Journal of Agro Ekonomi*. 29(1): 18-31.
- Ogunkunle, O. and Ahmed, N. A. 2021. Overview of Biodiesel Combustion in Mitigating the Adverse Impacts of Engine Emissions on the Sustainable Human-Environment Scenario. *Journal of Sustainability*. 13(1): 1-28.
- Ogunkunle, O., Oniya, O., Adebayo, A. O. 2017. Yield Response of Biodiesel Production from Heterogeneous and Homogeneous Catalysis of Milk Bush Seed (*Thevetia peruviana*) Oil. *Journal of Energy and Policy Research*. 4(1): 21-28.
- Omar, F. et al. 2016. Ultrahigh Capacitance of Amorphous Nickel Phosphate for Asymmetric Supercapacitor Applications. *RSC Advances*. 6(80): 298-306
- Prihartini, D., Ulfa, S. M., dan Ifitah, E. D. 2016. Uji Aktivitas Katalis Ni/ZrO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> untuk Reaksi Hidrodeoksigenasi Campuran Senyawa Furfurilidena Aseton (FAc) dan Difurfurilidena Aseton (F<sub>2</sub>Ac). *Natural B*. 3(3): 253-259.
- Pulungan, A. N., Sihombing, J. L., Trisunaryanti, W., dan Triyono. 2011. Hidrorengkah Minyak Laka Menjadi Fraksi Bahan Bakar Cair Menggunakan Katalis Zeolit Alam. *Jurnal Penelitian Saintika*. 11(2): 81-85.



- Purwaningrum, W., Widihati, I. A. G., dan Sekarani, N. W. 2017. Studi Interkalasi Lempung Bentonit dengan Garam Amonium Kuartener dan Pemanfaatannya Sebagai Pengikat Ion  $Pb^{2+}$ . *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. 1(1): 384-386.
- Rahayu, P. E., Priatmoko, S., dan Kadarwati, S. 2013. Konversi Minyak Sawit Menjadi Biogasoline Menggunakan Katalis Ni/Zeolit Alam. *Indonesian Journal of Chemistry*. 2(2): 102-107.
- Rahman, R. A., Kusumastuti, E., dan Widiarti, N. 2020. Pengaruh Rasio Mol  $M_2O/SiO_2$  dan  $M_2O/Al_2O_3$  (M : Na dan K) Terhadap Karakteristik Geopolimer Abu Layang Batubara. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 9(1): 63-70.
- Ramadhani, D. G., Fatimah, N. F., Sarjono, A. W., Setyoko, H., dan Nuhayati, N. D. 2017. Sintesis Ni/Zeolit Alam Teraktivasi Asam Sebagai Katalis pada Biodiesel Minyak Biji Ketapang. *Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia*. 2(1): 72-79.
- Sabarman, J. S., Legowo, E. H., Widiputri, D. I., and Siregar, A. R. 2019. Bioavtur Synthesis from Palm Fatty Acid Distillate through Hydrotreating and Hydrocracking Processes. *Indonesian Journal of Energy*. 2(2): 99-110.
- Sadighi, S., Mohaddecy, S. R. S., and Abbasi, A. 2018. Modeling and Optimizing A Vacuum Gas Oil Hydrocracking Plant Using An Artificial Neural Network. *International Journal of Technology*. 9(1): 99-109.
- Salamah, S., Trisunaryanti, W., Kartini, I., and Purwono, S. 2022. Synthesis of Mesoporous Silica from Beach Sand by Sol-Gel Method as a Ni Supported Catalyst for Hydrocracking of Waste Cooking Oil. *Indonesian Journal of Chemistry*. 22(3): 726-741.
- Salim, I., Rusmanta, Y. B. J., and Jukwati. 2022. Hydrocracking Reaction of n-Hexadecane Using Nickel-Natural Zeolite Catalyst and Determination of Activation Energy ( $E_a$ ) and Reaction Order. *Journal of Research in Science Education*. 8(3): 1215-1222.
- Saputra, S., Wijaya, K., and Mudjijana. 2020. Application of Biogasoline in a Four-Stroke Motorcycle Engine. *Asean Journal on Science Technology for Development*. 37(2): 51-55.
- Setyoprato, P. 2012. Produksi Asam Lemak dari Minyak Kelapa Sawit dengan Proses Hidrolisis. *Jurnal Teknik Kimia*. 7(1): 26-31.
- Silalahi, D., Supeno, M., and Taufik, M. 2021. Conversion of Palm Oil (CPO) into Fuel Biogasoline through Thermal Cracking Using a Catalyst Based Na-Bentonite and Limestone of Soil Limestone NTT. *International Journal of Biological, Physical, and Chemical Studies*. 3(2): 1-15.

- Silalahi, F. T. R., Simatupang, T. M., and Siallagan, M. P. 2020. Biodiesel Produced from Palm Oil in Indonesia: Current Status and Opportunities. *Journal of AIMS Energy*. 8(1):81-101.
- Singh, L. P., Bhattacharyya, S. K., Ahalawat, S., Kumar, R., Mishra, G., and Sharma, U., Singh, G. 2014. Sol-Gel Processing of Silica Nanoparticles and Their Applications. *Advanced in Colloid and Interface Science*. 214(1): 17-37.
- Sinta, I. N., Suarya, P., dan Santi, S. R. 2015. Adsorpsi Ion Fosfat oleh Lempung Teraktivasi Asam Sulfat ( $H_2SO_4$ ). *Jurnal Kimia*. 9(2): 217-225.
- Siswahyu, A., dan Hendrawati, T. Y. 2014. Pemilihan Prioritas bahan Baku Bioavtur di Indonesia dengan Metode Analytical Hierarkhi Process (AHP). *Jurnal Teknologi*. 6(2): 137-143.
- Tambun, R., Gusti, O, N., Nasution, M. A., and Saptawaldi, R. P. 2016. Biofuel Production from Palm Olein by Catalytic Cracking Process using ZSM-5 Catalyst. *Jurnal Bahan Bakar Terbarukan*. 6(1): 50-55.
- Tawalbeh, M., Othman, A. A., Ka'ki, A., Farooq, A., and Alkasrawi, M. 2022. Lignin/ Zirconium Phosphate/ Ionic Liquids-Based Proton Conducting Membranes for High-Temperature PEM Fuel Cells Applications. *Journal of Energy*. 3(1): 1-11.
- Tokoro, C., Suzuki, S., Haraguchi, D., and Izawa, S. 2014. Silicate Removal in Aluminum Hydroxide Co-Precipitation Process. *Journal of Materials*. 7(1): 1084-1096.
- Trisunaryanti, W., Kartika, I. A., Mukti, R. R., Hartati, H., Triyono, T., Widyawati, R., and Suarsih, E. 2019. Preparation of Ni- and Mo- Based Catalysts Supported on  $\gamma-Al_2O_3$  for Hydrocracking of Calophyllum Inophyllum Oil. *Journal of Biofuels*. 13(2): 231-236.
- Trisunaryanti, W., Triyono., Paramesti, C., Larasati, S., Santoso, N. R., and Fatmawati, D. A. 2020. Synthesis and Characterization of Ni-NH<sub>2</sub>/Mesoporous Silica Catalyst from Lapindo Mud for Hydrocracking of Waste Cooking Oil into Biofuel. *Rasayan Journal Chemistry*. 13(3): 1386-1393.
- Wang, P., Du, M., Zhu, H., Bao, S., Yang, T., and Zou, M. 2015, Structure Regulation of Silica Nanotubes and Their Adsorption Behaviors for Heavy Metal Ions: pH Effect, Kinetics, Isotherms, and Mechanism. *Journal of Hazardous Materials*. 286(1): 533-544.
- Zahara, L. O., Permatasari, C. S., Supriyadi, I., and Andreyani, A. 2021. The Coal Bio-Solubilization Technology for Energy Security. *Indonesian Journal of Energy*. 4(1): 1-12.

- Zemnukhova, L. A., Panasenko, A. E., Artem'yanov, A. P., and Tsoy, E. A. 2015. Dependence of Porosity of Amorphous Silicon Dioxide Prepared from Rice Straw on Plant Variety. *Journal of Bioresources*. 10(2): 3713-3723.
- Zhang, M., Qin, B., Zhang, W., Zheng, J., Ma, J., Du, Y., and Li, R. 2020. Hydrocracking of Light Diesel Oil over Catalysts with Industrially Modified Y Zeolites. *Journal of Catalysts*. 10(8). 1-12.
- Zula, M., Grilc, M., and Likozar, B. 2022. Hydrocracking, Hydrogenation, and Hydro-Deoxygenation of Fatty Acids, Esters, and Glycerides: Mechanisms, Kinetics, and Transport Phenomena. *Chemical Engineering Journal*. 444(1): 1-25.