

**SINTESIS DIISOPROPIL ETER DARI PROSES DEHIDRASI  
ISOPROPANOL DENGAN KATALIS  $\text{SiO}_2$ /CERIUM TERFOSFATASI  
TEMPLATE KHFTALAT**

**SKRIPSI**

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



**Oleh:**

**Rahmad Syaputra**

**08031281924040**

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

**2023**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**SINTESIS DIISOPROPIL ETER DARI PROSES DEHIDRASI  
ISOPROPANOL DENGAN KATALIS  $\text{SiO}_2$ /CERIUM TERFOSFATASI  
TEMPLATE KHFTALAT**

**SKRIPSI**

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

**Oleh:**

**Rahmad Syaputra**  
**08031281924040**

Indralaya, 2 Agustus 2023

**Pembimbing**



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

Mengetahui,

**Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



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

## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi Rahmad Syaputra (08031281924040) dengan judul “Sintesis Diisopropil Eter dari Proses Dehidrasi Isopropanol dengan Katalis  $\text{SiO}_2$ /cerium Terfosfatasi *Template* KHFTalat” telah dipertahankan dihadapan Tim Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 2 Agustus 2023 dan telah diperbaiki, diperiksa serta disetujui sesuai masukan yang diberikan.

Indralaya, 2 Agustus 2023

Ketua:

1. **Dr. Ady Mara, M.Si.**

NIP. 196404301990031003

(  )

Sekretaris:

1. **Widia Purwaningrum, M.Si.**

NIP. 197304031999032001

(  )

Pembimbing:

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

NIP. 197205151997021003

(  )

Penguji:

1. **Fahma Riyanti, M. Si.**

NIP. 197204082000032001

(  )

2. **Prof. Dr. Muharni, M.Si.**

NIP. 196903041994122001

(  )

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 : Rahmad Syaputra

NIM : 08031281924040

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 sebenar-benarnya.

Indralaya, 2 Agustus 2023

Penulis,



Rahmad Syaputra

NIM. 08031281924040



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

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

Nama Mahasiswa : Rahmad Syaputra  
NIM : 08031281924040  
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 : Sintesis Diisopropil Eter dari Proses Dehidrasi Isopropanol dengan Katalis  $\text{SiO}_2$ /cerium Terfosfatasi *Template* KHFtalat. 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, 2 Agustus 2023

Yang menyatakan,



Rahmad Syaputra

NIM. 08031281924040

## RINGKASAN

### SINTESIS DIISOPROPIL ETER DARI PROSES DEHIDRASI ISOPROPANOL DENGAN KATALIS $\text{SiO}_2$ /CERIUM TERFOSFATASI *TEMPLATE* KHFTALAT

Rahmad Syaputra, dibimbing oleh Prof. Dr. Hasanudin, M.Si

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

xviii +70 halaman +15 gambar +4 tabel +4 grafik +7 lampiran.

Katalis  $\text{SiO}_2$ /cerium terfosfatasi *template* KHFTalat telah berhasil disintesis dengan metode sol-gel rasio massa  $\text{Ce}:\text{SiO}_2$  1:4 dan rasio mol  $\text{Ce}:(\text{NH}_4)_2(\text{HPO}_4)$  1:1 dengan variasi waktu kalsinasi 1, 3 dan 5 jam. Katalis diaplikasikan pada proses dehidrasi isopropanol untuk mendapatkan diisopropil eter. Proses dehidrasi menggunakan metode hidrotermal bertujuan agar produk yang didapatkan memiliki tingkat kemurnian tinggi dan dianalisis menggunakan GC-MS. Katalis diselidiki sifat fisikokimia dengan karakterisasi XRD, FTIR dan uji keasaman. Karakterisasi XRD menunjukkan derajat kristanilitas terbaik yaitu katalis 5 jam kalsinasi sebesar 28,7% dengan intensitas puncak 298 cps pada nilai  $2\theta$ :  $16,7^\circ$ . Hasil XRD menunjukkan terdapat *cristobalite* ( $\text{SiO}_2$ ), cerium *phosphite* dan cerium oksida dengan formula  $\text{Ce}_2\text{H}_3\text{O}_{10}\text{P}_3$  dan  $\text{Ce}_6\text{O}_{21}\text{Si}_6$  diamati puncak pada sudut  $2\theta$ :  $20,5^\circ$ ,  $16,7^\circ$  dan  $29,2^\circ$ . Identifikasi gugus fungsi katalis juga menunjukkan katalis 5 jam kalsinasi terdapat vibrasi ulur dan tekuk  $-\text{OH}$  dari silanol pada bilangan gelombang spektrum IR  $3169,8$  dan  $1637\text{ cm}^{-1}$  dengan intensitas terbaik. Puncak spesifik Si-O dari siloksan diamati pada  $1096,6\text{ cm}^{-1}$ . Keasaman katalis 5 jam kalsinasi metode titrasi balik sebesar  $3\text{ mmol/g}$  menjadi yang terbaik. Berdasarkan hasil penelitian, adanya pengaruh waktu kalsinasi terhadap peningkatan aktivitas kinerja katalitik katalis dengan karakteristik fisikokimia yang optimum. Hasil analisis GC-MS menunjukkan aktivitas terbaik konversi isopropanol 48,8%, selektivitas DIPE 51,4% dan *yield* 25% dengan katalis 5 jam kalsinasi.

Kata kunci : katalis, cerium, dehidrasi, isopropanol, diisopropil eter.

Sitasi : 82(2007-2023).

## SUMMARY

### **SYNTHESIS OF DIISOPROPYL ETHER FROM ISOPROPANOL DEHYDRATION PROCESS USING SiO<sub>2</sub>/CERIUM PHOSPHATED CATALYST KHPHTHALATE TEMPLATE**

Rahmad Syaputra, supervised by Prof. Dr. Hasanudin, M.Si

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

xviii +70 pages +15 figures +4 tables +4 graph +7 attachments.

SiO<sub>2</sub>/cerium phosphated catalyst with KHPthalate template has been successfully synthesized using the sol-gel method of mass ratio Ce:SiO<sub>2</sub> 1:4 and mole ratio Ce: (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(HPO<sub>4</sub>) 1:1 with a variation of calcination time of 1, 3 and 5 hours. The catalyst was applied to the isopropanol dehydration process to obtain diisopropyl ether. The dehydration process using the hydrothermal method to obtain products with a high level of purity and is analyzed using GC-MS. The physicochemical properties of the catalyst were investigated by XRD, FTIR and acidity tests. XRD characterization showed that the best degree of crystallinity was the catalyst 5 hours calcination of 28,7%, with a peak intensity of 298 cps at a value of  $2\theta$  : 16,7°. The XRD results showed that there were cristobalite (SiO<sub>2</sub>), cerium phosphite and cerium oxide with the formulas Ce<sub>2</sub>H<sub>3</sub>O<sub>10</sub>P<sub>3</sub> and Ce<sub>6</sub>O<sub>21</sub>Si<sub>6</sub> observed for peaks at angles of  $2\theta$ : 16,7°, 20,5° and 29,2°. Identification of the catalyst functional groups also showed that the catalyst 5 hours calcination contained –OH stretching and bending vibrations of silanol at the IR spectral wave numbers of 3169,8 and 1637 cm<sup>-1</sup> with the best intensity. The Si-O specific peak of siloxane was observed at 1096,6 cm<sup>-1</sup>. The acidity of the catalyst for 5 hours calcination by the back titration method of 3 mmol/g is the best. Based on the research results, there is effect of calcination time on increasing the activity of catalytic performance of catalysts with optimum physicochemical characteristics. The results of the GC-MS analysis showed the best activity was of 48,8%



isopropanol conversion, DIPE selectivity 51,4% and yield 25% by 5 hours calcination catalyst.

Keywords : catalyst, cerium, dehydration, isopropanol, diisopropyl ether.

Citation : 82(2007-2023).

## MOTTO DAN PERSEMBAHAN

*Bismillahirrahmanirrahiim...*

*“.....Cukuplah Allah (menjadi penolong) bagi kami dan Dia sebaik-baik pelindung.” ( Q.S. Ali ‘Imran 3: 173).*

*7 kali jatuh, 8 kali bangkit. Setiap perjalanan ke puncak dibangun oleh banyak kegagalan.*

Skripsi ini sebagai salah satu rasa syukur kepada Allah SWT dan dipersembahkan untuk :

1. Kedua orangtua dan keluarga.
2. Dosen pembimbing tugas akhir dan akademik.
3. Almamater Universitas Sriwijaya.
4. Orang-orang baik yang sering menolong dan mendoakan.
5. Adik tingkat yang ngajak wisuda barengan.

## KATA PENGANTAR

Puji dan rasa syukur kehadiran Allah SWT yang maha pengasih lagi maha penyayang serta memohon pertolongan dan ampunan hanya kepada-Nya hingga pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul “Sintesis Diisopropil Eter dari Proses Dehidrasi Isopropanol dengan Katalis  $\text{SiO}_2$ /cerium Terfosfatasi *Template* KHFtalat”. Skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Kimia Universitas Sriwijaya.

Penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada kedua orang tua tercinta, yaitu **Bapak Samsir** dan **Ibu Dewi Mardiaty** yang telah memberikan yang terbaik untuk anaknya sehingga dapat menyelesaikan masa pendidikan Strata 1 di Universitas Sriwijaya. Penulis juga mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada **Bapak Prof. Dr. Hasanudin, M.Si.** selaku pembimbing tugas akhir dan **Ibu Prof. Dr. Elfita, M.Si.** selaku pembimbing akademik penulis yang telah banyak memberikan bimbingan, motivasi, saran dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan akademik termasuk skripsi ini, sehingga Alhamdulillah tiba masanya skripsi ini selesai ditulis. Tiada kata selain rasa syukur yang sebesar-besarnya diucapkan penulis atas rahmat Allah Subhanahu Wa Ta’ala yang begitu besar dan tiada hentinya kepada penulis hingga saat ini.

Penulis juga menyampaikan terima kasih 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. Ibu Fahma Riyanti, M.Si. dan Ibu Prof. Dr. Muharni, M.Si. selaku pembahas dan penguji sidang sarjana.
5. Seluruh Dosen FMIPA KIMIA yang telah mendidik dan membimbing selama masa perkuliahan.

6. Ibu Siti Nuraini, S.T., M.Si, Ibu Yuniar, S.T., M.Sc., dan Ibu Hanida Yanti, A.Md. selaku analis di laboratorium kimia yang selalu membantu dalam hal keperluan tugas akhir.
7. Kak Chosiin dan mbak Novi selaku admin jurusan kimia yang telah banyak membantu dalam kelancaran administrasi selama masa perkuliahan.
8. Keluarga besar penulis yang selalu mendoakan serta senantiasa memberikan doa, dukungan, perhatian dan semangat.
9. Abang Fery yang sering memberikan nasihat dan motivasi terbaiknya.
10. Keluarga besar UKM U-READ, Rangga, Ayu, Dhea, Nada, Riski Nuriman, Josro, Sophia, Ghery, Tiwi, Marshela, Yohana, dan Salsabilla serta rekan-rekan Badan Pengurus Harian Tahun 2022 dan Readers 9/10/11 UKM U-READ.
11. Keluarga besar KM Kimia, Misbach, Agung, Jepri, Iqbal, Bg Apresi, Kak Lola, Bg Wan, Dina, Joy, Rafly, Betty, Puan, Melli dan rekan-rekan lainnya.
12. Keluarga Besar BO COIN, Bg Redho, Kak Utari, Kak Cibe, Nana, Mega, Darmin, Budiman, Lastri, Jumarni, Putra, Jimmy dan rekan-rekan lainnya.
13. Fajar, Ryan Maulana, Idi Amin, dan rekan-rekan SMAN 1 Dumai lainnya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, saran dan masukan yang bersifat membangun sangat diharapkan guna melengkapi segala kekurangan dan keterbatasan dalam penyusunan skripsi ini. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat pengetahuan kepada pembaca dan rujukan bagi pengembangan ilmu pengetahuan .

Indralaya, 2 Agustus 2023



Penulis

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</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>RINGKASAN</b> .....	<b>vi</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>viii</b>
<b>MOTTO DAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>x</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR GRAFIK</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xviii</b>
<b>BAB I</b> .....	<b>1</b>
<b>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</b> .....	<b>5</b>
<b>TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Katalis.....	5
2.2 Silika.....	7
2.3 Metode Impregnasi .....	9
2.4 Cerium Terfosfatasi .....	10
2.5 <i>Template</i> KHFTalat .....	11
2.6 Kalsinasi .....	11
2.7 Isopropanol atau Isopropil Alkohol (IPA).....	12
2.8 Karakterisasi Katalis.....	13
2.8.1 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	13

2.8.2 <i>Fourier Transform Infrared (FT-IR)</i> .....	14
2.9 Reaksi Dehidrasi dan Analisis GC-MS .....	15
2.9.1 Reaksi Dehidrasi Alkohol .....	15
2.9.2 Analisis <i>Gas Chromatography- Mass Spectroscopy (GC-MS)</i> .....	16
<b>BAB III</b> .....	<b>17</b>
<b>METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>17</b>
3.1 Waktu dan Tempat .....	17
3.2 Alat dan Bahan .....	17
3.2.1 Alat .....	17
3.2.2 Bahan .....	17
3.3 Prosedur Kerja.....	17
3.3.1 Pembuatan larutan KHFtalat 10 % .....	17
3.3.2 Sintesis SiO <sub>2</sub> <i>Template</i> KHFtalat.....	18
3.3.3 Sintesis SiO <sub>2</sub> /cerium terfosfatasi <i>template</i> KHFtalat.....	18
3.3.4 Karakterisasi Katalis SiO <sub>2</sub> /cerium <i>template</i> KHFtalat .....	19
3.3.5 Prosedur Dehidrasi Isopropanol .....	21
3.3.6 Analisis Produk Hasil Dehidrasi IPA dengan GC-MS .....	21
<b>BAB IV</b> .....	<b>23</b>
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>23</b>
4.1 Sintesis SiO <sub>2</sub> /cerium terfosfatasi <i>template</i> KHFtalat .....	23
4.2 Analisis Sifat Fisikokimia Katalis .....	25
4.2.1 Karakterisasi Katalis dengan Instrumen XRD.....	25
4.2.2 Karakterisasi Katalis dengan Instrumen FTIR .....	27
4.2.3 Uji Keasaman katalis .....	29
4.3 Dehidrasi Isopropanol .....	30
4.4 Analisis Produk Dehidrasi IPA dengan GC-MS .....	31
<b>BAB V</b> .....	<b>35</b>
<b>PENUTUP</b> .....	<b>35</b>
5.1 Kesimpulan.....	35
5.2 Saran .....	36
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>37</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>45</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.</b> Reaksi hidrolisis TEOS.....	8
<b>Gambar 2.</b> Kekosongan oksigen dalam cerium oksida.....	10
<b>Gambar 3.</b> Skema analisis dengan XRD.....	13
<b>Gambar 4.</b> Ilustrasi difraksi sinar-X .....	14
<b>Gambar 5.</b> Prinsip analisis FTIR .....	14
<b>Gambar 6.</b> Mekanisme reaksi dehidrasi IPA .....	15
<b>Gambar 7.</b> Skema diagram GC-MS.....	16
<b>Gambar 8.</b> Komponen reaktor autoklaf hidrotermal.....	21
<b>Gambar 9.</b> Sintesis SiO <sub>2</sub> .....	24
<b>Gambar 10.</b> Sintesis SiO <sub>2</sub> <i>template</i> KHFTalat.....	24
<b>Gambar 11.</b> Sintesis SiO <sub>2</sub> /cerium terfosfatasi <i>template</i> KHFTalat.....	25
<b>Gambar 12.</b> Proses dan hasil dehidrasi.....	31
<b>Gambar 13.</b> Kromatogram produk dehidrasi terhadap variasi waktu kalsinasi katalis .....	31
<b>Gambar 14.</b> Spektroskopi massa .....	33
<b>Gambar 15.</b> Struktur pola fragmentasi DIPE .....	34



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.</b> Perbandingan nilai RON dan MON untuk beberapa senyawa .....	12
<b>Tabel 2.</b> Data analisis derajat kristanilitas katalis SiO <sub>2</sub> /cerium terfosfatasi <i>template</i> KHFtalat.....	26
<b>Tabel 3.</b> Perbandingan spektrum IR katalis SiO <sub>2</sub> /cerium terfosfatasi <i>template</i> KHFtalat variasi waktu kalsinasi 1,3 dan 5 jam .....	28
<b>Tabel 4.</b> Probabilitas Senyawa DIPE hasil dehidrasi .....	33

## DAFTAR GRAFIK

- Grafik 1.** Difraktogram hasil XRD katalis  $\text{SiO}_2$ /cerium terfosfatasi *template* KHFtalat .....25
- Grafik 2.** Spektrum analisis IR katalis  $\text{SiO}_2$ /cerium terfosfatasi *template* KHFtalat .....27
- Grafik 3.** Perbandingan nilai keasaman katalis  $\text{SiO}_2$ /cerium terfosfatasi *template* KHFtalat .....29
- Grafik 4.** Perbandingan aktivitas katalis terhadap proses dehidrasi isopropanol..32

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1.</b> Skema <i>flowchart</i> penelitian .....	46
<b>Lampiran 2.</b> Perhitungan sintesis Perhitungan sintesis katalis SiO <sub>2</sub> /cerium terfosfatasi <i>template</i> KHFTalat.....	51
<b>Lampiran 3.</b> Grafik kromatogram analisis XRD.....	52
<b>Lampiran 4.</b> Grafik difraktogram FTIR .....	57
<b>Lampiran 5.</b> Perhitungan keasaman Katalis .....	60
<b>Lampiran 6.</b> Perhitungan analisis produk dehidrasi dengan GC-MS.....	64
<b>Lampiran 7.</b> Dokumentasi penelitian .....	69

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pemanfaatan katalis pada industri adalah suatu hal yang penting karena dapat mengefisiensi dan mengoptimalkan hasil produk yang diinginkan. Salah satu penggunaannya ialah katalis heterogen yang memiliki kelebihan dalam pengaplikasiannya sangat ekonomis, stabil, ramah lingkungan, dapat digunakan berulang dan mudah untuk dipisahkan dari produknya dibandingkan katalis homogen. Katalis heterogen atau yang biasanya fasa padatan ini banyak digunakan dalam mengkonversi bahan kimia, energi ramah lingkungan dan fotokatalisis (Vedrine, 2019). Modifikasi karakteristik katalis heterogen padat dapat dilakukan dengan berbagai cara. Dalam upaya peningkatan kinerja dan kualitas katalis, terutama untuk efektivitas penggunaan katalis, digunakan media sebagai pendispersi yang dikenal sebagai pendukung katalis (*supported catalyst*) atau penyangga senyawa utama. Senyawa utama katalis yang biasanya logam aktif dari golongan logam mulia dan logam transisi akan didistribusikan pada permukaan media pendispersi agar luas permukaan katalis meningkat, sehingga diharapkan adanya interaksi yang baik antara reaktan dengan katalis. Diantara katalis heterogen tersebut, oksida logam merupakan salah satu katalis penting di industri yang didukung media pendispersi seperti alumina, lempung, zeolit, dan silika (Vedrine, 2017).

Silika yang disintesis menggunakan metode sol-gel merupakan salah satu proses sintesis sederhana dan dapat berlangsung pada suhu rendah. Pada metode ini, cenderung didapatkan hasil sintesis silika yang memiliki kemurnian tinggi dibandingkan dengan metode lainnya (Budiharti, 2015). Silika yang berbentuk *porous* ini memiliki perkembangan yang signifikan dalam nanoteknologi dikarenakan sifatnya yang stabil pada suhu tinggi, inert, murah dan mudah disintesis (Pal *et al.*, 2020). Selain itu, material nano *porous* ini memiliki bidang permukaan yang luas dan memberikan keunggulan agar banyak logam yang dapat terimpregnasi (Pambudi dan Zainuri, 2016).

Logam yang terimpregnasi ke dalam silika menambah aktivitas sebagai katalis. Pada penelitian ini digunakan logam cerium dan dilakukan proses fosfatasi

untuk meningkatkan daya adsorpsinya. Penambahan logam prekursor seperti logam cerium terfosfatasi menjadikan situs aktif pada silika meningkat sehingga keasaman katalis bertambah dan menghasilkan produk yang tinggi pada proses konversi (Cai *et al.*, 2021). Berdasarkan penelitian Rahmawati (2019), proses fosfatasi dapat meningkatkan keasaman dengan menyumbangkan muatan positif dari fosfor yang berinteraksi memasuki pori penyangga katalis sehingga memberikan pengaruh terhadap daya adsorpsi dan memperluas permukaan katalis. Oleh karena itu, cerium terfosfatasi dikembangkan sebagai logam prekursor pada silika untuk meningkatkan sifat fungsional dari cerium dan fosfat.

Modifikasi katalis cerium terfosfatasi dilakukan dengan metode *template* menggunakan surfaktan yang dapat menurunkan tegangan permukaan untuk membuka pori dan tempat melekatnya logam aktif. Hal ini dikarenakan katalis memiliki sisi aktif sehingga diperlukan perluasan volume pori agar lebih besar untuk meningkatkan kecepatan dan hasil konversi untuk menghasilkan mesopori terbaik dan karbon berpori tinggi (Nazir *et al.*, 2022). Surfaktan mampu meningkatkan kestabilan partikel yang terdispersi dan meningkatkan kinerja katalis. Berdasarkan Li *et al.*, (2016) KHFtalat memiliki potensi digunakan sebagai *template* dikarenakan kapasitas adsorpsi yang masih tinggi setelah generasi kelima. Dengan demikian, cerium terfosfatasi *template* KHFtalat dapat diaplikasikan ke dalam silika sebagai katalis heterogen. Katalis yang telah terimpregrasi logam, dianalisis dan diselidiki optimasi terhadap waktu kalsinasi (Dieuzeide *et al.*, 2012).

Optimasi hasil terbaik terhadap karakter katalis diperlukan beberapa parameter pada sintesis katalis, salah satunya pada proses kalsinasi. Kalsinasi bertujuan untuk mendekomposisi senyawa pada suhu tinggi dan pada penelitian ini juga berfungsi untuk membakar *template* yang berperan sebagai cetakan katalis dalam meningkatkan struktur silika menjadi kristal (Hasanudin *et al.*, 2022<sup>a</sup>). Karakteristik fisik dan kimia katalis dapat dioptimasi dengan ukuran partikel, temperatur, dan waktu kalsinasi. Waktu kalsinasi menjadi salah satu faktor yang dapat mempengaruhi pembentukan kristal dan juga stabilitas katalis untuk optimasi aktivitas dan karakteristik katalis yang dihasilkan (Zhang, 2020). Sintesis katalis dilakukan variasi waktu kalsinasi 1, 3, dan 5 jam pada suhu 600°

C. Katalis digunakan dalam mengkatalisis reaksi dehidrasi isopropanol atau isopropil alkohol (IPA) menjadi diisopropil eter (DIPE). DIPE pada pengaplikasiannya digunakan sebagai senyawa atau zat aditif bahan bakar bensin atau gasolin, bersifat ramah lingkungan dan baik untuk mesin kendaraan bermotor dibandingkan zat aditif lainnya seperti MTBE dan ETBE (Kassa *et al.*, 2022; Hasanudin *et al.*, 2022<sup>b</sup>). Zat aditif berperan dalam meningkatkan angka oktan dengan penambahan kadar iso-oktan ( $C_8H_{18}$ ) dan tidak berpengaruh pada nilai heptan ( $C_7H_{16}$ ).

Katalis  $SiO_2$ /cerium terfosfatasi *template* KHFtalat akan dikarakterisasi dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), analisis keasaman katalis (Hasanudin *et al.*, 2022<sup>b</sup>), dan analisis produk hasil dehidrasi dengan *Gas Chromatography-mass Spectrum* (GC-MS) (Asab *et al.*, 2020). Karakteristik katalis dan hasil kinerja katalis terhadap hasil dehidrasi dikaitkan terhadap waktu kalsinasi terbaik untuk dianalisis lebih lanjut.

### 1.2 Rumusan Masalah :

1. Bagaimana karakteristik fisikokimia katalis  $SiO_2$ /cerium terfosfatasi *template* KHFtalat?
2. Berapakah nilai konversi, selektivitas dan persentase *yield* yang terbaik dari dehidrasi isopropanol menjadi diisopropil eter dengan katalis  $SiO_2$ /cerium terfosfatasi *template* KHFtalat?
3. Bagaimana pengaruh waktu kalsinasi katalis  $SiO_2$ /cerium terfosfatasi *template* KHFtalat terhadap aktivitas katalitik pada proses dehidrasi isopropanol?

### 1.3 Tujuan Penelitian :

1. Menentukan karakteristik fisikokimia katalis  $SiO_2$ /cerium terfosfatasi *template* KHFtalat.
2. Menentukan nilai konversi, selektivitas dan persentase *yield* pada proses dehidrasi isopropanol menjadi diisopropil eter dengan katalis  $SiO_2$ /cerium terfosfatasi *template* KHFtalat.

3. Mengetahui hubungan waktu kalsinasi katalis  $\text{SiO}_2$ /cerium terfosfatasi *template* KHFtalat terhadap aktivitas katalitik pada proses dehidrasi isopropanol.

#### **1.4 Manfaat Penelitian :**

Penelitian ini diharapkan mendapatkan katalis  $\text{SiO}_2$ /cerium terfosfatasi *template* KHFtalat yang terbaik untuk proses dehidrasi isopropanol menjadi diisopropil eter. Selain itu, diharapkan dapat diteliti lebih lanjut pada pengaplikasiannya untuk proses sintesis senyawa lainnya seperti pada proses *hydrocracking*.



## DAFTAR PUSTAKA

- Afosma, W., & Ariswan, A. 2017. Studi Tentang Pengaruh Jarak (Spacer) Terhadap Kualitas Kristal Lapisan Tipis Sn [(Se) <sub>0,2</sub>(Te) <sub>0,8</sub>] Hasil Preparasi Teknik Evaporasi Vakum Study About The Effect Of Spacer To Crystal Quality Sn [(Se) <sub>0,2</sub>(Te) <sub>0,8</sub>] Thin Films Preparation Results By Vacuum Evaporation Technique. *Jurnal Ilmu Fisika Dan Terapannya*, 6(5), 385-396.
- Ahmad, W. R. W., Mamat, M. H., Zoolfakar, A. S., Khusaimi, Z., & Rusop, M. (2016, December). A review on hematite  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> focusing on nanostructures, synthesis methods and applications. In *2016 IEEE Student Conference on Research and Development (SCORED)* (pp. 1-6). IEEE.
- Alviany, R. 2018. Produksi Dietil Eter Melalui Reaksi Dehidrasi Etanol Menggunakan Nanokatalis  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan Promotor Logam Cr dan Co (*Doctoral dissertation*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- AL-Zahrani, A. A., Zainal, Z., Talib, Z. A., Ngee, J. L. H., Mohd, L., Fudzi, A. M. H., ... and Ali, M. 2020. Effect of Hydrothermal Growth Temperature and Time on Physical Properties And Photoanode Performance of ZnO Nanorods. *Int. J. Nanoelectron. Mater*, 13, 381-400.
- Amira, S. D., & Santosa, S. 2022. Pengaruh Rasio Katalis CaO-NaOH dan Suhu Reaksi Transesterifikasi terhadap Kualitas Biodiesel dari Minyak Sawit. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 8(4), 783-790.
- Anam, C., Firdausi, K. S., & Sirojudin, S. 2007. Analisis gugus fungsi pada sampel uji, bensin dan spiritus menggunakan metode spektroskopi FTIR. *Berkala Fisika*, 10(1), 79-85.
- Andika, B. 2020. Pemanfaatan Tongkol Jagung (*Zea mays* L) pada Sintesis Membran Silika yang Termodifikasi Kitosan Sebagai Adsorben Logam Timba (Pb) (*Doctoral dissertation*, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar).
- Apriliyana, Gita Ayu. 2015. Karakterisasi Termomekanik Komposit PED 4000/Silika Amorf Menggunakan Dynamic Mechanical Analysis (DMA). *Tugas Akhir*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jurusan Fisika.
- Asab, G., Zereffa, E. A., & Abdo Seghne, T. 2020. Synthesis of silika-coated Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles by microemulsion method: characterization and evaluation of antimicrobial activity. *International journal of biomaterials*, 2020.

- Asnawati, D. 2014. Karakterisasi Katalis Pt-Pd/Zeolit Alam Regenerasi Pada Reaksi Hidrodenitrogenasi Piridin. *Molekul*, 9(1), 36-43.
- Ayuni, N. P. S., & Sukarta, I. N. (2013, December). Isolasi dan Identifikasi Senyawa Alkaloid pada Biji Mahoni (*Swietenia mahagoni* Jacq). In *Prosiding Seminar Nasional MIPA*.
- Basu, S., Shree, V., & Sen, A. K. 2022. Role of cerium as a promoter and process optimization studies for dehydration of glycerol to acetol over copper chromite catalyst. *Journal of Rare Earths*. 40(1): 63-72.
- Brazdil, J. F. 2022. The Emergence of the Ubiquity of Cerium in Heterogeneous Oxidation Catalysis Science and Technology. *Catalysts*. 12(9): 959.
- Buana, E.S., Indarti, D. and Asnawati, A. 2014. Pengaruh Penambahan Surfaktan Anionik Sodium Dodesil Sulfat terhadap Karakteristik Membran Selulosa Asetat. *Berkala Sainstek*, 2(1), pp.49-53.
- Budiharti, G. 2015. Sintesis Nanopartikel Silika Menggunakan Metode Sol-Gel. *Inovasi Fisika Indonesia*, 4(3).
- Byer, S. H., & Villa, E. M. 2017. Synthesis and crystal structure of cerium (IV) bis (phosphite). *Acta Crystallographica Section E: Crystallographic Communications*, 73(9), 1290-1293.
- Cai, M., Bian, X., Xie, F., Wu, W., & Cen, P. 2021. Preparation and performance of cerium-based catalysts for selective catalytic reduction of nitrogen oxides: a critical review. *Catalysts*, 11(3), 361.
- Carvalho, M. S., Mendonca, M. A., Pinho, D. M. M., Resck, I. S., dan Suarez, P. A. Z. 2012. Chromatographic Analyses of Fatty Acids Methyl Esters by HPLC-UV and GC-FID. *J. Braz Chem Soc.* 23(4): 763-769.
- Daou, I., Lecomte-Nana, G. L., Tessier-Doyen, N., Peyratout, C., Gonon, M. F., & Guinebretiere, R. 2020. Probing the dehydroxylation of kaolinite and halloysite by in situ high temperature X-ray diffraction. *Minerals*, 10(5), 480.
- Dey, S., & Dhal, G. C. 2020. Cerium catalysts applications in carbon monoxide oxidations. *Materials Science for Energy Technologies*, 3, 6-24.
- Diana, D. R., & Pratapa, S. 2015. Analisis Kristalinitas Serbuk Magnesium Oksida Hasil Sintesis Metode Logam-Terlarut Asam. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 4(1), B1-B4.
- Dieuzeide, M. L., Iannibelli, V., Jobbagy, M., & Amadeo, N. 2012. Steam reforming of glycerol over Ni/Mg/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalysts. Effect of calcination

- temperatures. *International journal of hydrogen energy*, 37(19), 14926-14930.
- Elma, Muthia, Dwi Rasy Mujiyanti, and Mufidah Nur Amalia. 2019. "The Characterization Of Silica-Organic Xerogel From Glucose".
- Famia, A. M., & Muldarisnur, M. 2019. Pengaruh Temperatur Sintesis Hidrotermal Terhadap Diameter Nanopartikel Seng Oksida. *Jurnal Fisika Unand*, 8(2), 127-132.
- Farikhin, F., & Joko Sedyono, S. T. 2016. Analisa scanning electron microscope komposit polyester dengan filler karbon aktif dan karbon non aktif (*Doctoral dissertation*, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Fatimah, N. F., & Utami, B. 2017. Sintesis dan analisis Spektra IR, difraktogram XRD, SEM pada material katalis berbahan Ni/zeolit alam teraktivasi dengan metode impregnasi. *JC-T (Journal Cis-Trans): Jurnal Kimia Dan Terapannya*, 1(1).
- Gumustas, M., Sengel-Turk, C. T., Gumustas, A., Ozkan, S. A., & Uslu, B. 2017. Effect of polymer-based nanoparticles on the assay of antimicrobial drug delivery systems. In *Multifunctional systems for combined delivery, biosensing and diagnostics* (pp. 67-108). Elsevier.
- Hasanudin, H., Asri, W. R., Fanani, Z., Adisti, S. J., Hadiah, F., Maryana, R., Muttaqi, M. A., Zhu, Z., and Machado, N. T. 2022<sup>a</sup>. 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., Andini, L., Riyanti, F., Mara, A., Hadiah, F., & Fanani, Z. 2022<sup>b</sup>. Enhanced Isopropyl Alcohol Conversion over Acidic Nickel Phosphate-Supported Zeolite Catalysts. *ACS omega*, 7(43), 38923-38932.
- Hasanudin, H., Asri, W. R., Anindia, J. R., Suheryanto, S., Fanani, Z., Rinaldi, N., & Al Muttaqii, M. 2022<sup>c</sup>. Diisopropyl Ether Production via Isopropanol Catalytic Dehydration over Zirconium Phosphate Modified Natural Zeolite. *Iranian Journal of Catalysis*, 12(4), 463-474.
- Hasanudin, H., Asri, W. R., Anindia, J. R., Suheryanto, S., Fanani, Z., Rinaldi, N., & Al Muttaqii, M. 2022<sup>d</sup>. Diisopropyl Ether Production via Isopropanol Catalytic Dehydration over Zirconium Phosphate Modified Natural Zeolite. *Iranian Journal of Catalysis*, 12(4), 463-474.
- Hasanudin, H., Asri, W. R., Tampubolon, K., Riyanti, F., Purwaningrum, W., & Wijaya, K. 2022<sup>e</sup>. Dehydration Isopropyl Alcohol to Diisopropyl Ether over

- Molybdenum Phosphide Pillared Bentonite. *Pertanika Journal of Science & Technology*, 30(2).
- Hasanudin, H., Asri, W. R., Husnia, L., Fanani, Z., Maryana, R., Al Muttaqii, M., & Sagadevan, S. 2023. Catalytic dehydration of 2-propanol over nickel phosphide immobilized on natural bentonite. *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, 1-14.
- Hindryawati, N. 2020. Fotokatalisis Dalam Pengolahan Limbah Tekstil. *Deepublish*.
- Kassa, A. E., Shibeshi, N. T., & Tizazu, B. Z. 2022. Characterization and optimization of calcination process parameters for extraction of aluminum from Ethiopian kaolinite. *International Journal of Chemical Engineering*.
- Khotiba, L.A.I. 2015. Sintesis, Karakterisasi, dan Katalisis  $Mg_{1-x}Cu_xF_2$  Dalam Reaksi Asetilasi Gliserol. *Tugas Akhir*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jurusan Fisika.
- Kumar, D., Singh, B., Baudh, K., & Korstad, J. 2015. Bio-oil and biodiesel as biofuels derived from microalgal oil and their characterization by using instrumental techniques. *Algae and environmental sustainability*, 87-95.
- Kunarti, E. S., Wahyuni, E. T., & Hermawan, F. E. 2009. Pengujian Aktivitas Komposit  $Fe_2O_3-SiO_2$  Sebagai Fotokatalis Pada Fotodegradasi 4-Klorofenol (The Activity Test Of  $Fe_2O_3-SiO_2$  Composite As Photocatalyst on 4-Chlorophenol Photodegradation). *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 16(1), 54-64.
- Li, J. J., Zhang, H., Tang, X. D., & Lu, H. 2016. Adsorptive desulfurization of dibenzothiophene over lignin-derived biochar by one-step modification with potassium hydrogen phthalate. *RSC advances*. 6(102): 100352-100360.
- Lisdawati, A. N. 2015. Pengaruh Variasi Suhu Dan Waktu Kalsinasi Pada Pembentukan Fasa  $ZrO_2$  (*Doctoral dissertation*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Lubis, S. 2007. Preparasi bentonit terpillar alumina dari bentonit alam dan pemanfaatannya sebagai katalis pada reaksi dehidrasi etanol, 1-propanol serta 2-propanol. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 6(2), 77-81.
- Mark, L. O., Cendejas, M. C., & Hermans, I. 2020. The use of heterogeneous catalysis in the chemical valorization of plastic waste. *ChemSusChem*, 13(22), 5808-5836.
- Marwoto, P. 2013. Konduktivitas Dan Transmittansi Film Tipis Zinc Oxide Yang Dideposisikan Pada Temperatur Ruang. *Unnes Physics Journal*, 2(1): 37-43.

- Maulina, R. 2022. Konversi Minyak Kelapa Sawit Menjadi Biofuel Melalui Proses Continue Hydrocracking Dengan Katalis Nikel Oksida-Kadmium Oksida/Karbon Aktif (*Doctoral dissertation*, Universitas Islam Indonesia).
- Musta, R. 2010. Preparasi dan karakterisasi katalis CoMo/H-Zeolit Y. *Jurnal Fisika FLUX*, 7(2), 149-159.
- Nagaraju, N., Kumar, V. P., Srikanth, A., Rajan, N. P., & Chary, K. V. 2016. Vapor-phase catalytic dehydration of lactic acid to acrylic acid over nano-crystalline cerium phosphate catalysts. *Applied Petrochemical Research*, 6, 367-377.
- Nazir, G., Rehman, A., & Park, S. J. 2022. Self-activated, urea modified microporous carbon cryogels for high-performance CO<sub>2</sub> capture and separation. *Carbon*. 192: 14-29.
- Nugraha, R. E. 2017. Pengaruh Sifat Keasaman dan Kebasaan Katalis Terhadap Aktivitas Katalitik Reaksi Pembuatan Biodiesel.
- Octavianingsih, L.A. 2007. Dehidrasi Isopropil Alkohol. *Tesis*. Teknik Kimia. Institut Teknologi Bandung.
- Pal, N., Lee, J. H., & Cho, E. B. 2020. Recent trends in morphology-controlled synthesis and application of mesoporous silika nanoparticles. *Nanomaterials*, 10(11), 2122.
- Pambudi, D. R. S., & Zainuri, M. 2016. Pengaruh Waktu Tahan Proses Kalsinasi Prekursor Silika sebagai Material Pelapis Hidrofobik. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 5(2).
- Patrizi, B., Siciliani de Cumis, M., Viciani, S., & D'Amato, F. 2019. Dioxin and related compound detection: Perspectives for optical monitoring. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(11), 2671.
- Permana, E., Cristine, I., Murti, S.S. and Yanti, F.M. 2020. Preparasi dan Karakterisasi Katalis Cu/Zno dengan Support Karbon Aktif Menggunakan Aktivator H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dan ZnCl<sub>2</sub>. *Jurnal Teknologi*, 13(1), pp.6-15.
- Pertama, I. S., & Wahyuni, T. A. Z. N. 2014. Optimasi Waktu Dan Suhu Pengeringan Modifikasi Silika Gel Berbahan Dasar Abu Sekam Padi dengan Tributylamina. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 3(4); 39-45.
- Purnama, E. F., Nikmatin, S., & Langenati, R. 2019. Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Derajat Kristalinitas dan Komposisi Hidroksiapatit Dibuat dengan Mediaair dan Cairan Tubuh Buatan (Synthetic Body Fluid). *Jurnal sains materi Indonesia*, 154-159.

- Purwanto, A. S., Taslimah, T., & Sriatun, S. 2012. Sintesis dan Karakterisasi Silica Gel dari Tetraetilortosilikat (TEOS) Menggunakan Surfaktan Polyethylene Glycol (PEG) 6000 dalam Kondisi Basa. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 15(1), 1-6.
- Puspitasari, D. 2018. Variasi Konsentrasi NH<sub>4</sub>Cl Dalam Proses Aktivasi Zeolit Dan Komposisi Katalis Terhadap proses Esterifikasi Gliserol Menjadi Triasetin. *Skripsi*. Jurusan Kimia, Universitas Sriwijaya.
- Putri, Q. U., Putri, E. E. S., Hasanudin, Purwaningrum, W., & Riyanti, F. 2022. Hydrodeoxygenation of crude palm oil into biogasoline with composite catalyst bentonite cobalt nitride. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2638, No. 1, p. 020005). AIP Publishing LLC.
- Rahayu, F., & Zainuri, M. 2016. Pengaruh Jenis Fasa SiO<sub>2</sub> (Amorphous, Quartz, Cristobalite) Terhadap Sifat Hydrophobic pada Media Kaca. *Tugas Akhir*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November, Jurusan Fisika.
- Rahma, A. 2019. Sintesis dan karakterisasi katalis NiMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan penambahan zeolit hy, zeolit hirarki hy dan silika (*Bachelor's thesis*, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta).
- Rahmawati, S. 2019. Adsorpsi Metil Jingga oleh Zeolit Terfosfatasi yang Diamobilisasi pada Kalsium Alginat (*Doctoral dissertation*, Universitas Brawijaya).
- Rianto, A., Islamiyah, I., Pambudi, K. E., & Al Mufih, A. A. 2014. Sintesis Katalitik 2, 2-diisopropoksipropan dari Isopropil untuk Meningkatkan Angka Oktan Bahan Bakar Terbarukan. *Program Kreativitas Mahasiswa-Penelitian*.
- Rohmawati, I., Sa'diyah, N. L., & Amalia, N. 2018. Review Artikel Penentuan Situs Asam Brønsted-Lewis pada Sintesis ZSM-5 Menggunakan Kaolin.
- Rohmiasih, E., Rezeki, S., & Khairi, S. (2021, November). Pengaruh Konsentrasi Katalis Heterogen Kalsium Oksida (CaO) dari Cangkang Telur Bebek pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Kelapa. In *Prosiding Seminar Nasional Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi* (pp. 33-48).
- Safitri, D. I., Sembiring, S., & Rumiyantri, L. 2022. Karakteristik Struktur Mikro, Struktur Fasa dan Sifat Fisis Komposit Silika Sekam Padi dengan Aspal. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 10(2), 251-258.
- Setyaningsih, L. W. N., Rizkiyaningrum, U. M., & Andi, R. 2017. Pengaruh konsentrasi katalis dan reusability katalis pada sintesis triasetin dengan katalisator lewatit. *Teknoin*, 23(1):56-62.

- Sjahfirdi, L., Aldi, N., Maheshwari, H., & Astuti, P. 2015. Aplikasi Fourier Transform Infrared (Ftir) Dan Pengamatan Pembengkakan Genital Pada Spesies Primata, Lutung Jawa (*Trachypithecus auratus*) Untuk Mendeteksi Masa Subur. *Jurnal Kedokteran Hewan-Indonesian Journal of Veterinary Sciences*, 9(2).
- Sujatno, A., Salam, R., Bandriyana, B., & Dimyati, A. (2017, June). Studi scanning electron microscopy (SEM) untuk karakterisasi proses oksidasi paduan zirkonium. In *Jurnal Forum Nuklir* (Vol. 9, No. 1, pp. 44-50).
- Supriyanto, S., Ismanto, I., & Suwito, N. 2019. Zeolit Alam Sebagai Katalis Pyrolysis Limbah Ban Bekas Menjadi Bahan Bakar Cair. *Automotive Experiences*, 2(1), 15-21.
- Suzuki, Y.; Hino, H.; Hawaii, T.; Saito, K.; Kotsugi, M.; Ono, K. Symmetry prediction and knowledge discovery from X-ray diffraction patterns using an interpretable machine learning approach. 2020. *Sci. Rep*, 10, 21790.
- Trisunaryanti, W. 2018. *Material Katalis dan Karakternya*. UGM PRESS.
- Van der Bij, Hendrik.E. dan Weckhuysen, B.M. 2015. Phosphorus promotion and poisoning in zeolite-based materials: synthesis, characterization and analysis. *Chemical Society Review*, 5 June: 7404-7428.
- Védrine, J. C. 2017. Heterogeneous catalysis on metal oxides. *Catalysts*, 7(11), 341.
- Védrine, J. C. 2019. Metal oxides in heterogeneous oxidation catalysis: State of the art and challenges for a more sustainable world. *ChemSusChem*, 12(3), 577-588.
- Widiarti, N. 2012. Pengaruh Penambahan Oksida CuO Terhadap Karakteristik CuO/Ts-1 Sebagai Katalis Alternatif Pada Reaksi Oksidasi Benzena Menjadi Fenol. *Saintekno: Jurnal Sains dan Teknologi*, 10(2).
- Widihati, I.A.G., Manurung. N.G.A.D.A dan Putri, N.P.J.S. 2022. Sintesis dan Karakterisasi Sifat Fisik dan Kimia Katalis Bentonit-ZnO. *Journal of Chemistry*. 16 (2): 220-225.
- Wijaya, K., Nadia, A., Dinana, A., Pratiwi, A. F., Tikoalu, A. D., & Wibowo, A. C. 2021. Catalytic hydrocracking of fresh and waste frying oil over Ni-and Mo-based catalysts supported on sulfated silica for biogasoline production. *Catalysts*, 11(10), 1150.
- Wiyono, E., Mahatmanti, F. W., & Priatmoko, S. 2018. Pengaruh Jenis Prekursor dan Suhu Kalsinasi terhadap Karakteristik Komposit TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> dan Aplikasinya dalam Degradasi Rhodamin B. *Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences*, 41(1), 45-50.



- Yulistiono, H. S., & Brotowati, S. (2018, December). Pengaruh Suhu Kalsinasi pada Sintesis Katalis Padat Titanium Dioksida Tersulfonasi Terhadap Konversi Pembentukan Ester Pada Reaksi Esterifikasi Destilat Asam Lemak Minyak Sawit Menggunakan Metanol. *In Seminar Nasional Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat (SNP2M)*. 3(1): 167-171.
- Yurdakal, S., Garlisi, C., Özcan, L., Bellardita, M., & Palmisano, G. 2019. (Photo) catalyst characterization techniques: adsorption isotherms and BET, SEM, FTIR, UV–Vis, photoluminescence, and electrochemical characterizations. In *Heterogeneous photocatalysis* (pp. 87-152). Elsevier.
- Zhang, Y. (2020, April). Effect of Calcination Time on Catalyst's Activity and Stability. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 495, No. 1, p. 012075). IOP Publishing.
- Zhou, L., Li, X., Yao, Z., Chen, Z., Hong, M., Zhu, R., & Zhao, J. 2016. Transition-metal doped ceria microspheres with nanoporous structures for CO oxidation. *Scientific Reports*, 6(1), 23900.