

TESIS
SINTESIS DAN KARAKTERISASI KATALIS
CaO-ZEOLIT DENGAN TEKNIK SONOKIMIA



WIDYARINI
03012622024006

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNOLOGI LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2022

TESIS
SINTESIS DAN KARAKTERISASI KATALIS
CaO-ZEOLIT DENGAN TEKNIK SONOKIMIA

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan
Gelar Magister Teknik (M.T) Pada Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya



WIDYARINI
03012622024006

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNOLOGI LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2022

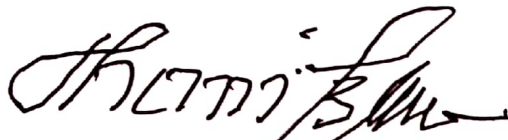
HALAMAN PENGESAHAN

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KATALIS
CaO-Zeolit DENGAN TEKNIK SONOKIMIA**

TESIS

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan
Gelar Magister Teknik (M.T.) Pada Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**

Palembang, September 2022
Menyetujui,
Pembimbing I



Prof. Dr. Ir. H. M. Djoni Bustan, M.Eng., IPU.
NIP. 195603071981031010

Pembimbing II



Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA., IPU.
NIP. 195610241981032001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya



Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T.
NIP. 196706151995121002

Ketua Jurusan Teknik Kimia



Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.
NIP. 197502012000122001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis berupa tesis ini dengan judul “Sintesis dan Karakterisasi Katalis CaO-Zeolit Dengan Teknik Sonokimia” telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Karya Ilmiah Program Studi Magister Teknik Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 5 Agustus 2022.

Palembang, September 2022

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Laporan Tesis

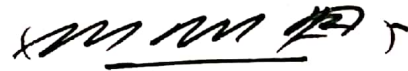
Ketua:

1. Prof. Dr. Ir. H. M. Said, M.Sc.
NIP. 196108121987031003

()

Anggota:


2. Prof. Dr. Ir. H. M. Taufik Toha, DEA
NIDK. 8864000016
3. Dr. David Bahrin, S.T., M.T
NIP. 198010312005011003


()


()

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya,


Prof. Dr. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T.
NIP. 19670615199521002

 Ketua Jurusan Teknik Kimia


Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.
NIP. 197502012000122001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Widyarini
NIM : 03012622024006
Judul : Sintesis dan Karakterisasi Katalis CaO-Zeolit
dengan Teknik Sonokimia

Menyatakan bahwa laporan Tesis saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/ *plagiat*. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/ *plagiat* dalam Laporan Tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, September 2022
Yang membuat Pernyataan



Widyarini
NIM. 03012622024006

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa berkat Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga laporan tesis dengan judul “**Sintesis dan Karakterisasi Katalis CaO-Zeolit Dengan Teknik Sonokimia**” dapat terselesaikan dengan baik. Tesis ini terdiri dari 5 bab yang terdiri dari pendahuluan, tinjauan pustaka, metodologi penelitian, hasil dan pembahasan serta kesimpulan dan saran.

Tesis ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) pada Program Studi Teknik Kimia BKU Teknologi Lingkungan Program Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Dengan harapan isi tesis ini dapat bermanfaat secara nyata bagi kehidupan dan didukung dari ilmu – ilmu yang telah diterima selama menempuh studi.

Selama berproses keilmuan dan proses pelaksanaan penelitian, penulisan serta penyelesaian tesis, tidaklah tercapai dengan baik tanpa ada dukungan dari berbagai pihak. Dengan kerendahan hati, perkenankan penulis menghaturkan terimakasih yang tulus dan penghargaan yang tinggi kepada :

1. Ibu, Bapak , Suami dan Anak - Anak tersayang yang selalu ada dan tiada henti memberikan do'a yang tulus, menyemangati serta memberikan dukungan penuh secara moral dan finansial hingga saya bisa menyelesaikan studi S2.
2. Prof. Dr. Ir. H. Djoni Bustan, M.Eng, IPU selaku dosen pembimbing tesis utama, dan saya anggap orang tua kedua saya, seorang bapak yang tulus hati memberikan arahan dan bimbingan kepada saya dalam berproses keilmuan, proses pelaksanaan penelitian serta arahan proses kehidupan sehingga saya bisa tetap berdiri tegak sampai di titik penyelesaian tesis ini dan saya mendapatkan makna filosofi ilmu dalam kehidupan sebagai bekal saya nantinya. Hanya ALLAH SWT yang bisa membalas kebaikan dan ketulusan hati Bapak. Semoga keberkahan ilmu, umur serta keberkahan rejeki dari ALLAH SWT selalu senantiasa untuk Bapak dan keluarga.

3. Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA, IPU selaku dosen pembimbing tesis pendamping dan saya anggap orang tua kedua saya yang selalu memberikan arahan dan bimbingan kepada saya dalam pelaksanaan penelitian serta proses keilmuan sehingga penulisan tesis dapat dibuat dengan baik.
4. Dr. David Bahrin, S.T., M.T. selaku ketua prodi Magister Teknik Kimia Universitas Sriwijaya, terimakasih atas arahan dan petunjuk selama proses masa studi saya di magister teknik kimia.
5. Prof. Dr.Ir. H. M. Said, M. Sc, Prof. Dr. Ir. H. M. Taufik Toha, DEA dan Dr. David Bahrin, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang dengan berbagai kebijaksanaannya memberikan arahan, saran dan koreksi kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tesis ini dengan baik.
6. Prof. Dr. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
7. Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya.
8. Dr. Fitri Hadiyah, S.T., M.T. selaku Sektretaris Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya.
9. Dr. Muhammad Said, M.T. selaku Kepala Laboratorium Laboratorium Riset Terpadu Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya beserta analisnya yang telah membantu menyediakan sarana dan prasarana selama proses penelitian.
10. Kakak senior S3 Bu Selpiana, Pak Ambo Intang dan Pak Prahady Susmanto yang memberikan motivasi dan semangat dalam proses keilmuan dibawah atap bengkel teknik kimia Unsri, suasana kekerabatan dan kekeluargaan. Tetap semangat dan jaga silaturahmi.
11. Kekeluargaan rekan rekan dibawah atap bengkel teknik kimia Unsri (Dino, Hanim, Rizky, Hani, Diza, Mutia, Ulfah, Felix, Feni, Amanda, Anji, Dimas, Mbak Leti, Fathoni, Kak Serigianto), semangat, sukses untuk kita semua serta jaga silaturahmi.

12. Teman-teman seperjuangan Magister Teknik Kimia 2019 serta semua pihak yang selalu memberikan dukungan dan semangat yang tidak dapat disebutkan satu persatu.
13. Mbak Restu Larassyah Aryani Putri, S.E. selaku tenaga administrasi program studi magister teknik kimia yang selalu membantu proses administrasi selama pengerjaan tesis ini.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih memiliki kekurangan. Namun, diharapkan tesis ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan dapat menjadi lebih baik lagi dengan adanya penelitian – penelitian lanjutan. Aamiin

Palembang, September 2022

Penulis

RINGKASAN

SINTESIS DAN KARAKTERISASI KATALIS CaO-ZEOLIT DENGAN TEKNIK SONOKIMIA

Karya tulis ilmiah berupa Tesis, September 2022

Widyarini, Dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. H. M. Djoni Bustan, M.Eng.,IPU. dan Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA.,IPU

Synthesis and Characterization of CaO-Zeolite Catalyst by Sonochemical Engineering Method

xv + 8 halaman, 5 tabel, 3 gambar, 3 lampiran

RINGKASAN

Calcium Oxide (CaO) yang diimbangkan pada zeolit dikategorikan sebagai katalis heterogen. Penggunaan katalis CaO dapat digunakan dalam proses pirolisis katalitik guna meningkatkan produksi gas. Dalam penulisan ini, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ merupakan sisi aktif yang diimbangkan pada zeolit alam dan aktivitas dari katalis CaO-Zeolit disintesis dengan impregnasi sonokimia yang dibantu dengan proses pengeringan dan proses kalsinasi. Sebagai pembandingan, dalam penelitian ini juga dilakukan metode impregnasi pengaduk (*stirrer*). Katalis CaO-Zeolit beserta propertinya diidentifikasi dengan Scanning Electron Microscopy- Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX). Proses aktivasi dilakukan pada temperatur oven 120°C selama 5 jam dan temperatur kalsinasi 300°C selama 2 jam. Katalis yang disintesis dengan sonokimia berlangsung selama 20 menit, dengan frekuensi 20 kHz dan 1200 watt, sedangkan katalis yang disintesis dengan pengaduk (*stirrer*) berlangsung selama 120 menit, 1500 rpm dan 1000 watt. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakterisasi pada katalis yang disintesis oleh metode sonokimia lebih baik dibandingkan dengan metode stirrer. Secara spesifik, diperoleh katalis CaO-Zeolit dengan peningkatan kandungan % berat Ca dari 0,86 % zeolit alam menjadi 11,3 % berat, 14,15 % berat, 23,48 % berat dengan metode sonokimia, sedangkan dengan metode stirrer didapat hasil 11,82% berat, 13,95% berat dan 20,62% berat. Hasil ini menunjukkan bahwasannya % berat Ca dengan metode sonokimia dalam waktu 20 menit terdispersi pada permukaan zeolit lebih efektif dari pada secara stirrer selama 120 menit. Hal ini disebabkan dengan adanya kavitas akustik dan gelombang kejut dari ultrasonik pada transport solid dan liquid. Disisi lain, teknik sonokimia dibantu oleh proses aktivasi untuk mengurangi ukuran partikel dan diikuti oksida logam ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) agar terdispersi secara merata kedalam struktur pori- pori dari zeolit. Penggunaan dari sonokimia dalam proses sintesis dapat meningkatkan aktivitas katalis.

Kata Kunci : Katalis CaO-Zeolit, Kalsinasi, Pengeringan, Impregnasi Sonokimia, Persentase Berat Ca, Karakterisasi.

SUMMARY

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF CaO-ZEOLITE CATALYST BY SONOCHEMICAL ENGINEERING METHOD

Scientific Paper in the form of Tesis, September 2022

Widyarini, Supervised by Prof. Dr. Ir. H. M. Djoni Bustan, M.Eng., IPU. and Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA., IPU

Sintesis dan Karakterisasi Katalis CaO-Zeolit dengan Teknik Sonokimia

xv + 8 pages, 5 Table, 3 Pictures, 3 Attachments

RINGKASAN

Calcium Oxide (CaO) loaded on zeolite was categorized as a heterogeneous catalyst. The utilization of CaO catalyst could be implemented in catalytic pyrolysis enhance gaseous production. In this paper, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ is an active site embedded in natural zeolite, and the activity of the CaO-Zeolite catalyst is synthesized by a sonochemical impregnation-assisted drying process and calcination. The stirrer impregnation method was used as a control. CaO-Zeolite catalyst characterization and properties were identified via Scanning Electron Microscopy- Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX). The activation experiments were performed at an oven temperature of 120°C for 5 h and a calcination temperature of 300°C for 2 h. The synthesized catalysts of sonochemical were performed at 20 minutes, 20 kHz, and 1200 Watt, and the synthesized catalyst of stirrer were performed at 120 minutes, 1500 rpm, and 1000 watts. The experimental results revealed that the characterization of the catalysts prepared by the sonochemical method was better than that of the stirrer. Specifically, obtained CaO-Zeolite catalyst with Ca wt % increased from 0.86 wt% NZ (natural zeolite) to (11.3 wt%, 14.15 wt% and 23.48 wt%) of sonochemical and (11.82wt%, 13.95 wt% and 20.64wt%) of stirrer. The results demonstrated that Ca wt% by sonochemical in 20 minutes dispersed at support surface (zeolite) more effective than stirrer in 120 minutes. These results were impacted by acoustic cavitation and shockwave of ultrasonic on solid-liquid transport and distribution. On the other side, sonochemical assisted the activation technique to minimize particle size and allowed metal oxide ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) to be dispersed uniformly into the pores structure of the zeolite. The utilization of sonochemical in CaO-Zeolite synthesizing enhanced catalyst activity.

Keywords: CaO/Zeolite catalyst, Calcination, Drying, Sonochemical Impregnation, Ca weight percentage, Characterization

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	v
KATA PENGANTAR	vi
RINGKASAN	ix
SUMMARY	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN	xviii
DAFTAR SIMBOL	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	5
1.3. Tujuan Penelitian	5
1.4. Ruang Lingkup	5
1.5. Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Sejarah Penelitian	7
2.2 Kajian Teori Katalis.....	15
2.2.1 Transformasi Kerja Katalis Padat.....	16
2.2.2 Zeolit	17
2.2.2.1 Alumina (Al_2O_3).....	18
2.2.2.2 Silika Dioksida (SiO_2).....	19
2.2.2.3 Kalsium Sulfat Dihidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).....	19
2.3 Tinjauan Katalis dari aspek Termodinamika.....	20
2.4 Tinjauan Katalis dari Aspek Kecepatan Reaksi	25
2.5 Teori Preparasi Katalis	29
2.5.1 Metode Impregnasi Sonokimia (<i>Ultrasonic Irradiation</i>)	32
2.5.1.1 Prinsip Kerja Proses Gelombang Ultrasonik	33
2.5.2 Metode Impregnasi Secara Stirrer	34
2.6 Karakterisasi CaO.Zeolit dengan menggunakan metode FTIR, SEM-EDX, BET	36
2.6.1 Spektroskopi Infra Merah (FTIR).....	37
2.6.2 <i>Scanning Electron Microscopy-Electron Dispersive X-Ray Analyser (SEM-EDX)</i>	39
2.6.3 Metode BET (Brunauer-Emmett-Teller)	41

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian.....	44
3.1.1 Tempat Penelitian	44
3.1.2 Waktu Penelitian.....	44
3.2. Bahan dan Peralatan Penelitian	44
3.2.1. Bahan Penelitian	44
3.2.2. Peralatan Penelitian	44
3.3. Variabel Penelitian	45
3.3.1. Variabel Tetap	45
3.3.2. Variabel Bebas	45
3.3.3. Variabel Terikat	45
3.4. Langkah – Langkah Penelitian	45
1.5. Deskripsi Proses.....	46
1.5.1. Tahapan Preparasi Katalis CaO-Zeolit.....	46
1.5.2. Sintesa CaO-Zeolit Alam menggunakan Metode Impregnasi Stirrer dan Sonokimia.....	48
1.5.3. Karakterisasi CaO.Zeolit dengan menggunakan metode SEM-EDX, BET, FTIR	51
3.5.3.1.Metode Analisa dengan <i>Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX)</i>	51
3.5.3.2. Metode Analisa dengan Fourier Transformed Infrared Spectroscopy (FTIR).....	51
3.5.3.3. Metode Analisa dengan Burneur-Emmet- Teller (BET)	52
1.5.4. Metode Pengolahan dan Analisis Data	52

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Preparasi CaO-Zeolit.....	53
4.1.1 Aktivasi CaO-Zeolit.....	53
4.1.2 Metode Impregnasi Secara Stirrer.....	56
4.1.3 Metode Impregnasi Secara Sonokimia	56
4.2 Hasil Karakterisasi CaO-Zeolit dengan SEM-EDX.....	57
4.2.1 Hasil Karakterisasi CaO-Zeolit dengan SEM secara stirrer	58
4.2.2 Hasil Karakterisasi CaO-Zeolit dengan SEM secara sonokimia.....	61
4.2.3 Hasil Karakterisasi CaO-Zeolit dengan EDX secara Sonokimia dan stirrer	64
4.3 Hasil Karakterisasi CaO-Zeolit dengan Spektrofotometer Fourier Transform (FTIR)	70
4.4 Hasil Karakterisasi CaO-Zeolit dengan BET (Burneur Emmet Teller)	72

BAB V KESIMPULAN	
5.1 Kesimpulan.....	81
5.2 Saran.....	82
DAFTAR PUSTAKA	83
LAMPIRAN	90

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Perbandingan laju pemanasan yang didapat dengan menggunakan zeolit dan tanpa menggunakan zeolit.....	26
Tabel 2.2. Perbandingan nilai k untuk proses pirolisis dengan zeolit maupun tanpa zeolit.....	26
Tabel 4.1. Sampel yang diteliti secara sonokimia dan stirrer	57
Tabel 4.2. Hasil Kandungan Zeolit Alam.....	64
Tabel 4.3. Hasil Analisa EDX Komponen Ca.....	65
Tabel 4.4. Tabel Hasil Analisa EDX Komponen Si dan Al	67
Tabel 4.5. Data Spektra FTIR Puncak Serapan Ca/Si/Al Secara Stirrer dan Sonokimia	70
Tabel 4.6. Hasil Karakterisasi dengan BET – <i>Total Pore Volume</i>	72
Tabel 4.7. Hasil Karakterisasi dengan BET – <i>Pore Size Distribution Adsorption</i>	73
Tabel 4.8. Diameter Pori – Pori Katalis.....	78

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Transformasi katalis saat menghasilkan Produk	16
Gambar 2.2. Struktur Kerangka Alumino Silikat pada Zeolit.....	18
Gambar 2.3. Tahapan penentuan efektifitas katalis	24
Gambar 2.4. Grafik perbandingan waktu reaksi berbanding konversi reaktan	25
Gambar 2.5. Tahapan Reaksi Katalisis Heterogen	27
Gambar 2.6. Adsorpsi Isotermis	28
Gambar 2.7. Permukaan Desorpsi	29
Gambar 2.8. Proses Sintesis Katalis melalui Metode Impregnasi	30
Gambar 2.9. Diagram Alir Sederhana Tahapan Metode Impregnasi	31
Gambar 2.10. Efek kavitasi pada irradiasi ultrasonik	34
Gambar 2.11. Mekanisme Transformasi Selama Proses Pemanasan Pada Support.....	35
Gambar 2.12. Skema Adsorpsi Logam pada Material Pendukung Ni/Silika....	36
Gambar 2.13. Gelombang Elektromagnetik.....	37
Gambar 2.14. Prinsip Spektroskopi FTIR.....	38
Gambar 2.15. Proses terbentuk BSE	40
Gambar 2.16. Prinsip Dasar EDX	41
Gambar 2.17. Mekanisme Adsorpsi.....	42
Gambar 3.1. Diagram Alir Proses Aktivasi Zeolit Alam	47
Gambar 3.2. Diagram Alir Proses Sintesis CaO-Zeolit Secara Stirrer.....	49

Gambar 3.3.	Diagram Alir Proses Sintesis CaO-Zeolit Secara Sonokimia....	50
Gambar 4.1.	Tahapan mekanisme reaksi sisi aktif ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) terrebutan pada zeolit.....	57
Gambar 4.2.	SEM Perbesaran 5 ribu kali (a) Zeolit Alam Lampung (b) CaO/Zeolit Sampel # 1 (c) CaO/Zeolit Sampel # 2 (d) CaO/Zeolit Sampel # 3	58
Gambar 4.3.	SEM Perbesaran 5 ribu kali (a) Zeolit Alam Lampung (b) CaO/Zeolit Sampel #4 (c) CaO/Zeolit Sampel # 5 (d) CaO/Zeolit Sampel #6	61
Gambar 4.4.	Grafik Komponen Ca Pada Zeolit Dengan Metode Stirrer dan Sonokimia.....	66
Gambar 4.5	Grafik Komponen Si dan Al Pada Zeolit Setelah Impregnasi Stirrer dan Sonokimia.....	69
Gambar 4.6.	Spektra FTIR sampel #1 hingga sampel # 6.....	70
Gambar 4.7.	Distribusi Ukuran Pori Sampel #1 Secara Stirrer <i>Adsorption</i>	74
Gambar 4.8.	Distribusi Ukuran Pori Sampel # 2 Secara Stirrer <i>Adsorption</i>	74
Gambar 4.9.	Distribusi Ukuran Pori Sampel #3 Secara Stirrer <i>Adsorption</i>	75
Gambar 4.10.	Distribusi Ukuran Pori Sampel #4 Secara Sonokimia <i>Adsorption</i>	76
Gambar 4.11.	Distribusi Ukuran Pori Sampel #5 Secara Sonokimia <i>Adsorption</i>	76
Gambar 4.12.	Distribusi Ukuran Pori Sampel #6 Secara Sonokimia <i>Adsorption</i>	77
Gambar 4.13.	Skema Sintesis Material Mesopori dari Zeolit Konvensional...	78
Gambar 4.14.	Grafik Isoterm Adsorpsi – Desorpsi N_2 pada Sampel # 1 – Sampel #6	79

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A. Skema Peralatan Sonokimia dan Stirrer	90
Lampiran B. Gambar Dokumentasi Penelitian	91
Lampiran C. Penggunaan Daya Sonokimia dan Magnetic Stirrer.....	100
Lampiran D. Data Hasil Analisa	102

DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

SEM	<i>Scanning Electron Microscopy</i>
EDX	<i>Energy Dispersive X-Ray</i>
BET	<i>Brunaur Emmet Teller</i>
FTIR	<i>Fourier Transform Infrared</i>

DAFTAR SIMBOL

dV/dt	<i>Reaksi perubahan volume per satuan waktu (gr/menit)</i>
k	<i>Konstanta Laju penambahan volume tar</i>
V	<i>Volume tar setiap saat</i>
V_0	<i>Volume tar pada saat awal waktu</i>
V_{\sim}	<i>Volume tar pada saat akhir proses</i>
K	<i>Laju konstanta (menit⁻¹)</i>
E_a	<i>Energi Aktivasi (kJ/mol)</i>
R	<i>Konstanta gas (8,314 J/K.mol)</i>
T	<i>Temperatur (K)</i>
A	<i>Faktor Pre Eksponensial (menit⁻¹)</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Selama masih ada proses kimia, maka peranan katalis masih dibutuhkan. Katalis merupakan komponen yang digunakan pada proses reaksi guna mengurangi durasi dari laju reaksi kimia melalui pengurangan kebutuhan energi aktivasi reaksi tersebut. Katalis secara teori tidak bereaksi. Reaksi yang dibantu dengan katalis disebut dengan reaksi katalisis. Pada reaksi katalitik, katalis ikut dalam proses reaksi namun pada saat akhir proses akan terpisah kembali dengan produk.

Sintesis katalis sendiri terdapat berbagai metode dan klasifikasinya. Berdasar tipenya, katalis terbagi atas dua tipe yaitu katalis pengemban dan katalis tanpa pengemban. Untuk katalis pengemban adalah dengan cara mendispersikan katalis dengan beberapa metode yaitu metode impregnasi, metode pertukaran ion dan metode kopresipitasi.

Shi, dkk. 2020 melakukan penelitian ultrasonik yang dibantu proses presipitasi untuk preparasi katalis Ni/Al₂O₃ dimana dalam penelitiannya didapat ukuran partikel berkurang dan luas permukaan spesifik meningkat sehingga aktivitas meningkat. Hal ini menandakan ultrasonik adalah cara terbaru untuk meningkatkan performa dari katalis.

Metode sonokimia merupakan salah satu metode dalam sintesis katalis dengan prinsip teknologi ultrasonik. Katalis yang dibuat dengan proses sonokimia dapat menunjang proses ultrasonolisis (Khataee et al, 2015 a). Proses ultrasonolisis ini dapat membantu dalam proses pengolahan air limbah, dimana keunggulannya adalah lebih efisiensi, peralatan yang sederhana dan kondisi operasi yang relative stabil. Untuk mengurangi penggunaan reagen kimia dan energi digunakan teknologi *ultrasonic* untuk sintesis katalis (Lee and Jo., 2017).

Teng, dkk. 2020 menjelaskan bahwa preparasi dan karakteristik karbon berpori dari kulit bawang putih. Dengan gelombang ultrasonik dapat secara efektif mengelupas pada permukaan produk yang terkarbonisasi sehingga aktivator

memiliki proses transfer massa yang lebih baik dan membuat situs aktif lebih baik.

Impregnasi ultrasonik memiliki keunggulan dalam meningkatkan area permukaan dan volume pori, hal ini dibuktikan dari penelitian zhang dalam preparasi karbon aktif. Vibrasi ultrasonik menjadikan permukaan katalis menjadi luas dan pori dari karbon aktif menjadi berkembang serta meningkatkan *mesopore volume* (V_{mes}) pada pori karbon aktif (Zhang, Z dkk., 2019).

Zhang, W, dkk. 2021 melakukan penelitian mengenai aktivitas katalitik dalam reaksi NH_3 -SCR dengan promotor $\text{CuCe/TiO}_2\text{-Zr-O}_2$ dengan membandingkan impregnasi biasa dan impregnasi ultrasonik. Didapat dengan impregnasi ultrasonik meningkatkan interaksi sinergis antara Cu dan Ce, kavitasi ultrasonik mempengaruhi kemampuan *disperse* pada katalis, serta ultrasonik memberikan ratio lebih tinggi Cu^{2+} dan Ce^{3+} untuk nilai redoks.

Hadju, dkk. 2021 melakukan sintesis maghemite dengan metode pembakaran yang dikombinasikan dengan menggunakan metode sonokimia. Maghemite sendiri digunakan sebagai *carrier* untuk mensupport katalis Pt dan Pd setelah deposisi oleh Sonokimia. Katalis tersebut dapat dengan mudah dipisahkan setelah reaksi hidrogenasi 2,4 dinitro-toluen karena sifat magnetik mereka.

Zhang, N. dkk 2018 melakukan penelitian sintesis katalis $\text{MnO}_2/\text{CeO}_2$ dengan menggunakan metode impregnasi ultrasonik dibandingkan dengan metode impregnasi tradisional (pengadukan). Disimpulkan bahwa impregnasi ultrasonik adalah metode yang terbaik untuk metode sintesis, dikarenakan waktu yang singkat, luas permukaan spesifik katalis menjadi 3 kali lipat, dan aktivitas katalitik katalis semakin besar.

Manera, dkk. 2020 juga melakukan penelitian dari Ni/ Mayenite untuk *reforming catalytic* dari biomassa. Ultrasonik memberikan dispersi yang efektif dari prekursor dalam waktu 10 menit dan menghasilkan konversi yang tinggi pada mayonite setelah kalsinasi 1200°C . Hal serupa juga terjadi pada impregnasi Ni, meningkatkan dispersi metal pada support dan memperkuat interaksi Ni. Menandakan penggunaan *ultrasonic* sangat baik dalam preparasi dan sintesis katalis.

Han, H. dkk 2019 telah melakukan penelitian tentang perbandingan katalis Pd yang disintesa secara sonokimia dan impregnasi basah dimana katalis Pd dicampurkan dengan *anatase* (Ana) dan *rutile* (Rut) untuk sintesa Hidrogen Peroksida. Dari hasil penelitian membuktikan bahwa dengan metode sonokimia menghasilkan konversi H₂ yang lebih tinggi dibanding dengan impregnasi biasa, karena disperse logam Pd pada Pd/Rut meningkat 6 kali lebih tinggi. Hal ini juga berdampak pada produksi H₂O₂ menjadi paling tinggi.

Yosefi dkk, 2015 menemukan bahwa secara karakterisasi fisikokimia, nanokatalis yang disintesa dengan menggunakan impregnasi ultrasonik memiliki beberapa keunggulan yaitu morfologi katalis homogen, ukuran partikel kecil dan merata serta ikatan senyawanya kuat dibanding dengan impregnasi biasa. Penambahan CeO₂ sebagai promotor pada *clinoptilolite* dengan perlakuan asam dapat meningkatkan aktivitas katalis. Efek dari sonikasi sendiri, menjadikan morfologi katalis bebas aglomerasi dan luas permukaannya tinggi.

Dastkhon, dkk. 2020 melakukan penelitian bagaimana kemampuan sonokimia dalam mempreparasi kombinasi ZnS: Ni nanopartikel yang diimbangkan pada karbon aktif untuk mereduksi limbah cair organik. Diharapkan bahwa metode adsorpsi terbaik dilakukan oleh sonokimia dibanding dengan *magnetic stirrer*. Dimana waktu yang digunakan lebih rendah dan kapasitas adsorpsinya lebih tinggi.

Katalis yang di preparasi dengan metode sonokimia memiliki luas permukaan spesifik yang tinggi, kristalinitas lebih tinggi, suhu reduksi rendah, partikel dalam ukuran nano, distribusi merata (seragam) dan konsentrasi Mo⁴⁺ lebih tinggi pada deoksigenasi. Berdasarkan data fisikokimia ini, dapat disimpulkan bahwa aktivitas katalis yang dibuat secara sonokimia lebih tinggi dari impregnasi biasa (Ameen dkk, 2018).

Penggunaan katalis dalam proses kimia telah banyak digunakan salah satunya proses pembuatan biodiesel, dibantu dengan katalis heterogen. Adapun katalis heterogen yaitu CaO. Keunggulan dari katalis heterogen yaitu dapat digunakan lagi, karena katalis dapat dipisahkan dari campuran reaksi. Katalis CaO sendiri bisa terbuat dari CaCO₃. CaO merupakan katalis basa heterogen dan memiliki kemampuan kuat dalam adsorpsi. Pembuatan katalis dari CaCO₃ dengan bahan

baku kulit telur (cangkang telur). Tahapan yang dilakukan adalah dengan dibersihkan dahulu dan dihaluskan serta dikeringkan pada kalsinasi 100°C selama 2 jam. Katalis ini memiliki luas permukaan $62,04 \text{ m}^2/\text{gr}$, total volume pori $0,1596 \text{ cc/g}$, dan radius pori rata rata $51,44 \text{ \AA}$, katalis ini dapat membantu proses biodiesel dengan rendeman diatas 90% (Santoso dkk, 2013).

Menurut penelitian Lani dkk, (2016) menjelaskan bahwa kalsium oksida yang ditambahkan silika lebih efektif untuk produksi biodiesel dibandingkan dengan CaO murni. Katalis yang disintesis dapat didaur ulang secara efisien dan berulang kali hingga 6 kali. Kalsium Oksida merupakan katalis hibrida yang disintesis dengan metode impregnasi basah. Dimana bahan baku awal adalah $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang bersifat basa homogen yang disintesis menjadi katalis hibrida heterogen dan dikarakteristik dengan transformasi fourier, spektroskopi inframerah, difraksi sinar X, luas permukaan, dan distribusi ukuran pori.

Hui Kuan, dkk (2013) menjelaskan bahwa pada proses *microwave pyrolysis* dengan ampas tebu. Penambahan NiO atau CaO dapat membantu pembentukan syngas dengan lebih efektif, namun penambahan CuO dan MgO menurunkan produksi syngas karena CH_4 dan CO_2 yang terbentuk lebih sedikit.

CaO dapat diperoleh dari $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Dimana berat molekul dari $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ adalah $172,17 \text{ gram/mol}$, donor ikatan hydrogen sebanyak 2, aseptor ikatan hydrogen sebanyak 6, area permukaan polar sebesar $90,6 \text{ \AA}^2$, masa monoisotop sebesar 171,935, dan berat atom sebesar 8. (*National Library of Medicine*).

Sintesis katalis CaO yang diembankan pada bahan berpori sangat menguntungkan dari segi biaya dan proses yang relatif mudah sehingga sangat perlu untuk dikembangkan lebih lanjut. Dari literatur jurnal penelitian yang ada, peneliti akan melakukan kebaruan (*novelty*) penelitian dengan mensintesa katalis CaO/Zeolit dengan perlakuan asam secara metode impregnasi biasa dan metode impregnasi sonokimia, juga akan dilakukan perbandingan hasil dari kedua metode ini. Dimana CaO yang teremban pada zeolit merupakan katalis heterogen, sehingga bisa digunakan lebih dari satu kali.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun permasalahan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempreparasi dan mensintesis katalis CaO-Zeolit serta karakterisasi dengan menggunakan metode analisa SEM-EDX, FTIR dan BET sehingga dapat dibandingkan keaktifan katalis dari sonokimia dan stirrer.
2. Menjadikan katalis memiliki volume pori permukaan besar sehingga distribusi dispersi katalis merata dinilai dari nilai BET.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis dan mempelajari proses preparasi CaO-Zeolit, mengetahui serta membuktikan keaktifan dari CaO-Zeolit dengan menggunakan metode karakterisasi SEM-EDX, FTIR dan BET.
2. Menganalisis dan mengkaji pengaruh penambahan rasio sisi aktif (Ca) teremban pada peyangga (zeolit) dengan metode stirrer dan sonokimia, membuktikan secara eksperimental keaktifan sisi aktif pada katalis secara morfologi, luas permukaan spesifik, ukuran distribusi pori serta ikatan gugus fungsinya.

1.4. Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian berskala laboratorium dan dilaksanakan di Lab. Riset Terpadu Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya.
2. Bahan baku utama penelitian yang digunakan $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Zeolit Alam Lampung, Aquadest, Etanol, HCl, AgNO_3 .
3. Variabel tetap meliputi berat zeolit alam sebesar 100 gram, zeolit alam halus sebesar 40 gram, larutan HCl 1 M sebesar 200 ml, Aquades sebesar 200 ml, temperatur oven 120°C , temperatur kalsinasi di furnace 300°C .

4. Variabel Bebas meliputi rasio berat $\text{CaSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ -Zeolit Sintesis sebanyak 3:1, 1:1, 1:3 sebesar 7,5 gram : 2,5 gram , 5 gram : 5 gram dan 2,5 gram : 7,5 gram.
5. Variabel terikat pada penelitian ini adalah persentase CaO.Zeolit terbentuk dari preparasi dan sintesa zeolite alam, luas permukaan (m^2/gr), volume total pori (cm^3/gr), jari – jari pori rata (Å), panjang gelombang, morfologi dari pada permukaan katalis tersebut.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dapat diambil dari penelitian ini:

1. Memberikan informasi pengetahuan mengenai sintesis dan karakterisasi CaO-Zeolit dengan preparasi menggunakan metode impregnasi stirrer dan metode impregnasi sonokimia.
2. Dapat diaplikasikan terhadap perolehan syngas yang optimal pada proses pirolisis dengan penggunaan komposit CaO-Zeolit sebagai katalis.
3. Mendapatkan informasi dan acuan untuk menyempurnakan atau mengembangkan penelitian serupa mengenai komposit dari golongan IIA yang lain dengan penyempurnaan dari metode yang telah ada.

DAFTAR PUSTAKA

- Alonso, D.M., Mariscal, R., Granados, M.L., and Maireles-Torres. P., 2009. Biodiesel preparation using Li/CaO catalysts: activation process and homogeneous contribution, *Catalysis Today* 143: 167–171.
- Ameen, M., Azizan, M.T., Ramli, A., Yusup, S., and Alnarabiji, M.S., 2018. Catalytic Hydrodeoxygenation of Rubber Seed Oil over Sonochemically Synthesized Ni-Mo/ γ -Al₂O₃ Catalyst for Green Diesel Production. *S13.50-4177(18)31019-8*.
- Ariyanti, R., 2012. Pengaruh Garam Prekursor Terhadap Aktivitas Katalis CuO/ γ -Al₂O₃ yang Digunakan Dalam Reaksi Hidrogenasi Minyak Jarak. Skripsi Universitas Indonesia.
- Atikah, W.S., 2015. Potensi Zeolit Alam Gunung Kidul Teraktivasi Sebagai Media Adsorben.
- Ates, A., 2019. The modification of Aluminium Content of Natural Zeolites With Different Composition. *Powder Technology*, 344 : 199-207.
- Augustine, R.L. 1996. *Heterogeneous Catalysis For The Synthetic Chemist*. New York: Marcel Dekker Inc.
- Charissa, D.S., Sri, R.E., dan Fatimah. 2020. Kinerja Aktivasi dan Impregnasi Zeolit Alam sebagai Adsorben. Vol (9) : 2.
- Dastkhooon, M., Ghaedi, M., Asfaram, A., and Alipahnaipour, E., 2020. Comparative Study of Ability of Sonochemistry Combined ZnS/N Nanoparticles – Loaded Activated Carbon in reductive of Organic Pollutants from Enviromental Water Samples. *Polyhedron Journal*, 180 : 114341.
- Falah, A.S. A., 2018. *Modifikasi Katalis Zeolit Menggunakan Ultrasonik dengan Variasi Konsentrasi Kalium Hidroksida dan Aplikasinya untuk Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jarak (Rucinus Communis)*. Skripsi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Fiolida, S. A. I., 2016. *Preparasi dan Karakterisasi Komposit CuO-Zeolit Alam untuk Fotodegradasi Zat warna Rhodamin B dengan Sinar Ultraviolet*. Skripsi, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Fridawati, M. 2008. *Analisa Struktur Kristal dari Lapisan Tipis Dengan Metode Difraksi Sinar-X*. Yogyakarta, Universitas Sanata Dharma.

- Ginting, B. A., Anggraini, D., Indaryati, S., dan Kriswarini, R., 2007. Karakteristisasi Komposisi Kimia, Luas Permukaan Pori dan Sifat Termal dari Zeolit Bayah Tasikmalaya dan Lampung. *Jurnal*. Vol 3(1) : 1- 48.
- Handayani, A., Wuryanto., dan Prambudi, B., 1996. *Aplikasi SEM-EDX Untuk Karakterisasi Bahan Superkonduktor (Bi, Pb)-Sr-Ca-Cu-O*. BATAN: Jakarta.
- Hadju., 2021. Combustion Method Combined With Sonochemical Step for Synthesis Of Maghemite – Supported Catalysts for The Hydrogenation of 2,4 Dinitrotoluene. *Catalyst Communication Journal*, 159: 106342.
- Halimatussa'diah, S. 2018. *Pembuatan dan Karakterisasi Katalis K-Silika Berbasis Daun Bambu Untuk Reaksi Transesterifikasi*. Skripsi, Universitas Sumatera Utara Negeri.
- Han, G.H., Lee, G.P., Lee, K.Y., 2019. Crystal Refinement of Rutile by Sonochemical Method to Achieve High Performance Pd Catalys for Direct Synthesis of Hydrogen Peroxide. *Catalysis Today Journal*.
- Haryati, S., Bustan, M.D., Asnani, J., 2009. Studi Efek Kinetika Katalis Platina, Paladium, Kobalt, dan Nikel terhadap Produksi Syngas Di Steam Reformer Pt. Pusri II Palembang. *2ndAvoer Seminar*.
- Hindryawati, N., Maniam. G.P., Karim. M.R., and Chong, K., 2014. Transesterification of Used Cooking Oil Over Alkali Metal (Li, Na, K) Supported Rice Husk Silica as Potential Solid Base Catalyst. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 17(2): 95- 103.
- Hui, K.W., Fong, H.Y., Cheng, C.C., and Lien ,L.S., 2013. Catalytic pyrolysis of sugarcane bagasse by using microwave heating. *Bioresource Technology Journal*. Vol, 146: 324-329.
- Irvantino, B. (2013). *Preparasi Katalis Ni/Zeolit Alam Dengan Metode Sonokimia Untuk Perengkahan Katalitik Polipropilen dan Polietilen*. Skripsi.
- I.B. Wen, Y. Wang, D.L. Lu, S.Y. Hu, H.Y. and Han. 2010., Preparation of KF/CaO nanocatalyst and its application in biodiesel production from Chinese tallow seed oil. *Fuel* 89 : 2267–2271.
- Junaedi, M., Bakri, R., dan Santoso, A., 2017. Sintesis dan Karakterisasi TiO₂ *Nanosheet* dari Limbah Tetra Butoksi Titanat (TBT) untuk Degradasi Senyawa 1,4-Dioksan. *Jurnal ITEKIMA*. 1 (1) : 25-35.
- Jung, S., Lee, S., Park, Y.K., Lee, K.H., Kwon, E.E. 2020. CO₂-Mediated catalytic pyrolysis of rice straw for syngas production and power generation.

Energy Conversion and Management. 220: 113057.

- Jocheim, Jorgen., 1998. The Dependence of The Conversion Performance of Different Type of diesel Catalysts as a Funcional of Operation Properties. Jerman, Vom Fechberlich Chemie der Niversitat Hannover.
- Jodlowski, P.J., Jedrzejczyk, R.J., Chlebda, D.K., Dziedzicka, A., Kuteransinski, L., Gancarczyk, A., Sitarz, M., 2017. Non-Noble Metal Oxide Catalysts for Methane Catalytic Combustion: Sonochemical Synthesis and Characterisation. *Nanomaterials Articles*. 7:174.
- Kalista. N. N., Kartasasmita. E. R., Wibowo. S. M., dan Estiaty. M. L., 2017. Karakterisasi dan Pemurnian Zeolit Alam Lampung sebagai Kandidat Antidotum Keracunan Timbal. *Jurnal*. Vol. 42. No. 2. Hal . 84-91.
- Kuteransinski, L., Filek, U., Gackowski, M., Ziwomska, M., Ruggiero, and M., Jodlowski, P.J., 2021. Sonochemically Prepared Hierarchical MFI- Type Zeolites as Active Catalysts for Catalytic Ethanol Dehydration. *Ultrasonics Sonochemistry Journal*, 74: 105581.
- Lani, S.N., Ngadi, N., Yahya, Y. N., dan Rahman, A.R., 2016. Synthesis, characterization and performance of silica impregnated calcium oxide as heterogeneous catalyst in biodiesel production. *Journal of Cleaner Production*. : 1-9.
- Las, T., F. Firdiyono, dan A. Hendrawan., 2011. Adsorpsi Unsur Pengotor Larutan Natrium Silikat Menggunakan Zeolit Alam Karangnunggal. *Valensi* 2(2): 368-378.
- Lee, D., Park, Y., Lee, K., 2009. Heterogenous base catalysts for transesterification in biodiesel synthesis. *Catalysis Surveys from Asia*, 13(2), 63 – 77.
- Lee, J. Y., Jo, W.K., 2016. Application of Ultrasound- Aided Method for The Synthesis of CdS-incorporated Three- Dimensional TiO₂ photocatalysts with Enhanced Performance. *Ultrasonics Sonochemistry Journal*.
- Lestari, D.Y. 2010. Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolit Alam dari Berbagai Negara. *Prosiding Seminar Nasional*. Yogyakarta : UNY.
- Li-Bing Chu, Xin-Hui Xing, An-Feng Yu, Yu-Nan Zhou, and Xu-Lin Sun., (2007). Enhanced ozonation of simulated dyestuff wastewater by microbubbles. *Chemosphere*; 68; 1854-1860.
- Li, Z., Wang, L., Hays, T. S., and Cai, Y., 2008. Dynein-mediated apical localization of crumbs transcripts is required for Crumbs activity in epithelial polarity. *Journal of Cell Biology*, 180(1), 31–38.

- Lubis, L.A., Sari, Ratna., dan Putra, A., 2019. Sintesis dan Karakterisasi katalis Co-Mn/TiO₂ dengan metode impregnasi. *Jurnal*. Vol 7(1).
- Manera, C., Perondi, D., Barbieri, R. A., and Barcellos, T., 2020. *Ultrasonication – Promoted Synthesis of Ni/Mayenite For Catalytic Reforming Of Biomass Tar*. *Ultrasonics Sonochemistry Journal*. 67: 105165.
- Marsidi, R., 2001. Zeolit Untuk Mengurangi Kسادahan Air. *Jurnal Teknologi Lingkungan* 2(1): 1-10.
- Miftahuddin. 2011. Potensi Aspergillus dan Penicillium Asal Serasah Dipterocarp sebagai Endosimbion Akar Pelarut Fosfat. *Tesis*. IPB. Bogor.
- Mittelbach, M., Renschmidh, C., 2004. *Biodiesel :The comprehensive Handbook*. Graz, Austria. Second Edition.
- Moliner, M. Leshkov. Y. dan Davis M.E. 2010. Tin-Containing Zeolites Are Highly Active Catalysts For The Isomerization of Glucose in Water. *PNAS Early Edition* : 1-5.
- Moshoeshoe, Mohau, Misael Silas Nadiye-Tabbiruka, and Veronica Obuseng. 2017. "A Review of the Chemistry, Structure, Properties and Applications of Zeolites." *American Journal of Materials Science* 2017 (5): 196–221. <https://doi.org/10.5923/j.materials.20170705.12>.
- Munnik, P., Petra, E., Krijn, P., 2015. Recent Developments in The Synthesis of Supported Catalyst, *American Chemical Society*. 155: 6687-6718.
- Nandiyanto, A.B.D., Oktiani, R., and Ragadhita, R., 2019. How to Read and Interpret FTIR Spectroscopy of Organic Material. *Indonesian Journal of Science & Technology*, 4(1) : 97 – 118.
- Naseem, F., Zhi, Y., Akhyar, M., Hussain, F., and Yin, Z, 2020. Mesoporous ZnAl₂Si₁₀O₂₄ Nanofertilizers Enable High Yield of Oryza Sativa L. *Scientific Reports*, 10 : 10841.
- Norvia, S., Suhartana dan Pardoyo., 2016. Dealuminasi Zeolit Alam Menggunakan Asam (HCl dan H₂SO₄) Untuk Katalis Pada Proses Sintesis Biodiesel. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 19 (2) : 72- 76.
- Oufakir, A., Khouchaf, L., Elaattmani, M., Zegzouti, A., Louarn, G., and Ben. F., 2018. Study of Structural Short Order and Surface Changes of SiO₂ Compounds. *MATEC Web of Conferences*. 149.

- Perkas. N., Gunawan. P., Amirian. G., Wang. Z., Zhong. Z., and Gedanken. A., 2014. The sonochemical approach improves the CuO–ZnO/TiO₂ catalyst for WGS reaction. 16: 7521-75320.
- Permana, E., 2020. Preparasi dan Karakterisasi Katalis Cu/ZnO Dengan Support Karbon Aktif menggunakan Aktivator H₃PO₄ dan ZnCl₂. *Jurnal Teknologi*, Vol. 13: 1.
- Prihatama., Y., 2009. *Preparasi Zeolit Alam Lampung dengan Metode Dealuminasi dan Kalsinasi untuk Adsorpsi Gas CO*. Skripsi, Universitas Indonesia.
- Purbaningtias, T.E., Kurniawati, P., Wiyantoko, B., Prasetyoko, D., dan Suprpto. 2017. Pengaruh Waktu Aging pada Modifikasi Pori Zeolit Alam dengan Cetyltrimethylammonium Bromide (CTABr). Vol (6) : 2.
- Raidah, Ariyanti. 2012. *Pengaruh Garam Prekursor Terhadap Aktivitas Katalis CuO, Al₂O₃ Yang Digunakan Dalam Reaksi Hidrogenasi Minyak Jarak*. Skripsi, Program Studi Teknik Kimia Universitas Indonesia. Jakarta.
- Regalbuto, Jhon. 2007. *Catalyst Preparation Science and Engineering*. 1st Ed. New York: CRC Press.
- Sadeghi. S, Haghghi. M, and Estifae. P., 2015. Methanol to clean gasoline over nanostructured CuO/ZnO/HZSM-5 catalyst: Influence of conventional and ultrasound assisted co-impregnation synthesis on catalytic properties and performance. 24: 302-310.
- Sharma, A., Lee, B.K., 2017. Novel Nanocomposite of Ca(OH)₂ Incorporated Zeolite as An Additive to Reduce Atmospheric Emissions of PM and VOCs during Asphalt Production. *Environmental Science Nano Journal*.
- Shi, L., Zhang, Z., Wang, R., Zhou, C., Sun, C., 2020. Study on Ultrasound – Assisted Precipitation for Preparing Ni/Al₂O₃ Catalyst. *Ultrasonics Sonochemistry Journal*, 67 : 105107.
- Siregar, H. 2018. *Pembuatan dan Karakterisasi Katalis K-Silika Berbasis Daun Bambu untuk Reaksi Transesterifikasi* . Skripsi, Universitas Sumatera Utara.
- Suslick Kenneth S. 1994. *The Chemistry of Ultrasound*.. Encyclopedia Britannica: Chicago, pp 138-155.
- Suriawan, M. C. Vahindra, dan T. G. T. Dan Nindhia., 2010. Studi Hubungan Struktur Mikro dan Keaktifan Zeolit Alam Akibat Proses Pengasaman. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra* 4(2): 129-131.

- Susmanto, dkk, 2020. Karakterisasi Katalis Cr/SiO₂/Al₂O₃ Dari Sekam Padi Menggunakan Metode Impregnasi. *Jurnal Analisis Kimia*. 3(1): 33-39.
- Syuhada, A., Ameen, M., Azizan, M.T, Aqsha, A., Hizami, M., Yusoff, M., Ramli, A., Alnarabiji, M. S., Sher, F., 2021. In-Situ Hydrogenolysis of Glycerol Using Hydrogen Produced Via Aqueous Phase Reforming of Glycerol Over Sonochemically Synthesized Nickel-Based Nano-Catalyst. *Molecular Catalysis Journal*. 111860.
- Teng, Z., Han, K., Li, J., Gao, Y., Li, M., Ji, T., 2020. Ultrasonic-Assisted Preparation and Characterization of Hierarchical Porous Carbon Derived From Garlic Peel For High-Performance Supercapacitors. *Ultrasonics Sonochemistry Journal*. 60: 104756.
- Tsitsishivili., and Andronikashvili., 1992. *Natural Zeolites*. Ellis Horwood Limited, England.
- Triyono. 2002. *Kimia Katalis*. Yogyakarta : FMIPA UGM.
- Wu. H, Zhang. J, Wei. Q, Zheng. J, and Zhang. J., 2013. Transesterification of soybean oil to biodiesel using zeolite supported CaO as strong base catalysts. 109 : 13-18.
- X.J. Liu, H.Y. He, Y.J. Wang, S.L. Zhu, X.L. and Piao., 2008. Transesterification of soybean oil to biodiesel using CaO as a solid base catalyst. *Fuel Journal* 87: 216–221.
- Yao, J., Wang, C., Yang, Y., Hu, R., and Wang, X., 2013. The Construction of Carbonate Digital Rock With Hybrid Superposition Method. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 110 : 263-267.
- Yosefi, L., Haghghi, M., Allahyari, S., Shokrani, R., and Ashkriz, S., 2015. Abatement of Toluene from Polluted Air Over Mn/Clinoptilolite- CeO₂ nanopowder : Impregnation vs. Ultrasound assisted synthesis with various Mn-Loading. *Advanced Powder Technology*.
- Zabeti, M., Daud, W., Aroua, M.K., 2010. Biodiesel production using alumina-supported calcium oxide: an optimization study, *Fuel Processing Technology*. 91 : 243–248.
- Zhang, N., Zhang, G., Chong, S., Zhao, He., Huang, T., and Zhu, J., 2018. Ultrasonic impregnation of MnO₂/CeO₂ and its application in catalytic sono-degradation of methyl orange. Vol. 205 : 134 – 141.

Zhang, W., 2021. Enhancement of Catalytic Activity in NH₃- SCR Reaction by Promoting Dispersibility of CuCe / TiO₂- ZrO₂ with Ultrasonic Treatment. *Ultrasonics Chemistry Journal*. 72: 105466.

Zhang. Z., Liu. X., Li. D., Lei. Y., Gao. T., Wu. B., Zhao. J., Wang. Y., Zao. G., and Yao. H., 2019. Mechanism of ultrasonic impregnation on porosity of activated carbons in non-cavitation and cavitation regimes. Vol. 51 : 206-213.

