

**SINTESIS CuO/ZEOLIT DENGAN METODE HIDROTHERMAL
SEBAGAI KATALIS DALAM SINTESIS *ONE-POT SYSTEM*
VANILIN DARI EUGENOL**

SKRIPSI

**Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat sarjana S-1
Program Studi Kimia**



Oleh:

Haris Rahman Susatyo

21106030028

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA**

2026



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-216/Un.02/DST/PP.00.9/01/2026

Tugas Akhir dengan judul : Sintesis CuO/Zeolit dengan Metode Hidrotermal sebagai Katalis dalam Sintesis One-Pot System Vanilin dari Eugenol

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : HARIS RAHMAN SUSATYO
Nomor Induk Mahasiswa : 21106030028
Telah diujikan pada : Jumat, 09 Januari 2026
Nilai ujian Tugas Akhir : A-

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Valid ID: 6979859dc786f

Ketua Sidang

Priyagung Dhemi Widiakongko, M.Sc.
SIGNED



Valid ID: 6979bfa6afdd

Penguji I

Prof. Dr. Susy Yunita Prabawati, M.Si.
SIGNED



Valid ID: 6976f1345239d

Penguji II

Sudarlin, M.Si.
SIGNED



Valid ID: 69780bd2567ba

Yogyakarta, 09 Januari 2026
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED



SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi / Tugas Akhir
Lamp :

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Haris Rahman Susatyo
NIM : 21106030028
Judul Skripsi : Sintesis CuO/Zeorit dengan Metode Hidrotermal sebagai Katalis dalam Sintesis *One-Pot System* Vanilin dari Eugenol

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Kimia.

Dengan ini kami mengharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqasyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 2 Januari 2026
Pembimbing


Privagung Dhemf Widiakongko, M.Sc.
NIP: 199003330 201903 1 008

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Haris Rahman Susatyo
NIM : 21106030028
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **“Sintesis CuO/Zeolit dengan Metode Hidrotermal sebagai Katalis dalam Sintesis *One-Pot System* Vanilin dari Eugenol”** merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjana di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 2 Januari 2026



Haris Rahman Susatyo
NIM. 21106030028

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN MOTTO

"Maka apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain.)" (QS. Al-Insyirah: 7)

"Success is not final, failure is not fatal: it is the courage to continue that counts."

-Winston Churchill-



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

*Skripsi dan Penelitian ini Penulis dedikasikan untuk
Almamater Program Studi Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta*



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Alhamdulillahirobbilalamin, segala puji dan syukur ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat, taufiq dan hidayahnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Sintesis CuO/Zeolit dengan Metode Hidrotermal sebagai Katalis dalam Sintesis *One-Pot System* Vanilin dari Eugenol” sebagai persyaratan untuk memperoleh derajat Sarjana Kimia.

Proses penulisan dan penyusunan tugas akhir ini melibatkan bantuan serta dukungan dari berbagai belah pihak. Oleh karena itu pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih. Ucapan terima kasih tersebut secara khusus penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Noorhaidi Hasan, S.Ag., M.A., M.Phil., Ph.D selaku Rektor UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
2. Ibu Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Ibu Prof. Dr. Maya Rahmayanti, S.Si. M.Si. selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga.
4. Bapak Priyagung Dhemi Widiakongko, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan ilmu, bimbingan, nasihat, serta motivasi kepada penulis dalam penelitian maupun penulisan tugas akhir.
5. Bapak Didik Krisdiyanto, S.Si., M.Si selaku Dosen Penasehat Akademik dan seluruh dosen Program Studi Kimia yang telah memberikan inspirasi, ilmu dan teladan yang baik bagi mahasiswanya.
6. Bapak A. Wijayanto, S.Si dan seluruh PLP Laboratorium Kimia Terpadu UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah membantu penulis dalam melaksanakan penelitian.
7. Kedua orang tua Bapak Ir. Cahyo Yuwono M.Sc. dan Ibu Harsinto S.Pd. Terima kasih atas dukungan, kerja keras, dan pengorbanan baik fisik maupun material untuk penulis demi kelancaran dan keberhasilan penulis dalam segala hal.
8. Adik Naufal Said Mubarak serta segenap keluarga dan saudara yang senantiasa memberikan doa, motivasi, bimbingan, dan ilmu dalam membantu penulis baik secara finansial maupun psikis.

9. Shofyanuddin Abdur Rosyid, Riska Diani, Hesti Kurniawati, dan Alfina Qurrotu'aini selaku teman satu perjuangan di Laboratorium dan satu bimbingan.
10. Sahabat baik penulis yaitu Muhammad Rifqi Setiyawan, Fauzan Fadhil Hassan, dan Muhammad Nurfazhillah yang telah kebersamai penulis selama 4 sampai 5 tahun kuliah, segala memori, cerita, dan canda tawa yang menghiasi hari-hari penullis tak pernah terlupakan. Terima kasih penulis ucapkan kepada kalian karena telah membantu penulis secara fisik dan mental dalam proses penulisan tugas akhir ini.
11. Teman-teman Kimia Angkatan 2021 “Scandium 21” serta teman-teman KKN Dadi Raharja Bumkal Margodadi 2 yang telah sama-sama berjuang memberi ilmu, doa, dan motivasi kepada penulis.
12. Seluruh pihak yang tidak bisa penulis tuliskan satu per satu atas bantuannya dalam penyelesaian tugas akhir.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Maka dari itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun. Penulis juga berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan secara umum dan kimia secara khusus.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, 26 Januari 2026



Haris Rahman Susatyo

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
HALAMAN MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Batasan Masalah	6
C. Rumusan Masalah	6
D. Tujuan Penelitian	7
E. Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	8
A. Tinjauan Pustaka	8
B. Landasan Teori	16
1. Vanilin	16
2. Eugenol	17
3. Isomerasi – Oksidasi	18
4. Katalis Heterogen	20
5. Zeolit	22
6. CTAB (Cetyltrimethylammonium Bromide)	25

7.	Metode Hidrotermal	26
8.	Logam Tembaga (Cu) dan Tembaga Oksida (CuO)	28
9.	Impregnasi Basah	29
10.	One-Pot Synthesis	30
11.	X-Ray Diffraction (XRD)	31
12.	Fourier Transform Infra Red Spectroscopy (FTIR)	32
13.	Gas Chromatography and Mass Spectrometry (GC-MS) .	33
C.	Kerangka Berpikir dan Hipotesis.....	34
BAB III METODE PENELITIAN		36
A.	Waktu & Tempat Penelitian	36
B.	Alat dan Bahan Penelitian.....	36
C.	Prosedur Kerja Penelitian	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		40
A.	Karakterisasi CuO/Zeolit.....	40
B.	Karakterisasi Sintesis One-pot Vanilin dari Eugenol.....	45
C.	Karakterisasi Hasil Sintesis.....	47
BAB V PENUTUP		61
A.	Kesimpulan	61
B.	Saran	62
DAFTAR PUSTAKA.....		63
LAMPIRAN		71
CURICULUM VITAE		82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Vanilin	17
Gambar 2. 2 Eugenol	18
Gambar 2. 3 Skema reaksi isomerisasi eugenol menjadi isoeugenol	19
Gambar 2. 4 Skema reaksi isomerisasi dan oksidasi eugenol menjadi vanillin.....	20
Gambar 2. 5 (a) TO ₄ tetrahedral (b) TO ₄ yang terhubung dengan Oksigen.....	23
Gambar 4. 1 Difraktogram XRD Zeolit	40
Gambar 4. 2 Difraktogram XRD CuO/Zeolit	42
Gambar 4. 3 Spektra FTIR CuO/Zeolit.....	43
Gambar 4. 4 Kromatogram Eugenol Oil.....	46
Gambar 4. 5 Spektra FTIR Hasil Sintesis One-pot System dan Eugenol.....	48
Gambar 4. 6 Kromatogram Hasil Sintesis	50
Gambar 4. 7 Spektra Massa Puncak 2	51
Gambar 4. 8 Usulan Fragmentasi Eugenol	52
Gambar 4. 9 Spektra Massa Puncak 1	52
Gambar 4. 10 Usulan Fragmentasi Chavicol	53
Gambar 4. 11 Spektra Massa Puncak 3	53
Gambar 4. 12 Usulan Fragmentasi 2 metoksi-4-(metoksimetil)fenol	54
Gambar 4. 13 Spektra Massa Puncak 4	54
Gambar 4. 14 Usulan Fragmentasi Vanilin.....	55
Gambar 4. 15 Spektra Massa Puncak 11	55
Gambar 4. 16 Spektra Massa Puncak 15	56
Gambar 4. 17 Usulan Fragmentasi Asam Homovanilat	57
Gambar 4. 18 Mekanisme Isomerisasi Eugenol menjadi Isoeugenol	58
Gambar 4. 19 Mekanisme Oksidasi Isoeugenol menjadi Vanilin.....	58
Gambar 4. 20 Pembentukan Chavicol.....	59
Gambar 4. 21 Pembentukan 2-metoksi-4(metoksimetil)fenol	59
Gambar 4. 22 Pembentukan Asam Homovanilat.....	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbedaan Karakteristik katalis Homogen dan Heterogen	22
Tabel 2. 2 Pola Spektra FTIR pada Zeolit	33
Tabel 4. 1 Puncak Senyawa GC-MS.....	50



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Sintesis Katalis CuO/Zeolit dan <i>One-pot System</i>	71
Lampiran 2. Data XRD Katalis CuO/Zeolit	74
Lampiran 3. Data FTIR Katalis CuO/Zeolit.....	76
Lampiran 4. Data FTIR Sintesis <i>One-pot System</i>	77
Lampiran 5. Data GC-MS Hasil Sintesis <i>One-pot System</i>	79
Lampiran 6. Dokumentasi Penelitian	81



ABSTRAK

SINTESIS CuO/ZEOLIT DENGAN METODE HIDROTHERMAL SEBAGAI KATALIS DALAM SINTESIS *ONE-POT SYSTEM* VANILIN DARI EUGENOL

Oleh:

Haris Rahman Susatyo

21106030028

Pembimbing:

Priyagung Dhemi Widiakongko, M.Sc.

Pertumbuhan populasi dan permintaan mendorong pembuatan Vanilin (4-hidroksi-3-metoksibenzaldehida) melalui rute sintesis kimia menggunakan bahan dasar Eugenol dari minyak cengkeh. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis katalis CuO/Zeorlit melalui metode hidrotermal dengan bantuan *template Cetyltrimethylammonium bromide* (CTAB) serta menguji aktivitas katalitiknnya dalam sintesis *one-pot system* vanilin dari eugenol. Penggunaan CTAB dimaksudkan sebagai *Structure Directing Agent* (SDA) untuk mengarahkan dan mempercepat pembentukan kerangka zeolit yang stabil. Sintesis katalis dilakukan secara hidrotermal pada suhu 180°C selama 5 jam, dilanjutkan dengan impregnasi logam Tembaga dan proses kalsinasi pada suhu 500°C. Karakterisasi katalis dilakukan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Hasil XRD menunjukkan terbentuknya fase kristalin zeolit Analsim yang tajam pada sudut $2\theta = 15,85^\circ$; $26,01^\circ$; dan $30,61^\circ$, serta munculnya puncak khas CuO pada $35,49^\circ$ dan $38,57^\circ$. Hasil FTIR mengonfirmasi adanya vibrasi ulur asimetris Si-O-Si dan Al-O-Al pada bilangan gelombang $1010,70\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan karakteristik kerangka zeolit. Katalis CuO/Zeorlit digunakan dalam sintesis *one-pot system* yang dilakukan pada suhu 60-65 °C selama 2-3 jam untuk membantu konversi Eugenol menjadi Vanilin dengan pelarut Methanol dan oksidator Hidrogen Peroksida. Hasil analisis *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) menunjukkan bahwa katalis CuO/Zeorlit berhasil mengonversi eugenol menjadi vanilin dengan kadar konversi sebesar 6,41% pada penggunaan 0,04 gram katalis.

Kata Kunci: CTAB, CuO/Zeorlit, Eugenol, Hidrotermal, *One-pot System*, Vanilin.

ABSTRACT

SYNTHESIS OF CuO/ZEOLITE USING HYDROTHERMAL METHOD AS A CATALYST IN THE ONE-POT SYSTEM SYNTHESIS OF VANILLIN FROM EUGENOL

Oleh:

Haris Rahman Susatyo

21106030028

Pembimbing:

Priyagung Dhemi Widiakongko, M.Sc.

Population growth and increasing demand have driven the production of Vanillin (4-hydroxy-3-methoxybenzaldehyde) through chemical synthesis routes using Eugenol from clove oil as a precursor. This study aims to synthesize a CuO/Zeolite catalyst via the hydrothermal method assisted by Cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) as a template, and to evaluate its catalytic activity in the one-pot synthesis of vanillin from eugenol. The use of CTAB is intended as a Structure Directing Agent (SDA) to direct and accelerate the formation of a stable zeolite framework. The catalyst was synthesized hydrothermally at 180°C for 5 hours, followed by copper metal impregnation and a calcination process at 500°C. Catalyst characterization was performed using X-Ray Diffraction (XRD) and Fourier Transform Infrared (FTIR). XRD results showed the formation of a sharp crystalline phase of Analcime zeolite at 2 θ angles of 15.85°, 26.01°, and 30.61°, along with the appearance of characteristic CuO peaks at 35.49° and 38.57°. FTIR results confirmed the presence of asymmetric stretching vibrations of Si-O-Si and Al-O-Al at a wavenumber of 1010.70 cm⁻¹, which are characteristic of the zeolite framework. The CuO/Zeolite catalyst was employed in a one-pot system conducted at 60-65°C for 2-3 hours to facilitate the conversion of Eugenol to Vanillin using Methanol as a solvent and Hydrogen Peroxide as an oxidant. Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) analysis demonstrated that the CuO/Zeolite catalyst successfully converted eugenol into vanillin with a conversion rate of 6.41% using 0.04 grams of catalyst.

Keyword: CTAB, CuO/Zeolite, Eugenol, Hydrothermal, One-pot System, Vanillin.

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Vanilin (4-hidroksi-3-metoksibenzaldehida) merupakan komponen utama dari produk vanilla yang tumbuh pada tanaman vanilla (*Vanilla planifolia Andrews*) (Hasanah & Wirman, 2018). Vanilin banyak diminati konsumen sebagai bahan penyedap rasa dan aroma yang populer dengan aplikasi yang luas di industri pangan, parfum atau kosmetik, farmasi, dan kimia (Nasrollahzadeh, Nezafat, & Shafiei, 2021).

Indonesia menjadi salah satu konsumen vanilla terbesar di dunia untuk memproduksi vanilin, tercatat bahwa Indonesia mengonsumsi 32% produksi vanilin yang ada di dunia. Meskipun demikian, dari data Food Agricultural Organization (FAO), konsumsi Indonesia akan vanilin semakin meningkat hingga melebihi kapasitas produksi yang ada, menyebabkan Indonesia melakukan impor vanilla dimana tercatat tahun 2018 impor vanilla meningkat sebesar 45% dibandingkan tahun 2017 (Bachtiar, Wahani, Juliastuti, & Hendrianie, 2020). Untuk mencegah kekurangan kebutuhan vanilin, salah satu cara untuk memperoleh vanilin adalah dengan memproduksi vanilin sintetis (Utomo & Setiati, 2019).

Vanilin dapat disintesis dari berbagai bahan baku antara lain lignin (Bachtiar, Wahani, Juliastuti, & Hendrianie, 2020), asam ferulat, guaiakol, katekol, safrol, dan eugenol (Nirwana, Sarosa, & Hapsari, 2023). Sintesis vanilin dari lignin atau asam ferulat yang berasal dari limbah industri pulp telah dibatasi di negara-negara maju. Hal tersebut

dikarenakan dalam sintesisnya tidak menerapkan prinsip *green chemistry* yang menyisakan produk samping yang kaustik dan berbahaya bagi lingkungan (Putri & Hapsari, 2020). Maka alternatif senyawa precursor vanilin yang bisa digunakan adalah eugenol yang berasal dari minyak cengkeh. Eugenol tidak hanya melimpah dan mudah diperoleh, tetapi juga memiliki struktur kimia yang mirip dengan vanilin (Utomo & Setiati, 2019).

Eugenol (2-metoksi-4-prop-2-enilfenol) merupakan komponen utama yang terkandung dalam minyak cengkeh (*Syzygium aromaticum*) dengan kandungan sekitar 70 - 96%. Senyawa eugenol mengandung beberapa gugus fungsional, yaitu alil ($-\text{CH}_2\text{-CH=CH}_2$), fenol (OH) dan metoksi ($-\text{OCH}_3$), membuat senyawa eugenol bisa menjadi bahan dasar sintesis berbagai senyawa lain yang bernilai lebih tinggi salah satunya yaitu vanilin (Towaha, 2012). Selain eugenol senyawa lain seperti isoeugenol dapat digunakan untuk sintesis vanilin karena ekonomis dan mudah didapat secara komersial (Mishra, Sachan, & Sachan, 2013).

Eugenol dapat dikonversi menjadi vanilin melalui dua tahapan reaksi dimulai dari isomerisasi menjadi isoeugenol kemudian reaksi oksidasi isoeugenol menjadi vanilin (Franco, De, Balu, Garcia, & Luque, 2017). Dua tahap reaksi tersebut pernah dilakukan oleh (Utomo & Setiati, 2019) dalam mensintesis katalis transfer fasa C-2,8,14,20-tetradodesil-kaliks[4]-arena-4,6,10,12,16,18,22,24-oktol untuk sintesis vanilin dari eugenol dengan oksidator KMnO_4 . Isomerisasi eugenol menjadi isoeugenol mengalami reaksi penataan ulang melalui pembentukan radikal bebas bila direaksikan dengan basa kuat seperti NaOH atau KOH. Diperoleh rendemen isoeugenol sebesar 62,32%. Tahap oksidasi, katalis C-2,8,14,20-tetradodesil-kaliks[4]-arena-

4,6,10,12,16,18,22,24-oktol yang telah disintesis berguna sebagai penghubung oksidator KMnO_4 dan isoeugenol menghasilkan rendemen vanilin sebesar 12,15%. Dari penelitian ini mengungkapkan bahwa penggunaan katalis heterogen sintesis dapat digunakan dalam sintesis vanilin dari eugenol.

Adanya dua tahapan reaksi terpisah membutuhkan katalis yang berbeda dalam melakukan sintesis di setiap tahapnya, sehingga perlu adanya metode yang dapat mempersingkat waktu dan reaksi sintesis. Salah satu metode yang bisa digunakan adalah metode *one-pot system* atau *one-pot synthesis* yang dapat mengerjakan berbagai tahapan reaksi di dalam satu wadah (*one-pot*) secara simultan, sehingga tidak memerlukan wadah lain untuk melakukan tahap reaksi berikutnya (Hayashi, 2016). Selain itu dapat meningkatkan efisiensi waktu, ramah lingkungan karena wadah *one-pot* bisa digunakan kembali dan meningkatkan rendemen produk sintesis (Wang & Wu, 2020). Terdapat penelitian yang telah dilakukan pada reaksi sintesis *one-pot system* eugenol menjadi vanilin dimana menggunakan katalis heterogen logam transisi $\text{Co}(\text{OAc})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dengan O_2 sebagai oksidator. Hasil terbaik dari penelitian adalah dengan rendemen sebesar 68,5% vanilin dan asam vanilat 15,2% pada suhu 80°C selama 20 jam. Temuan ini menunjukkan bahwa katalis heterogen bisa digunakan untuk mensintesis eugenol menjadi vanilin dengan sintesis *one-pot system* (Mao, et al., 2016).

Katalis heterogen adalah katalis yang fase fisiknya berbeda dengan fase fisik reaktan atau produk dalam reaksi kimia. Katalis heterogen dipilih karena memiliki kelebihan yaitu kemudahan pemisahan dan dapat digunakan kembali. Namun aktivitas katalitik dari katalis heterogen hanya terjadi di permukaan, berbeda dengan katalis

homogen dimana seluruh atomnya merupakan pusat aktif. Maka dari itu diperlukan suatu cara untuk meningkatkan kinerja katalis heterogen lebih baik dari sebelumnya (Suharto, 2022).

Katalis heterogen dapat ditingkatkan kinerja katalisnya dengan mengembangkan katalis logam ke dalam material berpori yang mempunyai situs aktif. Logam yang sesuai merupakan logam transisi yang dapat berikatan dengan unsur atau senyawa lain secara berkoordinasi karena memiliki orbital d yang kosong untuk memulai reaksi. Selain itu logam transisi bila dioksidasi memiliki stabilitas dan penggunaan kembali yang tinggi, dan lebih murah dibandingkan logam mulia (Trisunaryanti, 2015). Salah satu logam yang dapat digunakan sebagai katalis adalah Cu. Logam Cu dapat dikalsinasi untuk membentuk logam transisi oksida (CuO) yang memiliki peran sebagai sisi aktif pada reaksi katalitik oksidasi. Aktivitas katalitik CuO dapat ditingkatkan dengan mengemban logam oksida tersebut ke material pengemban berpori. Fungsi pengemban sebagai tempat menempelnya logam untuk menyebarkan sisi aktif pada permukaan sehingga dapat meningkatkan efektivitas katalis dan memberikan dasar yang stabil sehingga memperpanjang waktu pakai katalis (Rianto, Amalia, & Khalifah, 2012).

Zeolit merupakan mineral aluminosilikat kristal berpori yang terhidrasi dari logam alkali atau alkali tanah dengan struktur tiga dimensi. Zeolit terbentuk dari tetrahedral silica $[\text{SiO}_4]^{4-}$ dan alumina $[\text{AlO}_4]^{5-}$ yang saling terhubungkan oleh atom-atom oksigen dimana strukturnya membentuk struktur terbuka atau berpori (Auerbach, Carrado, & Dutta, 2003). Zeolit dipilih sebagai pengemban katalis logam CuO karena sifat mikroporinya yang mempunyai luas permukaan

yang tinggi di mana reaksi terjadi pada pori pori tersebut, hal ini membuat zeolit bisa digunakan sebagai katalis, adsorpsi, dan ion *exchanger* (Golomeova & Zendelska, 2016). Terdapat dua macam zeolit, yaitu zeolit yang terbentuk secara alami dan zeolit sintetis. Zeolit dapat disintesis untuk memperoleh zeolit dengan kristalinitas lebih tinggi dan ukuran pori-pori seragam dibandingkan dengan zeolit alam (Haliza, Sabrina, & Fitriyah, 2023). Contoh zeolit sintesis adalah jenis A (Saraswati, 2015), X, Y (Wijaya dkk., 2023), NaP (Sriatun dkk., 2018), MFI, sodalit, dan faujasite (Trivana, Sugiarti, & Rohaeti, 2015). Zeolit yang disintesis perlu diraih dengan kadar silikon yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan zeolit dengan rasio Si/Al yang tinggi akan mempengaruhi kerangka kristal dari zeolit menyebabkan zeolit bersifat hidrofobik, lebih stabil, dan memiliki umur penggunaan yang lebih panjang (Kadir, Kadja, & Mukti, 2020).

Dari latar belakang yang telah disebutkan, efektifitas dalam sintesis organik perlu ditingkatkan. Penelitian ini akan berfokus pada sintesis katalis CuO/Zeolit melalui metode hidrotermal yang diaplikasikan sebagai katalis sintesis vanilin dari eugenol dalam metode *one-pot system*. Metode hidrotermal memiliki keunggulan reaksi sintesis yang lebih cepat dalam suhu lebih rendah dan kontrol yang baik terhadap suhu dan konsentrasi bahan akan mensintesis zeolit dengan kualitas baik (Eviva, Shofiyani, & Sayekti, 2023). Dalam metode *one-pot system* Hidrogen peroksida (H_2O_2) digunakan sebagai oksidator dalam reaksi oksidasi karena memiliki kandungan oksigen aktif (O_2) yang tinggi yang bisa didonorkan, bersifat stabil, potensial oksidasi yang lebih kuat dari kalium permanganate (KOH), dan produk

samping yang dihasilkan lebih ramah lingkungan (Barokah & Widiarti, 2015).

B. Batasan Masalah

Supaya pembahasan tidak terlalu panjang maka diperlukan batasan masalah dalam penelitian ini yang meliputi:

1. Material pengemban yang digunakan merupakan zeolit sintesis yang dibuat dengan Natrium Silikat dan Natrium Aluminat menggunakan metode hidrotermal.
2. Logam yang digunakan berupa tembaga (Cu) yang diembankan pada zeolit dengan metode impregnasi basah.
3. Analisis karakteristik katalis sintesis menggunakan FTIR dan XRD
4. Katalis CuO/Zeolit digunakan dalam reaksi *one-pot system* eugenol menjadi vanilin. Kemudian dilakukan uji produk sintesis menggunakan Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) dan FTIR.

C. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini meliputi:

1. Bagaimana pengaruh penggunaan template CTAB terhadap karakteristik katalis CuO/Zeolit berdasarkan hasil XRD dan FTIR?
2. Bagaimana peran katalis CuO/Zeolit dalam membantu sintesis *one-pot system* vanilin dari eugenol?

D. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan berbagai tujuan atau maksud, yaitu:

1. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan template CTAB berdasarkan hasil XRD dan FTIR.
2. Untuk mengetahui peran katalis CuO/Zeolit dalam membantu sintesis *one-pot system* vanilin dari eugenol.

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat membantu untuk mengetahui pengaruh template CTAB terhadap karakteristik katalis CuO/zeolit yang disintesis menggunakan metode hidrotermal dan impregnasi basah berdasarkan hasil XRD dan FTIR serta mengetahui peran katalis CuO/Zeolit dalam membantu sintesis *one-pot system* vanilin dari eugenol.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan:

1. Katalis CuO/Zeolit yang disintesis dengan penambahan CTAB sebagai *structure directing agent* (SDA) berupa zeolit Analsim dengan Sodalit sebagai pengotor yang dapat dibuktikan dalam Difraktogram XRD dengan munculnya puncak pada $2\theta = 15,85^\circ$; $26,01^\circ$; $30,61^\circ$ dan $2\theta = 13,906^\circ$; $24,245^\circ$. Keberadaan CuO yang teremban pada zeolit dapat dideteksi melalui difraktogram XRD pada puncak $2\theta = 35,49^\circ$ dan $38,57^\circ$. Hasil FTIR mengidentifikasi adanya vibrasi ulur asimetris Si-O-Si dan Al-O-Al pada bilangan gelombang $1010,70\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan karakteristik dari kerangka zeolit.
2. Katalis CuO/Zeolit memiliki dua peranan dalam sintesis *One-pot system*. Situs basa Lewis yang berasal dari atom oksigen pada struktur silika-alumina zeolit memfasilitasi abstraksi proton (H^+) dari gugus hidroksil fenolik eugenol, menghasilkan produk intermediet isoeugenol. Sedangkan tembaga oksida (CuO) memfasilitasi interaksi antara isoeugenol dengan oksidator hidrogen peroksida (H_2O_2) melalui transfer elektron tunggal terhadap ikatan phi (π) isoeugenol melalui koordinasi pada orbital d logam, sehingga mempermudah oksidasi pada rantai samping isoeugenol. Vanilin yang dihasilkan dari sintesis dibuktikan dengan kromatogram GC-MS dengan konversi sebesar 6.41%.

B. Saran

Beberapa saran yang dapat dituliskan untuk penelitian lebih lanjut:

1. Melakukan variasi rasio Si/Al dalam sintesis Hidrotermal untuk memperoleh zeolit pengemban yang sesuai sebagai katalis bimetal.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai hubungan antara pengemban zeolit terhadap efektivitasnya dalam mengkonversi vanilin dalam sintesis *One-pot system*.
3. Melakukan analisis terkait ukuran pori pengemban dan pengaruhnya sebagai katalis dalam sintesis Vanilin

DAFTAR PUSTAKA

- Afidah, L. T., & Khamidinal. (2019). Pengaruh variasi temperatur kalsinasi zeolit alam terhadap kemampuan adsorpsi limbah fenol. *Indonesian Journal of Material Chemistry*, 2(2), 35–42.
- Anggraeni, W., & Manurung, P. (2014). Sintesis dan Karakterisasi ZrO_2 -CuO Sebagai Fungsi Perbandingan Mol. *JURNAL Teori dan Aplikasi Fisika*, 2(2), 117-123.
- Aprilianti, W., Wahyuni, N., & Zaharah, T. A. (2023). Adsorpsi Ion Besi Pada Lindi Menggunakan Zeolit Alam Teraktivasi Asam Klorida (HCl). *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 11(2), 571-578.
- Arya, S. S., Rookes, J. E., Cahil, D. M., & Lenka, S. K. (2021). Vanillin: a review on the therapeutic prospects of a popular flavouring. *Advances in Traditional Medicine*, 21, 415–431.
- Auerbach, S. M., Carrado, K. A., & Dutta, P. K. (2003). *Handbook of Zeolite Science and Technology*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Aulia, A. (2023). *PREPARASI CuO/BENTONIT TERAKTIVASI BASA DAN APLIKASINYA SEBAGAI KATALIS DALAM SINTESIS ONE POT SYSTEM VANILIN DARI EUGENOL*. Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta. Skripsi.
- Azizi, S. N., Ghasemi, S., & Gilani, N. S. (2014). An electrode with Ni (II) loaded analcime zeolite catalyst for the electrooxidation of methanol. *Chinese Journal of Catalysis*, 35(3), 383–390. [https://doi.org/10.1016/S1872-2067\(14\)60002-4](https://doi.org/10.1016/S1872-2067(14)60002-4)
- Bachtiar, A. Y., Wahani, N. F., Juliastuti, S. R., & Hendrianie, N. (2020). Pra-Desain Pabrik Vanillin Sintetik dari Kraft Lignin. *JURNAL TEKNIK ITS*, 9(2), 292-297.
- Bani, G. A. (2023). Efektivitas Katalis Zeolit Alam Ende pada Pirolisis Polietilena dari Sampah Plastik. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 12(2), 70-77.
- Barokah, S., & Widiarti, N. (2015). Aktivitas Fotokatalitik CuO/ZnO pada Reaksi Oksidasi Fenol. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 4(2), 89–93.
- Birhi, D. N., Ismail, A. Q., Iftitah, E. D., & Warsito. (2021). One-pot catalytic oxidation for transforming eugenol to vanillin using $ZnAl_2O_4$ catalyst. *The Journal of Pure and Applied Chemistry Research*, 10(3), 203-213.
- Birhi, D. N., Iftitah, E. D., & Warsito, W. (2023). Use of $CoO/ZnAl_2O_4$ Catalysts and Microwaved Assisted in Vanillin Synthesis.

- Jurnal Kimia Valensi*, 9(1), 76–88.
<https://doi.org/10.15408/jkv.v9i1.29727>
- Bohre, A., Gupta, D., Alam, I., & Sharma, R. K. (2017). *Aerobic Oxidation of Isoeugenol to Vanillin with Copper Oxide Doped Reduced Graphene Oxide*. 3129–3136.
<https://doi.org/10.1002/slct.201700415>
- Cahyo, Y. I., & Prasetyoko, D. (2016). Pengaruh Rasio Mol SiO₂/Al₂O₃ pada Sintesis Zeolit Y Secara Langsung dari Kaolin Bangka Belitung. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, 3(1), 1-7.
- Cardaningrat, I. D., Santika, A., Dharmayanti, I., & Prayascita, P. W. (2021). Review Kemampuan Metode Gc-MS Dalam Identifikasi Flunitrazepam Terkait Dengan Aspek Forensik Dan Klinik. *Jurnal Kimia (Journal of Chemistry)*, 15 (1), 12-19.
- Chang, R. (2004). *Kimia Dasar Jilid 2: Konsep-konsep Inti (Edisi Ketiga)*. Jakarta: Erlangga.
- Choi, M., Cho, H. S., Srivastava, R., Venkatesan, C., Choi, D.-H., & Ryoo, R. (2006). Amphiphilic organosilane-directed synthesis of crystalline zeolite with tunable mesoporosity. *Nature Materials*, 5(September), 5–10.
<https://doi.org/10.1038/nmat1705>
- Costa-Serra, J. F., & Cerdá-Mo, C. (2020). Zeolite-Supported Ni Catalysts for CO₂ Methanation: Effect of Zeolite Structure and Si/Al Ratio. *Applied Science*, 10,5131, 1-14.
- Cundy, C. S., & Cox, P. A. (2005). *The hydrothermal synthesis of zeolites : Precursors , intermediates and reaction mechanism*. 82, 1–78. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2005.02.016>
- D. Pandiangan, K., Damayanti, P., Riyanti, F., & Simanjuntak, W. (2020). Uji Aktivitas Katalitik ZSM-5 Yang Disintesis Dari Silika Sekam Padi Dan Al(OH)₃ Pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 5(01), 53–64. <https://doi.org/10.23960/aec.v5.i1.2020.p53-64>
- de Magalhães, L. F., da Silva, G. R., & Peres, A. E. (2022). Zeolite Application in Wastewater Treatment. *Adsorption Science & Technology*, 2022, 1-26.
- Dewi, T. K., Mahdi, & Novriyansyah, T. (2016). Pengaruh Rasio Reaktan Pada Impregnasi dan Suhu Reduksi Terhadap Karakter Katalis Kobalt/Zeolit Alam Aktif. *Jurnal Teknik Kimia*, 22(3), 9-18.

- Evi, M., Sari, F., & Prasetyoko, D. (2018). Direct Synthesis of Sodalite from Kaolin : The Influence of Alkalinity. *Indonesian Journal of Chemistry*, 18(4), 607–613. <https://doi.org/10.22146/ijc.25191>
- Eviva, N., Shofiyani, A., & Sayekti, E. (2023). Sintesis Zeolit NaP Berbahan Dasar Red Mud Bauksit Menggunakan Metode Hidrotermal pada Variasi Rasio Mol SiO₂/Al₂O₃. *POSITRON*, 13(1), 77-85.
- Faisal , M., Suhartana, & Pardoyo. (2015). Zeolit Alam Termodifikasi Logam Fe sebagai Adsorben Fosfat (PO₄³⁻) pada Air Limbah. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 18 (3), 91-95.
- Fang, N., Yu, S., Ronis, M. J. J., & Badger, T. M. (2015). *Matrix effects break the LC behavior rule for analytes in LC-MS / MS analysis of biological samples*. 240(4), 488–497. <https://doi.org/10.1177/1535370214554545>
- 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. *Journal Cis-Trans (JC-T)*, 1(1), 35-39.
- Fessenden, R. J., & Fessenden, J. S. (1982). *Kimia Organik, Edisi Ketiga Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Franco, A., De, S., Balu, A. M., Garcia, A., & Luque, R. (2017). Mechanochemical synthesis of graphene oxide-supported transition metal catalysts for the oxidation of isoeugenol to vanillin. *Beilstein J. Org. Chem.* 2017, 13 , 1439–1445.
- Gallage, N. J., & Møller, B. L. (2017). Vanilla: The Most Popular Flavour. *Biotechnology of Natural Products*, 3-24.
- García-Albar, P., Lázaro, N., AlOthman, Z. A., Romero, A. A., Luque, R., & Pineda, A. (2021). Catalytic wet hydrogen peroxide oxidation of isoeugenol to vanillin using microwave-assisted synthesized metal loaded catalysts. *Molecular Catalysis*, 506, 1-6.
- Giacobbo, F., Da, M., Macerata, E., Mariani, M., Giola, M., Angelis, G. De, Capone, M., & Fedeli, C. (2017). An experimental study on Sodalite and SAP matrices for immobilization of spent chloride salt waste. *Journal of Nuclear Materials*, 499, 512–527. <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2017.11.051>
- Golomeova, M., & Zendelska, A. (2016). Application of Some Natural Porous Raw Materials for Removal of Lead and Zinc from Aqueous Solutions. *Microporous and mesoporous materials*, 24, 21-50.

- Gómez-Hortigüela, L., & Cambor, M. Á. (2017). Introduction to the zeolite structure-directing phenomenon by organic species: General aspects. *Structure and Bonding*, 175, 1-41.
- Gusevskaya, E. V, Menini, L., Parreira, L. A., Mesquita, R. A., Kozlov, Y. N., & Shul, G. B. (2012). Journal of Molecular Catalysis A : Chemical Oxidation of isoeugenol to vanillin by the “H₂O₂ – vanadate – pyrazine-2-carboxylic acid” reagent &. “*Journal of Molecular Catalysis. A, Chemical*,” 363–364, 140–147. <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2012.06.001>
- Haliza, F. N., Sabrina, S. O., & Fitriyah, S. N. (2023). Sintesis Zeolite Y dengan Menggunakan Metode Sol-Gel. *Jurnal MIPA dan Pembelajarannya*, 3(7), 330-338.
- Hasanah, F., & Wirman, A. P. (2018). Modifikasi Vanilin Dengan Asam p-Hidroksi Benzoat dan Uji Aktivitasnya Terhadap *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* dan *Candida albicans*. *PHARMACY: Jurnal Farmasi Indonesia*, 15(2), 183-201.
- Havryliuk, O., Rathee, G., Blair, J., Hovorukha, V., Tashyrev, O., Morat, J., Leonardo, M. P., & Tzanov, T. (2024). Unveiling the Potential of CuO and Cu₂O Nanoparticles against Novel Copper-Resistant *Pseudomonas* Strains: An In-Depth Comparison. *Nanomaterials*, 14, 1–18. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/nano14201644> Academic
- Hayashi, Y. (2016). Pot economy and one-pot synthesis. *Chemical Science*, 7(2), 866-880.
- Hidayat, A., & Sutarno. (2013). SINTESIS KATALIS CuO-ZEOLIT ALAM UNTUK REAKSI REDUKSI GAS NO₂ MENGGUNAKAN REDUKTOR SENYAWA HIDROKARBON. *Teknoin*, 2(2), 1–14.
- Hermanto. (2008). *Aplikasi Alat HPTLC dan GC-MS*. Jakarta: UI Press.
- Jatika, A., Ngadiwiyana, & Ismiyarto. (2009). Sintesis Metiliseugenol dari Metileugenol Menggunakan Katalis KOH dalam Etano. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 12(3), 76-80.
- Kadir, I. R., Kadja, G. T., & Mukti, R. R. (2020). Sintesis Zeolit Chabazite dengan Rasio Si/Al Tinggi Tanpa Menggunakan Senyawa Organik. *INDEPT*, 9(1), 90-100.
- Kafillah, M., & Alimuddin, A. H. (2018). Sintesis dan karakterisasi zeolit analsim menggunakan prekursor silika dari limbah kaca. *JKK (Jurnal Kimia Khatulistiwa)*, 7(1), 73–78.

- Kinanti, C. A., & Murwani, I. K. (2012). Pengamatan Struktur CuO/CaF₂ dengan Berbagai Loading Cu. *JURNAL SAINS DAN SENI ITS*, 1(1), 10-13.
- Krajišnik, D., Daković, A., Milić, J., & Marković, M. (2019). Chapter 2: Zeolites as potential drug carriers. In D. Krajišnik, A. Daković., & M. Marković. (Eds.), *Modified Clay and Zeolite Nanocomposite Materials* (1st Edition, pp. 27–55). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814617-0.00002-5>
- Kresge, C. T., Leonowicz, M. E., Roth, W. J., Vartuli, J. C., & Beck, J. S. (1992). Ordered mesoporous molecular sieves synthesized by a liquid-crystal template mechanism. *Nature*, 359(6397), 710–712. <https://doi.org/10.1038/359710a0>
- Kurniasari, L., Djaeni, M., & Purbasari, A. (2011). Aktivasi Zeolit Alam Sebagai Asorben Pada Alat Pengereng Bersuhu Rendah. *Reaktor*, 13(3), 178-184.
- Li, J., Gao, M., Yan, W., & Yu, J. (2023). Regulation of the Si/Al ratios and Al distributions of zeolites and their impact on properties. *Chemical Science*, 14, 1935-1959.
- Ma, X., & Zhang, W. (2022). Recent developments in one-pot stepwise synthesis (OPSS) of small molecules. *iScience* 25, 105005, 1-19.
- Mao, H., Wang, L., Zhao, F., Wu, J., Huo, H., & Yu, J. (2016). Cobalt-catalyzed Aerobic Oxidation of Eugenol to Vanillin and Vanillic Acid. *Journal of the Chinese Chemical Society*, 63(3), 261–266.
- Mishra, S., Sachan, A., & Sachan, S. G. (2013). Production of natural value-added compounds: an insight into the eugenol biotransformation pathway. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 40(6), 545–550.
- Munnik, P., De Jongh, P. E., & De Jong, K. P. (2015). Recent Developments in the Synthesis of Supported Catalysts. *Chemical Reviews*, 115(14), 6687-6718.
- Muttaqii, M. A., Birawidha, D. C., Isnugroho, K., Amin, M., Hendronursito, Y., Istiqomah, A. D., & Dewangga, D. P. (2019). Pengaruh Aktivasi Secara Kimia Menggunakan Larutan Asam Dan Basa Terhadap Karakteristik Zeolit Alam. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 13(2), 266-271.
- Nasrollahzadeh, M., Nezafat, Z., & Shafiei, N. (2021). Chapter 5 - Lignin chemistry and valorization. *Biopolymer-Based Metal Nanoparticle Chemistry for Sustainable Applications*, 145-183.

- Nirwana, W. O., Sarosa, A. H., & Hapsari, S. (2023). *Vanilin Teknologi Produksi Vanilin: Alami, Sintetik, Bio-vanilin*. Malang: UB Press.
- Nofita Birhi, D., Qisthi Ismail, A., Dhiaul Iftitah, E., & Warsito, W. (2021). One-Pot Catalytic Oxidation for Transforming Eugenol to Vanillin Using ZnAl_2O_4 Catalyst. *The Journal of Pure and Applied Chemistry Research*, 10(3), 203–213. <https://doi.org/10.21776/ub.jpacr.2021.010.03.622>
- Nur, H. (2001). Direct synthesis of NaA zeolite from rice husk and carbonaceous rice husk ash. *Indonesian Journal Agricultural Sciences*, 1, 40-45.
- Nuriah, S., Putri, M. D., Rahayu, S., Advait, C. V., Nurfadhila, L., & Utami, M. R. (2023). Qualitative Analysis of Paracetamol Compounds in Biological Samples Using Gas Chromatography - Mass Spectrometry (GC-MS) Method. *Journal of Pharmaceutical and Sciences*, 6(2), 795-803.
- Nuryoto, Jayanti, D. A., & Findilina, E. (2022). Uji Coba Zeolit Alam Klinoptilolit sebagai Katalis Pada Pembuatan Bioaditif dari Gliserol dan Asam Asetat. *Inovasi Teknik Kimia*, 7(1), 51-58.
- Permata, N. D., Gunawan, T., & Fansuri, H. (2020). Preparasi Membran Zeolit-X/ α - Al_2O_3 Menggunakan Metode Secondary Growth dengan Variasi Vacuum Seeding. *JURNAL SAINS DAN SENI ITS*, 9(2), 25-30.
- Pratiwi, R. A. (2011). Reaksi oksidasi katalitik isoeugenol menjadi vanili dengan menggunakan katalis γ - Al_2O_3 - TiO_2 . *Skripsi*, Universitas Indonesia.
- Priyanto, D. (2019). Sintesis Katalis CuO berpenyangga Hierarchical Zeolit untuk konversi Isoeugenol menjadi Vanilin. *Skripsi*, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Putri, R. D., & Hapsari, A. R. (2020). *Pra Rancangan Pabrik Vanillin dari Isoeugenol Melalui Proses Oksidasi dengan Kapasitas 2000 Ton/Tahun*. *Skripsi*. Yogyakarta: Prodi Teknik Kimia Fakultas Teknik Industri Universitas Islam Indonesia.
- Rahmanivahid, B., Dios, M. P., & Haghighi, M. (2019). Mechanochemical Synthesis of CuO / MgAl_2O_4 and MgFe_2O_4 Spinel for Vanillin Production from Isoeugenol and Vanillyl Alcohol. *Molecules*, 24(14), 1–18. <https://www.mdpi.com/1420-3049/24/14/2597>

- Rianto, L. B., Amalia, S., & Khalifah, S. N. (2012). Pengaruh Impregnasi Logam Titanium Pada Zeolit Alam Malang Terhadap Luas Permukaan Zeolit. *ALCHEMY*, 2(1), 58-67.
- Richardson, H. W. (2000). Copper Compounds. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 10, 273-298.
- Risnandar, A. I., & Prabawati, S. Y. (2019). Sintesis Senyawa Mentil Vanilat dari Vanilin dan Aplikasinya sebagai Parfum. *ALKIMIA: Jurnal Ilmu Kimia dan Terapan*, 3(2), 61-69.
- Saraswati, I. (2015). Zeolite-A Synthesis from Glass. *Jurnal Sains dan Matematika*, 23(4), 112-115.
- Sato, N., & Endo, H. (2009). Methylation of phenolic hydroxyl group and demethylation of anisoles. *Journal of Chemical Research*, 4, 229–230. <https://doi.org/10.3184/030823409X431328>
- Sriatun, Taslimah, & Suyati, L. (2018). Synthesis of zeolite from sugarcane bagasse ash using cetyltrimethylammonium bromide as structure directing agent. *Indonesian Journal of Chemistry*, 18(1), 159–165. <https://doi.org/10.22146/ijc.22197>
- Suharto, T. E. (2022). *Katalisis Dalam Industri Kimia*. Yogyakarta: UAD Press.
- Sudarlin, & Haryadi, W. (2017). *Polimerisasi Eugenol Minyak Daun Cengkeh Hasil Redistilasi, Ekstraksi, dan Fraksinasi Menggunakan Katalis Asam Sulfat Pekat (Polymerization of Eugenol of Clove Leaf Oil, Purified by Redistillation , Extraction , and Fractionation , Using Concentrated . 3(1), 50–58.*
- Svehla, G. (1979). *Textbook Of Macro And Semimicro Qualitative Inorganic Analysis*. London: Longman Group Limited.
- Syaifie, P. H., Wardhan, G. A., & Taufiq, A. (2019). Sintesis Dan Karakterisasi Zeolit Berbahan Dasar Abu Sekam Padi Karawang. *Sains dan Terapan Kimia*, 13(2), 89-98.
- Serrano, D. P., García, R. A., Linares, M., & Gil, B. (2012). Influence of the calcination treatment on the catalytic properties of hierarchical ZSM-5. *Catalysis Today*, 179(1), 91–101. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2011.06.029>
- Tkachenko, Y., & Niedzielski, P. (2022). FTIR as a Method for Qualitative Assessment of Solid Samples in Geochemical Research: A Review. *Molecules*, 27(24), 1-21.
- Towaha, J. (2012). Manfaat Eugenol Cengkeh Dalam Berbagai Industri di Indonesia. *Perspektif*, 11(2), 79-90.
- Trisunaryanti, W. (2015). *Material Katalis dan Karakternya*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

- Trivana, L., Sugiarti, S., & Rohaeti, E. (2015). Sintesis Zeolit dan Komposit Zeolit/TiO₂ dari Kaolin Serta Uji Adsorpsi-Fotodegradasi Biru Metilena. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 11(2), 147-162.
- Ulanowska, M., & Olas, B. (2021). Biological Properties and Prospects for the Application of Eugenol—A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22, 1-13.
- Urrutxua, M., Pereda-ayo, B., De-la-torre, U., & Gonza, J. R. (2019). Evaluation of Cu / SAPO-34 Catalysts Prepared by Solid-State and Liquid Ion-Exchange Methods for NO_x Removal by NH₃ - SCR. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b01118>
- Utomo, S. B., & Setiati, T. (2019). Aplikasi Kaliksarena Sebagai Katalis Transfer Fasa Dalam Sintesis Vanilin Dari Eugenol. *JKPK (Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia)*, 4(3), 179-188.
- Wang, C., Leng, S., Guo, H., Yu, J., Li, W., Cao, L., & Huang, J. (2019). Quantitative Arrangement of Si/Al ratio of Natural Zeolite using Acid Treatment. *Applied Surface Science*, 498, 143874, 1-7.
- Wang, L.-z., & Wu, H.-t. (2020). Expedient green-chemistry approaches for one-pot synthesis of two series of novel 1,5-benzodiazepines via domino reactions . *New Journal of Chemistry*, 1-15.
- Wendi, V. C. (2015). Pengaruh Suhu Reaksi Dan Jumlah Katalis Pada Pembuatan Biodiesel Dari Limbah Lemak Sapi Dengan Menggunakan Katalis Heterogen CaO Dari Kulit Telur Ayam. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4(1), 35-41.
- Wibowo, W., Suwarso, W. P., Utari, T., & Purwaningsih, H. (2002). Aplikasi Reaksi Katalisis Heterogen untuk Pembuatan Vanili Sintetik (3-Hidroksi-2-Metoksibenzaldehida) dari Eugenol (4-Alлил-2-Metoksifenol) Minyak Cengkeh. *Makara Journal of Science*, 6(3), 142-148.
- Wijaya, D. P., Rohmah, M., & Putri, R. P. (2023). Sintesis dan Karakterisasi Zeolit Y dengan Metode Hidrotermal. *Jurnal MIPA dan Pembelajarannya*, 3(7), 309-320.
- Xu, D., Feng, J., & Che, S. (2014). An insight into the role of the surfactant CTAB in the formation of microporous molecular sieves. *Dalton Trans*, 43(9), 3612–3617. <https://doi.org/10.1039/c3dt53308e>
- Xu, R., Pang, W., Yu, J., Huo, Q., & Chen, J. (2007). *Chemistry of Zeolites and Related Porous Materials: Synthesis and Structure*. Singapore: John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd.