

**PREPARASI CuO/BENTONIT TERAKTIVASI BASA DAN
APLIKASINYA SEBAGAI KATALIS DALAM SINTESIS *ONE POT*
SYSTEM VANILIN DARI EUGENOL**

SKRIPSI

**Untuk memenuhi sebagian persyaratan
Mencapai derajat Sarjana Kimia**



Oleh:

**Asyifa Aulia
19106030026**

**STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA**

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

2023



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-2700/Un.02/DST/PP.00.9/11/2023

Tugas Akhir dengan judul : Preparasi CuO/Bentonit Teraktivasi Basa dan Aplikasinya sebagai Katalis dalam Sintesis One Pot System Vanilin dari Eugenol

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : ASYIFA AULIA
Nomor Induk Mahasiswa : 19106030026
Telah diujikan pada : Selasa, 10 Oktober 2023
Nilai ujian Tugas Akhir : A

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

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Priyagung Dhemi Widiakongko, M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 65434211d1ce1



Penguji I

Dr. Susy Yunita Prabawati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 6542f17727f2



Penguji II

Didik Krisdiyanto, S.Si., M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 652f3cd359f6a



Yogyakarta, 10 Oktober 2023

UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

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

Valid ID: 654461c545ac0

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal :

Lamp :

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Kalijaga
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 : Asyifa Aulia

NIM : 19106030026

Judul Skripsi : PREPARASI CuO/BENTONIT TERAKTIVASI BASA DAN APLIKASINYA SEBAGAI KATALIS DALAM SINTESIS *ONE POT SYSTEM* VANILIN DARI EUGENOL

sudah dapat diajukan kembali kepada Fakultas Sains dan Teknologi Jurusan/Program Studi Kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana strata satu dalam Bidang Kimia.

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

Wassalamu 'alaikum wr.wb.

Yogyakarta, 29 September 2023

Pembimbing

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Priyagung Dhemi Widiakongko, M.Sc.

NIP. 19900330 201903 1 008



NOTA DINAS KONSULTASI

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 : Asyifa Aulia

NIM : 19106030026

Judul Skripsi. : Preparasi CuO/Bentonit Teraktivasi Basa dan Aplikasinya sebagai Katalis dalam Sintesis *One Pot System* Vanilin dari Eugenol

sudah benar dan sesuai ketentuan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Kimia.

Demikian kami sampaikan. Atas perhatiannya, kami ucapkan terimakasih.

Wassalamu 'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 1 November 2023

Konsultan

Dr. Susy Yunita Prabawati, M.Si.
NIP. 19760621 199903 2 005



NOTA DINAS KONSULTASI

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 : Asyifa Aulia

NIM : 19106030026

Judul Skripsi. : Preparasi CuO/Bentonit Teraktivasi Basa dan Aplikasinya sebagai Katalis dalam Sintesis *One Pot System* Vanilin dari Eugenol

sudah benar dan sesuai ketentuan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Kimia.

Demikian kami sampaikan. Atas perhatiannya, kami ucapkan terimakasih.

Wassalamu 'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 10 November 2023

Konsultan

Didik Krisdiyanto, S.Si., M.Si
NIP. 19811111 201503 1 007

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Asyifa Aulia
NIM : 19106030026
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **“Preparasi CuO/Bentonit Teraktivasi Basa dan Aplikasinya 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 Oktober 2023



Asyifa Aulia
NIM. 19106030026

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN MOTTO

"Barangsiapa yang mengerjakan kebaikan sekecil apapun, niscaya dia akan melihat (balasan)nya." (Q.S Al-Zalزالah: 7)

"If you don't fight for what you want, don't cry for what you lost"

-Will Smith-



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi dan penelitian ini penulis dedikasikan untuk

Program Studi Kimia

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Tuhan Rabbul'alamiin yang telah memberi kesempatan dan kekuatan sehingga tugas akhir yang berjudul "Preparasi CuO/Bentonit Teraktivasi Basa dan Aplikasinya Sebagai Katalis dalam Sintesis *One Pot System* Vanilin dari Eugenol" dapat diselesaikan sebagai persyaratan untuk mencapai derajat sarjana kimia.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dorongan, semangat dan ide-ide kreatif sehingga tahap demi tahap penyusunan tugas akhir ini telah selesai. Ucapan terima kasih secara khusus penulis sampaikan kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Ibu Dr. Imelda Fajriyati, M.Si. selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga.
3. Bapak Priyagung Dhemi Widiakongko, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing skripsi yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, arahan, nasihat, serta motivasi kepada penulis dalam penulisan tugas akhir maupun penelitian.
4. Segenap PLP Laboratorium Kimia Terpadu UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah membantu dalam melaksanakan penelitian.
5. Bapak Nirman, Ibu Ani Kurniasih dan Annisai Sa'idati Fitriani serta segenap keluarga yang senantiasa mendoakan, memotivasi, membimbing, membantu penulis baik dalam segi finansial maupun psikis.
6. Muhamad Akbar Fuady yang menemani dan menjadi support sistem serta senantiasa memberikan dukungan sehingga dapat disusunnya skripsi ini.
7. Novelita Uswatun Khasanah, Rahma Rahayu selaku teman satu perjuangan di Laboratorium dan Hilda Robihatin Husein selaku teman satu bimbingan.
8. Nafisah Umniah Inas, Salsabila Ananda, Sifa Avi Utami, Riesmaya Damayanti, Rr Bunga Pertiwi, dan Nadasyifa Mawadha Sasya selaku sahabat yang senantiasa kebersamai dan mendengarkan keluh kesah penulis
9. Teman-teman Kimia Ekuivalen 2019 serta teman-teman KKN 108 Mandiri Jepara yang telah sama-sama berjuang dan memberi motivasi kepada penulis.
10. Seluruh pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu atas bantuannya dalam penyelesaian tugas akhir.

Penulis menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu dengan segala kerendahan hati, kritik dan saran yang membangun penulis harapkan. Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat baik perkembangan ilmu pengetahuan.

Yogyakarta, 29 september 2023



Asyifa Aulia

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR	iii
NOTA DINAS PENGUJI I.....	iv
NOTA DINAS PENGUJI II	v
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN.....	vi
HALAMAN MOTTO	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
ABSTRAK	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Batasan Masalah.....	6
C. Rumusan Masalah	6
D. Tujuan Penelitian	6
E. Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	8
A. Tinjauan Pustaka	8
B. LandasanTeori.....	13
1. Eugenol.....	13
2. Vanilin	14
3. Reaksi Isomerisasi-Oksidasi.....	15
4. Katalis Heterogen	16
5. Bentonit alam	18
6. Logam Tembaga (Cu) dan Oksida Tembaga (CuO)	20
7. Metode Impregnasi Basah	21
8. Sintesis <i>One Pot System</i>	22
C. Kerangka Berfikir dan Hipotesis Penelitian.....	22
BAB III METODE PENELITIAN.....	25
A. Waktu & Tempat Penelitian.....	25
B. Alat dan Bahan Penelitian.....	25
C. Prosedur Kerja Penelitian.....	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	28
A. Aktivasi Bentonit alam dengan NaOH 2 M	28
B. Preparasi Katalis CuO/Bentonit Teraktivasi Basa	33
C. Karakterisasi Katalis CuO/Bentonit Teraktivasi Basa	34
D. Karakteristik Sintesis <i>One Pot Sytem</i> Eugenol Vanilin dari Eugenol.....	37
E. Karakterisasi Hasil Reaksi	40
BAB V KESIMPULAN	50
A. Kesimpulan	50
B. Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA	51

LAMPIRAN	58
<i>CURRICULUM VITAE</i>	73



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

LAMPIRAN	58
<i>CURRICULUM VITAE</i>	73



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur senyawa eugenol	14
Gambar 2. 2 Struktur senyawa vanilin	15
Gambar 2. 3 Skema reaksi isomerisasi eugenol	16
Gambar 2. 4 Skema reaksi isomerisasi dan oksidasi eugenol menjadi vanilin ...	16
Gambar 2. 5 Struktur montmorilonit	19
Gambar 4. 1 FTIR bentonit alam dan bentonit teraktivasi basa	28
Gambar 4. 2 XRD bentonit alam dan bentonit teraktivasi basa	30
Gambar 4. 3 Mekanisme penyerangan Si	33
Gambar 4. 4 FTIR bentonit teraktivasi basa dan katalis CuO/Bentonit	35
Gambar 4. 5 XRD bentonit teraktivasi basa dan katalis CuO/Bentonit	36
Gambar 4. 6 Kromatogram eugenol	37
Gambar 4. 7 FTIR eugenol	38
Gambar 4. 8 Skema reaksi eugenol menjadi vanilin	39
Gambar 4. 9 FTIR hasil reaksi sintesis <i>one pot system</i> dan eugenol.....	40
Gambar 4. 10 Kromatogram hasil reaksi sintesis	41
Gambar 4. 11 Spektra massa puncak 1	42
Gambar 4. 12 Pola fragmentasi eugenol.....	43
Gambar 4. 13 Spektra massa puncak 2.....	43
Gambar 4. 14 Pola fragmentasi 2metoksi-4(metoksimetil)fenol.....	44
Gambar 4. 15 Spektra massa puncak 3	44
Gambar 4. 16 Pola fragmentasi vanilin	45
Gambar 4. 17 Grafik perbandingan kandungan senyawa dalam eugenol dengan hasil reaksi.....	46
Gambar 4. 18 Reaksi Oksidasi isoeugenol	47
Gambar 4. 19 Usulan mekanisme reaksi <i>one pot system</i> eugenol menjadi vanilin.	48
Gambar 4. 20 Reaksi pembentukan hemiasetal.....	49

ABSTRAK

PREPARASI CuO/BENTONIT TERAKTIVASI BASA DAN APLIKASINYA SEBAGAI KATALIS DALAM SINTESIS *ONE POT* *SYSTEM* VANILIN DARI EUGENOL

Oleh:

Asyifa Aulia

19106030026

Pembimbing:

Priyagung Dhemi Widiakongko, M.Sc.

Eugenol merupakan salah satu senyawa dasar yang dapat disintesis menghasilkan senyawa vanilin. Eugenol dapat dikonversi menjadi vanilin melalui reaksi isomerisasi dan oksidasi. Penelitian ini melakukan sintesis vanilin melalui metode *one pot system* dengan menggunakan katalis CuO/Bentonit teraktivasi basa dan oksidator H₂O₂ dalam satu wadah (*one pot*). Tujuan dari penelitian ini adalah karakterisasi CuO/Bentonit teraktivasi basa berdasarkan instrument FTIR dan XRD serta menganalisis produk yang dihasilkan dalam sintesis *one pot system* dari eugenol menggunakan katalis CuO/Bentonit teraktivasi basa dan oksidator H₂O₂.

Proses preparasi katalis CuO/Bentonit teraktivasi basa dilakukan dengan metode impregnasi basah dan kalsinasi. Proses impregnasi merupakan proses penjujukan pori-pori bentonit dengan larutan logam tembaga melalui adsorpsi dengan suhu 60°C. Sedangkan proses kalsinasi yaitu proses pemberian panas dengan mengalirkan gas N₂ pada suhu 400°C. Katalis CuO/Bentonit teraktivasi basa berhasil identifikasi berdasarkan spektrum FTIR oleh adanya serapan pada panjang gelombang 777,14 cm⁻¹ mengindikasikan gugus Si-O yang merupakan karakteristik dari montmorillonit dalam bentonit serta difraktogram XRD mengindikasikan keberadaan CuO pada puncak 2θ=35,36° dan 2θ=39,16°. Katalis tersebut dapat mengkonversi vanilin sebesar 2,8% melalui reaksi *one pot system* yang dikonfirmasi melalui kromatogram GC-MS. Berdasarkan data yang diperoleh, disimpulkan bahwa katalis CuO/Bentonit teraktivasi basa dapat digunakan dalam reaksi sintesis *one pot system* eugenol menjadi vanilin

Kata kunci: vanilin, *one pot system*, CuO/Bentonit, impregnasi, eugenol, katalis.

ABSTRACT

PREPARATION OF CuO/BENTONIT BASE ACTIVATED AND ITS APPLICATION AS A CATALYST IN SYNTHESIS ONE POT SYSTEM VANILLIN FROM EUGENOL

By:

Asyifa Aulia
19106030026

Adviser:

Priyagung Dhemi Widiakongko, M.Sc.

Eugenol is one of the basic compounds that can be synthesized to produce vanillin compounds. Eugenol can be converted to vanillin through isomerization and oxidation reactions. This research carried out the synthesis of vanillin using a one pot system method using a base activated CuO/Bentonite catalyst and H₂O₂ oxidizer in one pot. The aim of this research is to characterize base-activated CuO/Bentonite based on FTIR and and XRD as well as analyzing the products produced in the one pot system synthesis from eugenol using a base activated CuO/Bentonite catalyst and H₂O₂ oxidizer

The base-activated CuO/Bentonite catalyst preparation process was carried out using wet impregnation and calcination methods. The impregnation process is the process of saturating the bentonite pores with a copper metal solution through adsorption at a temperature of 60°C. Meanwhile, the calcination process is the process of providing heat by flowing N₂ gas at a temperature of 400°C. The base-activated CuO/Bentonite catalyst was successfully identified based on the FTIR spectrum by the presence of absorption at a wavelength of 777,14 cm⁻¹ indicating the Si-O group which is characteristic of montmorillonite in bentonite and the XRD diffractogram indicated the presence of CuO at the peak of 2θ=35,36° and 2θ=39,16°. This catalyst can convert 2.8% vanillin through a one pot system reaction which was confirmed via GC-MS chromatogram. Based on the data obtained, concluded that the base-activated CuO/Bentonite catalyst can be used in the one pot system synthesis reaction of eugenol to vanillin

Keywords: *Vanillin, one pot system, CuO/Bentonite, impregnation, eugenol, catalyst.*

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Vanilin (4-hidroksi-3metoksibenzaldehida) merupakan senyawa yang berasal dari tanaman vanilla (*Vanilla planifolia*). Senyawa tersebut digunakan untuk perisa sintetis, bahan kosmetik, dan salah satu bahan dalam industri senyawa farmasi. Indonesia dikenal sebagai salah satu produsen terbesar dalam memproduksi vanilin menggunakan bahan baku alami dari tanaman vanilla (Gallage dan Møller, 2015). Konsumsi vanilin di Indonesia semakin meningkat melebihi kapasitas produksi yang ada hingga menyebabkan Indonesia melakukan impor vanilla. Impor vanilla meningkat 45% pada tahun 2018 dibandingkan tahun 2017 (Bachtiar dkk., 2020). Guna mencegah kekurangan vanilla untuk memenuhi kebutuhan vanilin dalam Indonesia, salah satu langkah yang dapat dilakukan ialah memproduksi vanilin sintetis (Khoiratty dkk., 2018)

Metode sintesis vanilin telah banyak dikembangkan dari berbagai bahan baku antara lain lignin (Gitaari dkk., 2019), guaiacol (Witthuhn dkk., 2012), katekol, safrol (Hamri dkk., 2013), dan eugenol (Utomo dan Setiati, 2019). Vanilin yang berasal dari bahan lignin oleh limbah industri pulp telah dibatasi di berbagai negara maju. Hal tersebut dikarenakan dalam pembuatan vanilin tidak menerapkan *green chemistry* sehingga masih menyisakan produk sisa (Darwis dkk., 2012). Maka alternatif senyawa untuk sintesis vanilin sangat diperlukan. Salah satu senyawa yang digunakan untuk sintesis tersebut adalah eugenol (Utomo dan Setiati, 2019).

Eugenol (2-metoksi-4-(2-propenil) fenol) adalah senyawa fenolik yang diketahui memiliki efek besar pada aktivitas biologis. Eugenol dapat digunakan sebagai analgesik, anestesi lokal, stimulan, antijamur dan juga memiliki efek antibakteri (Daryono, 2015). Eugenol juga bermanfaat dalam aktivitas biologis antioksidan menjadikan eugenol molekul target yang akan dimodifikasi secara struktural untuk menghasilkan senyawa turunannya (da Silva dkk., 2018). Eugenol dapat dikonversi menjadi senyawa lain, salah satunya yaitu vanilin (Tucker dan Adams, 2012). Eugenol memiliki presentase penggunaan tertinggi sebagai bahan sintesis vanilin karena harganya yang rendah dan tersedia secara komersial (Asnawati dkk., 2015).

Sintesis eugenol menjadi vanilin dapat dilakukan melalui dua tahap reaksi (Utomo dan Setiati, 2019). Dua tahap reaksi yang terjadi yaitu, isomerisasi dan oksidasi. Eugenol dikonversi menjadi isoeugenol melalui reaksi isomerisasi (Riyanto dkk., 2015) dan dilanjutkan dengan oksidasi senyawa isoeugenol menjadi vanilin (Barokah, 2014). Dua tahap reaksi tersebut pernah dilakukan oleh Wibowo dkk., (2002) dengan menggunakan $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{NaOH}/\text{Na}$ dan [18]-crown ether-6 sebagai katalis dan oksidator KMnO_4 . Rendemen vanilin hasil reaksi dalam suasana asam (pH 2) adalah 0,021%, dalam suasana netral (pH 7) adalah 0,028% dan dalam suasana basa (pH 9) adalah 0,015% . Kelemahan reaksi sintesis ini yaitu penggunaan katalis ganda menyebabkan tidak efisiennya reaksi dan menghasilkan rendemen yang sedikit. Maka perlu adanya metode alternatif lainnya untuk mendapatkan vanilin (Birhi dkk., 2021).

Reaksi sintesis vanilin dari eugenol diawali dengan reaksi isomerisasi. Reaksi isomerisasi eugenol dilakukan dengan memindahkan ikatan rangkap pada gugus alkenil ke posisi konjugasi dengan ikatan rangkap pada cincin benzena eugenol. Reaksi isomerisasi eugenol menjadi isoeugenol secara konvensional, menggunakan katalis basa homogen pada suhu yang tinggi dan waktu yang lama (Riyanto, dkk., 2015). Metode ini tidak efisien karena sifat fisik katalis yang homogen akan membutuhkan proses tambahan yaitu pemisahan katalis (Sutanto, 2012). Penelitian terdahulu telah melakukan pembaruan katalis untuk reaksi isomerisasi eugenol menjadi isoeugenol dengan menggunakan katalis basa heterogen. Penelitian yang telah dilakukan oleh Sutanto (2012) menggunakan katalis basa heterogen pada reaksi isomerisasi eugenol menjadi isoeugenol. Katalis basa heterogen yang digunakan adalah katalis Na/NaOH/Al₂O₃ dalam suhu ruang selama 2 jam dengan hasil konversi metiliseugenol sebanyak 95% dan produk isomer isoeugenol sebanyak 14,3%. Penggunaan katalis heterogen pada reaksi isomerisasi eugenol menjadi isoeugenol menunjukkan bahwa reaksi dapat berlangsung pada suhu yang rendah (Hanum, 2008).

Isoeugenol dapat diubah menjadi vanilin melalui tahap reaksi oksidasi. Reaksi oksidasi dapat dilakukan dengan menggunakan katalis logam transisi yang memiliki kemampuan dalam oksidasi benzenik senyawa aromatik (Shi dkk., 2012). Selain itu menggunakan logam transisi dapat berikatan secara koordinasi dengan unsur senyawa lainnya karena memiliki orbital d yang kosong (Nurhayati dan Suryadi, 2016). Penelitian terdahulu telah melakukan tahap konversi isoeugenol menjadi vanilin menggunakan katalis heterogen CuO berpenyangga zeolit dan O₂

sebagai oksidator dengan hasil rendemen 84,3% dan suhu 50°C selama 24 jam. Penggunaan katalis heterogen berfungsi untuk memungkinkan penggunaan katalis berulang kali dan reaksi dapat berlangsung pada suhu rendah (Priyanto, 2019).

Modifikasi struktur eugenol mampu menghasilkan vanilin dalam satu wadah dengan mereaksikan eugenol secara langsung melalui reaksi sintesis *one pot system*. Metode sintesis *one pot system* ini efektif dilakukan karena berupa menggabungkan dua tahap reaksi dalam satu wadah (*one pot*). Selain itu, metode ini memiliki kelebihan dalam efektivitas waktu dan energi serta lebih ramah lingkungan (Patel, dkk., 2017). Penelitian terdahulu telah melakukan sintesis vanilin menggunakan reaksi sintesis *one pot system* eugenol menjadi vanilin menggunakan katalis logam transisi $\text{Co}(\text{OAc})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dan O_2 sebagai oksidator, rendemen hasil reaksi yang dihasilkan sebesar 68,5% vanilin pada suhu 80°C selama 20 jam. Hal ini menunjukkan bahwa katalis logam transisi memiliki kemampuan dalam berlangsungnya reaksi *one pot system* (Mao, dkk., 2016).

Pembuatan katalis heterogen untuk *sintesis one pot system* eugenol menjadi vanilin dilakukan dengan cara mengembankan katalis logam ke dalam material berpori yang mempunyai situs aktif (Birhi dkk., 2021). Katalis yang dapat digunakan adalah katalis logam tembaga. Katalis logam tembaga diketahui selektif bereaksi membentuk gugus C=O. Logam tembaga berfungsi sebagai penyedia situs aktif pada katalis karena orbital d yang belum terpenuhi sehingga dapat digunakan untuk menerima pasangan elektron dari reaktan untuk mencapai suatu reaksi (Trisunaryati, 2018). Logam tembaga yang dikalsinasi dalam gas nitrogen N_2 dapat membentuk CuO yang dapat berperan sebagai katalis pada reaksi oksidasi

(Chauhan dkk.,2006). Aktivitas katalis CuO dapat ditingkatkan dengan memberikan pengemban. Pengemban berfungsi sebagai tempat logam tersebut menempel dan memiliki struktur yang dapat mendispersi inti aktif sehingga dapat meningkatkan efektivitas katalis dengan memperluas permukaan katalis (Candra, 2007).

Bentonit dipilih sebagai material pengemban yang didasari atas kemampuan mengembang, sifat penukar ion dan mempunyai luas permukaan yang besar, sehingga dapat digunakan sebagai pengemban katalis (Wijaya, dkk., 2003). Kemampuan bentonit sebagai katalis terkait dengan sifat yang khas, diantaranya adalah kapasitas yang dimiliki untuk pertukaran kation lebih besar, sifat katalitik yang dimiliki dengan adanya logam Al dan Si (Drahansky, dkk., 2016). Bentonit dapat diaktivasi dengan NaOH melalui proses impregnasi untuk menghasilkan katalis basa heterogen (Ngapa, 2017). Luas permukaan yang besar pada bentonit dapat digunakan sebagai tempat mendistribusikan logam Cu (Trisunaryanti, 2018).

Sintesis *one pot system vanillin* dari eugenol dimungkinkan dapat terjadi dengan menggunakan katalis CuO yang diembankan dengan bentonit teraktivasi basa sebagai katalis dan H₂O₂ menjadi oksidator. Hidrogen peroksida digunakan sebagai oksidator karena memiliki kemampuan mendonorkan oksigen, memiliki potensial oksidasi yang lebih kuat dari kalium permanganat dan produk samping yang dihasilkan ramah lingkungan (Barokah, 2014). Dengan latar belakang tersebut, judul yang diusulkan dalam penelitian ini adalah “Preparasi CuO/Bentonit Teraktivasi Basa dan Aplikasinya sebagai Katalis dalam Sintesis *One Pot System Vanilin* dari Eugenol”.

B. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini meliputi:

1. Material pengemban yang digunakan merupakan bentonit alam.
2. Katalis yang digunakan yaitu tembaga yang diimbangkan pada bentonit alam dengan metode impregnasi.
3. Analisis karakteristik katalis menggunakan FTIR dan XRD
4. Katalis CuO/Bentonit teraktivasi basa dan oksidator H₂O₂ digunakan dalam reaksi *one pot system* eugenol menjadi vanillin.

C. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini meliputi:

1. Bagaimana karakteristik katalis CuO/bentonit teraktivasi basa berdasarkan spektrofometri FTIR dan XRD ?
2. Bagaimana produk yang dihasilkan dari sintesis *one pot system* vanillin dari eugenol dengan katalis CuO/Bentonit teraktivasi basa ?

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini meliputi:

1. Menganalisis karakteristik katalis CuO/Bentonit teraktivasi basa berdasarkan spektrofotometri FTIR dan XRD.
2. Menganalisis produk yang dihasilkan dari sintesis *one pot system* vanillin dari eugenol dengan katalis CuO/Bentonit teraktivasi basa.

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai sintesis vanilin dari eugenol melalui sintesis *one pot system*. Selain itu juga diharapkan

penelitian ini dapat meningkatkan rendemen produk yang dihasilkan dari reaksi *one pot system* vanillin menggunakan katalis CuO/Bentonit teraktivasi basa.



BAB V KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Katalis CuO/Bentonit teraktivasi basa berhasil dibentuk berdasarkan hasil XRD dengan munculnya puncak CuO pada $2\theta=35,36^\circ$ dan $2\theta=39,16^\circ$ serta munculnya serapan pada panjang gelombang $777,14\text{ cm}^{-1}$ dari vibrasi tekuk Si-O pada hasil FTIR yang merupakan karakteristik dari montmorillonit dalam bentonit teraktivasi basa yang berhasil diembankan.
2. Katalis Cu/Bentonit teraktivasi basa dapat mengkonversi vanilin dari eugenol dalam *one pot system* sebesar 2,8%.

B. Saran

Saran yang disampaikan dalam penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Melakukan variasi rasio katalis dalam reaksi sintesis *one pot system* vanilin dari eugenol.
2. Melakukan optimasi waktu reaksi dalam sintesis *one pot system* vanilin dari eugenol.
3. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut mengenai sintesis *one pot system* vanilin dari eugenol dengan variasi katalis.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, L.C. 2015. Kajian Lempung Teraktivasi Basa Terhadap Sifat Mekanik dan Sifat Magnetik Komposit PVA-Magnetit-Lempung Alam. *Skripsi*. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta
- Agus, S. Muzakir, Ahmad dan Harduan, R. 2012. *Karakterisasi Material: Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia*. Bandung: UPI Press.
- Alothman, Z. A., Romero, A. A., García-albar, P., Noelia, L., Luque, R., dan Pineda, A. 2021. *Catalytic wet hydrogen peroxide oxidation of isoeugenol to vanillin using microwave-assisted synthesized metal loaded catalysts*. 506.
- Asnawati, D., Sudarma, I. M., Yuanita, E., Arlina, B. F., Hamdiani, S., & Kamali, S. R. 2015. *Methylation of Eugenol Using Dimethyl Carbonate and Bentonite as Catalyst*. 15(3), 256–262.
- Atkins, P.W. 1997. *Kimia Fisik Jilid 2*. Edisi keempat. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Ayu R P. (2011). Reaksi Okasidasi Katalitil Isoeugenol Menjadi Vanili dengan Menggunakan Katalis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$. *Skripsi*. Universitas Indonesia
- Bachtiar, A. Y., Wahani, N. F., Juliastuti, S. R., Hendrianie, N. 2020. Pra-Desain Pabrik Vanillin Sintetik dari Kraft Lignin. *Jurnal Teknik ITS*. Vol. 9, No. 2
- Barokah, S. 2014. Aktivitas Fotokatalitil CuO/ZnO Pada Reaksi Oksidasi. *Skripsi*. Universitas Negeri Semarang
- Bergaya, F., Theng, B. K. G., & Lagaly, G. 2013. *Handbook of Clay Science*. Oxford: Elsevier Ltd. Cañizares
- Birhi, D N., Qisthi Ismail, A., Dhiaul Iftitah, E., dan Warsito, W. 2021. One-Pot Catalytic Oxidation for Transforming Eugenol to Vanillin Using ZnAl₂O₄ Catalyst. *The Journal of Pure and Applied Chemistry Research*, 10(3), 203–213
- Budimarwanti, C. 2007. Sintesis senyawa bibenzil dari bahan awal vanilin melalui reaksi wittig dan hidrogenasi katalitik. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan Dan Penerrapan MIPA*, 34–39.
- Bulan, R. 2004. Reaksi Asetilasi Eugenol dan Oksidasi Metil Iso Eugenol. *Jurnal Eugenol*, 1–8.
- Candra, I. N. 2007. Hubungan Antara Sifat Keasaman, Luas Permukaan Spesifik, Volume Pori dan Rerata Jejari Katalis terhadap Aktivasnya pada Reaksi hidrogenasi Cis-Isoeugenol. *Jurnal Exacta*, 1, 24–30
- Carrasco, H., Raimondi, M., Svetaz, L., Di Liberto, M., Rodriguez, M. V., Espinoza, L., Madrid, A., dan Zacchino, S. 2012. Antifungal activity of eugenol analogues. Influence of different substituents and studies on mechanism of action. *Molecules*, 17(1), 1002–1024.
- Chauhan, D., Satsangi, V R., Dass, S., and Shrivastav, R., 2006. *Preparation and Characterization of Nano Structured CuO Thin Films for Photoelectrochemical Splitting of Water*. Indian Academy of Sciences, 709-716. Hibarigaoka 1-1, Tempaku, Toyohashi, Aichi JAPAN
- Chen, X., Hao, X. S., Goodhue, C. E., dan Yu, J. Q. 2006. Cu(II)-catalyzed Functionilization of Aril C-H Bonds Using O₂ as an Oxidant. *Journal of the American Chemical Society*. 128, 6790-6791.

- Clericiet, M.G. 2001. Aromatic Ring Hydroxylation Oxidation, in: Sheldon,R.A.,Bekkum, H.V. (Eds.), "Fine Chemicals Through Heterogeneous Catalysis", Willey-VCH, Weinheim, hal. 538-549, Federal Republic of Germany
- Darmapatni, K. A. G., A. Basori, dan N. M. Suaniti. 2016. Pengembangan Metode GC- MS Untuk Penetapan Kadar Acetaminophen Pada Spesimen Rambut Manusia. *Jurnal Biosains Pascasarjana*. 3(18): 62-69.
- Daryono, E.D. 2015. Reactive Extraction Process in Isolation of Eugenol of Clove Essential Oil (*Syzygium Aromaticum*) Based on Temperature and Time Process. *International Journal of ChemTech Research* 8(11):564-569
- Darwis, Z., Afrizal, A., dan Sriutami, E. R. 2012 . Optimasi Konsentrasi Katalis CaO dari Cangkang Telur Ayam Negeri Dalam Reaksi Transesterifikasi Minyak Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L) Sebagai Bahan Biodiesel. *JRSKT: Jurnal Riset Sains Dan Kimia Terapan*, 2(1), 142–146.
- da Silva, F. F. M., Monte, F. J. Q., de Lemos, T. L. G., Nascimento, P. G. G., Costa, A. K. M,
- Drahansky, M., Paridah, M., Moradbak, A., Mohamed, A., Owolabi, F. A. T., Asniza, M., and Abdul, K. S. H., 2016. Montmorillonite: An Introduction to Properties and Utilization. *Intech I (tourism)*, 13
- Erdanto, R., Ma'ruf, M. C., Setyawan, H., dan Yuwana, Minta. 2015 Pengaruh *Annealing* Terhadap Kristalinitas MnO₂ Hasil Sintesis dengan Metode Elektrokimia. *Jurnal Teknik Kimia ITS*
- Fathurrahman, M., Suhendar, U., Iryani, A., Widiastuti, D., Ahmad, S N., dan Juniar, E. 2022. Sintesis dan Karakterisasi Komposit Eugenol-Silika Gel dari Abu Tongkol Jagung serta Analisis Antibakteri dan Daya Serap terhadap Air. *Alchemy Jurnal Penelitian Kimia*. Vol. 18(1), 10-18
- Fathurrahmi. 2003. *Karakterisasi, Aktivasi dan Pemanfaatan Bentonit Sebagai Adsorben Cu(II)*. Skripsi. Universitas Islam Indonesia
- Fatmawati, R. Y., Wijaya. K., dan Tahir, I. 2018 Material CuO/Bentonit Sebagai Bahan Anti Bakteri *Escherichia coli*. *Berkala MIPA*, 25(3).
- Fauziyati, M. R. 2019. Uji Adsorpsi Bentonit Teraktivasi KOH Terhadap Logam Cu(II). *Walisongo Journal of Chemistry*, 2(2), 80.
- Fessenden Ralph J and Fessenden Joan S. 1986. *Dasar-dasar Kimia Organik*. Jakarta: Bina Aksara
- Filayati, M. R dan Rusmini .2012. Pengaruh Massa Bentonit Teraktivasi H₂SO₄ Terhadap Daya Adsorpsi Iodium *UNESA Journal of Chemistry*. Vol. 1(1), 59–67.
- Gallage, N. J., dan Møller, B. L. 2015. Vanillin-bioconversion and bioengineering of the most popular plant flavor and its de novo biosynthesis in the vanilla orchid. *Molecular Plant*, 8(1), 40–57.
- Garner, N., Siol, A., dan Eilks, I. 2016. The synthesis of vanillin - learning about aspects of sustainable chemistry by comparing different syntheses. *Journal of Science Education*, 17, 25-28.
- Ghozali, Agus Iman, dkk. 2012. Fotodegradasi Zat Warna Remazol Red Menggunakan Katalis α -Fe₂O₄/Fe₃O₄ Core Shell Nanostruktur. *Indonesian Journal Of Chemical Science*.

- Gitaari, N., Benard, K., Gichuki, J., & Kareru, P. 2019. Synthesis of Vanillin from Lignin. *Chemical Science International Journal*, 27(1), 1–5.
- Hamri, B. S., Rhazri, K., Hafid, A., Ouchetto, H., Hajbi, Y., & Khouili, M. 2013. Clove (*Eugenia Caryophyllata*) Extraction and Synthesis of New Pyrazole Derivatives from Eugenol. *Global Journal of Science Frontier Research Chemistry*, 13(7), 0–6.
- Handayani, S., Arianingrum, R., and Haryadi, W. 2011. Vanillin structure modification of isolated vanilla fruit (*vanilla Plaifolia Andrews*) to form vanillinacetone. *Proceedings at 14 th Asian Chemical Congress 2011*, 252-257
- Hanum, F. 2008. Reaksi Katalisis Isomerisasi Eugenol Menjadi Isoeugenol Menggunakan Katalis Mg-Al Hidrotalsit. *Skripsi*. Universitas Indonesia. Jakarta
- Hermanto, S. 2009. Mengenal Lebih Jauh Teknik Analisa Kromatografi dan Spektroskopi. Jakarta: UIN Syarif Hidayatullah Press
- Herrmann, W. A., Weskamp, T., Zoller, J. P., dan Fischer, R. W. 2000. Methyltrioxorhenium: Oxidative cleavage of CC-double bonds and its application in a highly efficient synthesis of vanillin from biological waste. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 153(1–2), 49–52.
- Hidayat, M. T dan Nugraha, I. 2018 Kajian kinerja Ca-Bentonit Kabupaten Pacitan Jawa Timur Teraktivasi Asam Sulfat sebagai Material Lepas Lambat (Slow Release Material) Pupuk Organik Urin Sapi. *Indonesian Journal Material Chemistry*. Vol 1. No. 1:27-37
- Johan, M. R. 2011. Annealing Effect on the Properties of Copper Oxide Thin Films Prepared by Chemical Deposition. *Int. Journal Electrochem.* 6 : 6094-6104.
- Johnson, E., and Arshad, S. 2014. *Aplied Clay Science*. 98, 215-221
- Jinesh, C.M., Rives, V., Carriazo, D., Churchil, A., Antonyaraj, dan Kannanm S. 2009. Influence of Copper on the Isomerization of Eugenol for as-Synthesized NiCuAl Ternary Hydrotalcites: An Understanding Through Pysicochemical Study. *Catal Lett.* 134:337–342
- J.T. Richardson. 1989. *Principle of Catalysts Development*. Plenum Press
- Kalpathy, U., Proctor, A., Shults, J. 2000. A simple method for production of pure silica from rice hull ash. *Bioresource Technology*. 73. hlm 257-262.
- Khopkar, S.M. 2010. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: UI-Press
- Khoyratty, S., Kodja, H., Verpoorte, R. 2018. Vanilla Flavor Production Methods: A Review. *Industrial crops and product*. 125, pp.433-2018
- Kishore, D. and S. Kannan. 2002. Isomerization of eugenol and safrole over Mg-Al Hydrotalcite, a solid base catalyst. *Green Chemistry* 4:607-610
- Krupskaya, V. V., Zakusin, S. V., Tyupina, E. A., Dorzhieva, O. V., Zhukhlistov, A. P., Belousov, P. E., and Timofeeva, M. N., 2017. Experimental Study of Montmorillonite Structure and Transformation of Its Properties Under Treatment with Inorganic Acid Solutions. *Minerals* 7(4), 1–15.
- Kumar, K., Ramamoorthy, K., Koinkar, P. M., Chandramohan, R., dan Sankaranarayanan, K. 2006. A novel in situ synthesis and growth of ZnAl₂O₄ thin films. *Journal of Crystal Growth*, 289(1), 405–407.
- Kurniasari, F. 2013. Penetapan Kadar Eugenol Dan Profil GC-MS Daun Cengkeh. *Prosiding. Simposium Nasional Peluang Dan Tantangan Obat Tradisional*

- Dalam Pelayanan Kesehatan Formal.* 188–191.
- Lee, Hwi-Sung, Hanbin Seo, Dongjoon Kim, Youn-Woo Lee. 2019. One-pot supercritical transesterification and partial hydrogenation of soybean oil in the presence of Pd/Al₂O₃ or Cu or Ni catalyst without H₂. *J. of Supercritical Fluids* 156 (2020) 104683.
- Lestari, D. Y. 2012. Pemilihan Katalis Yang Ideal. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan Dan Penerapan MIPA*, 1–6.
- Li, R., K. C. Chan, X. J. Liu, X. H. Zhang, L. Liu, T. Li, Z. P. Lu. 2017. "Synthesis of well-aligned CuO nanowire array integrated with nanoporous CuO network for oxidative degradation of methylene blue."
- Mani, D., Kalpana, M. S., Patil, D. J., & Dayal, A. M. 2017. Organic Matter in Gas Shales: Origin, Evolution, and Characterization. Origin, Evolution, and Characterization. In *Shale Gas: Exploration and Environmental and Economic Impacts*. Elsevier Inc
- Mao, H., Wang, L., Zhao, F., Wu, J., Huo, H., dan Yu, J. 2016. Cobalt-catalyzed Aerobic Oxidation of Eugenol to Vanillin and Vanillic Acid. *Journal of the Chinese Chemical Society*, 63(3), 261–266.
- Muhaimin, M. A. 2020. Kajian Reaksi Isomerisasi Senyawa Eugenol Menjadi Isoeugenol Menggunakan Katalis Pd/C. *Skripsi*. Universitas Negeri Semarang
- Munnik, P., Petra, E., Krijn, P. 2015. Recent Developments in The Synthesis of Supported Catalyst. *American Chemical Society*, 155, 6687-6718
- Muslimin. 2009. Sintesis Nanosized CuO/ZnO dan Pemanfaatannya sebagai sumber energi alternatif Solar Cell. *Skripsi*. Universitas Negeri Semarang.
- Ngapa, Y. D., 2017. Kajian Pengaruh Asam-Basa pada Aktivasi Zeolit dan Karakterisasinya sebagai Adsorben Pewarna Biru Metilena. *JKPK (Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia)* 2(2), 90–96.
- Nurhayati, N. D., dan Suryadi B. U. 2016. Modifikasi Zeolit Alam Sebagai Katalis Melalui Pengembangan Logam Tembaga. *Jurnal UNS*. 222-226.
- Patel, G. K., Misra, N. M., Vekariya, R. H. dan Shettigar, R. R. 2017. One-pot multicomponent synthesis in aqueous medium of 1,4-dihydropirano[2,3-c]-5-carbonitrile and derivatives using a green and reusable nano-SiO₂ catalyst from agricultural waste. *Research Chemical Intermediete*
- Paul, V., Tripathi, A. D., dan Rai, D. C. 2021. Process Optimization and Characterization of Enhanced Vanillin Yield Using Bacillus aryabhatai NCIM 5503. *Applied Food Biotechnology*, 8(2), 113–119.
- Pavia, D., Lampman, G.M., Kriz, G.S., Vyvyan, J.R. 2009. *Introduction To Spectroscopy*. Fourth Editian. Departemen of Chemistry. Bellingham Washington: Western Washington University.
- Permana, E., Cristine, I., Murti, S. D. S., & Yanti, F. M. 2020. Preparasi dan Karakterisasi Katalis Cu/ZnO dengan Support Karbon Aktif Menggunakan Aktivator H₃PO₄ dan ZnCl₂. *Jurnal Teknologi*, 13(1), 6–15.
- Porta, C D. 2010. *Industrial Treatments and Modification of Clay Mineral*. John Willey & Sons Inc. Published :87-99
- Pratiwi, R A. 2011. Reaksi Oksidasi Katalitik Isoeugenol Menjadi Vanilin dengan Menggunakan Katalis γ -Al₂O₃-TiO₂. *Skripsi*. Universitas Indonesia
- Priambodo Norra, G. 2014. Pemurnian Minyak Nilam Menggunakan Bentonit

- Teaktivasi Asam Klorida. *Skripsi*. Program Studi Kimia UIN Sunan Kalijaga. Yogyakarta
- Priyanto, D. 2019. Sintesis Katalis CuO Berpenyangga Hierarchical Zeolit untuk Konversi Isoeugenol menjadi Vanilin. *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah
- Purnami, Wardana, I. N. G., dan Veronika K. 2015. Pengaruh Penggunaan Katalis Terhadap Laju dan Efisiensi Pembentukan Hidrogen. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 6(1), 51-59
- Purwaningsih, E., Supartono., dan Harjono. 2012. Reaksi Transesterifikasi Minyak Kelapa dengan Metanol menggunakan Katalis Bentonit. *Indonesian Journal of Chemical Science*. No. 1, Vol. 2, Hal 133-139.
- Putri, A A., 2020. *Sintesis dan Karakterisasi Bentonit Terpilas Logam Besi dan Kromium Sebagai Katalis untuk Konversi Etanol menjadi Gasolin*. 21(1), 1–9.
- Putro, W. S. 2012. Pengaruh Aktivasi Lempung Terhadap Sifat Mekanik Komposit Polivinil Alkohol Lempung. *Skripsi*. Universitas Gajah Mada
- Rahmanivahid, B., de Dios, M. P., Haghighi, M., & Luque, R. 2019. Mechanochemical synthesis of CuO/MgAl₂O₄ and MgFe₂O₄ spinels for vanillin production from isoeugenol and vanillyl alcohol. *Molecules*, 24(14).
- Riyanto, A., Yunilawati, R., Rahmi, D., Aidha, N. N., Ratnawati, E., Balai, J., No, K., Rebo, P., & Timur, J. 2015. *Isomerisasi eugenol menjadi isoeugenol dengan metode sonikasi*. 37–44.
- Rieke, R.D., Thakur, D., Roberts, B., and White, T., 1997. Fatty Methyl Ester Hydrogenation to Fatty Alcohol Part I: Correlation Between Catalyst Properties and Activity/Selectivity. *JAOCs*. vol. 74, No.4, 333-339
- Sastrohamidjojo. 2007. *Kimia Minyak Atsiri*. Yogyakarta: FMIPA UGM
- Sharma, S. K., Srivastava, V. K., dan Jasra, R. V. 2006. Selective double bond isomerization of allyl phenyl ethers catalyzed by ruthenium metal complexes. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 245(1–2), 200–209.
- Shi, Z., Zhang, C., Tang, C., & Jiao, N. 2012. Recent advances in transition-metal catalyzed reactions using molecular oxygen as the oxidant. *Chemical Society*
- Shyamala, B. N., Madhava Naidu, M., Sulochanamma, G., & Srinivas, P. (2007). Studies on the antioxidant activities of natural vanilla extract and its constituent compounds through in vitro models. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(19), 7738–7743.
- Sitorus, M.. 2009. *Spektroskopi: Eludasi Struktur Molekul Organik*. Graha Ilmu. Yogyakarta
- Sjostrom, E. 1998. *Kimia Kayu. Dasar-dasar dan Penggunaan*. Edisi dua (Terjemahan Dr. Hardjono Sastrohamidjojo). Yogyakarta : Gadjah Mada University Press. Buku asli terbit tahun 19
- Soleman, P. 2011 Identifikasi Gugus Fungsi dan Kandungan Mineral Lempung Pacitan dengan *Spektroskopi Infra Red (IR) X-RAY Diffraction (XRD)*. *Jurnal Photon*. Vol, 2 No.1.
- Stashenko, E., dan Martínez, J. R. 2014. *Advances in Gas Chromatography - Chapter1: Gas Chromatography-Mass Spectrometry*
- Sujalmi, S., Suharso, S., Supriyanto, R., dan Buchari, B. 2010. Determination of

- Vanillin in Vanilla (*Vanilla planifolia* Andrews) From Lampung Indonesia by High Performance Liquid Chromatography. *Indonesian Journal of Chemistry*, 5(1), 7–10.
- Sukandarrumidi. 1999. *Bahan Galian Industri*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press
- Supeno, Minto. 2009. Bentonit terpillar dan aplikasi: Kimia Anorganik, Cetakan Pertama, USU Press.
- Sutanto, H. 2012. Modifikasi Katalitik Eugenol Menggunakan Katalis Superbasa Na/NaOH/Al₂O₃. *Skripsi*. Universitas Indonesia
- Svehla. 1979. *Vogel Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimakro*. Kalman Media Pustaka. Jakarta
- Syuhada, Rachmat Wijaya, Jayatin, dan Saeful Rohman. 2009. Modifikasi Bentonit (Clay) menjadi Organoclay dengan Penambahan Surfaktan. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*. ISSN 1979-0880. Vol. 2 No. 1. Hal. 48-51.
- Trisunaryanti, W., 2018. *Material Katalis dan Karakternya*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Triviana, L., Rohaeti, E., dan Sugiati, S., 2015. Sintesis Dan Karakterisasi Natrium Silikat (Na₂SiO₃) Dari Sekam Padi. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*. Vol 7(2)
- Utomo, S. B., dan Setiati, T. 2019. Application of Calixarene as A Phase Transfer Catalyst in Vanilin Synthesis from Eugenol. *JKPK (Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia)*, 4(3), 179
- Wahyuningsih, P. 2022. Bentonit Tersulfatasi sebagai Katalis dalam Produksi Biodiesel dari Minyak Jelantah. *QUIMICA: Jurnal Kimia Sains Dan Terapan*, 4(1), 5–8.
- Wang, X., Ozdemir, O., Hampton, M., Nguyen, A, V, dan Dung. 2012. *Water Research*. 46(16), 5247-5254
- Wang, Y., Gan, Y., dan Whiting, R. 2009. Synthesis of sulfated titania supported on mesoporous silica using direct impregnation and its application in esterification of acetic acid and n-butanol. *Journal of Solid State Chemistry*, 182(9), 2530-2534
- Wibowo, W., Suwarso, W. P., & Utari, T. 2002. Aplikasi Reaksi Katalisis Heterogen Untuk Pembuatan Vanili Sintetik (3-Hidroksi-2-Metoksibenzaldehida) dari Eugenol (4-Alil-2-Metoksifenol) Minyak Cengkeh. *Makara Sains*. 6(3), 142–148.
- Wijaya, K., Tahir, I., dan Mudasir. 2003. Sintesis dan karakterisasi montmorilonit terpillar serta aplikasi sebagai fotokatalis, bahan foto fungsional dan adsorben. *Berkala ilmiah MIPA*. Vo. 13, No.2, Hal.1-16
- Witthuhn, R. C., Van Der Merwe, E., Venter, P., & Cameron, M. 2012. Guaiacol Production from Ferulic Acid, Vanillin and Vanillic Acid by *Alicyclobacillus Acidoterrestris*. *International Journal of Food Microbiology*, 157(1), 113–117.
- Yuhermita, N. M., Nazarudin, N., Alfernando, O., Prabasari, I. G., dan Haviz, M. 2021. Perengkahan Katalitik Minyak Jelantah Menggunakan Katalis Co-Carbon Yand Dihasilkan dengan Metode Ion Exchange. *Jurnal BiGME*. Volume 1 Nomor 1,

Zhang, R., Maltari, R., Guo, M., Kontro, J., Eronen, A., dan Repo, T. 2020. Facile synthesis of vanillin from fractionated Kraft lignin. *Industrial Crops and Products*, 145

