

**PREPARASI DAN KARAKTERISASI Fe_2O_3 TEREMBANKAN CaO DAN
APLIKASINYA SEBAGAI KATALIS DALAM REAKSI KONVERSI
EUGENOL MENJADI VANILIN**

Skripsi

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



Oleh:
Novelita Uswatun Khasanah
19106030021

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALJAGA
YOGYAKARTA
2024**



**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-349/Un.02/DST/PP.00.9/02/2024

Tugas Akhir dengan judul : Preparasi dan Karakterisasi Fe₂O₃ Terembankan CaO dan Aplikasinya sebagai Katalis dalam Reaksi Konversi Eugenol menjadi Vanilin

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : NOVELITA USWATUN KHASANAH
 Nomor Induk Mahasiswa : 19106030021
 Telah diujikan pada : Senin, 12 Februari 2024
 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: 65dcb9adc07a3



Penguji I

Dr. Susy Yunita Prabawati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 65deabb68c017



Penguji II

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

Valid ID: 65de9a8e67d1



Yogyakarta, 12 Februari 2024
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

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

Valid ID: 65d0113722aea



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 pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Novelita Uswatun Khasanah

Nim : 19106030021

Judul Skripsi : Preparasi dan Karakterisasi Fe_2O_3 terembankan CaO dan Aplikasinya sebagai Katalis dalam Reaksi Konversi Eugenol Menjadi Vanilin.

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, 26 Februari 2024

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 pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Novelita Uswatun Khasanah

Nim : 19106030021

Judul Skripsi : Preparasi dan Karakterisasi Fe_2O_3 terembankan CaO dan Aplikasinya sebagai Katalis dalam Reaksi Konversi Eugenol Menjadi Vanilin.

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, 26 Februari 2024

Konsultan

Didik Krisdiyanto, S.Si, M.Sc.

NIP. 19811111 201101 1 007



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 : Novelita Uswatun Khasanah
NIM : 19106030021
Judul Skripsi : PREPARASI DAN KARAKTERISASI Fe_2O_3 TEREMBANKAN CaO DAN APLIKASINYA
SEBAGAI KATALIS DALAM REAKSI KONVERSI EUGENOL MENJADI VANILIN

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

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 25 Januari 2024

Pembimbing

Priyagung Dhemi Widiakongko, M.Sc
NIP: 19900330 201903 1 008

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Novelita Uswatun Khasanah
NIM : 19106030021
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **“PREPARASI DAN KARAKTERISASI Fe_2O_3 TEREMBANKAN CaO DAN APLIKASINYA SEBAGAI KATALIS DALAM REAKSI KONVERSI EUGENOL MENJADI VANILIN”** 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, 25 Januari 2024



Novelita Uswatun Khasanah
NIM : 19106030021

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN MOTTO

فَهْدِيْ ضَالًّا وَّوَجِدْكَ

“ Dan Dia mendapatimu sebagai seorang yang bingung,

Lalu Dia memberikan petunjuk”

(QS Ad Duha ayat 7)

*“Our greatest weakness lies in giving up.
The most certain way to succeed is always to try just one more time”*

(Thomas Alva Edison)



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan kesempatan dan kekuatannya sehingga skripsi yang berjudul “Preparasi dan Karakterisasi Fe_2O_3 terembankan CaO dan Aplikasinya sebagai Katalis dalam Reaksi Konversi Eugenol Menjadi Vanilin” dapat diselesaikan sebagai persyaratan untuk mencapai derajat sarjana kimia.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan motivasi 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. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Ibu Dr. Imelda Fajriati, M.Si. selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Bapak Priyagung Dhemi Widiakongko, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing skripsi yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, arahan, nasihat, dukungan dan motivasi kepada penulis dalam penulisan dan penelitian tugas akhir.
4. Seluruh staf pengajar di Lingkungan UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta, khususnya Fakultas Sains dan Teknologi yang telah membekali ilmu.
5. Segenap PLP Laboratorium Kimia dan Fisika terpadu UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian.
6. Bapak Sarjiya, S.T. dan Ibu Endang Sri Wahyuni selaku orang tua kandung penulis yang selalu mendoakan, memberikan motivasi dan kasih sayang serta memberikan dukungan berupa finansial maupun nonfinansial.
7. Halim Arif Wicaksono dan Satriawan Budi Utama selaku kakak dan adik penulis yang selalu memberikan semangat dan motivasi kepada penulis.
8. Asyifa Aulia dan Rahma Rahayu selaku teman satu perjuangan di Laboratorium dan Hilda Robihatin H selaku teman satu bimbingan yang selalu memberikan semangat dan turut membantu kelancaran proses penelitian.
9. Teman-teman ekuivalen 2019 yang telah berjuang bersama.
10. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu atas bantuan dan dukungannya dalam penulisan tugas akhir.

Penulis menyadari penulisan tugas akhir ini jauh dari kata sempurna, maka kritik dan saran penyusun harapkan untuk kesempurnaan penulisan tugas akhir. Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan khususnya dalam bidang kimia.

Yogyakarta, 29 September 2023
penyusun

HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahiim

Skripsi dan penelitian ini penulis dedikasikan untuk

Orang tua, Keluarga dan almamater

Pogram Studi Kimia

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR ISI

PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR	ii
NOTA DINAS KONSULTASI.....	iii
NOTA DINAS KONSULTASI.....	iv
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR	v
SURAT PERNYATAAN	vi
HALAMAN MOTTO	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
ABSTRAK.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Batasan Masalah.....	5
C. Rumusan Masalah.....	5
D. Tujuan Penelitian	5
E. Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	7
A. Tinjauan Pustaka.....	7
B. Dasar Teori	11
C. Kerangka Berpikir dan Hipotesis	21
BAB III METODE PENELITIAN	23
A. Waktu dan Tempat Penelitian	23
B. Alat-alat Penelitian	23
C. Bahan Penelitian	23
D. Prosedur Penelitian	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	26
A. Preparasi katalis Fe ₂ O ₃ /CaO	26
B. Karakterisasi katalis Fe ₂ O ₃ /CaO.....	28
C. Konversi Eugenol Menjadi Vanilin	34
D. Karakterisasi Hasil Konversi	38
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	49
A. Kesimpulan	49
B. Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN.....	58
CURRICULUM VITAE	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur Senyawa Eugenol	11
Gambar 2. 2 Struktur Senyawa Vanilin.....	12
Gambar 2. 3 Reaksi Isomerisasi Oksidasi	15
Gambar 4. 1 Spektra FTIR CaO dan Katalis Fe ₂ O ₃ /CaO Hasil Impregnasi	29
Gambar 4. 2 Mekanisme CaO sebagai basa lewis.....	31
Gambar 4. 3 Difraktogram XRD Katalis Fe ₂ O ₃ /CaO Hasil Impregnasi	31
Gambar 4. 4 Struktur Kristal Heksagonal.....	34
Gambar 4. 5 Kromatogram Eugenol	35
Gambar 4. 6 Spektra FTIR Eugenol.....	36
Gambar 4. 7 Reaksi Eugenol menjadi Vanilin	38
Gambar 4. 8 Spektra FTIR Hasil Konversi.....	38
Gambar 4. 9 Kromatogram Hasil Konversi	39
Gambar 4. 10 Spektra Massa Puncak Keempat & Kelima	41
Gambar 4. 11 Pola Fragmentasi Isoeugenol	42
Gambar 4. 12 Spektra Massa Puncak Ketiga	43
Gambar 4. 13 Pola Fragmentasi Vanilin	44
Gambar 4. 14 Grafik Perbandingan Eugenol dengan Hasil Konversi.....	44
Gambar 4. 15 Mekanisme Eugenol Menjadi Isoeugenol	45
Gambar 4. 16 Mekanisme Reaksi Konversi Eugenol Menjadi Vanilin	47
Gambar 4. 17 Mekanisme Reaksi Eugenol Menjadi Chavicol	48

ABSTRAK

PREPARASI DAN KARAKTERISASI Fe_2O_3 TEREMBANKAN CaO DAN APLIKASINYA SEBAGAI KATALIS DALAM REAKSI KONVERSI EUGENOL MENJADI VANILIN

Oleh
Novelita Uswatun Khasanah
19106030021

Pembimbing:
Priyagung Dhemi Widiakongko, M.Sc.

Besi (III) oksida merupakan salah satu katalis heterogen yang dapat ditingkatkan kemampuan katalisnya dengan mengembankan pada material berpori seperti CaO. Kalsium oksida dapat berperan sebagai *support* dan katalis basa heterogen. Pengembanan ini dapat meningkatkan aktivitas katalis besi (III) oksida dengan memperluas sisi aktifnya dan menambah sifat kebasaan. Dalam penelitian ini katalis Fe_2O_3/CaO dibuat dan dimanfaatkan dalam aplikasi konversi eugenol menjadi vanilin dengan pelarut metanol. Tujuan dari penelitian ini adalah karakterisasi katalis Fe_2O_3/CaO berdasarkan instrumen FTIR dan XRD serta menganalisis hasil konversi menggunakan instrumen GC-MS. Preparasi katalis Fe_2O_3/CaO dilakukan dengan metode impregnasi basah dilanjutkan dengan kalsinasi pada suhu $800^\circ C$ dan dialiri dengan gas N_2 selama 4 jam. Katalis Fe_2O_3/CaO berhasil disintesis berdasarkan identifikasi spektrum FTIR dengan adanya serapan pada panjang gelombang 586 cm^{-1} yang diidentifikasi milik Fe-O dan serapan pada panjang gelombang 871 cm^{-1} yang diidentifikasi milik Ca-O. Hasil pengujian XRD mengindikasikan adanya material hematit Fe_2O_3 pada puncak 2θ 35,74 dan 54,30. Difraktogram XRD mengindikasikan material CaO pada puncak 2θ 17,79, 28,55, 29,21, 37,3, 50,6, dan 64,1. Berdasarkan uji GC-MS katalis Fe_2O_3/CaO berhasil mengkonversi vanilin sebesar 0,17%.

Kata kunci: katalis heterogen, Fe_2O_3/CaO , impregnasi basah, vanilin, eugenol.

ABSTRACT

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF Fe_2O_3 INSERTED CaO AND ITS APPLICATION AS A CATALYST IN THE CONVERSION REACTION OF EUGENOL TO VANILLIN

By:

Novelita Uswatun Khasanah

19106030021

Adviser:

Priyagung Dhemi Widiakongko, M.Sc.

Iron (III) oxide is a heterogeneous catalyst whose catalytic capacity can be improved by applying it to porous materials such as CaO. Calcium oxide can act as a support and a heterogeneous base catalyst. This impregnation can increase the catalytic activity of iron (III) oxide by expanding the active site and increasing basicity. In this research, the $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ catalyst was made and used in the application of converting eugenol to vanillin using methanol solvent. The aim of this research is to characterize the $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ catalyst based on FTIR and XRD instruments and analyze the conversion results using a GC-MS instrument. $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ catalyst preparation was carried out using the wet impregnation method followed by calcination at a temperature of 800°C and flowing with N_2 gas for 4 hours. The $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ catalyst was successfully synthesized based on FTIR spectrum identification with an absorption at a wavelength of 586 cm^{-1} which was identified as belonging to Fe-O and an absorption at a wavelength of 871 cm^{-1} which was identified as belonging to Ca-O. The XRD results indicate the presence of Fe_2O_3 hematite material at peaks 2θ 35.74 and 54.30. The XRD diffractogram indicates CaO material at peak 2θ 17.79, 28.55, 29.21, 37.3, 50.6, and 64.1. Based on the GC-MS test, the $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ catalyst succeeded in converting 0.17% vanillin.

Key words: *heterogeneous catalyst, $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$, wet impregnation, vanillin, eugenol.*

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Katalis heterogen merupakan salah satu katalis yang banyak digunakan dalam berbagai bidang industri (Ciriminna *et al.*, 2021). Seperti pada industri kimia (Zybert, 2023), industri farmasi (López & Padrón, 2022), industri pangan (Praputri *et al.*, 2018) dan masih banyak lagi. Umumnya penggunaan katalis yang bersifat heterogen lebih menguntungkan (Marbun *et al.*, 2023). Hal tersebut dikarenakan katalis heterogen lebih ramah lingkungan, mudah dipisahkan dari hasil, dan dapat digunakan kembali sehingga meningkatkan efisiensi produksi (Indarwati & Samik, 2022).

Salah satu contoh katalis heterogen adalah Fe_2O_3 . Material Fe_2O_3 memiliki kemampuan katalitik yang tinggi untuk mempercepat reaksi redoks (Riskiani *et al.*, 2018). Katalis Fe_2O_3 mampu bertindak sebagai asam lewis yang dapat menerima pasangan elektron dari reaktan yang kemudian digunakan dalam mencapai suatu reaksi (Male *et al.*, 2013). Salah satu reaksi yang menggunakan katalis Fe_2O_3 adalah reaksi oksidasi ikatan π (Riskiani *et al.*, 2018). Katalis Fe_2O_3 membantu dalam reaksi oksidasi ikatan π dengan pemutusan ikatan σ menghasilkan aldehid seperti yang terjadi pada pembentukan stirena menjadi benzaldehid (Franco *et al.*, 2021).

Fe_2O_3 dapat ditingkatkan kemampuannya sebagai katalis dengan pengembangan ke material berpori (Side *et al.*, 2021). Salah satu material berpori

yang dapat mendukung katalis Fe_2O_3 adalah CaO (Ezzah-Mahmudah *et al.*, 2016). Pemilihan pengemban CaO dikarenakan CaO memiliki luas permukaan yang tinggi dengan distribusi ukuran pori yang sempit sehingga dapat menyebarluaskan sisi aktif katalis Fe_2O_3 (Granados-Pichardo *et al.*, 2020). Selain sebagai pengemban CaO juga dapat bertindak sebagai katalis basa heterogen (Sari *et al.*, 2022). Katalis yang memiliki sifat basa dapat digunakan dalam membantu dalam reaksi isomerisasi. Sifat basa digunakan untuk mengikat hidrogen sehingga dapat memindahkan posisi ikatan rangkap pada reaksi isomerisasi (Riyanto *et al.*, 2015).

Berdasarkan sifat Fe_2O_3 dan CaO tersebut pengembanan Fe_2O_3 ke dalam CaO memungkinkan dalam membantu reaksi isomerisasi dan oksidasi. Katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ dapat digunakan dalam reaksi oksidasi seperti yang telah dilakukan oleh Idriss & Seebauer (2000) dalam penelitian reaksi etanol menggunakan oksida logam. Penggunaan katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ membantu reaksi etanol menjadi produk utama asetaldehid dengan produk samping aseton dan etil asetat. Choi *et al* (2000) menggunakan katalis $\text{CaO}/\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$ dalam reaksi dehidrogenasi oksidatif 4-vinilsikloheksana menjadi stirena. Katalis $\text{CaO}/\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$ menghasilkan selektivitas stirena 88,9% dengan konversi sebesar 45,2% pada temperatur 400°C. Farida Azzakiya & dan Nuni Widiarti (2015) menggunakan katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{ZAA}$ dalam reaksi oksidasi kariofilena menjadi turunanya yakni senyawa klovena. Katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{ZAA}$ mengkonversi kariofilena menjadi klovena sebesar 46,07% pada suhu 70°C. Zhu *et al* (2014) menggunakan katalis basa $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ dalam reaksi oksidasi sikloheksanon menjadi e-kaprolakton. Katalis ini berhasil mengkonversi e-kaprolakton sebesar 73% dengan selektivitas 100%. Reaksi

isomerisasi lain pernah dilakukan oleh Suttibut *et al* (2017) menggunakan katalis CaO/MgO dalam reaksi isomerisasi 1-butena menjadi 2-butena. Katalis ini mengkonversi sebesar 50% dengan selektivitas lebih dari 99%. Kitajima *et al* (2016) menggunakan katalis CaO/ZrO₂ sebagai katalis dalam reaksi isomerisasi glukosa menjadi fruktosa. Peneliti menemukan bahwa penambahan 24% berat CaO ke ZrO₂ mengakibatkan peningkatan selektivitas dalam isomerisasi glukosa menjadi fruktosa. Selektivitas fruktosa maksimum adalah 86% pada konversi glukosa 25% pada 140 °C selama waktu reaksi 15 menit. Tinjauan penelitian tersebut memungkinkan katalis Fe₂O₃/CaO memiliki peluang dalam membantu proses reaksi isomerisasi dan oksidasi oleh karena hal tersebut eksplorasi katalis Fe₂O₃/CaO masih dapat ditingkatkan.

Katalis Fe₂O₃/CaO dimungkinkan dapat dimanfaatkan dalam reaksi konversi eugenol menjadi vanilin. Reaksi konversi eugenol menjadi vanilin merupakan salah satu reaksi yang menggunakan reaksi isomerisasi dan oksidasi (Utomo & Setiati, 2019). Reaksi isomerisasi mengkonversi eugenol menjadi isoeugenol selanjutnya isoeugenol dikonversi menjadi vanilin melalui reaksi oksidasi (Tulungen, 2020). Reaksi isomerisasi mengkonversi eugenol menjadi isoeugenol dengan menggeser posisi ikatan rangkap pada grup alkenil ke posisi konjugasi pada cincin benzena. Isomerisasi dilakukan dengan mereaksikan eugenol dengan basa kuat seperti NaOH dan KOH sebagai katalis (Riyanto *et al.*, 2015). Oksidasi eugenol juga dapat dilakukan dengan memberikan katalis basa seperti NaOH sebagai pembawa OH⁻. Reaksi tersebut berlangsung dengan

pelepasan C_2H_2 dan H^+ dengan CH yang ada pada senyawa isoeugenol. Oksidasi eugenol membentuk gugus aldehid, H_2O dan H^+ bebas (Soemadiharga, 1973).

Proses konversi vanilin dapat dilakukan menggunakan katalis basa heterogen dengan logam transisi. Wibowo *et al* (2010) mensintesis vanilin dari eugenol menggunakan katalis $\gamma-Al_2O_3/NaOH/Na$ presentase konversi trans isoeugenol 64,4% dan cis-isoeugenol 6,1%. Katalis fasa [18]-crown ether-6 dengan oksidator $KMnO_4$ menghasilkan rendemen suasana asam (pH 2) 0,021%, dalam suasana netral (pH 7) adalah 0,028% dan dalam suasana basa (pH 9) adalah 0,015%. Radhakrishna *et al* (1990) mensintesis eugenol menjadi isoeugenol dengan katalis basa KF/Al_2O_3 dan pelarut etilena glikol yang direfluks pada suhu $300^\circ C$ selama 90 menit. Konversi sebesar 78% dengan selektivitas 68%. Franco *et al* (2019) mensintesis isoeugenol menjadi vanilin menggunakan sewage sludge (SSB) dengan kandungan Fe_2O_3 terbanyak sekitar 40% sebagai katalis dengan oksidator H_2O_2 memberikan konversi yang baik hingga 80% dengan selektivitas 65%. Mao *et al.*, (2020) berhasil melakukan *green production* bio vanilin menggunakan katalis $NiCo_2O_4/SiO_2$ dengan oksidasi dibawah O_2 pada tekanan 0,35 Mpa. Katalis komposit logam ini memiliki selektivitas yang baik untuk vanilin tanpa asam vanilat yang terdeteksi. Konversi vanilin mencapai 86,3%. Dengan latar belakang tersebut maka judul dalam penelitian ini adalah “Preparasi dan Karakterisasi Fe_2O_3 terembankan CaO dan Aplikasinya sebagai Katalis dalam Reaksi Konversi Eugenol Menjadi Vanilin”.

B. Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menggunakan katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ untuk konversi eugenol menjadi vanilin.
2. Metode yang digunakan dalam mempersiapkan katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ adalah metode impregnasi basah.
3. Karakterisasi katalis menggunakan FTIR dan XRD.
4. Karakterisasi hasil konversi menggunakan FTIR dan GC-MS.
5. Reaksi konversi eugenol menjadi vanilin menggunakan minyak eugenol murni.

C. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana karakterisasi katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ yang disintesis menggunakan metode impregnasi basah?
2. Apakah katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ dapat mengkonversi eugenol menjadi vanilin?

D. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Untuk mengkarakterisasi katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ hasil sintesis menggunakan metode impregnasi basah.
2. Untuk mengetahui apakah katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ dapat mengkonversi eugenol menjadi vanilin.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memberikan informasi terkait karakterisasi katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ hasil sintesis menggunakan metode impregnasi basah.
2. Membuktikan apakah katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ dapat mengkonversi eugenol menjadi vanilin.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ berhasil disintesis menggunakan metode impregnasi basah hal ini dibuktikan dengan munculnya karakteristik XRD Fe_2O_3 pada puncak 2 θ 35,74 dan 54,30 puncak tersebut identik dengan material hematit. Karakterisasi CaO memiliki puncak 2 θ 17,79. 28, 55. 29,21. 37,3. 50,6 dan 64,1. Serta analisis FTIR menunjukkan serapan Fe-O pada 586 cm^{-1} dan 432 cm^{-1} serta serapan Ca-O pada 871 cm^{-1} dan 354,9 cm^{-1} .
2. Katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ dapat mengkonversi eugenol menjadi vanilin sebesar 0,17%.

B. Saran

Saran yang diusulkan untuk penelitian lebih lanjut adalah :

1. Melakukan karakterisasi lebih lanjut untuk katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ seperti uji SEM.
2. Melakukan optimasi waktu dan suhu dalam konversi reaksi eugenol menjadi vanilin.
3. Mengganti katalis menggunakan komponen lain untuk konversi eugenol menjadi vanilin.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulloh, A., Purkan, P., & Hardiansyah, N. (2017). Preparasi dan Karakterisasi α - Fe_2O_3 /Zeolit Y untuk Reaksi Perengkahan Asam Palmitat. *Jurnal Kimia Riset*, 2(2), 69. <https://doi.org/10.20473/jkr.v2i2.6166>
- Alvarez, A. M., Bengoa, J. F., Cagnoli, M. V., Gallegos, N. G., Marchetti, S. G., & Mercader, R. C. (2005). Effect of the calcination atmosphere on the structural properties of the reduced Fe/SiO₂ system. *Hyperfine Interactions*, 161(1–4), 3–9. <https://doi.org/10.1007/s10751-005-9186-0>
- Budimarwanti, C. (2009). Sintesis Senyawa 4-Hidroksi -5-Dimetilaminometil-3-Metoksibenzil Alkohol dengan Bahan Dasar Vanilin Melalui Reaksi Mannich. *Seminar Nasional Kimia Jurusan Pendidikan FMIPA UNY*, 5–10.
- Choi, Y. S., Park, Y. K., Chang, J. S., Park, S. E., & Cheetham, A. K. (2000). Oxidative Dehydrogenation of 4-Vinylcyclohexene into Styrene over ZrO₂ Catalyst Promoted with Fe₂O₃ and CaO. *Catalysis Letters*, 69(1–2), 93–101. <https://doi.org/10.1023/a:1019049301945>
- Ciriminna, R., Pagliaro, M., & Luque, R. (2021). Heterogeneous Catalysis Under Flow for the 21st Century Fine Chemical Industry. *Green Energy and Environment*, 6(2), 161–166. <https://doi.org/10.1016/j.gee.2020.09.013>
- de Groot, A. C. (2019). *Monograph in Contact Allergy Volume 2 Fragrances and Essential Oil*. CRC Press.
- Deraz, N. M. (2018). comparative jurisprudence of catalysts preparation methods: I. precipitation and impregnation methods. J. Ind. Environ. Chem., vol. 2, no. 1, pp. 19–21, 2018. The comparative jurisprudence of catalysts preparation methods: I. precipitation and impregnation. *Journal of Industrial and Environmental Chemistry*, 2(1), 19–21.
- Ezzah-Mahmudah, S., Lokman, I. M., Saiman, M. I., & Taufiq-Yap, Y. H. (2016). Synthesis and characterization of Fe₂O₃/CaO derived from Anadara Granosa for methyl ester production. *Energy Conversion and Management*, 126, 124–131. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.07.072>
- Farida Azzakiya, N., & dan Nuni Widiarti, S. (2015). Oksidasi Kariofilena dengan H₂O₂ menjadi Turunannya dan Uji Aktivasnya terhadap Staphylococcus aureus. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 4(3), 2–7. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- Fatkhurrozi, A. (2020). Masalah Penyimpanan Calcium Oksida Di Gudang Pt.Sibelco Bhumiadya. *Jurnal Ilmiah Teknologi Infomasi Terapan*, 6(2), 152–156. <https://doi.org/10.33197/jitter.vol6.iss2.2020.344>
- Febriatna, T. S., Darmanto, P. S., & Juangsa, F. B. (2023). Experimental analysis

- on calcination and carbonation process in calcium looping for CO₂ capture: Study case of cement plants in Indonesia. *Clean Energy*, 7(2), 313–327. <https://doi.org/10.1093/ce/zkac072>
- Fessenden, R. J., & Fessenden, J. S. (1982). *Kimia Organik Jilid 1* (A. H. Pudjaatmaka (ed.); 3rd ed.). Erlangga.
- Fitriyano, G., B, S. A., Adiwarna, A., & Fauziah, S. (2020). Pengaruh Jumlah Katalis CaO Terhadap Karakteristik Produk pada Sintesis Gliserol Karbonat. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 16(2), 211. <https://doi.org/10.20961/alchemistry.16.2.38375.211-217>
- Franco, A., Fernandes De Souza, J., Pinheiro Do Nascimento, P. F., Mendes Pedroza, M., De Carvalho, L. S., Rodriguez-Castellón, E., & Luque, R. (2019). Sewage Sludge-Derived Materials as Efficient Catalysts for the Selective Production of Vanillin from Isoeugenol. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 7(8), 7519–7526. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b05105>
- Franco, A., Luque, R., & Carrillo-Carrión, C. (2021). Exploiting the Potential of Biosilica from Rice Husk as Porous Support for Catalytically Active Iron Oxide Nanoparticles. *Nanomaterials*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/nano11051259>
- Gago, J., & Ngapa, Y. D. (2021). Pemanfaatan cangkang telur ayam sebagai material dasar dalam sintesis hidroksiapatit dengan metode presipitasi basah. *Cakra Kimia (Indonesia E-Journal of Applied Chemistry)*, 9(1), 29–34.
- Granados-Pichardo, A., Granados-Correa, F., Sánchez-Mendieta, V., & Hernández-Mendoza, H. (2020). New CaO-Based Adsorbents Prepared by Solution Combustion and High-Energy Ball-Milling Processes for CO₂ Adsorption: Textural and Structural Influences. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(1), 171–183. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2017.03.005>
- Hasan, M., Nazar, M., Utami, A., Khairani, C. P., Nafilah, F., Parma, R., Tasya, G., Ramdani, S., Vanilla, & Tuddin, H. (2022). *Bioplastik untuk Mengemas Makanan Berbasis Pati dan Kitosan* (1st ed.). Bandar Publishing.
- Helwani, Z., Ramli, M., Saputra, E., Bahrudin, B., Yolanda, D., Fatra, W., Idroes, G. M., Muslem, M., Mahlia, T. M. I., & Idroes, R. (2020). Impregnation of CaO from Eggshell Waste with Magnetite as a Solid Catalyst (Fe₃O₄/CaO) for Transesterification of Palm Oil Off-Grade. *Catalysts*, 10(2), 1–13. <https://doi.org/10.3390/catal10020164>
- Hikmah, S. A., Rahim, E. A., & Musafira, M. (2019). Sintesis dan Karakteristik Polieugenol dari Eugenol Menggunakan Katalis H₂SO₄ – CH₃COOH. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 4(3), 285–296. <https://doi.org/10.22487/kovalen.2018.v4.i3.11855>

- Hu, Q., Shen, Y., Chew, J. W., Ge, T., & Wang, C. H. (2020). Chemical Looping Gasification of Biomass with $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ as the Oxygen Carrier for Hydrogen-Enriched Syngas Production. *Chemical Engineering Journal*, 379(July 2019), 122346. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122346>
- Idriss, H., & Seebauer, E. G. (2000). Reactions of Ethanol Over Metal Oxides. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 152(1–2), 201–212. [https://doi.org/10.1016/S1381-1169\(99\)00297-6](https://doi.org/10.1016/S1381-1169(99)00297-6)
- Indarwati, E. R., & Samik, S. (2022). Artikel Review: Pemanfaatan Katalis Abu Cangkang pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Jelantah Menjadi Biodisel. *UNESA Journal of Chemistry*, 11(2), 113–122.
- Kaloari, R. M., Setiawan, A., & Wardani, N. K. (2014). Sintesis dan Karakterisasi Nanokatalis α - Fe_2O_3 dengan Bahan Penyangga. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVIII HFI Jateng & DIY*, 1(April), 158–161.
- Karunadasa, K. S. P., Manoratne, C. H., Pitawala, H. M. T. G. A., & Rajapakse, R. M. G. (2019). Thermal decomposition of calcium carbonate (calcite polymorph) as examined by in-situ high-temperature X-ray powder diffraction. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 134(January), 21–28. <https://doi.org/10.1016/j.jpics.2019.05.023>
- Khachani, M., El Hamidi, A., Halim, M., & Arsalane, S. (2014). Non-Isothermal Kinetic and Thermodynamic Studies of the Dehydroxylation Process of Synthetic Calcium Hydroxide $\text{Ca}(\text{OH})_2$. *Journal of Materials and Environmental Science*, 5(2), 615–624.
- Kitajima, H., Higashino, Y., Matsuda, S., Zhong, H., Watanabe, M., Aida, T. M., & Smith, R. L. (2016). Isomerization of Glucose at Hydrothermal Condition with TiO_2 , ZrO_2 , CaO -doped ZrO_2 or TiO_2 -doped ZrO_2 . *Catalysis Today*, 274, 67–72. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2016.01.049>
- Kumar, R., Sharma, P. K., & Mishra, P. S. (2012). A Review on the vanillin Derivatives Showing Various Biological Activities. *International Journal of PharmTech Research*, 4(1), 266–279.
- Lanxess. (2015). Product Safety Assessment: Iron oxide [Fe_2O_3] Potential. *Energizing Chemistry*, 1–3.
- Lassoued, A., Dkhil, B., Gadri, A., & Ammar, S. (2017). Control of the Shape and Size of Iron Oxide (α - Fe_2O_3) Nanoparticles Synthesized Through the Chemical Precipitation Method. *Results in Physics*, 7, 3007–3015. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2017.07.066>
- Lesbani, A., Ceria Sitompul, S. O., Mohadi, R., & Hidayati, N. (2016). Characterization and Utilization of Calcium Oxide (CaO) Thermally Decomposed from Fish Bones as a Catalyst in the Production of Biodiesel from Waste Cooking Oil. *Makara Journal of Technology*, 20(3), 121.

<https://doi.org/10.7454/mst.v20i3.3066>

- Lestari, D., & Budimarwanti, C. (2018). Sintesis Etil Sitronelat dengan Reaksi Esterifikasi Fischer Antara Etanol dengan Asam Sitronelat Hasil Reaksi Oksidasi Sitronelat. *Jurnal Kimia Dasar*, vol 7, 198–204.
- López, Ó., & Padrón, J. M. (2022). Iridium-and Palladium-Based Catalysts in the Pharmaceutical Industry. *Catalysts*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/catal12020164>
- Male, Y. T., Tehubijuluw, H., & Pelata, P. M. (2013). Sintesis Senyawa Kompleks Berinti Ganda {[Fe(L)(NCS) 2] 2 oks} (L = 1,10-fenantrolin dan 2,2'-bipiridin). *J. Chem. Res*, 1, 15–22.
- Mao, H., Wang, H., Hu, X., Zhang, P., Xiao, Z., & Liu, J. (2020). One-Pot Efficient Catalytic Oxidation for Bio-Vanillin Preparation and Carbon Isotope Analysis. *ACS Omega*, 5(15), 8794–8803. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c00370>
- Marbun, M. P., Dewi, K., Cahyasani, R. D., Anindita, Y. D., Muttaqii, M. Al, & Roesyadi, A. (2023). Katalis Cu-Zn / γ -Al₂O₃ terhadap Proses Dehidrasi Etanol. *Jurnal Teknik Kimia*, 18(1), 76–82.
- Mohadi, R., Anggraini, K., Riyanti, F., & Lesbani, A. (2016). Preparation Calcium Oxide From Chicken Eggshells. *Sriwijaya Journal of Environment*, 1(2), 32–35. <https://doi.org/10.22135/sje.2016.1.2.32-35>
- Mohadi, R., Lesbani, A., & Susie, Y. (2013). Preparasi dan Karakterisasi Kalsium Oksida (CaO) dari Tulang Ayam. *Chemistry Progress*, 6(2), 76–80.
- Muaja, M. G. D., Runtuwene, M. R. J., & Kamu, V. S. (2017). Aktivitas Antioksidan Ekstrak Metanol dari Daun Soyogik (*saurauia bracteosa* DC.). *Jurnal Ilmiah Sains*, 17(1).
- Müller, M., Villalba, J. C., & Anaissi, F. J. (2014). Decomposição térmica (TG-DTA) de sais de ferro [FeCl₃.6H₂O] e [Fe(NO₃)₃.9H₂O] com análise morfológica e química do produto final. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, 35(1), 9. <https://doi.org/10.5433/1679-0375.2014v35n1p9>
- Mulviani, Linggawati, A., & Nurhayati. (2016). Impregnasi KOH pada Katalis yang Berasal dari Cangkang Kerang Darah (*Anadara granosa*) Kalsinasi Suhu 800°C untuk Produksi Biodisel. *Repsitory University of Riau*, 1–9.
- Munawaroh, F., Muharrami, L. K., Triwikantoro, T., & Arifin, Z. (2018). Calcium Oxide Characteristics Prepared From Ambunten'S Calcined Limestone. *Jurnal Pena Sains*, 5(1), 65. <https://doi.org/10.21107/jps.v5i1.3836>
- Nandiyanto, A. B. D., Hadirahmanto, A. T., Ahid, A., Cinthya, F., Jafarian, M. B., Murida, R., Mutiara, S., Asyiah, S., & Liswanti, W. (2017). *Pengantar Sains*

dan *Teknologi Nano* (pertama). UPI Press.

- Nyimas, D. S., Sa'id, E. G., Machfud, Sunarti, T. C., & Pari, G. (2014). Kajian Pembuatan Arang Aktif Berbahan Baku Bagas Tebu melalui Kombinasi Proses Karbonisasi Hidrotermal dan Aktivasi Kimia. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 24(2), 157–165.
- Osborne, E. A., Atkins, T. M., Gilbert, D. A., Kauzlarich, S. M., Liu, K., & Louie, A. Y. (2012). Rapid microwave-assisted synthesis of dextran-coated iron oxide nanoparticles for magnetic resonance imaging. *Nanotechnology*, 23(21). <https://doi.org/10.1088/0957-4484/23/21/215602>
- Praputri, E., Sundari, E., Firdaus, F., & Sofyan, S. (2018). Penggunaan katalis homogen dan heterogen pada Proses Hidrolisis Pati Umbi Singkong Karet Menjadi Glukosa. *Jurnal Litbang Industri*, 8(2), 105. <https://doi.org/10.24960/jli.v8i2.4189.105-110>
- Pyo, S., Hoon, J., & Chang, T. (2017). Dimethyl Carbonate as a Green Chemical. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 5, 61–66. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2017.03.012>
- Rachmasari, N. A., & Sugjarso K.S, R. D. (2017). Analisis Pengaruh Ion Cd(II) Pada Penentuan Ion Fe(II) dengan Pengompleks 1,10-Fenantrolin Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 6(1), 5–10.
- Radhakrishna, A. S., Suri, S. K., Prasad Rao, K. R., Sivaprakash, K., & Singh, B. B. (1990). Potassium fluoride on alumina - a versatile reagent for isomerization of olefins. *Synthetic Communications*, 20(3), 345–348. <https://doi.org/10.1080/00397919008052774>
- Rajagukguk, J., Panggabean, J. H., Sarumaha, C., & Rajagukguk, D. H. (2022). *Ion Neodymium sebagai Penguat Laser Gelas*. Cattleya Darmaya Fortuna.
- Ramadhan, W., Uju, U., Hardiningtyas, S. D., Pari, R. F., Nurhayati, N., & Sevica, D. (2022). Ekstraksi Polisakarida Ulvan dari Rumput Laut *Ulva lactuca* Berbantu Gelombang Ultrasonik pada Suhu Rendah. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 25(1), 132–142. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v25i1.40407>
- Riskiani, E., Suprihatin, I. E., & Sibarani, J. (2018). Fotokatalis Bentonit-Fe₂O₃ untuk Degradation Zat Warna Remazol Brilliant Blue. *Cakra Kimia*, 7(1), 46–54.
- Riyanto, A., Yunilawati, R., Rahmi, D., Aidha, N. N., & Ratnawati, E. (2015). Isomerisasi Eugenol Menjadi Isoeugenol dengan Metode Sonikasi. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, 37(1), 37. <https://doi.org/10.24817/jkk.v37i1.1810>
- Rouan, D., Cleaves, H. J., Gerin, M., Viso, M., Gargaud, M., Claeys, P., Amils,

- R., Tirard, S., Spohn, T., & Irvine, W. M. (Eds.). (2023). *Encyclopedia of Astrobiology* (third edit). Springer Berlin Heidelberg.
- Sari, Y. C., Junaidi, R., & Hasan, A. (2022). Penggunaan Batu Kapur Sebagai Katalis untuk Pembuatan Biodisel dari Minyak Jelantah. *Jurnal Pendidikan Dan Teknologi Indonesia*, 2(8), 363–371. <https://doi.org/10.52436/1.jpti.204>
- Sax, N. I., & Lewis, R. J. (1987). *Hawley's Condensed Chemical Dictionary 11th Edition*. Van Nostrand Reinhold Co.
- Setyaningsih, L. W. N., Rizkiyaningrum, U. M., & Andi, R. (2017). Pengaruh Konsentrasi Katalis Dan Reusability Katalis Pada Sintesis Triasetin Dengan Katalisator Lewatit. *Teknoin*, 23(1), 56–62. <https://doi.org/10.20885/teknoin.vol23.iss1.art7>
- Sharma, S. K., Srivastava, V. K., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2005.10.005>
- Shilpy, M., Ehsan, M. A., Ali, T. H., Abd Hamid, S. B., & Ali, M. E. (2015). Performance of cobalt titanate towards H₂O₂ based catalytic oxidation of lignin model compound. *RSC Advances*, 5(97), 79644–79653. <https://doi.org/10.1039/c5ra14227j>
- Sibilia, J. P. (Ed.). (1996). *A Guide to Materials Characterization and Chemical Analysis*. Wiley.
- Side, S., Putri, S. E., Ilyas, N. M., & Rahman, A. (2021). Efektivitas Katalis Fe₂O₃ Terimpregnasi dalam Keramik Berpori Gelcasting Pada Proses Fotodegradasi Fenol. *Indonesian Journal of Fundamental Sciences*, 7(2), 101–109.
- Soemadiharga. (1973). *Sintesa Vanilin dari Eugenol Minyak Daun Cengkeh*. Balai Penelitian Kimia.
- Suhirman, Setyorini, D., Sukanto, K., Junianti, F., Yanqoritha, N., Kurniawan, I., Utubira, Y., Saputri, F. R., Fahmi, A., & Picauly, F. (2023). *Pengantar Kimia Material* (D. P. Sari (Ed.); Pertama). Get Press Indonesia.
- Sukandar, D., Dasumiati, & Heryanto, R. (2023). *Kajian Metabolomik Senyawa Sitotoksik Minyak Sereh Wangi*. Deepublish.
- Sukandar, T. K., Sukmiwati, M., & Diharmi, A. (2021). Active Fraction of Brown Seaweed *Sargassum cinereum*. *Berkala Perikanan Terubuk*, 49(3), 1363–1369.
- Sulistyoningrum, A. S., & Sudarmin. (2015). Transformasi Eugenol menjadi Isoeugenol melalui Reaksi Isomerisasi Reaksi Isomerisasi dan Aplikasinya sebagai Suplemen Mouthwash. *Indonesian Journal Chemical Science*, 4(2).

<http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/scaffolding>

- Suprpto, Fauziah, T. R., Sangi, M. S., Oetami, T. P., Qoniah, I., & Prasetyoko, D. (2016). Calcium oxide from limestone as solid base catalyst in transesterification of Reutealis trisperma oil. *Indonesian Journal of Chemistry*, *16*(2), 208–213. <https://doi.org/10.14499/ijc-v16i2p208-213>
- Suttibut, P., Suriye, K., Praserthdam, P., & Panpranot, J. (2017). Synthesis and Characteristics of CaO/MgO Mixed Oxides for the Double Bond Isomerization of 1-Butene. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, *18*(1), 439–444. <https://doi.org/10.1166/jnn.2018.14574>
- Towaha, J. (2012). Manfaat Eugenol Cengkeh dalam Berbagai Industri di Indonesia. *Perspektif*, *11*(2), 79–90. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-800097-7.00008-7>
- Trisunaryanti, W. (2018a). *dari Sampah Plastik Menjadi Bensin dan Solar* (Nanik (Ed.)). Gadjah Mada University Press.
- Trisunaryanti, W. (2018b). *Material Katalis dan Karakternya*. Gadjah Mada University Press.
- Tuganyita, M., Gugule, S., & Anom, I. D. K. (2019). Pemisahan dan Identifikasi Komponen-Komponen Utama Minyak Atsiri dari Daun Cengkeh Segar dan Kering (*Syzygium Aromaticum*). *Fullerene Journal of Chemistry*, *4*(2), 44. <https://doi.org/10.37033/fjc.v4i2.71>
- Tulungen, F. R. (2020). *Pertanian Cengkeh Cerdas Sulawesi Utara Di Era Industri 4.0 Dan Masyarakat 5.0*. Deepublish.
- Utomo, S. B., & Setiati, T. (2019). Application of Calixarene as A Phase Transfer Catalyst in Vanilin Synthesis from Eugenol. *JKPK (Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia)*, *4*(3), 179–188. <https://doi.org/10.20961/jkpk.v4i3.34993>
- Wahyinto, I. R., Aritonang, A. B., & Zaharah, T. A. (2022). Extraction and Characterization of Fe₂O₃ from Red Mud PT. Indonesia Chemical Alumina West Kalimantan. *Berkala Sainstek*, *10*(3), 155. <https://doi.org/10.19184/bst.v10i3.30252>
- Walton, N. J., Mayer, M. J., & Narbad, A. (2003). Vanillin. *Phytochemistry*, *63*(5), 505–515. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(03\)00149-3](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(03)00149-3)
- 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-Allil-2-Metoksifenol) Minyak Cengkeh. *MAKARA of Science Series*, *6*(3), 0–7. <https://doi.org/10.7454/mss.v6i3.193>
- Widia, L., Marjunus, R., & Sudibyoy, S. (2021). Penggunaan Metode Taguchi

untuk Menentukan Kondisi Parameter Optimum Pada Pembuatan CaO dari Batu Kapur (CaCO_3). *Journal of Energy, Material, and Instrumentation Technology*, 2(1), 23–29. <https://doi.org/10.23960/jemit.v2i1.46>

Widiarti, N., Wijianto, W., Wijayati, N., Harjito, H., Kusuma, S. B. W., Prasetyoko, D., & Suprpto, S. (2017). Catalytic Activity of Calcium Oxide from Fishbone Waste in Waste Cooking Oil Transesterification Process. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 6(2), 97–106. <https://doi.org/10.15294/jbat.v6i2.8335>

Wonorahardjo, S. (2020). *Pengantar Kimia Analitik Modern* (P. Christian (Ed.); pertama). Penerbit Andi.

Yusuf, Y. (2021). *Karbonat hidroksiapatit dari bahan alam* (Mouldivi (Ed.)). Gadjah Mada University Press.

Zhu, L., Cao, M., Zhou, H., Zhang, N., Zheng, J., Li, Y., & Chen, B. H. (2014). A Highly Stable and Active $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ Base Catalyst in the Form of Calcium Aluminate Phase for Oxidation of Cyclohexanone to ϵ -Caprolactone. *Catalysis Letters*, 144(7), 1188–1196. <https://doi.org/10.1007/s10562-014-1277-6>

Zybert, M. (2023). Applied Catalysis in Chemical Industry: Synthesis, Catalyst Design, and Evaluation. *Catalysts*, 13(607), 10–13.