

**SINTESIS *ONE POT SYSTEM* VANILIN DARI EUGENOL
MENGUNAKAN KATALIS CuO/SiO_2**

SKRIPSI

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



Oleh:

Fauzan Fadhil Hassan

21106030023

**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-236/Un.02/DST/PP.00.9/01/2026

Tugas Akhir dengan judul : SINTESIS ONE POT SYSTEM VANILIN DARI EUGENOL MENGGUNAKAN KATALIS CuO/SiO_2

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : FAUZAN FADHIL HASSAN
Nomor Induk Mahasiswa : 21106030023
Telah diujikan pada : Rabu, 14 Januari 2026
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: 697984f6141a8



Penguji I

Dr. rer. medic. Esti Wahyu Widowati, M.Si.,
M. Biotech
SIGNED

Valid ID: 697c5220c8c71



Penguji II

Karmanto, S.Si., M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 696c8b1c4e920



Yogyakarta, 14 Januari 2026
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

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

Valid ID: 697c71f614c3e9



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 : Fauzan Fadhil Hassan

NIM : 21106030023

Judul Skripsi : Sintesis Katalis CuO/SiO_2 Dan Aplikasinya Pada 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, 24 Desember 2025

Pembimbing

Prigagung Dheni Widiakongko, M.Sc.

NIP: 199003330 201903 1 008

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Fauzan Fadhil Hassan
NIM : 21106030023
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **“Sintesis One Pot System Vanilin Dari Eugenol Menggunakan Katalis CuO/SiO_2 ”** 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, 30 Januari 2026


Fauzan Fadhil Hassan
NIM. 21106030023

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN MOTTO

“Maka ingatlah kamu kepada-Ku, Niscaya Aku ingat (pula) kepadamu,
dan bersyukurlah kepada-Ku, dan janganlah kamu mengingkari
(nikmat)-Ku.”

(QS. Al-Baqarah ayat 152)

“The only way to do great work is to love what you do.”

-Steve Jobs-



HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi dan penelitian ini penulis dedikasikan untuk
Program Studi Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta



KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Tuhan Rabbul'alamiin yang telah memberi kesempatan dan kekuatan sehingga tugas akhir yang berjudul “Sintesis *One Pot System* Vanilin Dari Eugenol Menggunakan Katalis CuO/SiO_2 ” 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. Prof. Dr. Maya Rahmayanti, S.Si. 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 Kiswadi, Ibu Suwarni dan Evan Fadhil Hassan serta segenap keluarga yang senantiasa mendoakan, memotivasi, membimbing, membantu penulis baik dalam segi finansial maupun psikis.
6. Teman-teman kimia Scandium 2021 yang telah sama-sama berjuang dan memberi motivasi kepada penulis.
7. 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, 24 Desember 2025

Penulis



Fauzan Fadhil Hassan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
HALAMAN MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
INTISARI	xii
ABSTRACT	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	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	13
1. Eugenol	13
2. Vanilin	14
3. Reaksi Isomerisasi-Oksidasi	15
4. Katalis Heterogen	16
5. Silika	18
6. Logam Cu	20
7. Sintesis <i>One Pot System</i>	21
C. Kerangka Berpikir dan Hipotesis	22
BAB III METODE PENELITIAN	24
A. Waktu & Tempat Penelitian	24
B. Alat & Bahan Penelitian	24
C. Prosedur Kerja Penelitian	25

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	27
A. Preparasi Katalis Silika Yang Diembankan Dengan Logam CuO	27
B. Karakterisasi Sintetis Vanilin Dengan Metode <i>One Pot System</i>	29
BAB V KESIMPULAN	43
A. Kesimpulan.....	43
B. Saran	43
DAFTAR PUSTAKA.....	44
LAMPIRAN	53
CURRICULUM VITAE	60



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur Eugenol	14
Gambar 2. 2 Struktur Vanilin.....	15
Gambar 2. 3 Reaksi transformasi eugenol menjadi vanilin	16
Gambar 2. 4 Struktur kimia SiO ₂	18
Gambar 2. 5 Susunan tetrahedral pada silika gel	19
Gambar 4. 1 Difaktogram Silika	27
Gambar 4. 2 Difaktogram XRD Silika yang telah diembankan dengan logam CuO.....	29
Gambar 4. 3 Kromatogram Eugenol.....	30
Gambar 4. 4 Spektra FTIR eugenol	30
Gambar 4. 5 Reaksi isomerisasi eugenol menjadi isoeugenol	32
Gambar 4. 6 Reaksi oksidasi isoeugenol menjadi vanilin	33
Gambar 4. 7 Perbedaan Spektrum FTIR eugenol dan hasil sintesis ..	34
Gambar 4. 8 Kromatogram hasil reaksi sintesis	35
Gambar 4. 9 Spektra massa puncak kedua.....	37
Gambar 4. 10 Usulan pola fragmentasi eugenol	37
Gambar 4. 11 Spektra massa puncak ketiga	38
Gambar 4. 12 Usulan pola fragmentasi 2-metoksi-4(metoksi)fenol..	38
Gambar 4. 13 Reaksi pembentukan 2-metoksi-4(metoksimetil)fenol	39
Gambar 4. 14 Spektra massa puncak keempat.....	39
Gambar 4. 15 Usulan pola fragmentasi vanilin.....	40
Gambar 4. 16 Spektra massa puncak kesebelas.....	40
Gambar 4. 17 Usulan fragmentasi 2-metoksi-6-(metoksimetil)fenol	41
Gambar 4. 18 Spektra massa puncak keenam belas.....	41
Gambar 4. 19 Usulan pola fragmentasi asam homovanilin	42
Gambar 4. 20 Reaksi pembentukan asam homovanilin.....	42

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Katalis heterogen berdasarkan reaksinya.....	17
Tabel 4. 1 Perbedaan spektrum FTIR eugenol dan hasil sintesis	35
Tabel 4. 2 Daftar senyawa hasil sintesis	36



INTISARI

SINTESIS *ONE POT SYSTEM* VANILIN DARI EUGENOL MENGUNAKAN KATALIS CuO/SiO_2

Oleh:

Fauzan Fadhil Hassan
21106030023

Pembimbing:

Priyagung Dhemi Widiakongko, M.Sc.

Permintaan vanilin semakin meningkat dari tahun ke tahun. Sehingga dikembangkan cara baru untuk memproduksi vanilin yaitu dengan mensintesis melalui bahan alam. Salah satunya bahan alam yang dapat digunakan adalah eugenol. Vanilin dapat disintesis melalui eugenol melalui reaksi isomerisasi dan oksidasi. Tahapan reaksi tersebut membutuhkan waktu sintesis yang lama dan menghasilkan produk samping yang berlebih. Sehingga pada penelitian ini melakukan sintesis vanilin melalui metode *one pot system* yang dapat mempersingkat waktu reaksi dan meminimalisir produk samping. Metode ini membutuhkan katalis heterogen yaitu katalis logam yang diimbankan pada material penyangga. Katalis logam yang digunakan adalah tembaga oksida yang akan diimbankan kedalam material silika menggunakan metode impregnasi basah. Vanilin hasil sintesis akan dikonfirmasi melalui spektra FTIR untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan Kromatogram GC-MS untuk melihat kandungan senyawanya.

Hasil karakterisasi sintesis SiO_2 menunjukkan muncul puncak lebar pada data difraktogram XRD 2θ antara 20° hingga 25° . Puncak lebar tersebut menandakan SiO_2 yang disintesis adalah bersifat amorf. SiO_2 kemudian diimbankan dengan logam CuO dengan metode impregnasi basah. Keberadaan CuO dikonfirmasi melalui difraktogram XRD pada puncak 2θ pada $35,46^\circ$ dan $38,69^\circ$ yang mengindikasikan CuO . Katalis CuO/SiO_2 kemudian diaplikasikan untuk sintesis vanilin dari eugenol. Hasil reaksi sintesis menunjukkan bahwa terbentuk vanilin dengan kadar relatif sebesar 3,48% yang dikonfirmasi melalui GC-MS. Berdasarkan dari data yang diperoleh, disimpulkan bahwa katalis katalis CuO/SiO_2 dapat digunakan dalam reaksi sintesis *one pot system* vanilin dari eugenol.

Kata kunci: vanilin, *one pot system*, CuO/SiO_2 , eugenol.

ABSTRACT
ONE-POT SYSTEM SYNTHESIS OF VANILLIN FROM
EUGENOL USING CuO/SiO₂ CATALYST

By:
Fauzan Fadhil Hassan
21106030023

Advisor:
Priyagung Dhemi Widiakongko, M.Sc.

The demand for vanillin has been increasing year after year. Therefore, a new method of producing vanillin has been developed, which is through synthesis using natural sources. One of the natural materials that can be used is eugenol. Vanillin can be synthesized from eugenol through the isomerization of eugenol into isoeugenol, continued with the oxidation of isoeugenol into vanillin. These reaction stages require a long synthesis time and produce excessive by-products. Therefore, this study synthesized vanillin using a one-pot system method that can shorten the reaction time and minimize by-products. This method requires a heterogeneous catalyst, which is a metal catalyst impregnated on a support material. The metal catalyst used is copper oxide, which will be impregnated into silica material using the wet impregnation method. The synthesized vanillin will be confirmed through FTIR spectra to identify functional groups and GC-MS chromatograms to see its compound content.

The results of the characterization of SiO₂ synthesis show the appearance of a wide peak in the XRD 2 θ difactogram data between 20° and 25°. This wide peak indicates that the synthesized SiO₂ is amorphous. The SiO₂ was then impregnated with CuO metal using the wet impregnation method. The presence of CuO was confirmed by XRD diffractogram at peaks of 2 θ at 35.46° and 38.69°, which indicated CuO. The synthetic CuO/SiO₂ catalyst was then applied to the synthesis of vanillin from eugenol. The synthesis reaction results showed that vanillin was formed with a relative content of 3,48%, which was confirmed by GC-MS. Based on the data obtained, it was concluded that the CuO/SiO₂ catalyst could be used in the one-pot synthesis reaction of vanillin from eugenol.

Keywords: vanillin, one pot system, CuO/SiO₂, eugenol.

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Vanilin atau dalam nama IUPAC dikenal dengan *4-hydroxy-3-methoxybenzaldehyde* memiliki rumus kimia $C_8H_8O_3$ merupakan salah satu bahan yang digunakan dalam berbagai industri seperti makanan, kosmetik, dan obat. Vanilin merupakan senyawa yang didapatkan dalam bentuk bubuk dari tanaman vanilla (*Vanilla planifolia*). Penggunaan vanilin di Indonesia semakin meningkat seiring pertambahan jumlah penduduk. Menurut data dari *Food and Agriculture Organization* (FAO) pada tahun 2020, Indonesia menempati urutan kedua sebagai negara penghasil vanilin terbanyak sedunia dengan jumlah produksi sebanyak 2.306 ton (Rizaty, 2022). Meskipun menempati urutan kedua, Indonesia masih mengimpor vanilin sebanyak 910 ton pada tahun 2020 (Sari Hia et al., 2022). Oleh karena itu, untuk memenuhi kebutuhan vanilin diperlukan cara lain untuk memproduksi vanilin, salah satunya adalah memproduksi vanilin sintetik (Khoiratty et al., 2018).

Sintesis vanilin dapat dilakukan dari beberapa sumber, di antaranya adalah kraft lignin (Ismail & Wright, 2018), guaiacol (Yu et al., 2021), asam ferulat (Chattopadhyay et al., 2018), eugenol (Utomo & Setiati, 2019). Limbah industri *pulp* menghasilkan lignin dan ion logam berat dengan konsentrasi tinggi, oleh karena itu beberapa negara membatasi produksi vanilin dari lignin (Utomo & Setiati, 2019). Asam ferulat juga jarang digunakan sebagai bahan dalam pembuatan vanilin karena ekstraksi asam ferulat secara alami membutuhkan biaya yang tinggi dan dalam konsentrasi yang tinggi. Selain itu, asam ferulat

bersifat racun bagi banyak mikroorganisme (Gallage & Møller, 2015). Vanilin juga dapat diperoleh dengan jalur biotransformasi seperti penelitian yang dilakukan oleh García-Bofill et al., (2021) menggunakan enzim *immobilised eugenol oxidase* (EUGO). Namun, biotransformasi umumnya memerlukan investasi modal dan pemeliharaan pabrik yang lebih tinggi karena standar sterilisasi yang diperlukan dan kesulitan dalam pemurnian kaldu yang diberikan oleh media berair (de María & Hollmann, 2015; Sheldon & Woodley, 2018). Vanilin sintetik yang dihasilkan menggunakan bahan baku sintesis yang berbeda atau dengan cara yang berbeda rute akan memiliki rasa yang sedikit berbeda. vanilin sintetik yang disintesis dari eugenol selalu berbau cengkeh, sedangkan yang disintesis menggunakan guaiacol metode sintesis memiliki rasa berasap (Ashengroph et al., 2012). Eugenol menjadi salah satu pilihan yang dapat digunakan sebagai substrat untuk pembuatan vanilin karena ketersediaannya yang ekonomis, komersial serta termasuk sumber daya alam terbarukan dan proses konversinya ramah lingkungan (Mishra et al., 2013; Y. Zhang et al., 2006).

Eugenol (2-metoksi-4-(2-propenil) fenol) adalah senyawa fenolik yang diketahui memiliki efek besar pada aktivitas biologis. Senyawa eugenol merupakan komponen utama yang terkandung dalam minyak cengkeh. Minyak cengkeh merupakan salah satu minyak atsiri yang dapat diperoleh melalui tanaman cengkeh yang tumbuh subur di Indonesia (Dwi Harnani & Munawaroh, 2010). Kemurnian eugenol pada minyak cengkeh dapat ditingkatkan dengan metode distilasi sehingga meningkatkan nilai ekonomisnya (Bangngalino et al., 2022). Senyawa eugenol mempunyai aktivitas farmakologi sebagai analgesik,

antiinflamasi, antimikroba, antiviral, antifungal, antiseptik, antispasmodik, antiemetik, stimulan, anestetik lokal sehingga senyawa ini banyak dimanfaatkan dalam industri farmasi (Susilowati & Wahyuningsih, 2014). Eugenol dapat ditingkatkan nilai ekonominya dengan dimanfaatkan sebagai bahan utama dalam sintesis vanilin (Tarhan, 2021).

Sintesis vanilin didasarkan pada dua tahapan reaksi, yaitu pertama isomerisasi eugenol menjadi isoeugenol, dan yang kedua adalah tahap oksidasi produk isomerisasi menjadi vanilin (Widayat et al., 2013). Reaksi isomerisasi dilakukan dengan memindahkan ikatan rangkap pada gugus alkenil ke posisi konjugasi dengan ikatan rangkap pada cincin benzena eugenol (Aulia, 2023). Reaksi ini membutuhkan NaOH atau KOH sebagai basa kuat untuk membentuk ion fenolat (Rudyanto & Hartanti, 2010). Reaksi isomerisasi alkena dapat dilakukan dengan menggunakan katalis basa. Setelah isoeugenol terbentuk dari reaksi isomerisasi, kemudian isoeugenol akan diubah menjadi vanilin melalui reaksi oksidasi. Reaksi oksidasi pada sintesis vanilin dari isoeugenol dapat dilakukan dengan menggunakan katalis logam dengan bantuan oksidator dalam reaksi (Barokah & Widiarti, 2015). Kedua tahapan reaksi sintesis vanilin tersebut memiliki kelemahan yaitu memerlukan dua katalis yang berbeda sehingga dinilai tidak efektif karena menghasilkan limbah yang berlebih. Oleh karena itu diperlukannya alternatif sintesis baru dan ramah lingkungan yaitu sintesis *one pot system* (Nofita Birhi et al., 2021).

Metode sintesis *one pot system* mampu memodifikasi struktur senyawa eugenol menjadi vanilin melalui satu tahapan secara langsung melalui satu wadah. Metode sintesis *one pot system* ini efektif dilakukan

karena menggabungkan dua tahap reaksi dalam satu wadah (*one pot*). Metode ini memiliki kelebihan dalam efektivitas waktu dan energi serta lebih ramah lingkungan (Patel et al., 2018). Kelebihan lain yang dimiliki sintesis *one pot system* adalah sumber bahan baku yang luas, langkah sintesis yang lebih pendek, polusi industri yang lebih sedikit (Mao et al., 2020). Reaksi *one pot system* menggunakan katalis heterogen berupa pengembanan logam ke dalam material berpori yang memiliki situs aktif (Marhayuni & Widiakongko, 2024).

Katalis logam yang dapat digunakan adalah tembaga. Katalis logam tembaga diketahui selektif bereaksi membentuk gugus C=O. Logam tembaga digunakan sebagai situs aktif pada katalis karena orbital d yang belum terisi, sehingga dapat menerima elektron dari reaktan untuk menyebabkan reaksi (Trisunaryanti, 2018). Kalsinasi logam tembaga menggunakan gas N₂ memungkinkan prekursor Cu(NO₃)₂ untuk membetuknya CuO yang dapat digunakan sebagai katalis pada reaksi oksidasi isoeugenol menjadi vanilin (Chauhan et al., 2006). Pada kalsinasi, terjadi proses pemanasan yang akan menyebabkan dekomposisi termal prekursor Cu(NO₃)₂ menjadi CuO melalui oksigen internal dari gugus nitrat, sehingga terbentuk partikel CuO. Penggunaan katalis logam dalam bentuk bubuk dapat menyebabkan *sintering* logam, dimana komponen aktif logam akan mengalami penggumpalan sehingga aktivitasnya menurun (Trisunaryanti, 2018). Oleh karena itu, katalis logam akan diimbakan ke dalam suatu material berpori seperti silika yang akan memberikan rasio permukaan-volume dan aktivitas katalitik pada sintesis *one pot system* (Catita et al., 2021).

Silika adalah senyawa hasil polimerisasi asam silikat, yang tersusun dari rantai satuan SiO₄ tetrahedral dengan formula umum SiO₂

(Sulastri & Kristianingrum, 2010). Silika dapat disintesis menjadi silika gel yang dibuat dari larutan silikat atau dari pereaksi silan. Struktur silika gel yang disintesis memiliki susunan molekulnya tidak teratur atau disebut amorf. Sebagai katalis, silika gel juga digunakan sebagai material pengemban katalis oksida logam pada katalis heterogen. Pengemban akan menyebabkan komponen aktif katalis terdispersi dengan merata, meningkatkan luas permukaan untuk kontak dengan reaktannya, meningkatkan kekuatan mekanik, meratakan panas reaksi, dan meningkatkan stabilitas panas. Silika digunakan sebagai pengemban karena memiliki luas permukaan yang besar. Selain itu silika gel memiliki situs aktif yang berupa gugus silanol (-SiOH) dan siloksan (Si-O-Si).

Gugus silanol (-Si-OH) akan memungkinkan terjadinya modifikasi pada silika dengan penambahan oksida logam. Logam tembaga, baik sebagai ion logam maupun sebagai oksida logam, mempunyai peran sebagai sisi aktif pada reaksi oksidasi. Pada proses oksidasi isoeugenol menjadi vanilin, ion oksida logam akan berikatan dengan ikatan π isoeugenol dengan transfer electron membentuk produk intermediet. Intermediet isoeugenol kemudian berinteraksi dengan oksidator dan disusun kembali lewat penataan ulang menjadi vanilin. CuO adalah logam transisi yang dapat bersifat sebagai asam Lewis sehingga dapat menerima pasangan electron dari reaktan yang akan menyebabkan reaktan menjadi lebih reaktif (Barokah & Widiarti, 2015)

Sintesis *one pot system* vanilin dari eugenol dapat terjadi dengan menggunakan katalis CuO yang diimpregnasi dengan silika dan H_2O_2 sebagai oksidator. Oksidator yang digunakan dapat berupa KMnO_4 (Wibowo et al., 2010). Hidrogen peroksida digunakan sebagai oksidator

karena memiliki kemampuan mendonorkan oksigen. Dibandingkan dengan kalium permanganat, hidrogen peroksida memiliki potensi oksidasi yang lebih kuat dan produk samping yang ramah lingkungan (Barokah & Widiarti, 2015). Hidrogen peroksida juga memiliki nilai ekonomis yang lebih murah dibandingkan dengan nitrobenzena. Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, konversi vanilin dari eugenol secara *one pot system* pada penelitian ini akan menggunakan katalis CuO yang diimbaskan pada silika menggunakan oksidator hidrogen peroksida.

B. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini di antaranya adalah:

1. Material pengemban yang digunakan merupakan silika
2. Katalis yang digunakan yaitu tembaga (II) oksida yang diimbaskan pada silika dengan metode impregnasi basah
3. Analisis karakteristik katalis menggunakan XRD
4. Katalis CuO/SiO₂ dan oksidator H₂O₂ digunakan dalam reaksi *one pot system* eugenol menjadi vanilin.

C. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini di antaranya adalah:

1. Bagaimana karakteristik katalis CuO/SiO₂ berdasarkan dan XRD?
2. Bagaimana produk yang dihasilkan dari sintesis *one pot system* vanilin dari eugenol dengan katalis CuO/SiO₂?

D. Tujuan Penelitian

Tujuan Penelitian pada penelitian ini di antaranya adalah:

1. Menganalisis karakteristik katalis CuO/SiO_2 berdasarkan XRD
2. Menganalisis produk yang dihasilkan dari sintesis *one pot system* vanilin dari eugenol dengan katalis CuO/SiO_2

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan informasi tentang sintesis *one pot system* vanilin dari eugenol. Penelitian ini juga diharapkan juga dapat meningkatkan rendemen produk yang dihasilkan dari reaksi *one pot system* vanilin menggunakan katalis CuO/SiO_2 .



BAB V

KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Katalis CuO/SiO_2 berhasil disintesis yang dikonfirmasi data difaktogram XRD pada puncak lebar 2θ antara 20° hingga 25° . Puncak lebar tersebut menandakan SiO_2 bersifat amorf. SiO_2 digunakan sebagai material pengemban logam CuO untuk membuat katalis heterogen. Keberadaan CuO dikonfirmasi melalui difaktogram XRD pada puncak 2θ pada $35,46^\circ$ dan $38,69^\circ$.
2. Katalis heterogen CuO/SiO_2 dapat mengkonversi vanilin dari eugenol dalam reaksi *one pot system* dengan intensitas sebesar 3,48% dan rendemen relatif 0,021%.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian, saran yang dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Melakukan variasi jenis katalis lain pada proses sintesis *one pot system* vanilin dari eugenol
2. Melakukan variasi jumlah katalis logam yang diembankan pada SiO_2 .
3. Optimalisasi waktu dan suhu refluks pada proses sintesis *one pot system*.

DAFTAR PUSTAKA

- Agra Yuba Bachtiar, Nelly Fatrian Wahani, Sri Rachmania Juliastuti, & Nuniek Hendrianie. (2020). Pra-Desain Pabrik Vanillin Sintetik dari Kraft Lignin. *Jurnal Teknik Its*, 9(2), 2337–3539.
- Alviana, A. N., Rosanti, A. D., Shobirin, R. A., & Hidayat, F. (2023). Pengaruh Penambahan Variasi KJ-CTAB Terhadap Karakteristik ZnO/KJ-CTAB yang Disintesis Menggunakan Metode Impregnasi Basah. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 9(1), 13–22. <https://doi.org/10.22487/kovalen.2023.v9.i1.16036>
- Anam, C., Sirojudin, S., & Firdausi, K. S. (2007). Analisis gugus fungsi pada sampel uji, bensin dan spiritus menggunakan metode spektroskopi FTIR. *Berkala Fisika*, 10(2), 79–85.
- Anggraeni, W., & Manurung, P. (2014). Sintesis dan Karakterisasi ZrO₂-CuO Sebagai Fungsi Perbandingan Mol Diterima (2 Agustus 2013), direvisi (25 Maret 2014). *JURNAL Teori Dan Aplikasi Fisika*, 02(02), 117–124.
- Ashengroph, M., Nahvi, I., Zarkesh-Esfahani, H., & Momenbeik, F. (2012). Conversion of isoeugenol to vanillin by *Psychrobacter* sp. Strain CSW4. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 166(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s12010-011-9397-6>
- Aulia, A. (2023). *Preparasi CuO/Bentonit Teraktivasi Basa Dan Aplikasinya Sebagai Katalis Dalam Sintesis One Pot System Vanilin Dari Eugenol*. UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
- Ayoubi, R., Wali, S., & Singh, G. B. (2022). The UV and FTIR fingerprint of *Ocimum kilimandscharicum* Guerke essential oil: a eugenol-rich chemo type. *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*, 5(1), 1–9.
- Bangngalino, H., Sukasri, A., Fathadillah, M. A., & Suparman. (2022). Isolasi Eugenol dari Minyak Cengkeh Hasil Distilasi Uap. *Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat*, 190–195.
- Barokah, S., & Widiarti, N. (2015). Aktivitas Fotokatalitik CuO/ZnO pada Reaksi Oksidasi Fenol. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 4(2), ISSN NO. 2252-6951.
- Blanco, P. H., Wu, C., & Williams, P. T. (2014). ScienceDirect Influence of Ni / SiO₂ catalyst preparation methods on hydrogen

- production from the pyrolysis / reforming of refuse derived fuel. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(11), 5723–5732. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.01.150>
- Cahyati, A. A., Azhari, A., Mulyawan, R., Hakim, L., & Sylvia, N. (2024). Pengaruh Zeolit Sebagai Katalis Dalam Proses Hidrolisis Pati Ubi Jalar Kuning (Ipomoea Batatas L) Menjadi Glukosa. *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, 4(2), 270. <https://doi.org/10.29103/cejs.v4i2.15768>
- Carrasco, H., Raimondi, M., Svetaz, L., Di Liberto, M., Rodriguez, M. V., Espinoza, L., Madrid, A., & Zacchino, S. (2012). Antifungal activity of eugenol analogues. Influence of different substituents and studies on mechanism of action. *Molecules*, 17(1), 1002–1024. <https://doi.org/10.3390/molecules17011002>
- Catita, L., Jolimaître, E., Quoineaud, A. A., Delpoux, O., Pichon, C., & Schweitzer, J. M. (2021). Mathematical modeling and Magnetic Resonance Imaging experimental study of the impregnation step: A new tool to optimize the preparation of heterogeneous catalysts. *Microporous and Mesoporous Materials*, 312, 110756. <https://doi.org/10.1016/J.MICROMESO.2020.110756>
- Chattopadhyay, P., Banerjee, G., & Sen, S. K. (2018). Cleaner production of vanillin through biotransformation of ferulic acid esters from agroresidue by *Streptomyces sannanensis*. *Journal of Cleaner Production*, 182, 272–279. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.043>
- Chauhan, D., Satsangi, V. R., Dass, S., & Shrivastav, R. (2006). Preparation and characterization of nanostructured CuO thin films for photoelectrochemical splitting of water. *Bulletin of Materials Science*, 29(7).
- de María, P. D., & Hollmann, F. (2015). On the (Un)greenness of biocatalysis: Some challenging figures and some promising options. *Frontiers in Microbiology*, 6(NOV), 6–10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01257>
- Deepam, A., & Viswanadhan, J. (2017). Green protocols for the one-pot synthesis of vanillin based aminoalkyl and amidoalkyl naphthols and their antibacterial activity. *Oriental Journal of Chemistry*, 33(3), 1354–1365. <https://doi.org/10.13005/ojc/330336>

- Dwi Harnani, E., & Munawaroh, R. (2010). Determination Of Eugenol Content In Clove Bud Essential Oils (*Syzygium Aromaticum* (L.) Meer. & Perry) From Maluku, Sumatera, Sulawesi, And Java By GC-MS Method. *Pharmakon*, 11(1), 25–32.
- Fardhani, A. F. (2013). *Preparasi Dan Karakterisasi Cao/Al₃+ Bentonit Sebagai Katalis Pada Sintetis Biodiesel Dari Minyak Jarak Pagar (Jatropha Curcas L)*. UNIVERSITAS AIRLANGGA.
- Gallage, N. J., Hansen, E. H., Kannangara, R., Olsen, C. E., Motawia, M. S., Jørgensen, K., Holme, I., Hebelstrup, K., Grisoni, M., & Møller, B. L. (2014). Vanillin formation from ferulic acid in *Vanilla planifolia* is catalysed by a single enzyme. *Nature Communications*, 5(May). <https://doi.org/10.1038/ncomms5037>
- Gallage, N. J., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2014.11.008>
- 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(March). <https://doi.org/10.1016/j.mcat.2021.111537>
- García-Bofill, M., Sutton, P. W., Straatman, H., Brummund, J., Schürmann, M., Guillén, M., & Álvaro, G. (2021). Biocatalytic synthesis of vanillin by an immobilised eugenol oxidase: High biocatalyst yield by enzyme recycling. *Applied Catalysis A: General*, 610, 117934. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2020.117934>
- Garner, N., Siol, A., & Eilks, I. (2016). The synthesis of vanillin - learning about aspects of sustainable chemistry by comparing different syntheses. *Journal of Science Education*, 17(1), 25–28.
- Gaylor, R., Michel, J., Thierry, D., Panja, R., Fanja, F., & Pascal, D. (2014). Bud, leaf and stem essential oil composition of *Syzygium aromaticum* from Madagascar, Indonesia and Zanzibar. *International Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(3), 224–233. <https://doi.org/10.14419/ijbas.v3i3.2473>

- Hadi, S. (2012). Pengambilan Minyak Atsiri Bunga Cengkeh (Clove Oil) Menggunakan Pelarut N -Heksana dan Benzena. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 1(2), 25–30. <https://journal.unnes.ac.id/nju/jbat/article/view/2546/2599>
- Hutami, E. R., Budi, E., Husin, S., Saputra, D. A., & Gumelar, M. D. (2025). Natural Zeolite Activation And Zaa/Ni Catalyst Synthesis Using The Wet Impregnation Method: Aktivasi Zeolit Alam Dan Sintesis Katalis Zaa/Ni Menggunakan Metode Impregnasi Basah. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)*, 13, 1. <https://doi.org/https://doi.org/10.21009/03.1301.FA30>
- Ismail, N., & Wright, L. J. (2018). Formation of vanillin and vanillic acid from kraft lignin through green chemical oxidation. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 22(6), 943–949. <https://doi.org/10.17576/mjas-2018-2206-03>
- Jinesh, C. M., Rives, V., Carriazo, D., Antonyraj, C. A., & Kannan, S. (2009). Influence of copper on the isomerization of eugenol for as-synthesized NiCuAl ternary hydrotalcites: An understanding through physicochemical study. *Catalysis Letters*, 134(3–4), 337–342. <https://doi.org/10.1007/s10562-009-0236-0>
- Kadarohman, A. H., Siti, H., & Fareza, M. S. (2010). Konversi dan karakterisasi isoeugenol asetat menjadi vanillin asetat. *Jurnal Sains Dan Teknologi Kimia*, 1(2).
- Khoyratty, S., Kodja, H., & Verpoorte, R. (2018). Vanilla flavor production methods: A review. *Industrial Crops and Products*, 125(September), 433–442. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.09.028>
- Liu, X., He, H., Wang, Y., Zhu, S., & Piao, X. (2008). Transesterification of soybean oil to biodiesel using CaO as a solid base catalyst. *Fuel*, 87(2), 216–221. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2007.04.013>
- Lubis, S. (2009). Preparasi Katalis Cu / Silika Gel dari Kristobalit Alam Sabang serta Uji Aktivitasnya pada Reaksi Dehidrogenasi Etanol. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 7(1).
- 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>

- Marhayuni, Y., & Widiakongko, P. D. (2024). *Preparation of Ni / Bentonite Acid-Activated using Dragon Fruit Peel Extract (Hylocereus polyrhizus) As a Reductor for One Pot Synthesis of Menthol*. 13(2), 523–530. <https://doi.org/10.14421/biomedich.2024.132.523-530>
- Marton, A., Kúsz, E., Kolozsi, C., Tubak, V., Zagotto, G., Buzás, K., Quintieri, L., & Vizler, C. (2016). Vanillin analogues o-vanillin and 2,4,6-trihydroxybenzaldehyde inhibit NFκB activation and suppress growth of A375 human melanoma. *Anticancer Research*, 36(11), 5743–5750. <https://doi.org/10.21873/anticancer.11157>
- 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 and Biotechnology*, 40(6), 545–550. <https://doi.org/10.1007/s10295-013-1255-9>
- Muškinja, J., Janković, N., Ratković, Z., Bogdanović, G., & Bugarčić, Z. (2016). Vanillic aldehydes for the one-pot synthesis of novel 2-oxo-1,2,3,4-tetrahydropyrimidines. *Molecular Diversity*, 20(3), 591–604. <https://doi.org/10.1007/s11030-016-9658-y>
- Nofita Birhi, D., Qisthi Ismail, A., Dhiaul Iftitah, E., & 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. <https://doi.org/10.21776/ub.jpacr.2021.010.03.622>
- Nurhayati, N. D., & Utomo, S. B. (2016). Modifikasi zeolit alam sebagai katalis melalui pengembangan logam tembaga. *Seminar Nasional Kimia Dan Pendidikan Kimia*, 8, 222–226.
- Olatunde, A., Mohammed, A., Ibrahim, M. A., Tajuddeen, N., & Shuaibu, M. N. (2022). Vanillin: A food additive with multiple biological activities. *European Journal of Medicinal Chemistry Reports*, 5(May), 100055. <https://doi.org/10.1016/j.ejmcr.2022.100055>
- Pandey, V. K., Srivastava, S., Ashish, Dash, K. K., Singh, R., Dar, A. H., Singh, T., Farooqui, A., Shaikh, A. M., & Kovacs, B. (2024). Bioactive properties of clove (*Syzygium aromaticum*) essential oil

- nanoemulsion: A comprehensive review. *Heliyon*, 10(1), e22437. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22437>
- Patel, K. G., Misra, N. M., Vekariya, R. H., & Shettigar, R. R. (2018). One-pot multicomponent synthesis in aqueous medium of 1,4-dihydropyrano[2,3-c]pyrazole-5-carbonitrile and derivatives using a green and reusable nano-SiO₂ catalyst from agricultural waste. *Research on Chemical Intermediates*, 44(1), 289–304. <https://doi.org/10.1007/s11164-017-3104-3>
- Pramod, K., Suneesh, C. V., Shanavas, S., Ansari, S. H., & Ali, J. (2015). Unveiling the compatibility of eugenol with formulation excipients by systematic drug-excipient compatibility studies. *Journal of Analytical Science and Technology*, 6(34). <https://doi.org/10.1186/s40543-015-0073-2>
- Pratama, A. P., Krisnandi, Y. K., & Abdullah, I. (2020). Catalytic depolymerization of lignin from wood waste biomass over natural sourced ZSM-5 catalysts. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 902(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/902/1/012051>
- Pratiwi, R. A. (2011). *Reaksi oksidasi katalitik isoeugenol menjadi vanili dengan menggunakan katalis γ -Al₂O₃-TiO₂*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia.
- Prisbana, N., Sembiring, S., & Rumiyan, L. (2022). Karakteristik Struktur, Fungsionalitas dan Sifat Fisis Silika Aspal dengan Perbandingan 65 %: 35 %. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, 10(02), 151–158.
- Priyanto, D. (2019). *Sintesis katalis *cuo* berpenyangga hierarchical zeolit untuk konversi isoeugenol menjadi vanilin*. Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Putri, R. L., Hidayat, N., & Rahmah, N. L. (2014). Pemurnian eugenol dari minyak daun cengkeh dengan reaktan basa kuat KOH dan Ba (OH) 2 (kajian konsentrasi reaktan). *Industria: Jurnal Teknologi Dan Manajemen Agroindustri*, 3(1), 1–12.
- Rudyanto, M., & Hartanti, L. (2010). One-Step Conversion of Eugenol To Methyl Isoeugenol Using Microwave Irradiation in Solvent-Free Conditions. *Indonesian Journal of Chemistry*, 6(3), 292–296. <https://doi.org/10.22146/ijc.21734>

- Sandy, A. A. (2021). *Stabilisasi Asap Cair Menjadi Fraksi Bahan Bakar Cair Melalui Proses Hidrodeoksigenasi Menggunakan Katalis Oksida CuO Yang Terembankan Pada Zeolit Alam*. UNIMED.
- Sari Hia, I. P., Purwaningsih, S., & Kalista Wibowo, A. D. (2022). *Pra-Rancangan Pabrik Vanilin Dari Isoeugenol Dengan Kapasitas 300 Ton/Tahun*. Institut Teknologi Indonesia.
- Sari, I. P., Saepudin, E., & Krisnandi, Y. K. (2020). Effect of temperature in depolymerization of lignin from oil palm empty bunches over NiO/HY zeolite catalyst. *AIP Conference Proceedings*, 2243(1), 020025. <https://doi.org/10.1063/5.0001093>
- Sastrohamidjojo, H. (2018). *Dasar-dasar spektroskopi*. UGM PRESS.
- Satterfield, C. N. (1980). Heterogeneous catalysis in practice. In *McGraw-Hill chemical engineering series TA - TT -*. McGraw-Hill. <https://doi.org/LK> - <https://worldcat.org/title/6016059>
- Setiani, A. (2015). *Sintesis CuO/Silika Gel Dari Pasir Kuarsa Dan Aplikasinya Pada Reaksi Oksidasi Fenol*. Universitas Negeri Semarang.
- 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>
- Sheldon, R. A., & Woodley, J. M. (2018). Role of Biocatalysis in Sustainable Chemistry. *Chemical Reviews*, 118(2), 801–838. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.7b00203>
- Singh, D. P., & Ali, N. (2010). Synthesis of TiO₂ and CuO nanotubes and nanowires. *Science of Advanced Materials*, 2(3), 295–335. <https://doi.org/10.1166/sam.2010.1095>
- Sulastri, S., & Kristianingrum, S. (2010). Berbagai macam senyawa silika: sintesis, karakterisasi dan pemanfaatan. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan Dan Penerapan MIPA*, 15, 211–

- Sundari, C. D. D., Rahayu, R. F., & Windayani, N. (2018). Sintesis dan Karakterisasi Nanostruktur Tembaga Oksida dengan Metode Hidrotermal. *Al-Kimiya*, 5(1), 48–51. <https://doi.org/10.15575/ak.v5i1.3725>
- Susilowati, E. P., & Wahyuningsih, S. S. (2014). Optimasi Sediaan Salep yang Mengandung Eugenol dari Isolasi Minyak Cengkeh (*Eugenia Caryophyllata* Thunb.). *IJMS-Indonesian Journal On Medical Science*, 1(2), 29–34.
- Suwarso, W. P., Budianto, E., & Jayadi, I. (2002). Semi Sintesis Vanili Dari Guaiakol Via Reaksi Reimer Tiemann Yang Dikatalisis Dengan Katalis Transfer Fase/Ptc 18 Crown Ether 6. *Makara Journal of Science*, 6(2), 70–77.
- Svehla, G. (1985). *Vogel Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro* (Edisi keli). PT Kalman Media Pustaka.
- Tarhan, İ. (2021). A robust method for simultaneous quantification of eugenol, eugenyl acetate, and β -caryophyllene in clove essential oil by vibrational spectroscopy. *Phytochemistry*, 191, 112928. <https://doi.org/10.1016/J.PHYTOCHEM.2021.112928>
- Trisunaryanti, W. (2018). *Material katalis dan karakternya*. UGM PRESS.
- 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. <https://doi.org/10.20961/jkpk.v4i3.34993>
- 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. (2010). 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). <https://doi.org/10.7454/mss.v6i3.193>
- Widayat, W., Cahyono, B., & Ngadiwiyana, N. (2012). Rancang Bangun Dan Uji Alat Proses Peningkatan Minyak Cengkeh Pada

- Klaster Minyak Atsiri Kabupaten Batang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 10(2), 64. <https://doi.org/10.14710/jil.10.2.64-69>
- Widayat, W., Hadiyanto, H., Cahyono, B., & Ngadiwiyan, N. (2013). Diversifikasi Minyak Cengkeh Menjadi Fine Chemical. *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia Dan Proses 2013*.
- Xie, Z., Guan, W., Ji, F., Song, Z., & Zhao, Y. (2014). Production of Biologically Activated Carbon from Orange Peel and Landfill Leachate Subsequent Treatment Technology. *Journal of Chemistry*, 2014(1). <https://doi.org/10.1155/2014/491912>
- Yu, H. Y., Shi, Q. X., Mao, H. F., Chen, C., & Tian, H. X. (2021). Olfactory impact of guaiacol, ortho-vanillin, 5-methyl, and 5-formyl-vanillin as byproducts in synthetic vanillin. *Journal of Food Science*, 86(8), 3645–3657. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15837>
- Zhang, J., & Richardson, H. W. (2000). Copper Compounds. In *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* (pp. 1–31). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. https://doi.org/10.1002/14356007.a07_567.pub2
- Zhang, Q., Sun, M., Ning, P., Long, K., Wang, J., Tang, T., Fan, J., Sun, H., Yin, L., & Lin, Q. (2019). Effect of thermal induction temperature on re-dispersion behavior of Ni nanoparticles over Ni/SBA-15 for dry reforming of methane. *Applied Surface Science*, 469, 368–377. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.10.222>
- Zhang, Y., Xu, P., Han, S., Yan, H., & Ma, C. (2006). Metabolism of isoeugenol via isoeugenol-diol by a newly isolated strain of *Bacillus subtilis* HS8. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 73(4), 771–779. <https://doi.org/10.1007/s00253-006-0544-x>