

**PREPARASI KATALIS Ni/BENTONIT TERAKTIVASI BASA
DAN APLIKASINYA DALAM SIKLISASI SENYAWA SITRAL**

SKRIPSI

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



oleh:

Adeline Sekar Khasanah

20106030015

**STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA**

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
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-2378/Un.02/DST/PP.00.9/12/2024

Tugas Akhir dengan judul : Preparasi Katalis Ni/Bentonit Teraktivasi Basa dan Aplikasinya Dalam Silikasi Senyawa Sitral

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : ADELINE SEKAR KHASANAH
Nomor Induk Mahasiswa : 20106030015
Telah diujikan pada : Senin, 16 Desember 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: 67721f55cd06



Penguji I
Dr. Susy Yunita Prabawati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 677219ac68859



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

Valid ID: 67709dc05db0b



Yogyakarta, 16 Desember 2024
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 6772382e457dh



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 : Adeline Sekar Khasanah
NIM : 20106030015
Judul Skripsi : Preparasi Katalis Ni/Bentonit Teraktivasi Basa dan Aplikasinya Dalam Siklisasi Senyawa Sitral

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

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

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 2 Desember 2024
Pembimbing

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA



Privagung Dhemi Widiakongko, S. Si., M. Sc.
NIP: 19900330 2019031008

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Adeline Sekar Khasanah

NIM : 20106030015

Jurusan : Kimia

Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **“Preparasi Katalis Ni/Bentonit Teraktivasi Basa dan Aplikasinya Dalam Siklisasi Senyawa Sitral”** 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 Desember 2024



Adeline Sekar Khasanah

NIM. 20106030015

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN MOTTO

“Tak semua usaha itu dipermudah, tapi semua yang berusaha pasti berbuah.”

“Sesungguhnya Tuhanku bersamaku, Dia akan memberi petunjuk kepadaku.”

(QS. As-Syu'ara : 62)



KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, serta inayah-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan penelitian dan skripsi yang berjudul “Preparasi Katalis Ni/Bentonit Teraktivasi Basa dan Aplikasinya dalam Siklisasi Senyawa Sitral ” sebagai salah satu persyaratan untuk mencapai derajat Sarjana Sains di bidang Kimia.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dorongan, semangat, motivasi dan masukan selama proses penelitian sampai kepenulisan, sehingga skripsi ini dapat selesai. Ucapan terima kasih secara khusus disampaikan kepada:

1. Prof. Noorhaidi, M.A., M.Phil., Ph.D. selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Prof. Dr. Hj. Khurul Wardati, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga.
3. Prof. Dr. Maya Rahmayanti, M.Si., selaku Ketua Program Studi Kimia UIN Sunan Kalijaga.
4. Bapak Priyagung Dhemi Widiakongko, M. Sc. Selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah meluangkan banyak waktunya untuk memberikan bimbingan, arahan, masukan, nasihat, serta dukungan dalam proses penyelesaian penelitian dan tugas akhir.
5. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Kimia yang telah membekali ilmu yang sangat bermanfaat selama masa studi.
6. Kedua orang tua, Bapak Widodo dan Ibu Sri Mulyani yang selalu melangitkan do'a, memberikan semangat, nasihat, serta dukungan dari segi finansial maupun psikis.
7. Segenap PLP Laboratorium Kimia Terpadu UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta, khususnya Ibu Isnii yang telah memberikan arahan selama proses penelitian.
8. Teman-teman Kimia angkatan 2020 “Hydroxyl” yang telah kebersamai dalam masa studi.
9. Indah, Wahyu, Ilham, Ayyasy, dan Rafiq selaku teman se-perbimbingan.
10. Shinta, Athaya, Tasya, Nely, Zainy, Bentar, Zeby, dan Agil selaku teman organisasi yang telah mewarnai hari-hari penulis selama masa studi.

11. Dian, Endah, Adelia, Adiba, Mawar, Nabil, dan Andri selaku teman sedari masa sekolah yang sampai saat ini masih menjalin hubungan dengan baik dan selalu memberi dukungan atas proses ini.
12. Seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu atas bantuannya dalam penyelesaian tugas akhir.
13. Terakhir, terimakasih kepada perempuan sederhana yang memiliki keinginan tinggi namun terkadang sulit dimengerti isi kepalanya, sang penulis karya tulis ini, yaitu diri sendiri, Adeline Sekar Khasanah. Seorang anak sulung yang berjalan menuju usia 23 tahun yang keras kepala namun terkadang sifatnya seperti anak kecil pada umumnya. Terimakasih sudah mau berusaha, bekerjasama, dan tidak lelah untuk terus mencoba hal-hal baik, saya yakin dengan usaha, kebaikan, dan do'a yang selalu dilangitkan, Allah akan merencanakan dalam pilihan-Nya yang tak pernah terduga dan pastinya terbaik untuk dirimu. Semoga langkah kebaikan selalu menyertaimu dan semoga Allah selalu meridhoi setiap perbuatan dan usahamu.

Penulis menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kta sempurna. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Demikian, penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan secara umum dan secara khusus di bidang Kimia.

Yogyakarta, 7 Desember 2024

Penulis

HALAMAN PERSEMBAHAN

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



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR.....	ii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR.....	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
HALAMAN MOTTO.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
ABSTRAK.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Batasan Masalah.....	8
C. Rumusan Masalah	8
D. Tujuan Penelitian.....	9
E. Manfaat Penelitian.....	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	10
A. Tinjauan Pustaka	10
B. Landasan Teori.....	16
1. Bentonit	16
2. Katalis Nikel.....	18
3. Impregnasi	19
4. Katalis Heterogen	21
5. Sitral.....	22
6. Isopropanol	23
7. Asam Format	25
8. Siklisasi.....	26
9. Reaksi Transfer Hidrogen.....	27
10. Karakterisasi Katalis.....	29
11. Gas Chromatography Mass Spectroscopy (GC-MS).....	30
C. Kerangka Berfikir dan Hipotesis Penelitian	32

BAB III	METODE PENELITIAN	35
A.	Waktu dan Tempat Penelitian	35
B.	Alat-alat Penelitian	35
C.	Bahan Penelitian	35
D.	Cara Kerja Penelitian	36
1.	Preparasi Katalis	36
2.	Aktivasi Basa Pada Bentonit	36
3.	Preparasi katalis Ni/Bentonit Teraktivasi Basa dengan Metode Impregnasi	37
4.	Uji Situs Asam Untuk Katalis	37
5.	Transformasi Sitral Menjadi Senyawa Siklik Melalui Reaksi Transfer Hidrogen Terkatalisis Ni/Bentonit Teraktivasi Basa	38
E.	Teknik Analisis Data	38
BAB IV	PEMBAHASAN	39
A.	Aktivasi Bentonit Alam dengan NaOH 2 M	39
B.	Preparasi Katalis Ni/Bentonit Teraktivasi Basa	46
C.	Karakterisasi Katalis Ni/Bentonit Teraktivasi Basa	48
D.	Keasaman Katalis	53
E.	Transformasi Senyawa Sitral Menjadi Senyawa Siklik	58
F.	Karakterisasi Hasil Reaksi	63
BAB V	PENUTUP	78
A.	Kesimpulan	78
B.	Saran	78
DAFTAR PUSTAKA		80
LAMPIRAN		93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Bentonit	17
Gambar 2.2 Struktur isomer senyawa Sitral	21
Gambar 4.1 Spektra FTIR bentonit alam dan bentonit teraktivasi basa	39
Gambar 4.2 Difraktogram bentonit alam dan bentonit teraktivasi basa	43
Gambar 4.3 Spektrum FTIR bentonit alam, bentonit teraktivasi basa, dan Ni/Bentonit teraktivasi basa.....	49
Gambar 4.4 Difraktogram bentonit alam, bentonit teraktivasi basa, dan Ni/Bentonit teraktivasi basa.....	51
Gambar 4.5 Grafik batang untuk nilai rata-rata keasaman katalis dan variabilitas data.....	57
Gambar 4.6 Kromatogram minyak sitral	58
Gambar 4.7 Spektrum FTIR Sitral.	60
Gambar 4.8 Usulan mekanisme dekomposisi asam format menjadi CO ₂ dan H ₂	62
Gambar 4.9 Spektrum FTIR hasil reaksi	64
Gambar 4.10 Kromatogram hasil reaksi ke-1.....	67
Gambar 4.11 Kromatogram hasil reaksi ke-2.....	67
Gambar 4.12 Kromatogram hasil reaksi ke-3.....	68
Gambar 4.13 Usulan mekanisme reaksi transformasi sitral menjadi senyawa 1,5,8-p-Menthatrien.	73

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil uji keasaman bentonit alam, bentonit teraktivasi basa, dan Ni/Bentonit teraktivasi basa.....	54
Tabel 4.2 Hasil uji <i>Anova Single Factor</i> untuk bentonit alam, bentonit teraktivasi basa, dan Ni/Bentonit teraktivasi basa.....	54
Tabel 4.3 Senyawa-senyawa yang terkandung dalam minyak sitral ...	59
Tabel 4.4 Penafsiran bilangan gelombang hasil uji FTIR pada sitral, hasil reaksi satu, dua, dan tiga.	65



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan	93
Lampiran 2. Preparasi Katalis Ni/Bentonit Teraktivasi Basa.....	102
Lampiran 3. Siklisasi Senyawa Sitral Melalui Reaksi Transfer Hidrogen	104
Lampiran 4. Analisis FTIR Bentonit Alam	105
Lampiran 5. Analisis FTIR Bentonit Teraktivasi Basa	106
Lampiran 6. Analisis FTIR Ni/Bentonit Teraktivasi Basa	107
Lampiran 7. FTIR Sitral	108
Lampiran 8. FTIR Hasil Reaksi 1.....	109
Lampiran 9. FTIR Hasil Reaksi 2.....	110
Lampiran 10. FTIR Hasil Reaksi.....	111
Lampiran 11. GC-MS Sitral	112
Lampiran 12. GC-MS Hasil Reaksi 1.....	113
Lampiran 13. GC-MS Hasil Reaksi 2.....	114
Lampiran 14. GC-MS Hasil Reaksi 3.....	115



ABSTRAK

PREPARASI KATALIS Ni/BENTONIT TERAKTIVASI BASA DAN APLIKASINYA DALAM SIKLISASI SENYAWA SITRAL

Oleh:

Adeline Sekar Khasanah
20106030015

Pembimbing:
Priyagung Dhemi Widiakongko, M. Sc.

Penelitian ini mempelajari preparasi katalis Ni/Bentonit teraktivasi basa dan aplikasinya dalam siklisasi senyawa sitral melalui reaksi transfer hidrogen. Katalis disiapkan dengan melalui metode impregnasi dengan pengembunan logam nikel pada bentonit teraktivasi basa menggunakan larutan NaOH 2M. Analisis karakteristik katalis dilakukan menggunakan FTIR dan XRD, sedangkan aktivitas katalitik diuji melalui konversi sitral menjadi senyawa siklik dengan menggunakan isopropanol sebagai pelarut dan asam format sebagai reduktor.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa katalis Ni/Bentonit teraktivasi basa mampu mengkonversi sitral menjadi senyawa siklik dengan efisiensi yang cukup signifikan dengan senyawa 1,5,8-p-Menthatrien yang tersorot dalam hasil reaksi ke-1 dan ke-2. Presentase senyawa 1,5,8-p-Menthatrien yang dihasilkan pada reaksi ke-1 adalah sebesar 1,07%, sedangkan pada reaksi ke-2 adalah sebesar 3,88%. Reaksi berjalan dengan baik karena adanya peran isopropanol sebagai pelarut serta asam format sebagai reduktor. Kondisi reaksi tersebut menunjukkan selektivitas yang cukup baik terhadap produk target.

Kata Kunci: Bentonit, Sitral, Impregnasi, Transfer Hidrogen, Siklisasi Senyawa Organik

ABSTRACT

PREPARATION OF Ni/BENTONITE BASE ACTIVATED AND ITS APPLICATION IN CYCLIZATION OF CITRAL COMPOUNDS

By:

Adeline Sekar Khasanah
20106030015

Supervisor:

Priyagung Dhemi Widiakongko, M. Sc.

This research examines the preparation of base-activated Ni/Bentonite catalysts and their application in the cyclization of citral compounds through hydrogen transfer reactions. The catalysts were prepared using the impregnation method by incorporating nickel metal onto base-activated bentonite with a 2M NaOH solution. Catalyst characterization was performed using FTIR and XRD, while catalytic activity was evaluated through the conversion of citral into cyclic compounds using isopropanol as a solvent and formic acid as a reductant.

The results indicate that the base-activated Ni/Bentonite catalyst efficiently converted citral into cyclic compounds, with the compound 1,5,8-p-Menthatriene prominently observed in the first and second reactions. The percentage of 1,5,8-p-Menthatriene produced was 1.07% in the first reaction and 3.88% in the second reaction. The reaction proceeded effectively due to the role of isopropanol as the solvent and formic acid as the reductant. These conditions demonstrated excellent selectivity toward the target product.

Keywords: Bentonite, Citral, Impregnation, Hydrogen Transfer, Cyclization of Organic Compounds

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan ilmu katalisis telah membawa perubahan signifikan dalam industri kimia, terutama dalam peningkatan efisiensi dan selektivitas reaksi. Salah satu bidang yang terus berkembang adalah pemanfaatan material alami sebagai katalis yang ramah lingkungan dan ekonomis. Bentonit merupakan salah satu material alami sejenis mineral lempung yang secara alami memiliki sifat penyerapan yang tinggi dan luas permukaan yang besar, sehingga mampu menyerap reaktan dengan baik (Darmadinata et al., 2019).

Bentonit adalah lempung jenis smektit yang komponen utamanya montmorillonit, memiliki struktur berlapis dan mengembang bila didispersikan ke dalam air, sehingga dapat dengan baik digunakan sebagai adsorben untuk membantu meningkatkan luas permukaan katalis, stabilitas, dan kemampuan mempertahankan struktur katalis. Material ini diketahui dapat terpolimerisasi dengan beberapa logam, sehingga berpotensi menjadi katalis dalam berbagai reaksi kimia (Nauva, 2015). Karakteristik tersebut menjadikan bentonit sebagai katalis yang tidak hanya ekonomis, tetapi juga ramah lingkungan karena ketersediaannya yang melimpah dan potensi penggunaannya dalam kondisi yang lebih hemat energi (Murray, 2006).

Bentonit sebagai mineral lempung dengan sifat menyerap dan luas permukaan yang tinggi menjadi salah satu katalis heterogen yang potensial dalam berbagai reaksi organik. Namun, bentonit alam memiliki beberapa kekurangan, seperti luas permukaan yang kecil dan

kemampuannya dalam mengadsorpsi anion kurang efektif (Darmadinata et al., 2019). Menurut Anwar et al. (2016), bentonit dalam bentuk alamnya sering kali belum cukup reaktif atau selektif dalam reaksi kimia tertentu, terutama dalam reaksi organik kompleks karena permukaan dan pori-pori bentonit masih mengandung kotoran. Oleh karena itu, teknik modifikasi seperti aktivasi bentonit dan pengembangan logam tertentu dapat dilakukan untuk meningkatkan sifat-sifat katalitik bentonit.

Proses aktivasi bentonit dapat dilakukan secara fisika dan kimia, aktivasi secara kimia dapat dilakukan dengan menambahkan senyawa asam seperti H_2SO_4 , HNO_3 , dan HCl . Sedangkan aktivasi basa dapat dilakukan dengan penambahan senyawa seperti NaOH , KOH , dan Ca(OH) . Setelah teraktivasi, bentonit akan menunjukkan karakteristik yang lebih unggul karena ukuran porinya menjadi lebih besar dibandingkan dengan sebelumnya (bentonit alami) (Nurhayati, 2010).

Pengaktivasian bentonit dengan reduktor basa seperti NaOH juga dapat meningkatkan kinerja adsorpsi bentonit dan dapat menjadi pilihan yang baik selain penggunaan aktivator asam yang sudah banyak dilakukan sebelumnya. Dewi et al. (2015), telah mengemukakan keberhasilannya dalam mengaktivasi bentonit dengan basa NaOH 2M. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bentonit teraktivasi oleh NaOH memiliki luas permukaan dan jumlah situs aktif yang lebih tinggi yaitu sebesar 22,1017 (m^2/g) dan 32,8716 x 1020 atom/gram dibandingkan dengan bentonit tanpa aktivasi yaitu sebesar 12,6602 (m^2/g) dan 31,5847 x 1020 atom/gram.

Penggunaan katalis sangat berdampak pada jalannya reaksi kimia. Pemilihan katalis yang tepat dapat meningkatkan efisiensi konversi senyawa awal menjadi produk yang diinginkan. Terdapat beberapa faktor dalam pemilihan katalis yang perlu diperhatikan, seperti logam aktif, ukuran partikel logam, jenis bahan pendukung, dan penerapan katalis bimetal. Selain itu, terdapat beberapa pertimbangan lain yang terkait dengan kondisi operasional, seperti pelarut yang digunakan, parameter pengadukan, suhu dan tekanan operasional, serta konsentrasi awal (Bailón-García et al., 2013).

Huang *et al.* (2021), menyatakan keberhasilannya dalam mensintesis sitronelal dari sitral dengan penggunaan katalis utama Ni dan pengembannya cairan limbah perengkahan katalitik (Ni/wFCC) dengan muatan Ni sebesar 20% menghasilkan tingkat konversi sitral mencapai 98,5% dan selektivitas sitronelal sebesar 86,6%. Penelitian lain terkait penggunaan katalis logam Ni telah dilakukan oleh Pratiwi (2019), dengan mengembangkan logam Ni ke dalam penyangga TiO_2 melalui metode impregnasi. Katalis berbasis nikel telah menarik perhatian besar karena kesebagunaannya, efektivitas biaya dan potensinya dalam berbagai transformasi katalitik (Kour et al., 2020). Keunggulan katalis berbasis logam nikel dibandingkan dengan logam lainnya juga telah dibuktikan oleh (Kukushkin & Yeletsy, 2023), yang mana katalis logam nikel memiliki efisiensi yang tinggi dalam reaksi hidrogenasi dan hidrogenolisis karena memiliki orbital 3d yang tidak penuh yang memungkinkan interaksi kuat dengan elektron hidrokarbon.

Dari beberapa sumber literatur mengenai penggunaan katalis logam nikel tersebut, dapat disimpulkan bahwasanya penggunaan logam Ni sebagai komponen aktif katalis memiliki potensi untuk meningkatkan luas permukaan katalis ketika diimpregnasikan ke dalam komponen penyangga. Dengan adanya pendekatan modifikasi yang tepat, bentonit dapat dioptimalkan untuk mencapai kinerja yang lebih baik dalam reaksi organik yang kompleks, seperti konversi suatu senyawa menjadi senyawa lainnya.

Sitral merupakan salah satu komponen minyak atsiri yang dapat dijadikan prekursor dalam pembentukan senyawa siklik yang dapat diperoleh dari ekstraksi tumbuhan serai dapur (*Cymbopogon citratus*). Sitral merupakan senyawa aldehida monoterpen yang memiliki struktur kimia yang memungkinkan terjadinya reaksi siklisasi (Julianto, 2016). Dengan gugus fungsi alkena dan aldehida yang reaktif, sitral mudah mengalami modifikasi kimia untuk menghasilkan berbagai senyawa turunan yang memiliki nilai tambah (Firyanto et al., 2020).

Sitral (3,7-dimetil-2,6-oktadienal) terdiri dari dua buah isomer, yaitu neral dan geranial. Sitral yang terkandung dalam minyak serai dapur sebesar 66,21% (Yunilawati et al., 2021). Sitral banyak digunakan sebagai bahan baku dalam industri parfum dan farmasi karena memiliki bau yang menyegarkan dan sifat kimia yang mudah diubah menjadi beberapa senyawa penting lainnya. Salah satu modifikasi senyawa sitral yang sering diteliti adalah pembentukan senyawa siklik melalui reaksi siklisasi. Senyawa-senyawa siklik yang terbentuk dari sitral diketahui

memiliki aplikasi yang luas dalam bidang industri dan obat-obatan (Herdiana et al., 2024).

Proses siklisasi sitral dapat dilakukan melalui reaksi transfer hidrogen, yaitu suatu metode alternatif yang lebih aman dibandingkan hidrogenasi konvensional, karena tidak memerlukan gas hidrogen bertekanan tinggi (Puspitasari et al., 2016). Dalam metode ini, sitral berperan sebagai substrat yang potensial untuk menghasilkan senyawa siklik dengan bantuan katalis bentonit teraktivasi dengan agen pendonor hidrogen seperti asam format dan isopropanol yang juga berperan sebagai pelarut. Pemilihan sitral didasarkan pada ketersediannya yang melimpah dari sumber alami dan sifat kimianya yang memungkinkan pembentukan berbagai senyawa siklik dengan aplikasi luas di industri parfum dan farmasi.

Reaksi transfer hidrogen memiliki peluang pengembangan dalam proses sintesis, terlebih dalam reaksi konversi senyawa-senyawa terpenoid. Sitral juga masuk ke dalam kategori senyawa yang berpotensi menjadi bahan baku dalam proses hidrogenasi untuk menghasilkan senyawa organik lainnya (Jhang et al., 2022). Menurut Nurfaury (2017), siklisasi senyawa organik melalui reaksi transfer hidrogen lebih efektif dibandingkan dengan reaksi hidrogenasi yang membutuhkan gas hidrogen dengan tekanan yang cukup tinggi dan beresiko tinggi pada keselamatan peneliti. Reaksi transfer hidrogen dalam ekstraksi senyawa esensial dianggap lebih baik karena reaksi ini dapat dilakukan pada suhu dan tekanan yang lebih rendah serta dapat menggunakan katalis yang lebih aman. Argumen tersebut menunjukkan bahwa reaksi transfer

hidrogen memiliki potensi untuk menjadi suatu alternatif yang lebih aman dan efisien dalam transformasi senyawa organik dibandingkan dengan reaksi hidrogenasi konvensional.

Isopropanol dapat digunakan sebagai pelarut dan agen pendonor hidrogen dalam reaksi transfer hidrogen. Isopropanol merupakan senyawa organik yang mudah larut dalam air dan pelarut organik lainnya seperti etanol dan aseton, selain itu isopropanol juga dapat digunakan sebagai agen pendonor hidrogen karena kemampuannya untuk mengalami oksidasi menjadi aseton dan hidrogen. Isopropanol juga tidak selalu dapat menguap dalam suhu ruangan karena titik didihnya yang cukup tinggi, yaitu sekitar 81-82 °C (Santoso & Azwar, 2020).

Penggunaan isopropanol sebagai agen pendonor hidrogen telah dibuktikan dalam penelitian yang dilakukan oleh Yang et al. (2013), dalam proses transfer hidrogen dengan katalis Ra-Ni untuk pembuatan c-valerolakton (GVL) dari *ethyl levulinate* (EL) yang dilakukan pada suhu ruangan dengan hasil produksi GVL yang lebih dari 99%. Presentase hasil tersebut membuktikan bahwa penggunaan isopropanol sebagai agen pendonor hidrogen cukup efektif dalam reaksi transfer hidrogen. Selain itu, isopropanol juga dikonfirmasi sebagai donor hidrogen yang efektif dalam proses transfer hidrogenasi katalis ZrO₂ dan Ru/C.

Asam format (HCOOH) merupakan asam karboksilat sederhana yang memiliki potensi besar dalam berbagai bidang seperti katalisis dan agen penyimpan hidrogen. Asam format menjadi perhatian karena kemampuannya dalam menyimpan hidrogen dalam bentuk yang lebih padat dibandingkan dengan gas hidrogen itu sendiri. Densitas hidrogen

dalam asam format adalah 53,4 g/L, jauh lebih tinggi dibandingkan dengan gas hidrogen dengan densitas hanya 0,089 g/L pada suhu 0 °C dan tekanan 1 atmosfer. Hal tersebut mengindikasikan bahwa asam format dapat menyimpan lebih banyak hidrogen dalam volume yang lebih kecil. Selain itu, titik didih asam format (100,75 °C) juga memungkinkan penyimpanan yang lebih stabil dan aman dibandingkan dengan hidrogen dalam bentuk gas yang mudah terbakar dan disimpan dengan aman (Tomar et al., 2020).

Penambahan asam format sebagai reduktor sekaligus agen pendonor hidrogen tambahan dalam reaksi transfer hidrogen dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap peningkatan efisiensi reaksi. Asam format akan terdekomposisi menjadi hidrogen dan karbon dioksida dalam sistem, yang mana hidrogen dari hasil dekomposisi tersebut akan mendukung isopropanol untuk menyediakan hidrogen dalam reaksi (Zoppas et al., 2018). Dalam mekanisme tersebut, asam format menyediakan sumber hidrogen tambahan yang dapat berinteraksi dengan katalis nikel dan mempercepat proses reduksi pada substrat organik. Hidrogen yang dihasilkan dari isopropanol dan asam format akan memastikan ketersediaan hidrogen yang memadai untuk reaksi hidrogenasi, sehingga dapat menghasilkan produk dengan konversi tinggi. Dengan demikian, kombinasi isopropanol dan asam format dapat menciptakan sistem yang sinergis dalam transfer hidrogen, dan menjadikannya lebih efisien dan optimal dibandingkan dengan penggunaan satu agen pendonor hidrogen saja.

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, akan dilakukan uji selektivitas katalis termodifikasi terhadap reaksi siklisasi senyawa sitral melalui reaksi transfer hidrogen. Reaksi akan dilakukan dengan bantuan katalis Ni yang diimbaskan dengan bentonit teraktivasi basa melalui metode impregnasi. Proses siklisasi dilakukan dengan reaksi transfer hidrogen dengan agen pendonor hidrogen seperti asam format dan isopropanol yang juga berperan sebagai pelarut. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi katalis termodifikasi (Ni/Bentonit teraktivasi basa) dalam transformasi senyawa sitral melalui reaksi transfer hidrogen, sehingga diharapkan dapat mengkonversi senyawa sitral menjadi senyawa siklik dengan tingkat konversi yang tinggi.

B. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini meliputi:

1. Material pengemban yang digunakan merupakan bentonit
2. Logam yang digunakan yaitu nikel (Ni) yang diimbaskan pada bentonit teraktivasi basa dengan metode impregnasi
3. Analisis karakteristik katalis berupa struktur kristal, situs asam, dan gugus fungsi katalis
4. Katalis Ni/Bentonit teraktivasi basa digunakan dalam proses siklisasi senyawa sitral melalui reaksi transfer hidrogen
5. Sumber hidrogen dalam reaksi siklisasi senyawa sitral diperoleh dari pelarut isopropanol dan reduktor asam format.

C. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini meliputi:

1. Bagaimana karakteristik katalis yang dihasilkan dari pengembanan logam nikel ke dalam bentonit teraktivasi basa dengan analisis instrumen FTIR dan XRD?
2. Bagaimana karakteristik dan mekanisme reaksi senyawa yang dihasilkan dari siklisasi senyawa sitral melalui reaksi transfer hidrogen menggunakan katalis Ni/Bentonit teraktivasi basa?

D. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ditulis dalam bentuk rincian:

1. Menmpelajari karakteristik katalis yang dihasilkan dari pengembanan logam nikel ke dalam bentonit teraktivasi basa melalui analisis instrumen FTIR dan XRD
2. Menganalisis karakteristik dan mekanisme reaksi senyawa yang dihasilkan dari siklisasi senyawa sitral melalui reaksi transfer hidrogen menggunakan katalis Ni/Bentonit teraktivasi basa.

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai transformasi sitral menjadi senyawa siklik melalui reaksi transfer hidrogen terkatalisis Ni/Bentonit teraktivasi basa. Selain itu juga, diharapkan penelitian ini dapat menjadi terobosan pembaharuan dalam meningkatkan selektivitas dan efisiensi transformasi sitral menjadi senyawa siklik melalui reaksi transfer hidrogen menggunakan katalis Ni/Bentonit teraktivasi basa.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Katalis Ni/Bentonit teraktivasi basa berhasil terbentuk berdasarkan karakterisasi gugus fungsional menggunakan FTIR dan XRD yang mengindikasikan keberadaan Ni dan NiO dalam bentonit yang diembankan.
2. Katalis Ni/Bentonit teraktivasi basa berhasil menunjukkan aktivitas katalitik yang baik dalam siklisasi senyawa sitral melalui reaksi transfer hidrogen, menghasilkan 5 senyawa siklik pada reaksi ke-1 dan 4 senyawa siklik pada reaksi ke-2 dengan 1,5,8-p-Menthatrien sebagai senyawa yang tersorot dari hasil kedua reaksi. Presentase senyawa 1,5,8-p-Menthatrien pada reaksi ke-1 adalah sebesar 1,07% dan pada reaksi ke-2 sebesar 3,83% dengan tambahan pelarut isopropanol dan reduktor asam format dalam reaksi.

B. Saran

Saran yang disampaikan dalam penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Melakukan optimasi bahan-bahan pendukung seperti isopropanol dan asam format untuk meningkatkan konversi sitral dan selektivitasnya terhadap senyawa siklik yang diinginkan.
2. Melakukan studi perbandingan katalis Ni/Bentonit teraktivasi basa untuk menentukan pengaruhnya terhadap efisiensi dan selektivitas reaksi siklisasi.

3. Melakukan evaluasi terhadap pengaruh pelarut dan reduktor lainnya (selain isopropanol dan asam format) untuk mengetahui kemungkinan adanya pelarut atau reduktor yang lebih efisien.



DAFTAR PUSTAKA

- Al Muttaqii, M., Birawidha, D. C., Isnugroho, K., Amin, M., Hendronursito, Y., Istiqomah, A. D., & Dewangga, D. P. (2019). Pengaruh Aktivasi Secara Kimia Menggunakan Larutan Asam dan Basa Terhadap Karakteristik Zeolit Alam. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 266–271.
- Amalia, I., Dani, V. P. A., Tamala, V., & Musnaini. (2019). Pemodelan Reaksi Hidrogenasi Senyawa Hidrokarbon Golongan Alkena dan Alkuna Melalui Studi Komputasi. *CHEMICA: Jurnal Pendidikan Kimia Dan Ilmu Kimia*, 2(1), 33–40.
- Anam, C., Sirojudin, & Firdausi, K. S. (2007). *Analisis Gugus Fungsi Pada Sampel Uji, Bensin Dan Spiritus Menggunakan Metode Spektroskopi FTIR* (Vol. 10, Issue 1).
- Anwar, R. N., Sunarto, W., & Kusumastuti, E. (2016). Pemanfaatan Bentonit Teraktivasi Asam Klorida Untuk Pengolahan Minyak Goreng Bekas. *J. Chem. Sci*, 5(3), 189–194. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- Arjek, O. C. H., & Fatimah, I. (2017). *Modifikasi Zeolit Dengan Tembaga (Cu) Dan Uji Sifat Katalitiknya Pada Reaksi Esterifikasi* (Vol. 3, Issue 2).
- Badriyah, L., Kadarwati, S., & Harjito, D. (2012). Pengaruh Temperatur pada Reaksi Hidrodenitrogenasi Piridin dengan Katalis Ni-Mo/Zeolit Alam. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 1(1), 61–67. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- Bailón-García, E., Maldonado-Hódar, F. J., Pérez-Cadenas, A. F., & Carrasco-Marín, F. (2013). Catalysts Supported on Carbon

- Materials for the Selective Hydrogenation of Citral. In *Catalysts* (Vol. 3, Issue 4, pp. 853–877). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/catal3040853>
- Bakri, B., Utari, T., & Puspita Sari, I. (2008). Kaolin Sebagai Sumber SiO₂ Untuk Pembuatan Katalis Ni/SiO₂: Karakterisasi dan Uji katalis Pada Hidrogenasi Benzena Menjadi Sikloheksana. *Makara Journal of Science*, 12(1), 37–43. <https://scholarhub.ui.ac.id/science/vol12/iss1/2>
- Bunaciu, A. A., Udriștioiu, E. gabriela, & Aboul-Enein, H. Y. (2015). X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications. In *Critical Reviews in Analytical Chemistry* (Vol. 45, Issue 4, pp. 289–299). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/10408347.2014.949616>
- Cahyono, E. (2010). *Kajian reaksi Siklisasi-Asetilasi (R)-(+)-Sitronelal dengan Anhidrida Asam Asetat Dikatalisis Asam Lewis dan Zeolit Alam Termodifikasi* [Gadjah Mada University]. <http://etd.repository.ugm.ac.id/>
- Dai, N., Shang, R., Fu, M., & Fu, Y. (2015). Transfer hydrogenation of ethyl levulinate to γ -valerolactone catalyzed by iron complexes. *Chinese Journal of Chemistry*, 33(4), 405–408. <https://doi.org/10.1002/cjoc.201500035>
- Darmadinata, M., Jumaeri, & Sulistyarningsih, T. (2019). Pemanfaatan Bentonit Teraktivasi Asam Sulfat sebagai Adsorben Anion Fosfat dalam Air. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 8(1), 1–8. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>

- Darmapatni, K. A. G., Basori, A., & Suaniti, N. M. (2016). Pengembangan Metode Gc-Ms Untuk Penetapan Kadar Acetaminophen pada Spesimen Rambut Manusia. *Jurnal Biosains Pascasarjana*, 18(3), 55–65.
- Dewi, P. A. I. K., Suarya, P., & Sibarani, J. (2015). ADSORPSI ION LOGAM Pb 2+ DAN Cu 2+ OLEH BENTONIT TERAKTIVASI BASA (NaOH). *Jurnal Kimia*, 9(2), 235–242.
- Diccianni, J., Lin, Q., & Diao, T. (2020). Mechanisms of Nickel-Catalyzed Coupling Reactions and Applications in Alkene Functionalization. *Accounts of Chemical Research*, 53(4), 906–919. <https://doi.org/10.1021/acs.accounts.0c00032>
- Du, Y., Chen, H., Chen, R., & Xu, N. (2004). Synthesis of p-aminophenol from p-nitrophenol over nano-sized nickel catalysts. *Applied Catalysis A: General*, 277(1–2), 259–264. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2004.09.018>
- Fatimah, N. F., & Utami, B. (2017). *Sintesis dan Analisis Spektra IR, Difraktogram XRD, SEM pada Material Katalis Berbahan Ni/zeolit Alam Teraktivasi dengan Metode Impregnasi*.
- Fauziyati, M. R. (2019). Uji Adsorpsi Bentonit Teraktivasi KOH Terhadap Logam Cu(II). *Walisongo Journal of Chemistry*, 2(2), 80. <https://doi.org/10.21580/wjc.v2i2.6028>
- Fellay, C., Dyson, P. J., & Laurenczy, G. (2008). A Viable Hydrogen-Storage System Based On Selective Formic Acid Decomposition with a Ruthenium Catalyst. *Angewandte Chemie International*

- Edition*, 47(21), 3966–3968.
<https://doi.org/10.1002/anie.200800320>
- Firyanto, R., Kusumo, P., & Yuliasari, I. E. (2020). Pengambilan Minyak Atsiri dari Tanaman Sereh Menggunakan Metode Ekstraksi Soxhletasi. *Journal of Chemical Engineering*, 1(1), 1–6.
- García, E. B., Maldonado-Hódar, F. J., Pérez-Cadenas, A. F., & Carrasco-Marín, F. (2013). Catalysts Supported on Carbon Materials for the Selective Hydrogenation of Citral. In *Catalysts* (Vol. 3, Issue 4, pp. 853–877). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/catal3040853>
- Gohlke, R. S., & Mclafferty, F. W. (1993). *Early Gas Chromatography/Mass Spectrometry*.
- Gothe, M. L., Figueredo, A. L., Borges, L. R., Ramos, R., Peixoto, A. F., & Vidinha, P. (2024). High-Pressure Hydrogenation: A Path to Efficient Methane Production from CO₂. *Methane*, 3(1), 53–64.
<https://doi.org/10.3390/methane3010004>
- Hardjono, S. (1992). *Spektroskopi Inframerah* (1st ed.). Liberty.
- Hebbar, R. S., Isloor, A. M., & Ismail, A. F. (2014). Preparation and evaluation of heavy metal rejection properties of polyetherimide/porous activated bentonite clay nanocomposite membrane. *RSC Adv.*, 4(88), 47240–47248.
<https://doi.org/10.1039/C4RA09018G>
- Herdiana, N., Sugiharto, R., & Winanti, D. D. T. (2024). *Rempah dan Minyak Atsiri Daun* (U. Y. Sundari, Ed.). CV. Gita Lentera.

- Jhang, T., Rk, L., Pandey, Saroj, Agrawal, Dwivedi, S., Lal K, Srivastav, S., Kumari, A. J., Chanotiya, M., Verma, C. □, Tandon, R. □, Yadav, S. □, Kotesk Kumar, A. □, Jananasha, J., Kumar, A. □, & Singh, A. □. (2022). Registration of CIM-Vrinda: A citral (Neral and Geranial) rich high essential oil yielding variety of *Ocimum basilicum* L. *Journal of Medicinal and Aromatic Plant Sciences*, 44(4), 127–134.
- Julianto, T. S. (2016). *Minyak Atsiri Bunga Indonesia* (I. Candrawinata & U. P. Hastanto, Eds.). Deepublish.
- Jung, H. M., Lee, E. M., Ji, B. C., Sohn, S. O., Ghim, H. Do, Cho, H., Han, Y. A., Choi, J. H., Yun, J. D., & Yeum, J. H. (2006). Preparation of poly(vinyl acetate)/clay and poly(vinyl acetate)/poly(vinyl alcohol)/clay microspheres. *Fibers and Polymers*, 7(3), 229–234. <https://doi.org/10.1007/BF02875677>
- Kour, S., Mishra, A., Sinha, A., Kaur, P., & Singh, H. (2020). The Development of Mesoporous Ni-Based Catalysts and Evaluation of Their Catalytic and Photocatalytic Applications. *ChemistrySelect*, 5(12), 3710–3723. <https://doi.org/10.1002/slct.201904550>
- Kukushkin, R. G., & Yeletsky, P. M. (2023). Ni-Based Catalysts: Synthesis and Applications Today. In *Catalysts* (Vol. 13, Issue 6). MDPI. <https://doi.org/10.3390/catal13060968>
- Langer, P., & Freiberg, W. (2004). Cyclization reactions of dianions in organic synthesis. *Chemical Reviews*, 104(9), 4125–4149. <https://doi.org/10.1021/cr010203l>
- Lestari, D. Y. (2012). *Pemilihan Katalis yang Ideal* (Issue 1).

- Liao, P. C., Yang, T. S., Chou, J. C., Chen, J., Lee, S. C., Kuo, Y. H., Ho, C. L., & Chao, L. K. P. (2015). Anti-inflammatory activity of neral and geranial isolated from fruits of *Litsea cubeba* Lour. *Journal of Functional Foods*, 19, 248–258. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.09.034>
- Mahmudha, S., & Nugraha, I. (2016a). Pengaruh Penggunaan Bentonit Teraktivasi Asam Sebagai Katalis Terhadap Peningkatan Kandungan Senyawa Isopulegol Pada Minyak Sereh Wangi Kabupaten Gayo Lues – Aceh. *Chimica et Natura Acta*, 4(3), 123–129.
- Mahmudha, S., & Nugraha, I. (2016b). *Pengaruh Penggunaan Bentonit Teraktivasi Asam Sebagai Katalis Terhadap Peningkatan Kandungan Senyawa Isopulegol Pada Minyak Sereh Wangi Kabupaten Gayo Lues-Aceh*.
- Marhayuni, Y., & Widiakongko, D. (2024). Preparation of Ni/Bentonite Acid-Activated using Dragon Fruit Peel Extract (*Hylocereus polyrhizus*) As a Reductor for One Pot Synthesis of Menthol. *Biology*, 13(2), 511–518. <https://doi.org/10.14421/biomedich.2024.132.511-518>
- Mellmann, D., Sponholz, P., Junge, H., & Beller, M. (2016). Formic acid as a hydrogen storage material – development of homogeneous catalysts for selective hydrogen release. *Chemical Society Reviews*, 45(14), 3954–3988. <https://doi.org/10.1039/C5CS00618J>

- Murray, H. H. (2006). *Applied Clay Mineralogy: Occurrences, Processing and Application of Kaolins, Bentonites, Palygorskite-Sepiolite, and Common Clays* (Emeritus, Ed.; Vol. 2). Elsevier.
- Mustikowati, Siadi, K., & Kusumo, E. (2014). Transformasi Sitronelal Menjadi Sitronelol dengan Menggunakan Reduktor NaBH_4 dan Hidrogenasi Terkatalisis Ni/Zeolit Beta. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 3(1), 81–86. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- Nauva, M. (2015). *Polarisasi Bentonit Sebagai Katalis Basa Untuk Konversi Gliserol Menjadi Gliserol Karbonat*.
- 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. <https://doi.org/10.20961/jkpk.v2i2.11904>
- Nurfauzy, A. (2017). *Sintesis Sitronelal menjadi 2,6-dimetil-8-oksooktan-2-il Asetat dari Minyak Sereh Wangi (Cymbopogon winterianus) dan Penentuan Karakteristik Aroma melalui Pengujian dengan Metode In Silico*.
- Nurhayati, H. (2010). *Pemanfaatan Bentonit Teraktivasi Dalam Pengolahan Limbah Cair Tahu*.
- Oko, S., & Feri, M. (2019). Pengembangan Katalis CaO Dari Cangkang Telur Ayam Dengan Impregnasi KOH dan Aplikasinya Terhadap Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Jarak. *Jurnal Teknologi*, 11(2), 103–110. <https://doi.org/10.24853/jurtek.11.2.103-110>

- Pan, Y., Zhang, X., Ji, C., Zhan, Q., Li, Z., Guan, J., & Huang, J. (2023). Modification Method of High-Efficiency Organic Bentonite for Drilling Fluids: A Review. In *Molecules* (Vol. 28, Issue 23). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/molecules28237866>
- Prakoso, D., Nuryanto, R., Taslimah, Khabibi, & Suyati, L. (2020). Sintesis Katalis Ni/Zeolit dan Aplikasinya Pada Pirolisis Limbah Serabut Batang Sagu. *Open Journal Systems*, 14(10), 3267–3274.
- Pratiwi, Y. C. (2019). *Aktiivitas Katalis Ni Berpenyangga TiO₂ Untuk Konversi Sitral Menjadi Sitronelal*.
- Puspitasari, S., Cifriadi, A., Krisnawati, K., & Irawadi, T. T. (2016). Reaksi Transfer Hidrogenasi Minyak Jarak Kastor Serta Aplikasinya Sebagai Bahan Pelunak Kompon Karet. *Majalah Kulit, Karet, Dan Plastik*, 32(2), 85. <https://doi.org/10.20543/mkkip.v32i2.1361>
- Putri, A. A. (2020). *Sintesis dan Karakterisasi bentonit Terpillar Logam Besi dan Kromium Sebagai Katalis untuk Konversi Etanol Menjadi Gasolin*.
- Rahayu, F. L., Nuryanto, R., & Suyanto, L. (2013). Pengaruh Diameter Kanal Pelet Katalis Zeolit Aktif dan Ni-Zeolit terhadap Pirolisis Limbah Batang Pohon Sagu (Metroxylonsp.). *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 16(1), 33–37. <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/ksa>

- Ramadhaniati, D. (2020). *Sintesis dan Karakterisasi Bentonit Dipilarisasi Logam Aluminium dan Zirkonium untuk Proses Konversi Etanol Menjadi Gasolin*.
- Reddy, K. R., El-Zein, A., Airey, D. W., Alonso-Marroquin, F., Schubel, P., & Manalo, A. (2020). Self-healing polymers: Synthesis methods and applications. *Nano-Structures & Nano-Objects*, 23, 100500. <https://doi.org/10.1016/j.nanoso.2020.100500>
- Reutemann, W., & Kieczka, H. (2011). Formic Acid. In *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Wiley. https://doi.org/10.1002/14356007.a12_013.pub2
- Rioux, R. M., & Vannice, M. A. (2003). Hydrogenation/dehydrogenation reactions: Isopropanol dehydrogenation over copper catalysts. *Journal of Catalysis*, 216(1–2), 362–376. [https://doi.org/10.1016/S0021-9517\(02\)00035-0](https://doi.org/10.1016/S0021-9517(02)00035-0)
- Ritonga, A. D., Widya, Herru, Y. D. N., Joni, R., Yelmiza, Fadilaturahmah, & Akbar, M. A. (2024). Isolasi dan Karakterisasi Glukomanan dari beberapa Spesies Talas (Colocasia) dan Iles-iles (Amorphophalus oncophyllus). *Jurnal Karya Ilmiah Multidisiplin (JURKIM)*, 4(1), 40–46.
- Russamsi, M. N. F., Nainggolan, F. J., Wungu, T. D. K., & Suprijadi. (2024). Carbon Dioxide Adsorption on Iron (III) Oxide Pillarized Na-Montmorillonite. *Sains Malaysiana*, 53(2), 409–419. <https://doi.org/10.17576/jsm-2024-5302-14>

- Santoso, R., & Azwar, E. (2020). Pengaruh Konsentrasi Isopropanol Terhadap Karakteristik Karboksimetil Selulosa Dari Batang Pisang. *Jurnal Kelitbangan*, 8(3), 253–264. <http://journalbalitbangdalamampung.org>
- Saputra, A. I. (2023). *Pengaruh Iradiasi Sinar Gamma Terhadap Karakteristik Implan Berbahan Dasar Ultra High Molecular Weight Polyethylene dan Hydroxyapatite*.
- Shimura, K., Yoshida, S., Oikawa, H., & Fujitani, T. (2023). Impacts of Ni-Loading Method on the Structure and the Catalytic Activity of NiO/SiO₂-Al₂O₃ for Ethylene Oligomerization. *Catalysts*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/catal13091303>
- Sibarani, Landia, K., & Wibowo, W. (2012). *Preparasi, Karakterisasi dan Uji Aktivitas Katalis Ni-Cr/Zeolit Alam Pada Proses Perengkahan Limbah Plastik Menjadi Fraksi Bensin*.
- Simakova, I. L., Vajglová, Z., Martínez-Klimov, M., Eränen, K., Peurla, M., Mäki-Arvela, P., & Murzin, D. Y. (2023). One-Pot Synthesis of Menthol from Citral over Ni/H-β-38 Extrudates Containing Bentonite Clay Binder in Batch and Continuous Reactors. In *Organic Process Research and Development* (Vol. 27, Issue 2, pp. 295–310). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/acs.oprd.2c00337>
- Slosiarikova, H., Bujdak, J., & Hlavaty, V. (1992). IR Spectra of Octadecylammonium-Montmorillonite in the Range of the Si-O Vibrations. In *Journal of Inclusion Phenomena and Molecular Recognition in Chemistry* (Vol. 13).

- Subagja, D., Priatmoko, S., & Widiarti, N. (2017). *Sintesis Ni-TiO₂ dan NiO-TiO₂ dan Aktivitasnya dalam Degradasi Metilen Biru.*
- Susanti, A. D., Ardiana, D., Gumelar, G., & Bening, Y. (2012). *Polaritas Pelarut Sebagai Pertimbangan Dalam Pemilihan Pelarut Untuk Ekstraksi Minyak Bekatul Dari Bekatul Varietas Ketan (*Oriza sativa glatinosa*). 8–14.*
- Tengker, S. M. T., & Kumajas, J. (2019). Karakterisasi material mesopori Ni/MCM-41 dan pengaruh penambahan logam nikel terhadap tingkat keasaman material. *Fullerene Journ. Of Chem*, 4(2), 61–65.
- Tiwow, V. A., Rampe, M. J., Rampe, H. L., & Apita, A. (2021). Pola Inframerah Arang Tempurung Kelapa Hasil Pemurnian Menggunakan Asam. *CHEMISTRY PROGRESS*, 14(2), 116. <https://doi.org/10.35799/cp.14.2.2021.37191>
- Tomar, P., Nozoe, Y., Ozawa, N., Nishimura, S., & Ebitani, K. (2020). Formic Acid as a Hydrogen Source for the Additive-Free Reduction of Aromatic Carbonyl and Nitrile Compounds at Reusable Supported Pd Catalysts. *Catalysts*, 10(8), 875. <https://doi.org/10.3390/catal10080875>
- Viftaria, M., Nurhayati, N., & Anita, S. (2019). Surface Acidity of Sulfuric Acid Activated Maredan Clay Catalysts with Boehm Titration Method and Pyridine Adsorption-FTIR. *Journal of Physics: Conference Series*, 1351(1), 1–8. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1351/1/012040>

- Wang, Q., Shi, D., Hu, J., Tang, J., Zhou, X., Wang, L., Xie, J., Jiang, Y., Yuan, H., & Yang, Y. (2024). Unraveling the dynamic changes of volatile compounds during the rolling process of Congou black tea via GC-E-nose and GC-MS. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1436542>
- Wang, Z. (2018). *Infrared Spectroscopy: A Basic Introduction*.
- Wijaya, K., Utami, S., Andini, R., Herlina, I., Taufiq, Hadi, K., Jujarama, & Mardani, P. R. (2016). *Nanomaterial: Aplikasinya dalam Pembuatan Biofuel*. Gajah Mada University Press.
- Yang, S., Zhao, D., Zhang, H., Lu, S., Chen, L., & Yu, X. (2010). Impact of environmental conditions on the sorption behavior of Pb(II) in Na-bentonite suspensions. *Journal of Hazardous Materials*, 183(1–3), 632–640. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.07.072>
- Yang, Z., Huang, Y. B., Guo, Q. X., & Fu, Y. (2013). Raney® Ni Catalyzed Transfer Hydrogenation of Levulinate esters to γ -valerolactone at Room Temperature. *Chemical Communications*, 49(46), 5328–5330. <https://doi.org/10.1039/c3cc40980e>
- Yao, D., Yang, H., Chen, H., & Williams, P. T. (2018). Investigation of Nickel-Impregnated Zeolite Catalysts for Hydrogen/Syngas Production from the Catalytic Reforming of Waste Polyethylene. *Applied Catalysis B: Environmental*, 227, 477–487. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2018.01.050>
- Yulianti, L., Supriadin, A., & Rosahdi, T. D. (2017). *Efek Larvasida Hasil FFraksinasi Ekstrak N-Heksana Daun Kirinyuh*

(*Chromolaena odorata* L.) Terhadap Larva *Aedes aegypti* (Vol. 4, Issue 1).

- Yunilawati, R., Handayani, W., Rahmi, D., Aminah, A., & Imawan, C. (2021). Komposisi Kimia, Aktivitas Antibakteri, dan Potensi Untuk Kemasan dari Aktif Beberapa Minyak Atsiri Tanaman Rempah Indonesia. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, 43(1), 12. <https://doi.org/10.24817/jkk.v43i1.6704>
- Zamhari, M., Yuniarti, Indah Sari, D., & Suciatty Saputri, N. (2019). Pembuatan Katalis Heterogen Basa Dari Serbuk Kayu Akasia. *Jurnal Kinetika*, 10(01), 38–45.
- Zhirong, L., Uddin, Md. A., & Zhanxue, S. (2011). FT-IR and XRD analysis of natural Na-bentonite and Cu(II)-loaded Na-bentonite. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 79(5), 1013–1016. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2011.04.013>
- Zoppas, F. M., Bernardes, A. M., Miró, E. E., & Marchesini, F. A. (2018). Nitrate Reduction of Brines from Water Desalination Plants Employing a Low Metallic Charge Pd, In Catalyst and Formic Acid as Reducing Agent. *Catalysis Letters*, 148(8), 2572–2584. <https://doi.org/10.1007/s10562-018-2429-x>