

**KINERJA KATALIS Co-Ni-Cu/MESOPORI HZSM-5 DALAM
HYDROCRACKING MINYAK NYAMPLUNG (*Callophyllum Inophyllum*
Linn) MENJADI BIOFUEL**

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Bidang Studi Kimia di Jurusan Kimia Fakultas MIPA**



Oleh:

DWI RAHMAH YUNIAR

08031382025080

JURUSAN KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2024

HALAMAN PENGESAHAN

**KINERJA KATALIS Co-Ni-Cu/MESOPORI HZSM-5 DALAM
HYDROCRACKING MINYAK NYAMPLUNG (*Callophyllum Inophyllum*
Linn) MENJADI BIOFUEL**

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Kimia

Oleh:

DWI RAHMAH YUNIAR

08031382025080

Indralaya, 25 Maret 2024

Mengetahui,

Pembimbing I



Prof. Dr. Hasanudin, M.Si

NIP.197205151997021003

Pembimbing II



Dr. Muhammad Al Muttaqii, M.T

NIP. 199202132019031007

Dekan FMIPA



Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D.

NIP. 197011191997021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi Dwi Rahmah Yuniar (08031382025080) dengan judul "Kinerja Katalis Co-Ni-Cu/Mesopori HZSM-5 dalam *Hydrocracking* Minyak Nyamplung (*Callophyllum Inophyllum Linn*) menjadi Biofuel" telah disidangkan di hadapan Tim Penguji Sidang Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 25 Maret 2024 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 25 Maret 2024

Ketua:

1. **Fahma Riyanti, M.Si.**

NIP. 197204082000032001

()

Sekretaris:

2. **Dr. Ferlinahayati, M. Si.**

NIP. 197402052000032001

()

Pembimbing:

1. **Prof. Dr. Hasanudin, M.Si.**

NIP.197205151997021003

()

2. **Dr. Muhammad Al Muttaqii, M.T.**

NIP. 199202132019031007

()

Penguji:

1. **Prof. Drs. Dedi Rohendi, Ph.D.**

NIP.196704191993031001

()

2. **Dr. Eliza, M.Si.**

NIP. 196407291991022001

()

Mengetahui,

Dekan FMIPA

Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D.
NIP. 197111191997021001

Ketua Jurusan Kimia

Prof. Dr. Muharni, M.Si.
NIP. 196903041994122001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TULIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Dwi Rahmah Yuniar

NIM : 08031382025080

Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia

Menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan karya ilmiah ini belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar kesarjanaan strata (S1) dari Universitas Sriwijaya maupun perguruan tinggi lain. Semua informasi yang dimuat dalam skripsi ini berasal dari penulis lain baik yang dipublikasikan atau tidak telah diberikan penghargaan dengan mengutip nama sumber penulis secara benar. Semua isi dari skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 25 Maret 2024



Penulis

Dwi Rahmah Yuniar

Dwi Rahmah Yuniar

NIM. 08031382025080

**HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Dwi Rahmah Yuniar
NIM : 08031382025080
Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya "hak bebas royalti non-eksklusif (*non-exclusively royalty-free right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul: "Kinerja Katalis Co-Ni-Cu/Mesopori HZSM-5 dalam *Hydrocracking* Minyak Nyamplung (*Callophyllum Inophyllum Linn*) menjadi Biofuel". Dengan hak bebas royalti non eksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir atau skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, 25 Maret 2024

Yang Menyatakan



Dwi Rahmah Yuniar

NIM. 08031382025080

HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmaanirrahiimm

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan”

(QS. Al-Insyirah: 5).

“Maka jadikanlah Shabar dan Shalat sebagai Penolongmu”

(QS. Al-Baqoroh: 46)

Skripsi ini sebagai tanda syukurku kepada:

1. Allah SWT
2. Nabi Muhammad SAW

Dan kupersembahkan kepada:

1. Ibu, ayah, kakak, dan adikku tercinta yang dengan setulus hati selalu mendoakan dan memberikan semangat serta dukungan sehingga saya mampu menyelesaikan Program S1 Kimia.
2. Keluarga besar yang telah mensupport dan mendoakanku.
3. Pembimbing tugas akhir penelitian dan skripsi Bapak Prof. Dr. Hasanudin, M.Si. dan Bapak Dr. Muhammad Al Muttaqii, M.T.
3. Seluruh Civitas Akademika Kimia Universitas Sriwijaya.
4. Rekan-rekan seperjuangan Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
5. Almamater Universitas Sriwijaya.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan Lafadz Allah, yang maha kasih yang maha sayang. Segala puji syukur hanyalah milik Allah SWT yang memberikan hidayah, iman, islam, kesehatan, kekuatan dan pertolongan kepada hambanya dalam setiap aktivitas yang dilakukan. Sholawat beserta salam selalu kita kirimkan kepada Baginda Nabiyyuna Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita dari zaman kegelapan menjadi zaman dimana kita dapat mengenal nikmat islam dan ilmu pengetahuan seperti saat ini. Atas dasar inilah akhirnya penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi yang berjudul “Kinerja Katalis Co-Ni-Cu/Mesopori HZSM-5 dalam *Hydrocracking* Minyak Nyamplung (*Callophyllum Inophyllum Linn*) menjadi Biofuel”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains bidang kimia pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengeahuan Alam Universitas Sriwijaya.

Proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari berbagai rintangan, mulai dari studi literatur, penelitian, pengumpulan dan pengolahan data serta pada proses penulisan. Namun dengan kesabaran dan ketekunan yang dilandasi dengan rasa tanggung jawab selaku mahasiswa dan juga bantuan dari berbagai pihak, baik material dan motivasi, akhirnya selesai sudah penulisan skripsi ini. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak **Prof. Dr. Hasanudin, M.Si.** dan Bapak **Dr. Muhammad Al Muttaqii, M.T.** yang telah banyak meluangkan waktu, tempat dan energi serta memberikan bimbingan, motivasi, saran dan petunjuk kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis juga menyampaikan terimakasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan segala nikmat, rahmat, hidayah serta kemudahan. Rasa puji dan syukur yang begitu besar penulis panjatkan kepada-Nya. Serta sholawat beserta salam kepada baginda Rasullullah SAW yang diharapkan syafaatnya hingga akhir zaman.
2. Bapak Prof. Hermansyah, M.Si., Ph.D selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya dan Ibu Prof. Dr. Muharni, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Prof. Dr. Hasanudin, M.Si. dan Bapak Dr. Muhammad Al Muttaqii, M.T. selaku Pembimbing Tugas Akhir saya. Terima kasih telah banyak

membantu penulis dalam penelitian dan penulisan skripsi dengan sabar dan terima kasih atas semua bimbingan yang telah Bapak berikan selama ini.

4. Ibu Fahma Riyanti, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik saya. Terima kasih atas segala bimbingan, arahan dan nasehat yang selalu Ibu berikan kepada saya selama perkuliahan.
5. Bapak Prof. Drs. Dedi Rohendi, Ph.D dan Ibu Dr. Eliza, M.Si selaku Tim Penguji Seminar Hasil dan Sidang Sarjana yang turut andil memberikan masukan, kritik, dan saran yang membangun dalam penulisan skripsi serta persiapan menuju sarjana kimia.
6. Ibu Fahma Riyanti, M.Si. selaku Ketua Komisi Sidang dan Ibu Dr. Ferlinahayati, M.Si. selaku Sekretaris Sidang Sarjana yang telah membantu dalam berjalannya Sidang Sarjana.
7. Seluruh Dosen Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu, mendidik dan membimbing selama perkuliahan.
8. Staff Laboratorium (Yuk Nur, Yuk Niar dan Yuk Yanti) yang telah banyak berjasa dalam kelengkapan alat dan bahan selama Penulis melakukan penelitian dan membantu dalam melakukan pengujian.
9. Mba Novi dan Mas Chosi'in selaku Admin Jurusan Kimia yang banyak membantu dan memberi informasi dalam kelancaran perkuliahan penulis.
10. Kedua orang tua tercinta tersayang ter-elluvh, Ibu Suryani dan Bapak Fitriansyah yang selalu mendukung, mendoakan, dan tak kenal lelah melakukan apapun demi kelancaran dan kesuksesan sepanjang hidup penulis, terima kasih tak terhingga penulis ucapkan. Penulis berharap agar terus dapat kebersamai sampai apa yang kita cita-citakan tercapai. Mari bertahan lebih lama lagi.
11. Untuk Kakakku Novia Ully Hidayah, S.Pd dan Adik-Adikku M Akbar dan Rajiv Albani, terima kasih selalu membantu penulis dalam memberikan support dan dukungan yang besar dalam kehidupan penulis, tetaplah semangat mengenyam pendidikan, Kita Pasti Bisa!!!
12. Keluarga besar yang selalu memberikan dukungan, doa dan harapan kepada penulis, terimakasih banyak untuk apapun itu.

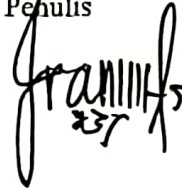
13. Catalyst Squad yang selalu bersama dalam keadaan susah dan senang terima kasih atas pengalaman dan kebersamaannya.
14. Boris-boris sulung dan bungsu, Ikhitya dan Mhika. Terima Kasih selalu ada dan menjadi tempat berkeluh kesah. Apapun yang telah dilakukan tidak pernah akan sia-sia. Mari bersemangat untuk terus menjalani cerita apapun yang akan datang kedepannya.
15. Teman-teman tersayang, Kak Kholida Muthiatul Maula, Kalinda Ayu Prasasti, Luthfia Zahra Chairani, Betty Dwiyantri, Elpera Yulianti, Zahra Luthfa Aqila, Nur Aini Ayu Lestari, Yeni Fransisca, Ira Nurul Zhofirah, Resti Atika, Yayang Fortuna Septblensky, dan teman Angkatan 2020 yang telah kebersamaian penulis dari menjadi mahasiswa sampai sekarang. Teruslah semangat, karena masih banyak ujian yang belum kita cobain.
16. TIM NIM 080, Kak Dini Uswati yang selaluuu membantuu perkuliahan penulis, mulai dari Laprak, LDO, MK, dan Serba-Serbi perkuliahan lainnya, Terimakasih sudah selalu memberi support, hal-hal baik, pengalaman yang berkesan, dan selalu ada disaat penulis sedih dan bahagia. Adik Asuh Devi'21 dan Febi'22, Terimakasih telah mewarnai kisah persaudaraan penulis dalam perkuliahan ini.
17. Kepada Pemilik NIM 021, Eja Trio Aji. Terima Kasih untuk apapun yang telah dan akan dilewati bersama penulis disaat senang, sedih, jatuh, dan tetap bertahan memberikan support. Kedepannya akan banyak ujian lebih dari apa sekarang. Terimakasih telah menjadi best support system. Mari hadapi apapun yang terjadi, kita kuat.
18. Terakhir saya ucapkan terima kasih kepada diri sendiri yang tetap kuat dan bertahan di masa-masa sulit, yang selalu mencoba untuk bangkit dari keterpurukan meski sudah jatuh berkali-kali.
19. Dan terimakasih kepada siapapun dan pihak manapun yang telah mengukir cerita dalam hidup dan memberi pembelajaran hidup yang berarti dan membuatku lebih dewasa seiring waktu.

Semoga bimbingan, ilmu, bantuan dan masukan yang telah diberikan kepada Penulis menjadi pahala yang dicatat Allah SWT. sebagai nilai kebaikan. Dengan kerendahan hati, Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan

dan kesalahan, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih.

Indralaya, 25 Maret 2024

Penulis

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Dwi Rahmah Yuniar' with a stylized flourish at the end.

Dwi Rahmah Yuniar

x

Universitas Sriwijaya

SUMMARY

PERFORMANCE OF Co-Ni-Cu/MESOPORE HZSM-5 CATALISTS IN *HYDROCRACKING* NYAMPLUNG OIL (*Callophyllum Inophyllum* Linn) TO BIOFUEL

Dwi Rahmah Yuniar : Guided by Prof. Dr. Hasanudin, M.Si., and Dr. Muhammad Al Muttaqii, M.T.

Departement of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences,
Sriwijaya University.

xix + 80 pages + 4 tables + 24 figures + 7 attachments

The study of catalysts for hydrocracking Nyamplung oil into biofuel was researched. Co-Ni-Cu/Mesoporous HZSM-5 catalyst was synthesized using wet impregnation method and sonication device with 5% metal loading and metal (Co-Ni-Cu) ratio variation of 1:1:1 and 1:2:1. The catalysts were characterized using X-Ray Diffraction (XRD), Brunauer Emmet Teller (BET), and Scanning Electron Microscope-Energy Dipersive X-Ray (SEM-EDX). Hydrocracking was conducted in a batch reactor with a volume of Nyamplung oil of 15 mL and a catalyst mass of 0.5 grams. The operating conditions of the hydrocracking reaction with temperature variations (250°C; 300°C; and 350°C), pressure of 20 barr, and reaction time for 2 hours. The hydrocracking products were analyzed using Gas Chromatography Mass Spectrophotometer (GC-MS). Biofuel from Nyamplung oil using Co-Ni-Cu/Mesopori HZSM-5 catalyst 5% metal ratio 1:1:1 in the reaction with 350°C temperature obtained the largest conversion of 72.1%, and contains n-paraffin compounds with % area 26.72%, cycloparaffin 3.34%, olefins 0.33%, aromatic compounds 15.83% and polycyclic aromatics 12.56%. The yield of biogasoline produced was 50.32%, biokerosene 36.49% and biogasoil 13.18%. The selectivity of biogasoline, biokerosene and biogasoil was found to be 41.02%, 29.74% and 10.74%, respectively

Keywords: Hydrocracking, Nyamplung Oil, Co-Ni-Cu/Mesopore HZSM-5, Biofuel

Citation : 122 (2006-2023)

RINGKASAN

KINERJA KATALIS Co-Ni-Cu/MESOPORI HZSM-5 DALAM HYDROCRACKING MINYAK NYAMPLUNG (*Callophyllum Inophyllum Linn*) MENJADI BIOFUEL

Dwi Rahmah Yuniar : Dibimbing oleh Prof. Dr. Hasanudin, M.Si., dan Dr. Muhammad Al Muttaqii, M.T.

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya.

xix + 80 halaman + 4 tabel + 24 gambar + 7 lampiran

Studi tentang katalis untuk hydrocracking minyak Nyamplung menjadi bahan bakar nabati dipelajari. Katalis Co-Ni-Cu/Mesopori HZSM-5 disintesis menggunakan metode impregnasi basah dan bantuan alat sonikasi dengan loading logam 5% dan perbandingan variasi rasio logam (Co-Ni-Cu) berupa 1:1:1 dan 1:2:1. Karakterisasi katalis menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Brunauer Emmet Teller (BET)*, dan *Scanning Electron Microscope-Energy Dipersive X-Ray (SEM-EDX)*. *Hydrocracking* dilakukan didalam *reaktor batch* dengan volume minyak Nyamplung 15 mL dan massa katalis 0,5 gram. Kondisi operasi reaksi *hydrocracking* dengan variasi temperatur (250°C; 300°C; dan 350°C), tekanan 20 barr, dan waktu reaksi selama 2 jam. Produk hasil *hydrocracking* dianalisa menggunakan *Gas Chromatography Mass Spectrofotometer (GC-MS)*. Biofuel dari minyak Nyamplung menggunakan katalis Co-Ni-Cu/Mesopori HZSM-5 5% rasio logam 1:1:1 pada reaksi dengan temperatur 350°C didapatkan konversi terbesar yaitu 72,1%, dan mengandung senyawa n-paraffin dengan % area 26,72%, cycloparaffin 3,34%, olefin 0,33%, senyawa aromatik 15,83% dan polisiklik aromatik 12,56%. Yield biogasoline yang dihasilkan sebesar 50,32%, biokerosene 36,49% dan biogasoil 13,18%. Selektivitas biogasoline, biokerosene dan biogasoil berturut-turut didapatkan sebesar 41,02%, 29,74% dan 10,74%.

Kata Kunci: *Hydrocracking*, Minyak Nyamplung, Co-Ni-Cu/mesopori HZSM-5, Biofuel

Sitasi : 122 (2006-2023)

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TULIS	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
SUMMARY	xi
RINGKASAN	xii
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II	6
TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tanaman Nyamplung (<i>Callophyllum inophyllum L.</i>).....	6
2.2 Minyak Nyamplung.....	8
2.3 <i>Cracking</i> (Perengkahan).....	9
2.3.1 <i>Thermal Cracking</i>	9
2.3.2 <i>Catalytic Cracking</i>	9
2.3.3 <i>Hydrocracking</i>	10
2.4 Katalis.....	11
2.4.1 Sisi Aktif	12
2.4.2 Bahan Pengemban.....	12
2.4.3 Promotor.....	13

2.5	Zeolit	13
2.5.1	Zeolit Alam	14
2.5.2	Zeolit Sintesis.....	14
2.6	Struktur Zeolit	15
2.7	ZSM-5	16
2.8	Zeolit HZSM-5	16
2.9	Trimetal Katalis	18
2.10	Biofuel	19
2.11	Karakterisasi Katalis dan Analisa Produk	21
2.11.1	X-Ray Diffraction	21
2.11.2	Brunauer-Emmett Teller.....	22
2.11.3	Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)	22
2.12	Studi Penelitian Terdahulu.....	23
BAB III.....		25
METODOLOGI PENELITIAN		25
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	25
3.2	Alat dan Bahan	25
3.2.1	Alat.....	25
3.2.2	Bahan.....	26
3.3	Prosedur Percobaan	26
3.3.1	Kalsinasi HZSM-5 Komersil.....	26
3.3.2	Preparasi Katalis Mesopori HZSM-5.....	26
3.3.3	Pertukaran Ion Na-ZSM-5.....	27
3.3.4	Impregnasi Logam ke dalam HZSM-5 Mesopori	27
3.3.5	Karakterisasi Katalis	28
3.3.6	Proses <i>Degumming</i> Minyak Nyamplung	29
3.3.7	<i>Hydrocracking</i> Minyak Nyamplung	29
3.3.8	Variabel Penelitian dan Kondisi Optimum.....	30
3.3.9	Analisa Bahan Baku dan Produk Biofuel.....	30
BAB IV		31
HASIL DAN PEMBAHASAN		31
4.1	Analisa Komposisi Bahan Baku.....	31
4.2	Sintesis Katalis Co-Ni-Cu/Mesopori HZSM-5	32

4.2.1	Preparasi <i>Support</i>	32
4.2.2	Impregnasi Logam ke dalam <i>Support</i>	33
4.2.3	Kalsinasi dan Reduksi	33
4.3	Karakterisasi Katalis.....	34
4.3.1	<i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	34
4.3.2	<i>Brunauer-Emmett-Teller</i> (BET)	36
4.3.3	<i>Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray</i> (SEM-EDX) 38	
4.4	Analisa Produk Biofuel	39
4.4.1	Konversi, Selektivitas dan Yield Produk Biofuel.....	39
4.4.2	Pengaruh Temperatur Reaksi terhadap Produk Biofuel	41
4.4.3	Pengaruh Temperatur terhadap Fraksi Produk Biofuel.....	47
BAB V	49
KESIMPULAN DAN SARAN	49
5.1	Kesimpulan.....	49
5.2	Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Tanaman Nyamplung (<i>Callophyllum inophyllum l</i>)	6
Gambar 2. Morfologi Nyamplung	7
Gambar 3. Mekanisme Reaksi <i>Catalytic Cracking</i> Trigliserida.....	10
Gambar 4. Hasil SEM zeolite alam	14
Gambar 5. Konstruksi Zeolit MFI	15
Gambar 6. Rangkaian Peralatan Reaktor <i>Batch</i>	25
Gambar 7. Minyak Nyamplung sebelum dan setelah <i>degumming</i>	31
Gambar 8. Spektra GC-MS Minyak Nyamplung setelah <i>Degumming</i>	32
Gambar 9. Katalis Co-Ni-Cu/Mesopori HZSM-5	34
Gambar 10. Difraktogram Katalis Co-Ni-Cu/Mesopori HZSM-5	35
Gambar 11. Isoterm Adsorpsi Nitrogen dan Distribusi Ukuran Pori.....	36
Gambar 12. Morfologi Permukaan Katalis Co-Ni-Cu/Mesopori HZSM-5	38
Gambar 13. Produk Biofuel Hasil Reaksi <i>Hydrocracking</i> menggunakan Katalis Co-Ni-Cu/Mesopori HZSM-5	39
Gambar 14. Grafik Perhitungan Konversi, Yield Fraksi Produk dan Selektivitas Biofuel.....	40
Gambar 15. Grafik Pengaruh Temperatur Reaksi terhadap Komposisi Produk Biofuel menggunakan Katalis Co-Ni-Cu/Mesopori HZSM-5 5% 1:1:1.....	42
Gambar 16. Kromatogram Waktu Retensi terhadap Persen Area Biofuel Hasil <i>Hydrocracking</i> dengan Katalis Co-Ni-Cu/Mesopori HZSM-5 5% 1:1:1 Temperatur 250°C	42
Gambar 17. Kromatogram Waktu Retensi terhadap Persen Area Biofuel Hasil <i>Hydrocracking</i> dengan Katalis Co-Ni-Cu/Mesopori HZSM-5 5% 1:1:1 Temperatur 300°C	43

Gambar 18. Kromatogram Waktu Retensi terhadap Persen Area Biofuel Hasil <i>Hydrocracking</i> dengan Katalis Co-Ni-Cu/Mesopori HZSM-5 5% 1:1:1 Temperatur 350°C	43
Gambar 19. Grafik Histogram Pengaruh Temperatur Reaksi terhadap Komposisi Produk Biofuel menggunakan Katalis Co-Ni-Cu/Mesopori HZSM-5 5% 1:2:1	45
Gambar 20. Kromatogram Waktu Retensi terhadap Persen Area Biofuel Hasil <i>Hydrocracking</i> dengan Katalis Co-Ni-Cu/Mesopori HZSM-5 5% 1:2:1 Temperatur 250°C	45
Gambar 21. Kromatogram Waktu Retensi terhadap Persen Area Biofuel Hasil <i>Hydrocracking</i> dengan Katalis Co-Ni-Cu/Mesopori HZSM-5 5% 1:2:1 Temperatur 300°C	46
Gambar 22. Kromatogram Waktu Retensi terhadap Persen Area Biofuel Hasil <i>Hydrocracking</i> dengan Katalis Co-Ni-Cu/Mesopori HZSM-5 5% 1:2:1 Temperatur 350°C	46
Gambar 23. Grafik Histogram Pengaruh Temperatur Reaksi Fraksi Biofuel menggunakan Katalis Co-Ni-Cu/Mesopori HZSM-5 5% 1:1:1.....	47
Gambar 24. Grafik Histogram Pengaruh Temperatur Reaksi terhadap Fraksi Biofuel menggunakan Katalis Co-Ni-Cu/Mesopori HZSM-5 5% 1:2:1.....	48

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Komposisi Asam pada Minyak Nyamplung	8
Tabel 2. Kondisi Operasi <i>Hydrocracking</i> Studi Penelitian Terdahulu.....	23
Tabel 3. Komponen Asam Lemak Minyak Nyamplung	32
Tabel 4. Hasil Karakterisasi BET-BJH Katalis Co-Ni-Cu/Meso HZSM5	37

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Skema <i>Flowchart</i> Prosedur Penelitian.....	64
Lampiran 2. Perhitungan Berat Total Katalis	69
Lampiran 3. Hasil Karakterisasi XRD	71
Lampiran 4. <i>Wholespectrum</i> Unsur Katalis dan <i>Mapping</i> EDX.....	73
Lampiran 5. Perhitungan Konversi, Yield, dan Selektivitas	75
Lampiran 6. Hasil Persen Area Komposisi Biofuel	77
Lampiran 7. Dokumentasi Penelitian	78

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi nasional terhadap bahan bakar fosil meningkat, namun cadangannya di bumi kian menipis dan akan habis (Putri *et al.*, 2022). Bahan bakar fosil merupakan sumber daya alam yang mengandung hidrokarbon seperti batu bara, gas alam, dan minyak bumi. Minyak mentah yang kita gunakan didapat dari perut bumi dan diolah menjadi bahan bakar berupa diesel, avtur, minyak tanah, bensin atau kebutuhan non energi seperti pelumas dan manufaktur bijih plastik (Setiawan *et al.*, 2019). Berdasarkan data dari Kementerian Energi Sumber Daya dan Mineral (ESDM), penggunaan Bahan Bakar Minyak (BBM) RON 90 di Indonesia mencapai 29,68 juta kiloliter sepanjang 2022. Konsumsi dan produksi BBM berbanding terbalik karena cadangan minyak bumi menurun tiap tahunnya. Selain itu, pembakaran bahan bakar fosil menghasilkan gas polutan meliputi SO₂, CO₂, *Volatile Organic Compound* (VOC), dan lain-lain. Emisi SO₂ dapat menyebabkan terjadinya hujan asam. Begitu juga dengan laju emisi gas rumah kaca yaitu CO₂ yang dapat mengubah komposisi atmosfer dan berdampak terhadap iklim. Sehingga, permasalahan ini memicu untuk mengembangkan sumber energi alternatif yang murah, berkelanjutan, terbarukan dan tidak menimbulkan polusi (Khan *et al.*, 2021).

Pengembangan energi terbarukan dan berkelanjutan terus diteliti untuk mencari pengganti sumber bahan bakar fosil seperti biofuel. Biofuel dikenal ramah lingkungan, terbarukan dan berkelanjutan, dan potensi substitusinya dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil (Hasanudin *et al.*, 2022). Biofuel dikembangkan melalui metode dengan bahan baku yang berbeda-beda. Bahan baku pembuatan biofuel biasanya menggunakan minyak nabati melalui proses perengkahan (Budianto *et al.*, 2021). Minyak nabati yang biasa digunakan meliputi minyak pangan dan minyak non-pangan. Minyak non-pangan lebih diminati karena harganya yang lebih rendah, dan tidak bersaing dengan permintaan pasar sehingga minyak non-pangan terus dikembangkan (Shaah *et al.*, 2021). Penggunaan minyak non pangan sebagai bahan baku dikenal dengan biofuel generasi kedua (Li *et al.*, 2021).

Indonesia adalah negara yang memiliki kekayaan sumber daya alam yang melimpah salah satunya adalah tanaman Nyamplung (*Callophyllum inophyllum L.*) yang dapat menghasilkan bahan bakar nabati. Di Indonesia terdapat budidaya tanaman nyamplung yang luasnya sekitar 255.350 ha yang dapat ditemukan di Sumatera Barat, Sumatera Selatan, Jambi, Riau, Lampung, Jawa, Kalimantan Barat dan Tengah, NTT, Sulawesi dan Papua. Per tahunnya pohon nyamplung dapat menghasilkan 20 ton buah/ha. Buah nyamplung memiliki biji yang mengandung kadar minyak yang tinggi sehingga dapat dihasilkan minyak melalui proses ekstraksi (Kartika *et al.*, 2019). Minyak dari biji nyamplung dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan seperti pembuatan sabun, minyak rambut, minyak urut, biofuel dan masih banyak lagi. Kadar minyak pada biji Nyamplung berkisar 40-73% w/w yang menghasilkan minyak kisaran 4680 kg/ha (Kustanto *et al.*, 2021). Penelitian Alamsyah *et al* menyebutkan minyak Nyamplung mengandung 14,60% asam palmitat, 37,57% asam oleat, 26,33% asam linoleat, dan 19,96% asam stearat (Handayani *et al.*, 2020). Minyak Nyamplung yang bukan termasuk minyak makan dan tidak bersaing dengan kebutuhan pangan inilah yang berpotensi sebagai alternatif bahan baku pembuatan biofuel.

Produksi biofuel dapat dilakukan dengan berbagai metode salah satunya *hydrocracking*. *Hydroracking* sebagai metode konversi minyak nabati dipilih karena berpotensi dapat langsung mengubah minyak menjadi biofuel. Dengan masuknya gas hidrogen dapat menghilangkan atom oksigen dalam bentuk H₂O, CO, maupun CO₂ untuk menghasilkan produk utama berupa rendemen cairan yang tinggi atau alkana rantai lurus dan bilangan setana yang tinggi sebagai biofuel (Al-Muttaqii *et al.*, 2019). Reaksi *hydrocracking* disesuaikan pada kondisi operasi yang meliputi tekanan, waktu, temperatur, serta berat *sample* dan katalis. *Hydrocracking* bekerja pada temperatur dan tekanan yang tinggi, temperatur yang digunakan biasanya berkisar dalam 200-400°C (Kusniawati *et al.*, 2021). Al-Muttaqii *et al.*, (2019) menggunakan kondisi operasi reaksi *hydrocracking* dengan variasi suhu 350°C, 375°C, 400°C. Umumnya *hydrocracking* menggunakan katalis untuk memecah molekul hidrokarbon dengan suhu yang panas. Katalis dalam proses perengkahan berfungsi untuk meningkatkan kualitas produk melalui pengembangan katalis dalam aktivitas dan selektivitas yang baik. Sehingga,

pemilihan katalis yang sesuai sangat penting dan dibutuhkan dalam proses perengkahan (Sunarno *et al.*, 2017). Katalis yang banyak diaplikasikan dalam proses *hydrocracking* salah satunya HZSM-5 (Aini *et al.*, 2020).

Katalis *Hydrogen Zeolite Socony Mobile-5* (HZSM-5) sering digunakan sebagai katalis perengkahan karena memiliki sifat asam yang kuat yang berfungsi untuk meningkatkan produk. Namun kekurangan katalis basis zeolit HZSM-5 berupa hasil *yield* fraksi *liquid* yang rendah dan katalis mudah terdeaktivasi (Aini *et al.*, 2020). Katalis perengkahan juga dapat berupa katalis padat atau logam transisi yang tertanam pada bahan induk. Jenis bahan induk yang sering dipakai adalah zeolit, alumina, dan alumina-silikat lainnya (Hasanudin *et al.*, 2022).

Bahan pengemban yang dikombinasi dengan logam transisi dapat mempengaruhi hasil dari proses perengkahan. Bahan mikropori memiliki pori yang kecil terlalu kecil bagi molekul besar reaktan. Mesopori dapat memecah difusi molekul yang terbatas dan mengubah molekul yang besar. Bahan mesopori diminati dalam percobaan kristal zeolit dengan *treatment* asam-basa sehingga melepas kerangka atom-atom dari zeolit. Katalis mesopori ZSM-5 dapat meningkatkan transfer massa reaktan dan produk ke sisi aktif (Solikhah *et al.*, 2022). Katalis HZSM-5 memberikan dekarboksilasi, dekarbonilasi, transfer hidrogen dan kemampuan aromatisasi yang bagus. Sedangkan katalis dari logam transisi memberikan reaksi hidrogenasi yang lebih kuat dari pada grup logam utama. Logam transisi memiliki aktivitas katalitik karena elektron dalam orbital d banyak yang tidak berpasangan. Pendoppingan logam kedalam kerangka zeolit dapat meningkatkan produk hidrokarbon aromatik (Nugrahaningtyas *et al.*, 2023). Al-Muttaqii *et al.*, (2017) telah berhasil membuat biofuel menggunakan katalis Co-Ni/HZSM-5 dengan bahan baku berupa minyak kemiri sunan. Komposisi biofuel yang didapatkan berupa 34% senyawa hidrokarbon dan senyawa teroksigenasi 35,03% luas asam karboksilat. Penambahan logam Cobalt dan Nikel bertujuan untuk meningkatkan aktivitas katalis HZSM-5. Penelitian Aini *et al* (2020) membuat biogasoil dengan bahan baku minyak Bintaro menggunakan katalis Ni-Cu/HZSM-5. Penambahan logam nikel dan copper digunakan untuk menghasilkan *yield* konversi yang besar. Rasio dan *loading* logam optimum diketahui 5% dengan perbandingan 1:1 mendapatkan biogasoil dengan *yield* 82,7% (Aini *et al.*, 2020).

Penelitian Trisunaryanti *et al.*, (2020) membuat biofuel dari minyak Nyamplung dengan katalis bimetal berupa logam Co dan Mo. Cobalt sebagai logam transisi keunggulannya aktif terhadap katalisis hidrogenasi dan efisien. Didapatkan fraksi cair 65,56% berat melalui pembentukan hidrokarbon. Penambahan prekursor logam cobalt dapat menstabilkan aktivitas katalitik, selektivitasnya pada hidrokarbon meningkat sehingga menghasilkan biokerosene 30% (Monte *et al.*, 2019). Penambahan cobalt diketahui memberikan aktivitas, selektivitas dan stabilitas pada hidrogenasi untuk meningkatkan produk biofuel, karena baik cobalt dan nickel sama sama memiliki aktivitas katalitik yang tinggi (Zhai *et al.*, 2020).

Penelitian Febriyanti *et al.*, (2020) mengkonversi minyak Nyamplung menggunakan katalis NiMo dengan bahan *support* γ -Al₂O₃ memberikan hasil yield 80,82% dan 81,48% biogasoil dan selektivitas n-parafin 49%. Nikel sebagai promotor mampu meningkatkan rendemen 90% dan selektivitas 89% pada n-(C15-C17) dalam kondisi bebas hidrogen (Khalit *et al.*, 2021). Dalam produksi pembuatan hidrokarbon, pemuatan Nikel kedalam Co/HZSM-5 dapat meningkatkan aktivitas dan stabilitas katalis sehingga produk bensin dapat tercapai (Marlinda *et al.*, 2020). Keuntungan lain pemuatan nikel yang digunakan untuk hidrogenasi adalah biaya zat yang rendah jika dibandingkan logam mulia. Penelitian Aziz *et al.*, (2022) mengkonversi minyak Nyamplung menggunakan katalis NiAg/ZH menghasilkan biogasoline 3,51%, biokerosene 4,73% dan biodiesel 62,02%. Katalis Co-Ni/HZSM-5 dalam *hydrocracking* minyak biji karet diketahui meningkatkan senyawa aromatik (Al-Muttaqii *et al.*, 2021).

Pemuatan logam Copper (Cu) dilakukan dengan mengingat kelebihannya yang mampu mengkatalisis dalam bermacam reaksi seperti hidrogenasi, hidrogenolisis, oksidasi dan lain-lain. Katalis basis HZSM-5 yang ditambahkan copper dalam penelitian Wei (2021) sangat stabil dan menghasilkan banyak situs asam pada reaksi hidrogenasi. Aini *et al.*, (2020) mengkonversi minyak bintaro melalui *hydrocracking* dengan katalis Ni/Cu-ZSM-5 mendapatkan biogasolin dengan *yield* 82,7%. Penambahan logam Cu ke Ni meningkatkan aktivitas katalitik (Suseno, 2019). Penelitian Munir mendapatkan biodiesel 90,02% dengan reaksi transesterifikasi minyak Caper. Hal ini membuktikan aktivitas katalitik dari logam Cu besar (Munir *et al.*, 2021).

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat dihasilkan karakteristik dan efektivitas katalis mesopori HZSM-5 yang didukung dengan trimetal transisi Cobalt, Nickel, dan Copper, juga kualitas produk biofuel yang dihasilkan dari perengkahan memiliki nilai yang mirip dengan bahan bakar minyak sehingga dapat mengurangi pemakaian energi fosil dan menerapkan prinsip kimia hijau. Pembuatan mesopori HZSM-5 sebagai katalis pendukung dalam proses *hydrocracking* diharapkan mampu menghasilkan luas permukaan yang besar dan spesifik. Penambahan logam Co-Ni-Cu dalam penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan aktivitas katalis mesopori HZSM-5.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dipelajari pada penelitian ini berupa:

1. Bagaimana proses sintesis serta karakter dari katalis Co-Ni-Cu/mesopori HZSM-5?
2. Bagaimana sifat-sifat katalis Co-Ni-Cu/mesopori HZSM-5 yang dihasilkan?
3. Bagaimana pengaruh variasi rasio logam transisi pada katalis terhadap produk biofuel pada proses perengkahan minyak Nyamplung?
4. Bagaimana pengaruh variasi suhu dalam proses perengkahan minyak Nyamplung terhadap produk biofuel yang dihasilkan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mensintesis dan mengetahui karakter katalis Co-Ni-Cu/Mesopori HZSM-5.
2. Menentukan sifat-sifat katalis Co-Ni-Cu/mesopori HZSM-5 yang dihasilkan.
3. Menentukan pengaruh variasi rasio logam transisi pada katalis terhadap produk biofuel pada proses perengkahan minyak Nyamplung.
4. Menentukan pengaruh variasi suhu dalam proses perengkahan minyak Nyamplung terhadap produk biofuel yang dihasilkan.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian adalah diharapkan mendapat katalis dengan luas permukaan yang besar dan aktivitas katalitik yang tinggi sehingga dapat dihasilkan produk biofuel dengan senyawa yang terkandung mirip dengan bahan bakar konvensional dan dapat menerapkan prinsip kimia hijau.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Hakim Shaah, M., Hossain, M. S., Salem Allafi, F. A., Alsaedi, A., Ismail, N., Ab Kadir, M. O., & Ahmad, M. I. (2021). A review on non-edible oil as a potential feedstock for biodiesel: physicochemical properties and production technologies. *RSC Advances* (Vol. 11, Issue 40, pp. 25018–25037). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/d1ra04311k>.
- Aini, A. N., Al-Muttaqii, M., Roesyadi, A., & Kurniawansyah, F. (2020). Kinerja Katalis Ni-Cu/HZSM-5 dalam Pembuatan Biogasoil dari Minyak Bintaro (Cerbera manghas) dengan Proses *Hydrocracking*. *BERKALA SAINSTEK*, 8(3), 84–88. <https://doi.org/10.19184/bst.v8i3.17937>.
- Aini, A. N., Al-Muttaqii, M., Roesyadi, A., & Kurniawansyah, F. (2021). Performance of ni-cu/hzsm-5 catalyst in *hydrocracking* process to produce biofuel from cerbera manghas oil. *Key Engineering Materials*, 884, 149–156. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.884.149>.
- Al Muttaqii, M., Birawidha, D. C., Isnugroho, K., Amin, M., Hendronursito, Y., Dini Istiqomah, A., & Dewangga, D. P. (2019). The Effect Of Chemical Activation By Using Acid And Base Solution On Natural Zeolite Characteristics. *Jurnal Riset Teknologi Industri*. 12(2). 266-271. <http://dx.doi.org/10.26578/jrti.v13i2.5577>.
- Al Muttaqii, M., Marlinda, L., Roesyadi, A., & Hari Prajitno, D. (2017). Co-Ni/HZSM-5 Catalyst for *Hydrocracking* of Sunan Candlenut Oil (Reutealis trisperma (Blanco) Airy Shaw) for Production of Biofuel. *The Journal of Pure and Applied Chemistry Research*, 6(2), 84–92. <https://doi.org/10.21776/ub.jpacr.2017.006.02.257>.
- Al-Muttaqii, M., Kurniawansyah, F., Prajitno, D. H., & Roesyadi, A. (2019). Bio-kerosene and bio-gasoil from coconut oils via *hydrocracking* process over Ni-Fe/HZSM-5 catalyst. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 14(2), 309–319. <https://doi.org/10.9767/bcrec.14.2.2669.309-319>.
- Al-Muttaqii, M., Kurniawansyah, F., Prajitno, D. H., & Roesyadi, A. (2019). *Hydrocracking* of coconut oil over Ni-Fe/HZSM-5 catalyst to produce hydrocarbon biofuel. *Indonesian Journal of Chemistry*, 19(2), 319–327. <https://doi.org/10.22146/ijc.33590>.
- Alviany, R., Marbun, M. P., Kurniawansyah, F., & Roesyadi, A. (2018). Proses Produksi Katalis γ -Al₂O₃ Menggunakan Metode Impregnasi. *Jurnal Teknik Kimia*. 12(2): 64-68. <http://dx.doi.org/10.33005/tekkim.v12i2.1088>.
- Ana, I. D. 2022. Tinjauan Biomedis: Biokeramik dan Rekayasa Jaringan. Yogyakarta: UGM Press.

- Andani, F. M., Nasution, A. H., & Ardiantono, D. S. (2020). Analisis Critical Success Factors Implementasi Program B20 untuk Pengembangan Berkelanjutan Industri Bahan Bakar Nabati. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 8(2). <https://doi.org/10.12962/j23373520.v8i2.49322>.
- Anekwe, I. M. S., Oboirien, B., & Isa, Y. M. (2023). Catalytic conversion of bioethanol over cobalt and nickel-doped HZSM-5 zeolite catalysts. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. <https://doi.org/10.1002/bbb.2536>.
- Ansori, A., Wibowo, S. A., Kusuma, H. S., Bhuana, D. S., & Mahfud, M. (2019). Production of Biodiesel from Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.) using Microwave with CaO Catalyst from Eggshell Waste: Optimization of Transesterification Process Parameters. *Open Chemistry*, 17(1), 1185–1197. <https://doi.org/10.1515/chem-2019-0128>.
- Anthonykutty, J. M., Linnekoski, J., Harlin, A., & Lehtonen, J. (2015). Hydrotreating reactions of tall oils over commercial NiMo catalyst. *Energy Science and Engineering*, 3(4), 286–299. <https://doi.org/10.1002/ese3.70>.
- Aparamarta, H. W., Gunawan, S., Ihsanpuro, S. I., Safawi, I., Bhuana, D. S., Mochtar, A. F., & Yusril Izhar Noer, M. (2022). Optimization and kinetic study of biodiesel production from nyamplung oil with microwave-assisted extraction (MAE) technique. *Heliyon*, 8(8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10254>.
- Ardian, H., Kehutanan, F., Tanjungpura, U., Imam, J., & Pontianak, B. (2022). Pengaruh Media Tanam Dengan Penambahan Pupuk Kotoran Sapi Terhadap Pertumbuhan Semai Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum* Linn) (Effect Of Planting Media With Added Cow Dung Fertilizer On The Growth Of Sampling (*Calophyllum Inophyllum* Linn) Seedling) (Vol. 10, Issue 4).
- Armenise, S., Costa, C. S., Luig, W. S., Ribeiro, M. R., Silva, J. M., Onfroy, T., Valentin, L., Casale, S., Muñoz, M., & Launay, F. (2023). Evaluation of two approaches for the synthesis of hierarchical micro-/mesoporous catalysts for HDPE hydrocracking. *Microporous and Mesoporous Materials*, 356. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2023.112605>.
- Aziz, I., Adhani, L., Maulana, M. I., Ali Marwono, M., Dwiatmoko, A. A., & Nurbayti, S. (2022). Conversion of Nyamplung Oil into Green Diesel through Catalytic Deoxygenation using NiAg/ZH Catalyst. *Jurnal Kimia Valensi*, 8(2), 240–250. <https://doi.org/10.15408/jkv.v8i2.25943>.
- Bintang, M. T., Aisyah, & Saleh, A. (2015). Sintesis Biodiesel Dari Minyak Biji Nyamplung (*Callophyllum Innophyllum* L.) Dengan Metode Ultrasonokimia. *Chimica et Natura Acta*. 3(2). 84-89. <http://dx.doi.org/10.24198/cna.v3.n2.9199>.
- Bu, L., Wang, Y., Sun, C., Zhao, T., Zhao, J., Wang, Z., Liu, W., Lu, J., Wu, S., & Shi, M. (2022a). Direct synthesis of H type ZSM-5 in shaped form and catalytic properties in methanol-to-hydrocarbon reaction. *Journal of*

Porous Materials, 29(4), 1165–1175. <https://doi.org/10.1007/s10934-022-01241-1>.

- Budianto, A., Rita Sari, A., Winda Monica, Y., Ningsih, E., Kusdarini, E., Teknik Kimia, J., Teknologi Adhi Tama Surabaya, I., & Arif Rahman Hakim No, J. (2021). Proses Pembuatan Biofuel dengan Metode perengkakan Menggunakan Katalis Padat. In *Journal of Industrial Process and Chemical Engineering Jurnal homepage: ejurnal.itats.ac.id/JOICHE* (Vol. 1, Issue 1).
- Deshpande, S., Kheur, S., Kheur, M., Eyüboğlu, T. F., & Özcan, M. (2023). A Review on Zeolites and Their Applications in Dentistry. In *Current Oral Health Reports* (Vol. 10, Issue 2, pp. 36–42). Springer Science and Business Media B.V. <https://doi.org/10.1007/s40496-023-00330-7>.
- Dewi, T. K., Mahdi, & Novriyansyah, T. (2016). Pengaruh Rasio Reaktan Pada Impregnasi Dan Suhu Reduksi Terhadap Karakter Katalis Kobalt/Zeolit Alam Aktif. *Jurnal Teknik Kimia*, 22(3), 9–18. <http://ejournal.ft.unsri.ac.id/index.php/JTK/issue/view/37>.
- Ding, K., Zhong, Z., Wang, J., Zhang, B., Fan, L., Liu, S., Wang, Y., Liu, Y., Zhong, D., Chen, P., & Ruan, R. (2018). Improving hydrocarbon yield from catalytic fast co-pyrolysis of hemicellulose and plastic in the dual-catalyst bed of CaO and HZSM-5. *Bioresource Technology*, 261, 86–92. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.03.138>.
- Eka Suharto, T., & Dahlan, A. (2022a). Cracking of Palm Oil Methyl Esters on Modified Natural Zeolite Catalysts Perengkakan Metil Ester Minyak Sawit Pada Katalis Zeolit Alam Termodifikasi. *Open Science and Technology*, 02(01), 2776–169. <https://opscitech.com/journal>.
- Eka Suharto, T., & Dahlan, A. (2022b). Cracking of Palm Oil Methyl Esters on Modified Natural Zeolite Catalysts Perengkakan Metil Ester Minyak Sawit Pada Katalis Zeolit Alam Termodifikasi. *Open Science and Technology*, 02(01), 2776–169. <https://opscitech.com/journal>.
- Eschenbacher, A., Goodarzi, F., Saraeian, A., Kegnaes, S., Shanks, B. H., & Jensen, A. D. (2020). Performance of mesoporous HZSM-5 and Silicalite-1 coated mesoporous HZSM-5 catalysts for deoxygenation of straw fast pyrolysis vapors. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 145, 1–38. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2019.104712>.
- Fatimah, N., & Utami, B. (2017). Sintesis dan Analisis Spektra IR, Difraktogram XRD, SEM pada Material Katalis Berbahan Ni/zeolit Alam Teraktivasi dengan Metode Impregnasi. *JC-T (Journal Cis-Trans): Jurnal Kimia Dan Terapannya*, 1(1), 35–39. <https://doi.org/10.17977/um026v1i12017p035>.
- Febriyanti, E., Roesyadi, A., & Prajitno, D. H. (2020). Conversion of Nyamplung Seed Oil (*Callophyllum Inophyllum* Linn) to Produce Biofuel using NiMo/γ-Al₂O₃ based Catalyst. *BERKALA SAINSTEK*, VIII(3), 89–95. <http://dx.doi.org/10.19184/bst.v8i3.17959>.

- Ginting, S. Br., Arya Perdana, G., Darmansyah, D., Agustina Iryani, D., & Wardono, H. (2019). Pengaruh Waktu Aging pada Sintesis Zeolit Linde Type-A (LTA) dari Zeolit Alam Lampung (ZAL) dengan Metode Step Change Temperature of Hydrothermal. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 14(1), 1–11. <https://doi.org/10.23955/rkl.v14i1.12093>.
- Godbole, V., Pal, M. K., & Gautam, P. (2021). A critical perspective on the scope of interdisciplinary approaches used in fourth-generation biofuel production. *Algal Research*, 58, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102436>.
- Hafshah, H., Prajitno, D. H., & Roesyadi, A. (2017). Hydrotalcite catalyst for *hydrocracking* Calophyllum inophyllum oil to biofuel: A comparative study with and without nickel impregnation. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis*, 12(2), 273–280. <https://doi.org/10.9767/bcrec.12.2.776.273-280>.
- Han, Y., Wang, Y., Ma, T., Li, W., Zhang, J., & Zhang, M. (2020). Mechanistic understanding of Cu-based bimetallic catalysts. In *Frontiers of Chemical Science and Engineering* (Vol. 14, Issue 5, pp. 689–748). Higher Education Press. <https://doi.org/10.1007/s11705-019-1902-4>.
- Handayani, P. A., Wulansarie, R., Husaen, P., & Ulfayanti, I. M. (2018). Esterification Of Nyamplung (Calophyllum Inophyllum) Oil With Ionic Liquid Catalyst Of Bmimhso4 And Microwaves-Assisted. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 7(1), 59–63. <https://doi.org/10.15294/jbat.v7i1.11407>.
- Handayani, S. S., Gunawan, E. R., Suhendra, D., Murniati, M., & Aditha, I. M. (2020a). Karakterisasi Sifat Fisiko Kimia Minyak Nyamplung Sebagai Bahan Baku Sabun Padat Transparan. *Jurnal Pijar Mipa*, 15(4), 411–415. <https://doi.org/10.29303/jpm.v15i4.1328>.
- Hartati, H. (2019). Sintesis Zeolit ZSM-5 dari Metakaolin Terdealuminasi Tanpa Cetakan Organik dengan Metode Desilikasi. *Akta Kimia Indonesia*, 4(1), 63. <https://doi.org/10.12962/j25493736.v4i1.5046>.
- Haryono, Natanael, C. L., Rukiah, & Yulianti, Y. B. (2018). Kalsium oksida mikropartikel dari cangkang telur sebagai katalis pada sintesis biodiesel dari minyak goreng bekas. *Jurnal Material Dan Energi Indonesia*, 8(1), 8–15. <http://dx.doi.org/10.24198/jmei.v8i01.17865>.
- Haryono, Rukiah, Ernawati, E., & Suryani, S. (2018). Biodiesel Synthesis Through Nyamplung Oil Esterification And Transesterification Using Ultrasonic Waves Assist. *Jurnal Penelitian Saintek*. 8(1): 1-7. <http://dx.doi.org/10.24198/jmei.v8i01.17865>.
- Hasanudin, H., Asri, W. R., Fanani, Z., Adisti, S. J., Hadiah, F., Maryana, R., Al Muttaqii, M., Zhu, Z., & Machado, N. T. (2022). Facile Fabrication of SiO₂/Zr Assisted with EDTA Complexed-Impregnation and Templated Methods for Crude Palm Oil to Biofuels Conversion via Catalytic *Hydrocracking*. *Catalysts*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/catal12121522>.

- Hasanudin, H., Asri, W. R., Said, M., Hidayati, P. T., Purwaningrum, W., Novia, N., & Wijaya, K. (2022a). *Hydrocracking optimization of palm oil to bio-gasoline and bio-aviation fuels using molybdenum nitride-bentonite catalyst. RSC Advances, 12*(26), 16431–16443. <https://doi.org/10.1039/d2ra02438a>.
- Hasanudin, H., Hidayati, P. T., Asri, R., & Said, M. (2022). *gasoline and bio-aviation fuels using molybdenum. 16431–16443. https://doi.org/10.1039/d2ra02438a*.
- Hasanudin, H., Rachmat, A., Said, M., & Wijaya, K. (2020). Kinetic model of crude palm oil *hydrocracking* over ni/mo zro2 –pillared bentonite catalyst. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering, 64*(2), 238–247. <https://doi.org/10.3311/PPch.14765>.
- He, H., Tian, H., Jiao, J., Zha, F., Guo, X., Tang, X., & Chang, Y. (2021). Performance of HZSM-5 prepared by different methods for methanol to aromatics. *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis, 133*(2), 1045–1060. <https://doi.org/10.1007/s11144-021-02041-5>.
- Herawati, N., Aditya Pratama, R. M., & Muhammadiyah Palembang Jl Jendral Ahmad Yani, U. (2017). Pembuatan Biogasoline Dari Limbah Ampas Tebu Dan Eceng Gondok Dengan Proses Thermal Catalytic. Distilasi. 2(2): 15-22. <http://dx.doi.org/10.32502/jd.v2i2.1148>.
- Mukaromah, H. A., Hasna Azizah, I., & Ariyadi, T. (2018). Characterization of ZSM-5 Zeolite Membrane Based on Gauze Type and Size Variation with Pre-Treatment Soaked in NaOH, HCl, and electro-oxidation with H2SO4. *Prosiding Seminar Nasional UNIMUS. 1*, 194–205. <http://prosiding.unimus.ac.id>.
- Ibrahim, M. S., Trisunaryanti, W., & Triyono, T. (2022). Nickel Supported Parangtritis Beach Sand (PP) Catalyst for *Hydrocracking* of Palm and Malapari Oil into Biofuel. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis, 17*(3), 638–649. <https://doi.org/10.9767/bcrec.17.3.15668.638-649>.
- Istadi, I., Riyanto, T., Khofiyandia, E., Buchori, L., Anggoro, D. D., Sumantri, I., Putro, B. H. S., & Firnanda, A. S. (2021). Low-oxygenated biofuels production from palm oil through *hydrocracking* process using the enhanced Spent RFCC catalysts. *Bioresource Technology Reports, 14*, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100677>.
- Jimmy, Ihsanti, D. H., Roesyadi, A., Suprpto, & Kurniawansyah, F. (2019). Synthesis and Characterization of Fe-Co/meso-HZSM-5: Effect of Impregnated Ratio of Iron and Cobalt. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 546*(7). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/546/7/072003>.
- Kartika, I. A., Rabbani, R. I., & Yuliana, N. D. (2019). Potensi Cangkang Buah Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*) Sebagai Sumber Resin Alami.

Jurnal Teknologi Industri Pertanian, 29(3), 269–277.
<https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2019.29.3.269>.

- Kaur, H., Singh, G., Yusup, S., Quitain, A. T., Abdullah, B., Ameen, M., Sasaki, M., Kida, T., & Wai, K. (2020). Biogasoline production from linoleic acid via catalytic cracking over nickel and copper-doped ZSM-5 catalysts. *Environmental Research*, 186(April), 109616. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109616>.
- Khaleque, A., Alam, M. M., Hoque, M., Mondal, S., Haider, J. Bin, Xu, B., Johir, M. A. H., Karmakar, A. K., Zhou, J. L., Ahmed, M. B., & Moni, M. A. (2020). Zeolite synthesis from low-cost materials and environmental applications: A review. In *Environmental Advances* (Vol. 2, pp. 1–24). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2020.100019>.
- Khalit, W. N. A. W., Asikin-Mijan, N., Marliza, T. S., Gamal, M. S., Shamsuddin, M. R., Saiman, M. I., & Taufiq-Yap, Y. H. (2021). Catalytic deoxygenation of waste cooking oil utilizing nickel oxide catalysts over various supports to produce renewable diesel fuel. *Biomass and Bioenergy*, 154, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106248>.
- Khamidah, N., Rakhmad, D. A., & Darmawan, B. (2018). Viabilitas Benih Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L) Dari Biji Yang Telah Di Skarifikasi Terhadap Media Tanam Yang Berbeda (Viability of Seed Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L) from Seeds That Have Been Discarified Against Different Planting Media). *ZIRA'AH*, 43(1), 104–110. <https://doi.org/10.31602/ZMIP.V43I1.1077>.
- Khan, M. A. H., Bonifacio, S., Clowes, J., Foulds, A., Holland, R., Matthews, J. C., Percival, C. J., & Shallcross, D. E. (2021). Investigation of biofuel as a potential renewable energy source. In *Atmosphere* (Vol. 12, Issue 10). MDPI. <https://doi.org/10.3390/atmos12101289>.
- Khery, Y., Sarjan, M., Nufida, B. A., & Efendi, I. (2022). Etnosains Tumbuhan Nyamplung (*Chalophyllum inophillum* L.) dalam Tradisi Masyarakat Sasak. *Biocaster: Jurnal Kajian Biologi*, 2(4), 176–188. <https://doi.org/10.36312/bjkb.v2i4.120>.
- Kloprogge, J. T., Pomce, C. P., and Loomis, T. A. 2020. The Periodic Table: Nature's Building Blocks. Amsterdam: *Elsevier*.
- Kurniati, S., Soeparman, S., Setyo Yuwono, S., Lukman Hakim, dan, dan Potensi Minyak Biji Nyamplung dari Kebumen, K., Tengah, J., & Bahan Baku Biodiesel, sebagai. (2018). Karakteristik dan Potensi Minyak Biji Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.) Asal Kebumen Jawa Tengah Sebagai Bahan Baku Biodiesel. In *International Research Journal of Advanced Engineering and Science* (Vol. 3, Issue 4). <https://paper.researchbib.com/view/issn/2455-9024/3/4>.
- Kusniawati, E., Anggraini, F., & Saputra, R. (2021). Analisis Karakteristik Katalis Pertamina Untuk Proses Hydrotreating Kerosin Menjadi Avtur The Analysis Of Pertamina Catalyst Characteristics For Kerosene

- Hydrotreating Process Into Aviation Fuel. *Jurnal Teknik Patra Akademika*. 12(01). 4-12. <http://dx.doi.org/10.52506/jtpa.v12i01.122>.
- Kustanto, Muh. N., Ilminnafik, N., Darsin, M., Sugara, I. R., Andrianto, D. T., & Fawaid, A. I. (2021). Pelatihan Pembuatan Bahan Bakar Minyak Nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) bagi Masyarakat Banyuwangi Jawa Timur. *Jurnal Abdi Masyarakat Indonesia*, 2(1), 35–40. <https://doi.org/10.54082/jamsi.154>.
- Kustomo. (2020). *Indonesian Journal of Chemical Science Uji Karakterisasi dan Mapping Magnetit Nanopartikel Terlapisi Asam Humat dengan Scanning-Electron-Microscope.-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)*. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>.
- Li, X., Wang, Q., Chen, J., Li, S., Wang, D., & Zheng, Z. (2021). One-step hydrotreatment of inedible oil for production the second-generation biofuel over Pt-Sn/SAPO-11 catalyst. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 156, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105121>.
- Pérez, L., Zarubina, V., & Melián-Cabrera, I. (2021). The Brunauer–Emmett–Teller model on alumino-silicate mesoporous materials. How far is it from the true surface area. *Microporous and Mesoporous Materials*, 319, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2021.111065>.
- Margajaya, R. 2019. *Tanaman Penghasil Bahan Bakar*. Semarang: ALPRIN.
- Marini, A. T., Wijaya, K., & Sasongko, N. A. (2018). Synthesis of H/Bentonite and Ni/Al₂O₃-bentonite and its application to produce biogasoline from nyamplung seed (*Calophyllum inophyllum* Linn) oil by catalytic hydrocracking. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 124(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/124/1/012009>.
- Marlinda, L., Al-Muttaqii, M., Roesyadi, A., & Prajitno, D. H. (2020). Effect of cobalt supported on the hierarchical Ni/HZSM-5 catalyst in hydrocracking of Sunan candlenut oil (*Reutealis trisperma* (Blanco) airy shaw). *Journal of Physics: Conference Series*, 1442(1), 1–5. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1442/1/012048>.
- Meirawaty, M., Nugraheni, R. D., dan Riyandhani, C. P. 2022. *Mineralogi*. Purwokerto: Zahira Media Publisher.
- Monte, D., Vizcaíno, A. J., Dufour, J., & Martos, C. (2019). Effect of K, Co and Mo addition in Fe-based catalysts for aviation biofuels production by Fischer-Tropsch synthesis. *Fuel Processing Technology*, 194, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2019.05.02>.
- Moniruzzaman, M., Yaakob, Z., Shahinuzzaman, M., Khatun, R., & Aminul Islam, A. K. M. (2017). *Jatropha Biofuel Industry: The Challenges*. In *Frontiers in Bioenergy and Biofuels* (pp. 223–256). InTech. <https://doi.org/10.5772/64979>.
- Munir, M., Ahmad, M., Saeed, M., Waseem, A., Nizami, A. S., Sultana, S., Zafar, M., Rehan, M., Srinivasan, G. R., Ali, A. M., & Ali, M. I. (2021).

- Biodiesel production from novel non-edible caper (*Capparis spinosa* L.) seeds oil employing Cu–Ni doped ZrO₂ catalyst. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 138, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110558>.
- Murdijanto, D. N., Setiabudi, A., & Eko Progam Studi Kimia Jurusan Pendidikan Kimia Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, R. (2010). Sintesis, Karakterisasi Dan Uji Aktivitas Katalis Ni/Al₂O₃ Pada Reaksi *Hydrocracking* Minyak Nabati. In *Jurnal Sains dan Teknologi Kimia* (Vol. 1, Issue 1).
- Murniati, M., Gunawan, E. R., Suhendra, D., Asnawati, D., & Qurba, P. (2022). Sintesis Senyawa-Senyawa Epoksi dari Asam Lemak Minyak Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.). *Jurnal Riset Kimia*, 13(1), 89–99. <https://doi.org/10.25077/jrk.v13i1.447>.
- Muzwar, K., Hidajat, W. K., & Winarno, T. (2018). Genesis dan Karakteristik Endapan Zeolit Desa Hargomulyo dan Sekitarnya, Kecamatan Gedangsari, Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Geosains & Teknologi*, 1(1): 19-24. <http://dx.doi.org/10.14710/jgt.1.1.2018.19-24>.
- Nugrahaningtyas, K. D., Zalfa, S. N., Rahmawati, F., Nurcahyo, I. F., & Hidayat, Y. (2023). STUDI AWAL KESTABILAN STRUKTUR KATALIS LOGAM TRANSISI PERIODE PERTAMA BERBASIS HZSM-5. *Jurnal Rekayasa Proses*, 17(1), 1–9. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.76449>.
- Nurdin, A., Saputra, H., Yuniawati, R., & Restu Finalis, E. (2018). Pembuatan Dan Karakterisasi Katalis Zeolit Zsm-5 Untuk Konversi Bioetanol Menjadi Bioetilena Synthesis And Characterisation Of Zsm-5 Zeolite Catalyst For Bioethanol To Bioethylene Conversion. *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*, 12(2), 79–84. <http://dx.doi.org/10.29122/mipi.v12i2.2741>.
- Pan, Y., Shen, X., Yao, L., Bentalib, A., & Peng, Z. (2018). Active sites in heterogeneous catalytic reaction on metal and metal oxide: Theory and practice. In *Catalysts* (Vol. 8, Issue 10, pp. 1–20). MDPI. <https://doi.org/10.3390/catal8100478>.
- Parahita, I. G. A. A., Mirzayanti, Y. W., Gunardi, I., Roesyadi, A., & Prajitno, D. H. (2018). Production of Biofuel via Catalytic *Hydrocracking* of Kapuk (*Ceiba pentandra*) Seed Oil with NiMo/HZSM-5 Catalyst. *MATEC Web of Conferences*, 156, 1–5. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815606001>.
- Pelle, S. B., Wuntu, A. D., & Aritonang, H. F. (2021). Sintesis dan Aktivitas Antibakteri Nanopartikel Ag-Zeolit A. *Jurnal LPPM Bidang Sains Dan Teknologi*, 6(1), 1–6. <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/lppmsains/article/view/42965/37848>.

- Prodinger, S., & Derewinski, M. A. (2020). Synthetic zeolites and their characterization. In *Nanoporous Materials for Molecule Separation and Conversion* (pp. 65–88). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818487-5.00003-0>.
- Purbaningtias, T., Kurniawati, P., Wiyantoko, B., Prasetyoko, D., and Suprpto, S. (2019): Pengaruh Penambah Surfaktan pada Modifikasi Material Alam, *Akta Kimia Indonesia*, 4(2), 118-132. <http://dx.doi.org/10.12962/j25493736.v4i2.5536>.
- Putri, Q. U., Putri, E. E. S., Hasanudin, Purwaningrum, W., & Riyanti, F. (2022). Hydrodeoxygenation of Crude Palm Oil into Biogasoline with Composite Catalyst Bentonite Cobalt Nitride. *AIP Conference Proceedings*, 2638(August). <https://doi.org/10.1063/5.0104039>.
- Rahayu, P. E., Priatmoko, S., & Kadarwati, S. (2013). Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Semarang Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229 Sejarah Artikel: Diterima Mei. *J. Chem. Sci*, 2(2). <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>.
- Rashidvand, A., Kheirmand, M., Roozbehani, B., & Hosseini, S. H. (2023). Fabrication and characterization of ZSM-5 zeolite modified with silver and assessing its performance in petroleum waste cracking process. *Arabian Journal of Chemistry*, 16(12), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.105330>.
- Rasyid, R., Dewanti, A. T., Malik, R., Anshariah, & Kalla, R. (2022). Catalytic Cracking of Palm Fatty Acid Distillates using HCl Catalyst with γ - Al₂O₃ Support. *Journal of Chemical Process Engineering*, 7(2), 96–102. <http://dx.doi.org/10.33536/jcpe.v7i2.1401>.
- Raza, J., Khoja, A. H., Naqvi, S. R., Mehran, M. T., Shakir, S., Liaquat, R., Tahir, M., & Ali, G. (2021). Methane decomposition for hydrogen production over biomass fly ash-based CeO₂ nanowires promoted cobalt catalyst. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(5). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105816>.
- Rinaldi, N., Purba, N. D. E., Kristiani, A., Agustian, E., Widjaya, R. R., & Dwiatmoko, A. A. (2023). Bentonite pillarization using sonication in a solid acid catalyst preparation for the oleic acid esterification reaction. *Catalysis Communications*, 174. <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2022.106598>.
- Sabarman, J. S., Legowo, E. H., Widiputri, D. I., & Siregar, A. R. (2019). Bioavtur Synthesis from Palm Fatty Acid Distillate through Hydrotreating and *Hydrocracking* Processes. *Indonesian Journal of Energy (IEJ)*. 2(2), 99–110. <https://doi.org/10.33116/ije.v2i2.40>.
- Sachin Powar, R., Singh Yadav, A., Siva Ramakrishna, C., Patel, S., Mohan, M., Sakharwade, S. G., Choubey, M., Kumar Ansu, A., & Sharma, A. (2022). Algae: A potential feedstock for third generation biofuel.

Materials Today: Proceedings, 63, A27–A33.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.07.161>.

- Sahdiah, H., & Kurniawan, R. (2023). Optimasi Tegangan Akselerasi pada Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDX) untuk Pengamatan Morfologi Sampel Biologi. *Jurnal Sains Dan Edukasi Sains*, 6(2), 117–123.
<https://doi.org/10.24246/juses.v6i2p117-123>.
- Sang, Y., & Li, H. (2019). Effect of phosphorus and mesopore modification on the HZSM-5 zeolites for n-decane cracking. *Journal of Solid State Chemistry*, 271, 326–333. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2019.01.016>.
- Saragih, M. A., Hasibuan, M. I., Simangunsong, L., Pulungan, A. N., & Sihombing, J. L. (2023). Hydrodeoxygenation of Castor Oil As an Alternative Source of Biohydrocarbon Using Nickel Catalyst Loaded On HZSM-5 Zeolite. *Elkawanie: Journal of Islamic Science and Technology*, 8(2), 221–233. <https://doi.org/10.22373/ekw.v8i2.12583>.
- Savitri, S., Nugraha, A. S., & Aziz, I. (2016). Pembuatan Katalis Asam (Ni/ γ -Al₂O₃) dan Katalis Basa (Mg/ γ -Al₂O₃) untuk Aplikasi Pembuatan Biodiesel dari Bahan Baku Minyak Jelantah. *Jurnal Kimia VALENSI*, 2(1), 1–10. <https://doi.org/10.15408/jkv.v2i1.3104>.
- Setiawan, A., Tua, D. P., & Husin, M. K. E. (2019). Pengaruh konsumsi bahan bakar fosil terhadap produk domestik bruto Indonesia dan hubungan timbal balik di antara keduanya. *Jurnal Teknologi Mineral Dan Batubara*, 15(3), 213–223. <https://doi.org/10.30556/jtmb.Vol15.No3.2019.931>.
- Setiawan, Y., Mahatmanti, F. W., & Harjono, D. (2018). Preparasi dan Karakterisasi Nanozeolit dari Zeolit Alam Gunungkidul dengan Metode Top-Down : Indonesian Journal of Chemical Science. In *J. Chem. Sci* (Vol. 7, Issue 1). <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>.
- Sharma, G., Kumar, D., Kumar, A., Al-Muhtaseb, A. H., Pathania, D., Naushad, M., & Mola, G. T. (2017). Revolution from monometallic to trimetallic nanoparticle composites, various synthesis methods and their applications: A review. In *Materials Science and Engineering C* (Vol. 71, pp. 1216–1230). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.msec.2016.11.002>.
- Shokravi, H., Heidarrezaei, M., Shokravi, Z., Ong, H. C., Lau, W. J., Din, M. F. M., & Ismail, A. F. (2022). Fourth generation biofuel from genetically modified algal biomass for bioeconomic development. In *Journal of Biotechnology* (Vol. 360, pp. 23–36). Elsevier B.V.
<https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2022.10.010>.
- Sihombing, J. L., Pulungan, A. N., Herlinawati, H., Yusuf, M., Gea, S., Agusnar, H., Wirjosentono, B., & Hutapea, Y. A. (2020). Characteristic and catalytic performance of Co and Co-Mo metal impregnated in sarulla natural zeolite catalyst for *hydrocracking* of MEFA rubber seed oil into

- biogasoline fraction. *Catalysts*, 10(1), 1–14. <https://doi.org/10.3390/catal10010121>.
- Solikhah, M. D., Prismantoko, A., Prawitasari, A., Barus, B. R., & Kismanto, A. (2022). Perancangan Reaktor Untuk Produksi Biodiesel Generasi 2 Dari Biomasa Sawit. *Jurnal Teknologi*, 14(2), 197–212. <https://doi.org/10.24853/jurtek.14.2.197-212>.
- Srivastava, M., Srivastava, N., Mishra, P. K., dan Gupta, V. K. 2020. Green Synthesis of Nanomaterials for Bioenergy Applications. Hoboken: Wiley.
- Suharto, T. E. 2022. Katalisis dalam Industri Kimia, Yogyakarta: UAD PRESS.
- Sukandarrumidi. 2018. Geologi Medis: Pengantar Pemanfaatan Sumber Daya Geologi dalam Usaha Menuju Hidup Sehat. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Sumari, S., Prakasa, Y. F., Asrori, M. R., & Baharintasari, D. R. (2020). Analisis Kandungan Mineral Pasir Pantai Bajul Mati Kabupaten Malang Menggunakan XRF dan XRD. *Fullerene Journal of Chemistry*, 5(2), 58–62. <https://doi.org/10.37033/fjc.v5i2.154>.
- Sunarno, Herman, S., Rochmadi, Mulyono, P., & Budiman, A. (2017). Effect of support on catalytic cracking of bio-oil over Ni/silica-alumina. *AIP Conference Proceedings*, 1823. <https://doi.org/10.1063/1.4978162>.
- Suprabawati, A. 2023. Kinerja Baterai Litium Ion dengan Katode LiFe1-XGdxPO4 yang Disintesis dengan Metode Fasa Padat (Solid State). Makassar: Nas Media Pustaka.
- Supriyanto, Ismanto, & Suwito, D. N. (2019). Zeolit alam sebagai katalis pyrolysis limbah ban bekas menjadi bahan bakar cair: Natural zeolite as pyrolysis catalyst of used tires into liquid fuels. *Automotive Experiences*, 2(1), 15–21. <https://doi.org/10.31603/ae.v2i1.2377>.
- Suseno, A. (2019). Hydrocracking of palm oil to gasoline on bimetallic Ni-Cu/zirconia pillared bentonite. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 509(1), 1–5. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/509/1/012005>.
- Susgadersukawati, F. N., Priatmoko, S., & Sri Wahyuni, dan. (2012). Preparasi Dan Karakterisasi Katalis Ni-Mo/Zeolit Alam Sebagai Katalis Perengkahan Sampah Plastik Hdpe. *J. Chem. Sci*, 1(1). <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>.
- Tajuddin, N. A., Kamal, A., Anessa, N., Rhymme, Q., & Sani, S. F. (2023). Hierarchical Zeolite Zsm-5 Framework On The Synthesis And Characterization For Catalytic Cracking Of Fluid: A Mini Review (Kerangka Hierarki Zeolit Zsm-5 Terhadap Sintesis san Pencirian untuk Pemecahan Pemangkin Cecair: Sebuah Ulasan Ringkas). In *Malaysian Journal of Analytical Sciences* (Vol. 27).

- Tao, L., Milbrandt, A., Zhang, Y., & Wang, W. C. (2017). Techno-economic and resource analysis of hydroprocessed renewable jet fuel. *Biotechnology for Biofuels*, 10(1), 1–16. <https://doi.org/10.1186/s13068-017-0945-3>.
- Teng, C., He, J., Zhu, L., Ren, L., Chen, J., Hong, M., & Wang, Y. (2015). Fabrication and Characterization of Monodisperse Magnetic Porous Nickel Microspheres as Novel Catalysts. *Nanoscale Research Letters*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s11671-015-1088-8>.
- Titah, H. S., Astuti, A. D., Nursagita, Y. S., dan Pratikno, H. 2022. Fitoremediasi Pencemar Limbah Organik dan Anorganik di Wilayah Pesisir Menggunakan Tumbuhan Mangrove. Malang: Media Nusa Creative (MNC Publishing).
- Trisunaryanti, W., Triyono, T., Ghoni, M. A., Fatmawati, D. A., Mahayuwati, P. N., & Suarsih, E. (2020a). Hydrocracking of calophyllum inophyllum oil employing Co and/or Mo supported on γ -Al₂O₃ for biofuel production. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 15(3), 743–751. <https://doi.org/10.9767/BCREC.15.3.8592.743-751>.
- Vichaphund S, Aht-ong D, Sricharoenchaikul V, Atong D. (2015), “Production of aromatic compounds from catalytic fast pyrolysis of Hatropha residues using metal/HZSM-5 prepared by ion-exchange and impregnation methods”. *Renewable Energy*; 79: 28-37. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2014.10.013>.
- Vijayakumar, A., & Sebastian, J. (2018, August). Pyrolysis process to produce fuel from different types of plastic—a review. In IOP conference series: Materials Science and Engineering (Vol. 396, p. 012062). IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/396/1/012062>.
- Vinaches, P., Bernardo-Gusmão, K., & Pergher, S. B. C. (2017). An introduction to zeolite synthesis using imidazolium-based cations as organic structure-directing agents. In *Molecules* (Vol. 22, Issue 8, pp. 1–19). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/molecules22081307>.
- Vogt, C., & Weckhuysen, B. M. (2022). The concept of active site in heterogeneous catalysis. *Nature Reviews Chemistry*, 6(2), 89-111. <https://dx.doi.org/10.1038/s41570-021-00340-y>.
- Wang, H., Wu, Y., Li, Y., Peng, J., Gu, X. K., & Ding, M. (2021). One-step synthesis of gasoline fuels from γ -valerolactone with high selectivity over Cu/HZSM-5 bifunctional catalyst. *Applied Catalysis B: Environmental*, 296. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2021.120338>.
- Wedayani, N. M. (2018). Studi Pengelolaan Sampah Plastik Di Pantai Kuta Sebagai Bahan Bakar Minyak Ni Made Wedayani *). *Jurnal Presipitasi: Media Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 15(2), 122–126. <http://dx.doi.org/10.14710/presipitasi.v15i2.122-126>.

- Wibowo, E., Sutisna, Rokhmat, M., Murniati, R., Khairurrijal, & Abdullah, M. (2017). Utilization of Natural Zeolite as Sorbent Material for Seawater Desalination. *Procedia Engineering*, 170, 8–13. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.002>.
- Widayatno, R. L., W, A. D., & Abidin, Z. (2016). Analysis Bioavtur for Energy Security. *Jurnal Pertahanan*, 2(3), 243. <https://doi.org/10.33172/jp.v2i3.102>.
- Wijanarko, A. (2006). Biogasoline Production from Palm Oil Via Catalytic Hydrocracking over Gamma-Alumina Catalyst. *Makara Journal of Technology*, 10(2), 51-60. <https://doi.org/10.7454/mst.v10i2.423>.
- Zhai, Y., Chu, M., Shang, N., Wang, C., Wang, H., & Gao, Y. (2020). Bimetal Co₈Ni₂ catalyst supported on chitin-derived N-containing carbon for upgrade of biofuels. *Applied Surface Science*, 506, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.144681>.
- Zhang, W., Sharma, G., Kumar, A., Shekh, M. I., & Stadler, F. J. (2021). Fabrication and characterization of Ni/Ag/Zn trimetal oxide nanocomposites and its application in dopamine sensing. *Materials Today Communications*, 29, 1–27. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2021.102726>.
- Zhu, T., Zhang, L., Li, Z., Wei, G., Xin, Z., Xiong, D., & Ou, Z. (2021). Partial Hydrogenation of Jatropha Oil Biodiesel Catalyzed by Nickel/Bentonite Catalyst. *Waste and Biomass Valorization*, 12(1), 465–474. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-00977-8>.
- Zou, J., Fan, C., Jiang, Y., Liu, X., Zhou, W., Xu, H., & Huang, L. (2021). A preliminary study on assessing the Brunauer-Emmett-Teller analysis for disordered carbonaceous materials. *Microporous and Mesoporous Materials*, 327, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2021.111411>.