

**PENGARUH PERSENTASE BERAT KATALIS Ni/C DAN TEMPERATUR
PADA *HYDROCRACKING* PRODUK PIROLISIS
BATUBARA LIGNIT**

SKRIPSI

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



Oleh:

Muhammad Sandi Perdana

08031182025005

JURUSAN KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2024

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH PERSENTASE BERAT KATALIS NiC DAN TEMPERATUR
PADA HYDROCRACKING PRODUK PIROLISIS
BATUBARA LIGNIT**

SKRIPSI

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

Oleh:

MUHAMMAD SANDI PERDANA

08031182025005

Indralaya, 19 Juli 2024

**Mengetahui,
Pembimbing**



Dr. Zainal Fanani, M.Si.

NIP. 196708211995121001

Dekan FMIPA



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

NIP. 197111191997021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya ilmiah berupa skripsi Muhammad Sandi Perdana (08031182025005) dengan judul "Pengaruh Persentase Berat Katalis Ni/C Dan Temperatur Pada *Hydrocracking* Produk Pirolisis Batubara Lignit" telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 18 Juli 2024 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang diberikan.

Indralaya, 19 Juli 2024

Ketua :

1. **Dr. Ady Mara, M.Si.**

NIP. 196404301990031003

()

Sekretaris :

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

NIP. 196407291991022001

()

Pembimbing :

1. **Dr. Zainal Fanani, M.Si.**

NIP. 196708211995121001

()

Penguji :

1. **Dr. Addy Rachmat, M.Si.**

NIP. 197409282000121001

()

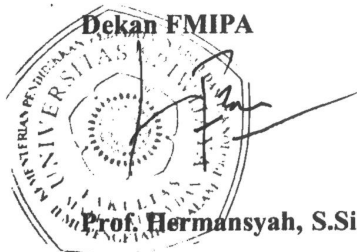
2. **Prof. Dr. Elfita, M.Si.**

NIP. 196903261994122001

()

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 ILMIAH

Yang betanda tangan dibawah ini :

Nama Mahasiswa : Muhammad Sandi Perdana
NIM : 08031182025005
Fakultas/Jurusan : MIPA/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 yang 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.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 19 Juli 2024

Penulis,



Muhammad Sandi Perdana

NIM. 08031182025005

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

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertandatangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Muhammad Sandi Perdana
NIM : 08031182025005
Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya “Pengaruh Persentase Berat Katalis Ni/C Dan Temperatur Pada *Hydrocracking* Produk Pirolisis Batubara Lignit” dengan hak bebas royalti non-eksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih, edit/memformatkan, 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, 19 Juli 2024

Penulis,



Muhammad Sandi Perdana

NIM. 08031182025005

HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim...

الَّذِي لَهُ مُلْكُ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَلَمْ يَتَّخِذْ وَلَدًا وَلَمْ يَكُنْ لَهُ شَرِيكٌ فِي الْمُلْكِ وَخَلَقَ كُلَّ شَيْءٍ فَقَدَرَهُ تَقْدِيرًا

Yang kepunyaan-Nya-lah kerajaan langit dan bumi, dan Dia (Allah) tidak mempunyai anak, dan tidak ada sekutu bagi-Nya dalam kekuasaan-Nya, dan Dia (Allah) telah menciptakan segala sesuatu, dan menetapkan ukuran-ukurannya (takdirnya) dengan serapi-rapinya (Al-Furqan ayat 2).

كَتَبَ اللَّهُ مَقَادِيرَ الْخَلَائِقِ قَبْلَ أَنْ يَخْلُقَ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضَ بِخَمْسِينَ أَلْفَ سَنَةٍ

Allah telah mencatat seluruh takdir makhluk lima puluh ribu tahun sebelum Allah menciptakan langit dan bumi (HR. Muslim, Thirmidzi dan Abu Dawud).

“Bertanggung jawablah pada jalan yang telah kamu pilih, nikmatilah semua prosesnya dan juga konsekuensinya” – unknown

“Tetaplah berproses dan nikmatilah disetiap harimu, meski dewasa tak seindah mimpi diwaktu kecilmu” – unknown

“Tidak ada perjuangan yang sia-sia, teruslah berjuang dan ambillah sisi positif dari hal-hal yang telah kamu lalui. Jangan terlalu berfokus dengan hasil, fokuslah pada proses disetiap perjuanganmu” – the sans

Kupersembahkan skripsi ini untuk :

- ❖ Allah SWT, Nabi Muhammad SAW, dan Agamaku
- ❖ Keluargaku tercinta (Bapak, Mamak, dan Adek)
- ❖ Dosen Pembimbing Tugas Akhirku (Bapak Dr. Zainal Fanani, M.Si)
- ❖ Teman-temanku
- ❖ Almamaterku – Universitas Sriwijaya
- ❖ Diriku sendiri

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang Maha Belas Kasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur atas Rahmat dan Hidayah Allah Subhanahu Wa Ta'ala Dzat yang merajai segala nikmat khususnya nikmat kesehatan dan kewarasan hingga akhirnya penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Persentase Berat Katalis Ni/C dan Temperatur pada *Hydrocracking* Produk Pirolisis Batubara Lignit”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Kimia Universitas Sriwijaya.

Proses penyusunan skripsi ini tentunya tidak terlepas dari berbagai macam rintangan dan hambatan. Namun dengan penuh kesabaran, keikhlasan, dan juga ketekunan yang dilandasi rasa tanggung jawab sebagai mahasiswa serta bantuan dari berbagai pihak baik tenaga, pikiran, maupun materi akhirnya penulisan skripsi ini bisa selesai. Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada bapak **Dr. Zainal Fanani, M.Si**, yang telah banyak membantu memberikan fasilitas selama penelitian, memberikan bimbingan, motivasi, saran, dan arahan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada :

1. Allah SWT. Atas segala nikmat yang telah diberikan sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi ini.
2. Ayah dan ibuku (Sholeh dan Siwanti) serta adikku (dizky) yang telah memberikan do`a, dukungan, dan semangat yang tiada hentinya.
3. Bapak Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.
4. Ibu Prof. Dr. Muharni, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
5. Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si. selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
6. Bapak Dr. Zainal Fanani, M.Si selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan banyak bantuan. Semoga menjadi ladang pahala dan amal jariah untuk bapak.

7. Seluruh Dosen Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmunya.
8. Analis Laboratorium Kimia FMIPA (Yuk Niar, Yuk Nur, Yuk Yanti dan Mbak Dessy) terimakasih atas bantuannya selama penelitian.
9. Admin jurusan kimia (Kak Chosi'in dan Mbak Novi) yang telah banyak membantu dalam hal administrasi semasa perkuliahan
10. Kak Dimas Amirullah terimakasih banyak kak atas semua bantuannya selama penelitian ini berlangsung. Semoga senantiasa diberikan kesehatan dan kesuksesan.
11. Bapak Djati Gunawan selaku teknisi yang telah banyak membantu dalam memberikan motivasi, masukan bahkan tenaganya dan pikirannya selama penelitian ini berlangsung. Semoga bapak senantiasa diberikan Kesehatan
12. Wulan Anugrah selaku teman penulis yang telah mengorbankan waktu dan tenaganya untuk membantu penelitian ini juga menjadi teman bercerita dan berkeluh kesah selama masa perkuliahan. Semoga Allah senantiasa memberikanmu kebahagiaan..Aamiin.
13. Moli dan Hanifah selaku teman satu penelitian, terimakasih telah kebersamai dalam penelitian ini.
14. Husnil, Siska, Risma, Nadiah (Risshan Squad), putri sari, hanifah (squad papi dasril) ijah, mutik (keummatan squad) terimakasih telah menjadi teman bercerita dan berkeluh kesah serta memberikan warna dalam dunia perkuliahan ini. Semoga Allah memberikan kesehatan dan umur Panjang kepada kalian agar suatu saat bisa berjumpa lagi.
15. Kamilah, Riska, Erida, Putri Oktarisa penghuni lab squad terimakasih telah kebersamai dalam penelitian ini baik suka dan duka.
16. Salsa dan Riandi selaku adik asuhku terimakasih atas dukungannya selama ini, semangat terus kuliahnya.
17. Teman teman angkatan 2020 yang tidak bisa disebutkan satu persatu terimakasih atas segala bantuannya selama perkuliahan, semugoga sukses selalu.
18. Adik-adik angkatan 2021, 2022, dan 2023 semangat selalu perkuliahannya semoga dilancarkan dalam setiap prosesnya.

19. Kepada semua pihak-pihak yang telah membantu dan memberikan informasi baik secara lisan maupun tulisan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Semoga bimbingan, ilmu, bantuan, motivasi, dan masukan yang telah diberikan kepada penulis menjadi amal amal jariyah dari Allah SWT. Semoga bantuan kalian menjadi kemudahan dalam menjalankan kehidupan yang dirahmati Allah SWT. 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, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua serta pengembangan ilmu kimia di masa yang akan datang.

Indralaya, 19 Januari 2024

Penulis

SUMMARY

THE EFFECT OF WEIGHT PERCENTAGE OF Ni/C CATALYST AND TEMPERATURE ON HYDROCRACKING OF LIGNITE COAL PYROLYSIS PRODUCTS

Muhammad Sandi Perdana: Supervised by Dr. Zainal Fanani, M. Si.
Departement of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences,
Sriwijaya University
xvii + 65 pages, 17 figures, 3 tables, 12 attachments

The use of fossil fuels such as petroleum in transportation is still a major need that must be met until now. To overcome the scarcity of petroleum, liquid products from coal are used as an alternative replacement. The purpose of this study was to determine the best operating conditions based on the influence of the percentage of catalyst weight and hydrocracking temperature. The process of producing liquid products from coal is carried out by the hydrocracking method. The hydrocracking process was carried out using Ni/C catalysts with variations in catalyst weight percentage 5, 10, 15, and 20% also using temperature variations of 400, 450, 500, 550, and 600°C. Catalyst characterization was carried out using XRD and acidity test, while product analysis included specific gravity, calorific value, and GC-MS. The results of the study showed the characterization of Ni/C with XRD at an angle $2\theta = 23.3^\circ$ indicates amorphous carbon phase, $2\theta = 44.77, 52.02, \text{ and } 76.65^\circ$ shows the diffraction pattern of crystal phase Ni metal and at an angle of $2\theta = 37.24, 43.30, \text{ and } 62.84^\circ$ shows the diffraction pattern of crystal phase NiO. The surface acidity and total acidity values of the Ni/C catalyst were respectively 0.9057 mmol/g and 3.4197 mmol/g. The highest percent yield of liquid product from hydrocracking was 21.84%. The optimum condition of the catalyst weight percentage was obtained at 10% and the optimum temperature was achieved at 550°C. The lowest density obtained was 0.8105 g/mL and the highest calorific value obtained was 3148.60 cal/g. The results of the analysis of liquid products using GC-MS obtained dominant compounds of phenol and its derivatives as well as ester.

Keywords : Lignite Coal, Ni/C, Hydrocracking

Citations : 92 (2010-2024)

RINGKASAN

PENGARUH PERSENTASE BERAT KATALIS Ni/C DAN TEMPERATUR PADA *HYDROCRACKING* PRODUK PIROLISIS BATUBARA LIGNIT

Muhammad Sandi Perdana: Dibimbing oleh Dr. Zainal Fanani, M. Si.
Kimia, Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya
xvii + 65 halaman, 17 gambar, 3 tabel, 12 lampiran.

Penggunaan bahan bakar fosil seperti minyak bumi dalam bidang transportasi masih menjadi kebutuhan utama yang harus dipenuhi hingga saat ini. Untuk mengatasi kelangkaan minyak bumi, produk cair dari batubara digunakan sebagai alternatif pengganti. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kondisi operasi terbaik berdasarkan pengaruh persentase berat katalis dan temperatur *hydrocracking*. Proses menghasilkan produk cair dari batubara dilakukan dengan metode *hydrocracking*. Proses *hydrocracking* dilakukan menggunakan katalis Ni/C dengan variasi persentase berat katalis 5, 10, 15, dan 20% juga menggunakan variasi temperatur 400, 450, 500, 550, dan 600°C. Karakterisasi katalis dilakukan menggunakan XRD dan uji keasaman, sedangkan analisa produk meliputi berat jenis, nilai kalor, dan GC-MS. Hasil penelitian menunjukkan karakterisasi Ni/C dengan XRD pada sudut $2\theta = 23,3^\circ$ menandakan karbon berfasa amorf, sudut $2\theta = 44,77, 52,02, \text{ dan } 76,65^\circ$ menunjukkan pola difraksi logam Ni berfasa kristal serta pada sudut $2\theta = 37,24, 43,30 \text{ dan } 62,84^\circ$ menunjukkan pola difraksi NiO berfasa kristal. Nilai keasaman permukaan dan total katalis Ni/C berturut turut sebesar 0,9057 mmol/g dan 3,4197 mmol/g. Persen *yield* tertinggi produk cair hasil *hydrocracking* diperoleh sebesar 21,84%. Kondisi optimum persentase berat katalis didapatkan pada persentase 10% dan temperatur optimum dicapai pada temperatur 550°C. Berat jenis terendah yang didapatkan sebesar 0,8105 g/mL dan nilai kalor tertinggi yang didapatkan sebesar 3148,60 kal/g. Hasil analisa produk cair menggunakan GC-MS didapatkan senyawa dominan fenol dan turunannya serta ester.

Kata Kunci : Batubara Lignit Ni/C, *Hydrocracking*
Sitasi : 92 (2010-2024)

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
SUMMARY	x
RINGKASAN	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Batubara	4
2.1.1 Batubara Lignit	6
2.2 Pirolisis	7
2.3 <i>Hydrocracking</i>	7
2.4 Katalis	9
2.4.1 Mekanisme Reaksi Katalis Heterogen	11
2.5 Karbon Aktif	13
2.5.1 Karbon Aktif dari Batubara Lignit	14
2.6 Nikel	15
2.7 Karakterisasi Katalis Ni/C	16
2.7.1 Uji Keasaman	16
2.7.2 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	16
2.8 Karakterisasi Produk <i>Hydrocracking</i>	18
2.8.1 Nilai Kalor	18

2.8.2	Berat Jenis	19
2.8.3	<i>Gas chromatography–mass spectrometer (GC-MS)</i>	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		21
3.1	Waktu dan Tempat.....	21
3.2	Alat dan Bahan.....	21
3.3.1	Alat.....	21
3.3.2	Bahan.....	21
3.3	Prosedur Penelitian.....	21
3.3.1	Preparasi Batubara	21
3.3.2	Pembuatan Karbon Aktif dari Batubara melalui Pirolisis.	21
3.3.3	Pembuatan Katalis Ni/C.....	22
3.3.3.1	Pembuatan Larutan Nikel Asetat.....	22
3.3.3.2	Impregnasi Katalis	22
3.3.3.3	Reduksi Katalis	22
3.3.4	Karakterisasi Katalis Ni/C	22
3.3.4.1	<i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	22
3.3.4.2	Uji Keasaman Permukaan dan Keasaman Total Katalis Menggunakan Amonia dan Piridin	22
3.3.5	<i>Hydrocracking</i> Hasil Produk Pirolisis Batubara.....	23
3.3.5.1	Pengaruh Persentase Berat Katalis terhadap Kualitas Produk Cair	24
3.3.5.2	Pengaruh Variasi Temperatur terhadap Kualitas Produk Cair	24
3.3.6	Karakterisasi Produk Cair Hasil <i>Hydrocracking</i>	24
3.3.6.1	Persen <i>Yield</i> Hasil <i>Hydrocracking</i>	24
3.3.6.2	Uji Berat Jenis Produk Cair.....	24
3.3.6.3	Analisa Nilai Kalor	25
3.3.6.4	Analisa <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometer</i> (GC-MS)	25
3.3.7	Analisis Data	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		26
4.1	Pembuatan Katalis Ni/C.....	26
4.2	Karakterisasi Katalis Ni/C	27

4.2.1	Analisis Keasaman Permukaan dan Keasaman Total Katalis Ni/C dengan Menggunakan Amonia dan Piridin	27
4.2.2	Karakterisasi Ni/C Menggunakan Analisa <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	29
4.3	<i>Hydrocracking</i> Produk Pirolisis Batubara Lignit.....	30
4.3.1	Pengaruh Persentase Berat Katalis Ni/C terhadap Perolehan <i>Yield</i>	30
4.3.2	Pengaruh Variasi Temperatur terhadap Perolehan <i>Yield</i>	31
4.3.3	Pengaruh Variasi Berat Katalis Ni/C terhadap Berat Jenis Produk Cair <i>Hydrocracking</i> Batubara Lignit	31
4.3.4	Pengaruh Variasi Temperatur terhadap Berat Jenis Produk Cair <i>Hydrocracking</i> Batubara Lignit.....	33
4.3.5	Pengaruh Temperatur terhadap Nilai Kalor Produk Cair ...	34
4.3.6	Analisa Produk Cair Hasil <i>Hydrocracking</i> menggunakan <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometer</i> (GC-MS).....	36
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	38
5.1	Kesimpulan	38
5.2	Saran.....	38
DAFTAR PUSTAKA.....		39
LAMPIRAN.....		47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Struktur berbagai macam batubara (Mandal <i>et al.</i> , 2023).	5
Gambar 2. Pengaruh katalis terhadap diagram energi (Mashuri <i>et al.</i> , 2020)..	9
Gambar 3. Skema mekanisme Langmuir-Hinshelwood (Suharto, 2022).....	12
Gambar 4. Skema mekanisme Rideal-Eley (Suharto, 2022).	12
Gambar 5. Prinsip dasar XRD (Fatimah <i>et al.</i> , 2022).	17
Gambar 6. Alat bom kalorimeter (Fatimah, 2017).	19
Gambar 7. Skema alat GC-MS (Pramod <i>et al.</i> , 2021).....	20
Gambar 8. Skema alat <i>hydrocracking</i>	23
Gambar 9. Katalis Ni/C	27
Gambar 10. Uji keasaman katalis dengan piridin dan amonia	28
Gambar 11. Difraktogram XRD katalis Ni/C	29
Gambar 12. Pengaruh persentase berat katalis Ni/C terhadap persen <i>yield</i>	30
Gambar 13. Pengaruh temperatur terhadap persen <i>yield</i> produk cair.....	31
Gambar 14. Pengaruh persentase berat katalis terhadap berat jenis produk <i>hydrocracking</i>	32
Gambar 15. Pengaruh temperatur terhadap berat jenis produk <i>hydrocracking</i> .	33
Gambar 16. Pengaruh temperatur terhadap nilai kalor produk <i>hydrocracking</i> .	35
Gambar 17. Analisa produk cair menggunakan GC-MS.....	36

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Katalis homogen dan katalis heterogen (Suharto, 2022).....	10
Tabel 2. Spesifikasi standar karbon aktif.....	13
Tabel 3. Senyawa dengan persen area tertinggi.....	36

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Skema Kerja.....	48
Lampiran 2. Perhitungan Pembuatan Katalis Ni/C	50
Lampiran 3. Perhitungan Total Keasaman dengan Amonia	51
Lampiran 4. Perhitungan Keasaman Permukaan dengan Piridin	51
Lampiran 5. Data Karakterisasi XRD pada katalis Ni/C.....	52
Lampiran 6. Perhitungan % <i>Yield</i> Produk Cair pada Variasi Berat Katalis.....	54
Lampiran 7. Perhitungan % <i>Yield</i> Produk Cair pada Variasi Temperatur	55
Lampiran 8. Perhitungan Berat Jenis Produk Cair pada Variasi Berat.....	56
Lampiran 9. Perhitungan Berat Jenis Produk Cair pada Variasi Temperatur ...	58
Lampiran 10. Perhitungan Nilai Kalor Produk Cair pada Variasi Temperatur..	60
Lampiran 11. Data GC-MS Produk Cair Hasil <i>Hydrocracking</i>	62
Lampiran 12. Gambar Penelitian.....	64

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bahan bakar berbasis fosil seperti minyak bumi hingga saat ini masih menjadi sumber energi utama di Indonesia, khususnya di bidang transportasi. Menurut KESDM tahun 2019, cadangan minyak bumi di Indonesia diperkirakan akan habis dalam waktu 9,5 tahun lagi jika tidak ditemukan sumber cadangan yang baru. Keadaan ini mengharuskan Indonesia melakukan peralihan dari sumber energi minyak bumi ke sumber energi alternatif lain. Produk cair batubara sangat cocok digunakan sebagai energi alternatif pengganti minyak bumi karena memiliki kandungan hidrokarbon sama seperti minyak bumi dan juga ketersediannya sangat melimpah di Indonesia (Rahmayanti *et al.*, 2021; Zetra *et al.*, 2022). Menurut data Badan Geologi KESDM tahun 2020, jumlah sumber daya batubara Indonesia sekitar 143,73 miliar ton dengan jumlah cadangan batubara sekitar 38,80 miliar ton (Yasin *et al.*, 2021). Indonesia juga memiliki cadangan batubara berkualitas rendah seperti lignit yang tersebar dalam jumlah besar di pulau Kalimantan, Sumatera, dan Jawa (Mursito *et al.*, 2020). Batubara jenis lignit kurang banyak diminati di Indonesia karena kandungan air nya yang tinggi sekitar 30%-50% dan nilai kalornya yang rendah yaitu <5100 kal/g (adb) sehingga kurang efektif jika digunakan langsung sebagai bahan bakar padat. Hal tersebut membuat batubara lignit tidak banyak dimanfaatkan. Disisi lain batubara lignit memiliki beberapa keunggulan diantaranya reaktivitasnya yang tinggi, bahan mudah menguap yang tinggi, dan harganya yang murah menjadikannya berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam memproduksi bahan bakar minyak (Liu *et al.*, 2021; Yasin *et al.*, 2021).

Proses menghasilkan produk cair batubara melalui pirolisis termasuk metode yang baik untuk memproduksi bahan bakar cair dan bahan kimia lainnya. Namun, hasil produk tersebut terbatas karena rendahnya kandungan H₂ dalam batubara, rendahnya rasio H/C dalam batubara, rendahnya hasil dan kualitas tar, serta rendahnya hasil gas berharga seperti hidrogen dan metana. Melihat rendahnya hasil produk dari pirolisis batubara membuat metode pirolisis tidak efisien secara ekonomi (Quan & Gao, 2016; Wu *et al.*, 2023). Produk cair berupa minyak (tir)

batubara yang dihasilkan melalui pirolisis memiliki viskositas, berat molekul, senyawa aromatik dan heteroatom, serta logam yang cukup tinggi sehingga belum bisa dimanfaatkan sebagai alternatif pengganti minyak bumi. Agar bisa dimanfaatkan, minyak batubara harus ditingkatkan kualitasnya dengan cara hidrogenasi dan *cracking* melalui *hydrocracking* (Anggoro *et al.*, 2017). Kualitas produk cair batubara pada proses *hydrocracking* lebih tinggi dibandingkan dengan proses pirolisis di mana melalui proses *hydrocracking* dapat mengurangi jumlah senyawa olefin dan aromatik melalui reaksi hidrogenasi dan pembentukan kokas yang kurang menguntungkan dari produk yang terbentuk sehingga hidrokarbon jenuh yang lebih menguntungkan dominan terbentuk (BPPMD, 2013; Munir *et al.*, 2018). Secara umum faktor-faktor yang mempengaruhi laju reaksi *hydrocracking* diantaranya jenis katalis, temperatur, dan tekanan (Murachman *et al.*, 2014). Katalis yang digunakan untuk proses *hydrocracking* ini memiliki karakteristik fungsi ganda berupa perengkahan atau *cracking* dan hidrogenasi. Hidrogenasi terjadi pada senyawa olefin, aromatik, belerang, nitrogen, dan oksigen, sedangkan perengkahan atau *cracking* terjadi pada ikatan C-C (Sahu *et al.*, 2015). Perengkahan atau *cracking* bisa dilakukan menggunakan katalis asam, misalnya *zeolite* dan karbon. Sedangkan hidrogenasi bisa dilakukan dengan menggunakan katalis yang mengandung logam transisi seperti Pt, Pd, Ni, Co, dan Cr (Fanani *et al.*, 2021).

Katalis yang teremban pada logam seperti Cr/C dan Ni/C memiliki banyak keunggulan di mana logam aktifnya lebih terdispersi dibandingkan dengan katalis yang tidak teremban dikarenakan adanya peningkatan luas permukaan situs aktif dalam katalis logam (Nazarudin *et al.*, 2018). Sugianto *et al.*, (2015) melaporkan katalis Ni-Mo/ZAA yang digunakan dalam *hydrocracking* tiru batubara mampu menghasilkan persen *yield* produk cair sebesar 28,61% dan didapatkan fraksi ringan sebesar 67,63%. Rasidi *et al.*, (2015) melaporkan katalis Ni/Arang aktif memiliki kemampuan untuk menghidrogenasi minyak kelapa menjadi metil ester. Pada penelitian Fu *et al.*, (2022) dilaporkan katalis Ni/C mampu menghidrogenasi glukosa menjadi sorbitol di mana konversi glukosa mencapai 33,1% dan selektivitas sorbitol sebesar 62,8%. Berdasarkan uraian diatas, penelitian ini mempelajari bagaimana pembuatan katalis Ni/C di mana karbonnya berasal dari

pirolisis batubara lignit dan uji aktivitasnya terhadap amonia dan piridin serta pengaplikasiannya sebagai katalis untuk *hydrocracking* produk pirolisis batubara lignit menggunakan variasi temperatur 400, 450, 500, 550, dan 600°C serta variasi persentase berat katalis Ni/C 5, 10, 15, dan 20%. Produk cair dari *hydrocracking* produk pirolisis batubara lignit dilakukan uji karakterisasi berupa penentuan nilai densitas, nilai kalor, dan analisa GC-MS untuk mengetahui kualitas dan kandungan senyawa yang terdapat dalam produk cair tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik katalis Ni/C berdasarkan uji keasaman dan analisa XRD?
2. Bagaimana pengaruh persentase berat katalis Ni/C dan temperatur terhadap kualitas produk cair yang dihasilkan dari proses *hydrocracking* produk pirolisis batubara lignit?
3. Bagaimana karakteristik produk cair yang dihasilkan dari proses *hydrocracking* produk pirolisis batubara lignit?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini ialah:

1. Mengetahui karakteristik dari katalis Ni/C yang digunakan.
2. Menentukan pengaruh persentase berat katalis Ni/C dan temperatur terhadap kualitas produk cair dari proses *hydrocracking* produk pirolisis batubara lignit.
3. Mengetahui kualitas dan kandungan senyawa hasil *hydrocracking* produk cair pirolisis batubara lignit dengan nilai berat jenis, nilai kalor, dan *Gas Chromatography Mass Spectrometer* (GC-MS).

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini dapat memberikan informasi mengenai hasil kondisi operasi terbaik berupa persentase berat katalis Ni/C dan temperatur yang dipakai untuk memperoleh hasil *hydrocracking* produk pirolisis batubara secara optimum sehingga bisa memberikan solusi dalam memanfaatkan batubara lignit yang berlimpah dan semakin berkurangnya pasokan minyak bumi.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrah, B. ., Imanda, E. R. ., Utami, A. A. ., & Afrah, M. (2023). Pengaruh Nilai Karakteristik Batubara terhadap Gross Calorific Value Batubara PT Bukit Asam. *Jurnal Pertambangan*, 7(4), 168–174.
- Ahamed, M. A. A., Perera, M. S. A., Matthai, S. K., Ranjith, P. G., & Dong-yin, L. (2019). Coal Composition and Structural Variation With Rank and Its Influence on the Coal-Moisture Interactions Under Coal Seam Temperature Conditions – A review article. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 180(2019), 901–917.
- Al-Rubaye, A. F., Hameed, I. H., & Kadhim, M. J. (2017). A Review: Uses of Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) Technique for Analysis of Bioactive Natural Compounds of Some Plants. *International Journal of Toxicological and Pharmacological Research*, 9(01), 81–85.
- Ali, A., Chiang, Y. W., & Santos, R. M. (2022). X-Ray Diffraction Techniques for Mineral Characterization: A Review for Engineers of the Fundamentals, Applications, and Research Directions. *Minerals*, 12(2), 1-25.
- Anggoro, D. D., Buchori, L., Silaen, G. C., & Utami, R. N. (2017). Preparation, characterization, and activation of Co-Mo/Y zeolite catalyst for coal tar conversion to liquid fuel. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis*, 12(2), 219–226.
- Ardhayanti, L. I., Anugrahwati, M., Nurillahi, R., Saeful, A., Khasanah, K., & Diah, W. R. (2018). The Implementation of Pyrolysis of Waste Material to Bio-Oil in the KKN Course. *IJCER (International Journal of Chemistry Education Research)*, 2(2), 67–70.
- Asof, M., Arita, S., & Andalia, W. (2023). Characteristics of Char from Low-Rank Coal Gasification. *Journal of Ecological Engineering*, 24(4), 78–84.
- Aziz, I., Ardine, E. A. F., Saridewi, N., & Adhani, L. (2021). Catalytic Cracking of Crude Biodiesel into Biohydrocarbon Using Natural Zeolite Impregnated Nickel Oxide Catalyst. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 24(7), 222–227.
- Barraza, J., Coley-Silva, E., & Piñeres, J. (2016). Effect of Temperature, Solvent/Coal Ratio and Beneficiation on Conversion and Product Distribution From Direct Coal Liquefaction. *Fuel*, 172(2016), 153–159.
- Bhatti, A. H., Waris, M., Kazmi, W. W., Bhatti, U. H., Min, G. H., Park, B. C., Kweon, S., Baek, I. H., & Nam, S. C. (2023). Metal impregnated activated carbon as cost-effective and scalable catalysts for amine-based CO₂ capture. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(1), 109231.
- Biswas, B., Kumar, A., Kaur, R., Krishna, B. B., & Bhaskar, T. (2021). Catalytic Hydrothermal Liquefaction of Alkali Lignin Over Activated Bio-Char Supported Bimetallic Catalyst. *Bioresource Technology*, 337(2021), 125439.

- BPPMD. (2013). *Peluang Investasi mengenai Prospek Investasi Pengembangan dan Pemanfaatan Batubara Cair di Kalimantan Timur*. Samarinda.
- Chen, F., Jiang, X., Zhang, L., Lang, R., & Qiao, B. (2018). Single-Atom Catalysis: Bridging the Homo- and Heterogeneous Catalysis. *Cuihua Xuebao/Chinese Journal of Catalysis*, 39(5), 893–898.
- Dilshara, P., Abeysinghe, B., Premasiri, R., Dushyantha, N., Ratnayake, N., Senarath, S., Sandaruwan Ratnayake, A., & Batapola, N. (2024). The Role of Nickel (Ni) as A Critical Metal in Clean Energy Transition: Applications, Global Distribution and Occurrences, Production-Demand and Phytomining. *Journal of Asian Earth Sciences*, 259(2024), 105912.
- Faid, A. Y., Barnett, A. O., Seland, F., & Sunde, S. (2020). Ni/NiO nanosheets for alkaline hydrogen evolution reaction: In situ electrochemical-Raman study. *Electrochimica Acta*, 361, 137040.
- Fanani, Z. (2010). Hidrocracking Tir Batubara Menggunakan Katalis Ni-Mo-S/ZAA untuk Menghasilkan Fraksi Bensin dan Fraksi Kerosin. *Jurnal Penelitian Sains*, C(10), 6–8.
- Fanani, Z., Hasanudin, Rachmat, A., & Said, M. (2021). Comparison of Cr/C and Cr₂O₃/Z Catalysts on Hydrocracking of Bio-Oil from Pyrolysis of Palm Empty Fruit Bunches. *Molekul*, 16(3), 242–250.
- Fatimah, S., Ragadhita, R., Al Husaeni, D. F., & Nandiyanto, A. B. D. (2022). How to Calculate Crystallite Size from X-Ray Diffraction (XRD) Using Scherrer Method. *ASEAN Journal of Science and Engineering*, 2(1), 65–76.
- Febryanti, & Yulhendra Dedi. (2022). Analisis Penentuan Kualitas Batubara Berdasarkan Uji Proksimatdi PT. Pelabuhan Universal Sumatera Kabupaten Muaro Jambi,Provinsi Jambi. *Jurnal Bina Tambang* , 7(3), 143–150.
- Fu, Y., Devred, F., Eloy, P., Haynes, T., Singleton, M. L., & Hermans, S. (2022). The effect of Ni particle size and carbon support on catalytic activity for glucose hydrogenation reaction. *Applied Catalysis A: General*, 644(August), 118833.
- Gaina, P. C., Sari, M. M., Suryawan, I. W. K., Prayogo, W., Ummatin, K. K., Arifianti, Q. A. M. O., & Faria, N. (2023). Characteristics of Density and Hardness on Caloric Value of Substitution of Biomass and Pet Plastics as Refused Derived Fuel Pellets. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 12(1), 39–44.
- Genchi, G., Carocci, A., Lauria, G., & Sinicropi, M. S. (2020). Nickel: Human Health and Environmental Toxicology *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), 679–700.
- Ghani, M. J., Rajoka, M. I., & Akhtar, K. (2015). Investigations in fungal solubilization of coal: Mechanisms and significance. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 20(4), 634–642.

- Hakim, A. S. (2022). Studi Karakteristik Batubara Untuk Menentukan Kualitas Batubara. *Journal of Geology Sriwijaya*, 2(2), 1–9.
- Hanum, F., Bani, O., & Izdiharo, A. M. (2017). Characterization of Sodium Carbonate (Na_2CO_3) Treated Rice Husk Activated Carbon and Adsorption of Lead from Car Battery Wastewater. *International Conference Series; Material Science and Engineering*, 180(2017), 1-12.
- Handoko, D. S. P., & Triyono. (2023). The Effect of Acid Strength of Bronsted Acid Site on The Ability of The Catalyst to Break The Carbon Chain Bonds of 1-Octadecenes Into Alkanes and Short Chain Alkenes as a Substitute for Fossil Fuel. *Scientific Contributions Oil and Gas*, 46(1), 9–15.
- Harlivia, R., Tahdid, T., & A., S. E. (2022). Pengaruh Porsen Katalis Zeolit Alam Terhadap Yield Bahan Bakar Cair Proses Pirolisis dari Limbah Plastik Polypropylene. *Jurnal Pendidikan Dan Teknologi Indonesia*, 2(11), 453–459.
- Hasanudin, H., Asri, W. R., Said, M., Hidayati, P. T., Purwaningrum, W., Novia, N., & Wijaya, K. (2022). Hydrocracking Optimization of Palm Oil to Bio-Gasoline and Bio-aviation Fuels Using Molybdenum Nitride-Bentonite Catalyst. *RSC Advances*, 12(26), 16431–16443.
- Hellström, K., Diószegi, A., & Diaconu, L. (2017). A Broad Literature Review of Density Measurements of Liquid Cast Iron. *Metals*, 7(165), 1-20.
- Holder, C. F., & Schaak, R. E. (2019). Tutorial on Powder X-ray Diffraction for Characterizing Nanoscale Materials. *ACS Nano*, 13(7), 7359–7365.
- Hutomo, S. G. (2021). Pengaruh Pencampuran Minyak Tanah Dengan Berbagai Persentase Pada Proses Pembakaran Jelantah. *Teknik*, 2(2), 123–129.
- Iwanow, M., Gärtner, T., Sieber, V., & König, B. (2020). Activated carbon as catalyst support: Precursors, preparation, modification and characterization. *Beilstein Journal of Organic Chemistry*, 16, 1188–1202.
- Jawad, A. H., Ismail, K., Ishak, M. A. M., & Wilson, L. D. (2019). Conversion of Malaysian low-rank coal to mesoporous activated carbon: Structure characterization and adsorption properties. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 27(7), 1716–1727.
- Jiang, Y., Zong, P., Bao, Y., Zhang, X., Wei, H., Tian, B., Tian, Y., Qiao, Y., & Zhang, J. (2022). Catalytic Conversion of Gaseous Tar Using Coal Char Catalyst in the Two-Stage Downer Reactor. *Energy*, 242, 123013.
- Khadafi, M., Dewi, R., Adriana, A., Sari, R., & Hakim, L. (2021). Sintesa dan Karakterisasi Biofuel dari Limbah Laboratorium Teaching Factory Politeknik Negeri Lhokseumawe dengan Proses Catalytic Cracking. *Jurnal Serambi Engineering*, 6(4), 2415–2422.

- Khairil. (2018). *Bahan Bakar dan Tanur*. Aceh Syiah Kuala University Press.
- Kumar, S., Wang, Z., Kang, Z., Xia, J., Whiddon, R., He, Y., Gul-e-Rana, J., Bairq, Z. A. S., & Cen, K. (2019). Influence of temperature and $\text{Ca}(\text{OH})_2$ on releasing tar and coal gas during lignite coal pyrolysis and char gasification. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 27(11), 2788–2798.
- Kusniawati, E., Pratiwi, I., & Yonika, S. N. (2023). Analisa Pengaruh Nilai Total Moisture Terhadap Gross Calorific Value Pada Batubara Jenis X di PT Bukit Asam Tbk Unit Pelabuhan Tarahan. *Journal of Innovation Research and Knowledge*, 09(8), 3211–3222.
- Lestari, S., Arfiati, D., Masrevaniah, A., & Sholichin, M. (2020). Treatment of Water River with Activated Carbon from Coal and Palm Shells as Adsorbent. *J-Pal*, 11(1), 2087–3522.
- Liu, F. J., Guo, J. P., Liu, G. H., Bie, L. L., Zhao, Y. P., Huang, Z. X., & Wei, X. Y. (2021). Effect of Temperature on Catalytic Hydrocracking of Xiaolongtan Lignite Over A Mesoporous Silica-Coated Fe_3O_4 Supported Magnetic Solid Base for Producing Aromatics. *Journal of the Energy Institute*, 94, 352–359.
- Liu, T., Ma, Y., Tang, Y., Zhang, Y., Liu, J., Zhou, X., Li, X., & Liu, L. (2024). Catalytic Hydroconversion of Model Compounds over Ni/NiO@NC Nanoparticles. *Molecules*, 29(4).
- Lubis, M. P. D., Hervani, D. R., & Sasria, N. (2021). Identifikasi Kandungan Batubara Cair Tipe Lignit Menggunakan Metode Pirolisis Daerah Kecamatan Pasir Balengkong Provinsi Kalimantan. *Journal of Technology*, 5(2), 168–175.
- Lv, T., Fang, M., Li, H., Yan, J., Cen, J., Xia, Z., Tian, J., & Wang, Q. (2021). Pyrolysis of A Typical Low-Rank Coal: Application and Modification of the Chemical Percolation Devolatilization Model. *RSC Advances*, 11(29), 17993.
- Medvedev, A. A., Beldova, D. A., Kalmykov, K. B., Kravtsov, A. V., Tedeeva, M. A., Kustov, L. M., Dunaev, S. F., & Kustov, A. L. (2022). Carbon Dioxide Assisted Conversion of Hydrolysis Lignin Catalyzed by Nickel Compounds. *Energies*, 15(18), 6774.
- Miceli, M., Frontera, P., Macario, A., & Malara, A. (2021). Recovery/reuse of heterogeneous supported spent catalysts. *Catalysts*, 11(591), 1-17.
- Mishra, S., Prasad, A. K., Shukla, A., Vinod, A., Preety, K., & Varma, A. K. (2023). Estimation of Carbon Content in High-Ash Coal Using Mid-Infrared Fourier-Transform Infrared Spectroscopy. *Minerals*, 13(7), 1–16.
- Munir, D., Irfan, M. F., & Usman, M. R. (2018). Hydrocracking of virgin and waste plastics: A detailed review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90(2018), 490–515.
- Murachman, B., Deendarlianto, Nissaraly, H. F., & Hasyim, W. (2014).

- Experimental Study on Hydrocracking Process of Asbuton Hydrocarbon Based on the Aromatic, and Waxy Residue Based on Paraffinic, by Using Pt/Pd and γ -Alumina Catalyst in a Fixed Bed Reactor. *ASEAN Journal of Chemical Engineering*, 14(1), 59–75.
- Mursito, A. T., Widodo, & Arifin, D. N. (2020). Characterization of bio-coal briquettes blended from low quality coal and biomass waste treated by Garant bio-activator and its application for fuel combustion. *International Journal of Coal Science and Technology*, 7(4), 796–806.
- Nazarudin, N., Ulyarti, U., Alfernando, O., Galih, I., Susilawati, S., & Doyan, A. (2018). the Effect of Temperature on the Performance of Activated Carbon Over Catalytic Cracking of Crude Palm Oil. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 5(1).
- Nie, F., Meng, T., & Zhang, Q. (2017). Pyrolysis of Low-Rank Coal: *From Research to Practice. Pyrolysis*. InTech.
- Nugraha, A., Bayu, A., & Nandiyanto, D. (2021). How to read and Interpret GC/MS Spectra Indonesian Journal of Multidisciplinary Research. *Indonesian Journal of Multidisciplinary Research*, 1(2), 171–206.
- Nugroho, A. P. P., Fitriyanto, D., & Roesyadi, A. (2014). Pembuatan Biofuel dari Minyak Kelapa Sawit melalui Proses Hydrocracking dengan Katalis Ni-Mg/ γ -Al₂O₃. *Jurnal Teknik Pomits*, 3(2).
- Nurrahman, A., Permana, E., Gusti, D. R., & Lestari, I. (2021). Pengaruh Konsentrasi Aktivator Terhadap Kualitas Karbon Aktif dari Batubara Lignit. *Jurnal Daur Lingkungan*, 4(2), 44.
- Permana, E., Cristine, I., Murti, S. S. ., & Yanti, F. M. (2020). Preparasi Dan Karakterisasi Katalis Cu / Zn Dengan Support Karbon Aktif Menggunakan Aktivator H₃PO₄ Dan ZnCl₂. *Jurnal Teknologi*, 13(1), 6–15.
- Prabasari, I. G., Setiawansyah, A. A., Nazarudin, N., & Ulyarti, U. (2022). Catalytic Cracking of Crude Palm Oil Using Ni-Carbon with Ion Exchange Method. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 8(5), 2493–2498.
- Pramod, S. K., Navnath, K.A., Pramod, S. M., (2021). A Review on Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS). *World Journal of Pharmaceutical Research*, 10(3), 741–763.
- Prasetyo, T., Nugroho, W., & Trides, T. (2018). Studi Pencairan Batubara (Coal Liquefaction) Metode Pirolisis Pada Batubara Peringkat, Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Teknologi Mineral FT UNMUL*, 6(2), 21–28.
- Pribadyo., & Kausar, T. (2018). Kajian Minyak Solar Dari Hasil Penyulingan Tradisional (Studi kasus pertambangan minyak tradisional di Desa Pasir Putih Aceh Timur). *Jurnal Mekanova: Mekanikal, Inovasi Dan Teknologi*, 4(1), 29–37.

- Prihadiyono, F. I., Lestari, W. W., Putra, R., Aqna, A. N. L., Cahyani, I. S., & Kadja, G. T. M. (2022). Heterogeneous Catalyst based on Nickel Modified into Indonesian Natural Zeolite in Green Diesel Production from Crude Palm Oil. *International Journal of Technology*, 13(4), 931–943.
- Puspitasari, M., & Mahreni. (2020). A Review of Coal Liquefaction Using Direct Coal Liquefaction (DCL) and Indirect Coal Liquefaction (ICL) Techniques. *Proceeding on Engineering and Science Series*, 1(1), 152–159.
- Putri, Q. U., Hasanudin, H., & Mara, A. (2022). Comparison of Acidity Test Method of Nickel Phosphate Silica Catalyst for Production Levulinic Acid from Glucose. *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*, 7(3), 106–112.
- Quan, C., & Gao, N. (2016). Copyrolysis of Biomass and Coal: A Review of Effects of Copyrolysis Parameters, Product Properties, and Synergistic Mechanisms. *BioMed Research International*, 2016, 1–11.
- Rahmayanti, L., Rahmah, D. M., & Larashati, D. (2021). Analisis Pemanfaatan Sumber Daya Energi Minyak dan Gas Bumi Di Indonesia. *Jurnal Sains Edukatika Indonesia (JSEI)*, 3(2), 9–16.
- Rasidi, I., Bawa Putra, A., & Suarsa, I. (2015). Preparasi Katalis Nikel-Arang Aktif Untuk Reaksi Hidrogenasi Asam Lemak Tidak Jenuh Dalam Minyak Kelapa. *Jurnal Kimia*, 9(1), 77–85.
- Rusman. (2020). *Kinetika Kimia*. Aceh, Syiah Kuala University Press.
- Sahu, R., Song, B. J., Im, J. S., Jeon, Y. P., & Lee, C. W. (2015). A review of recent advances in catalytic hydrocracking of heavy residues. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 27, 12–24.
- Salamah, S., Trisunaryanti, W., Kartini, I., & Purwono, S. (2022). Synthesis of Mesoporous Silica from Beach Sand by Sol-Gel Method as a Ni Supported Catalyst for Hydrocracking of Waste Cooking Oil. *Indonesian Journal of Chemistry*, 22(3), 726–741.
- Sarifudin, K. (2021). Studi Pengaruh Rasio Logam Prekursor Mo / Ni terhadap Karakter Keasaman dan Morfologi Katalis K-Ni-Mo / ZAA. *Haumeni Journal of Education*, 1(2), 160–170.
- Shaleh, I. H., Daud, S., & Bahrudin. (2017). Pengaruh Temperatur dan Katalis Lempung Aktif Pada Pengolahan Sampah Plastik Jenis Polypropylene dengan Metode Pirolisis. *Jom FTEKNIK*, 4(2), 1–7.
- Sodiqovna, O. M., & Qizi, I. G. O. (2020). The Rate of A Chemical Reaction and Factors Affecting IT. *EPRA International Journal of Research and Development (IJRD)*, 5(8), 261–263.
- Sugianto, D. J., Wijaya, K., & Tahir, I. (2015). Karakterisasi dan Aplikasi Katalis Nikel-Molibdenum Teremban pada Zeolit Alam Aktif untuk Hidrorengkah

- Tir Batubara. *Jurnal Natur Indonesia*, 16(1), 10.
- Suharto, T. E. (2022). *Katalisis Dalam Industri Kimia*. Yogyakarta, UAD Press.
- Suhayadi, F., & Sriyanti. (2022). Kajian Lingkungan Pengendapan Berdasarkan Karakteristik Batubara Formasi Pulau Balang. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 2(1), 1–8.
- Sukandar, D., Dasumiyati, & Heryanto, R. (2023). Kajian Metabolomik Senyawa Sitotoksik Minyak Sereh Wangi. Yogyakarta, Deepublish.
- Sulistiana, I. T. (2012). Uji Kalor Bakar Bahan Bakar Campuran Bioetanol Dan Minyak Goreng Bekas. *Jurnal Neutrino*, 3(2), 163–174.
- Surani, S., Pujiasmoro, C., & Kadarohman, A. (2023). Determination of Optimum Programmed Temperature for Fatty Acid Analysis of Chlorella Microalgae Extract Using GCMS Instrument. *Unesa Journal of Chemistry*, 12(1), 20–25.
- Tao, M., Meng, X., Lv, Y., Bian, Z., & Xin, Z. (2016). Effect of impregnation solvent on Ni dispersion and catalytic properties of Ni/SBA-15 for CO methanation reaction. *Fuel*, 165(130), 289–297.
- Umar, D. F., & Setiawan, L. (2022). Peningkatan Kualitas Batubara Peringkat Rendah Dengan Cara Menurunkan Kadar Air Melalui Proses Evaporasi. *Jurnal Teknologi Mineral Dan Batubara*, 18(3), 145–155.
- Vasiliadou, I. A., Semizoglou, Z. A., Karayannis, V. G., & Tsanaktsidis, C. G. (2023). Extraction Study of Lignite Coalbed Methane as a Potential Supplement to Natural Gas for Enhancing Energy Security of Western Macedonia Region in Greece. *Applied Sciences*, 14(1), 174.
- Wahyuningsih, F., Sediawan, W. B., Ariyanto, T., & Widiyati, S. (2016). Kinetika Kalsinasi Seria Zirkonia dari Proses Gelasi Eksternal. *Jurnal Rekayasa Proses*, 10(1), 16–22.
- Wang, S., Shan, R., Lu, T., Zhang, Y., Yuan, H., & Chen, Y. (2020). Pyrolysis Char Derived from Waste Peat for Catalytic Reforming of Tar Model Compound. *Applied Energy*, 263(2), 114565.
- Ward, T. R., & Copéret, C. (2023). Introduction: Bridging the Gaps: Learning from Catalysis across Boundaries. *Chemical Reviews*, 123(9), 5221–5224.
- Wu, L., Guan, Y., Li, C., Shi, L., Yang, S., Rajasekhar Reddy, B., Ye, G., Zhang, Q., Liew, R. K., Zhou, J., Vinu, R., & Lam, S. S. (2023). Free-Radical Behaviors of Co-Pyrolysis of Low-Rank Coal and Different Solid Hydrogen-Rich donors: A Critical Review. *Chemical Engineering Journal*, 474, 145900.
- Yasin, C., Lesmana, B., Praditya, A., Ferlianta, W., Ariyanto, D., Handayani, R., Susilawati, S., Simatupang, G., Ampun, S., Lucia, A., Presetio, H., & Ambarsari, L. (2021). *Road Map Pengembangan dan Pemanfaatan Batubara*. Direktorat Jendral Mineral dan Batubara - 2021.

- Zakwan, H., & Prabowo, H. (2021). Pengendalian Kualitas Batubara Seam 300 ber- dasarkan Parameter Kualitas Batubara Dari Front Sampai Ke Buyer Di Pt Kuansing Inti. *Jurnal Bina Tambang*, 6(5), 68–76.
- Zetra, Y., Febriati, A., Nirmala, D., Burhan, R. Y. P., Firmansyah, A., & Nugraheni, Z. V. (2022). Low-Calorie Coal Liquefaction Products as an Alternative Fuel Oil. *Indonesian Journal of Chemistry*, 22(6), 1574.
- Zhang, C., Xie, Z., Yang, W., Liang, Y., Meng, D., He, X., Liang, P., & Zhang, Z. (2020). NiCo₂O₄/biomass-derived carbon composites as anode for high-performance lithium ion batteries. *Journal of Power Sources*, 451(October 2019), 227761.
- Zhao, C., Ge, L., Mai, L., Chen, S., Li, Q., Yao, L., Li, D., Wang, Y., & Xu, C. (2023). Preparation and Performance of Coal-Based Activated Carbon Based on An Orthogonal Experimental Study. *Energy*, 274, 127353.
- Zou, R., Bramley, G. A., Xu, S., Chansai, S., Panchal, M., Chen, H., Zhou, Y., Gao, P., Hou, G., Holmes, S. M., Hardacre, C., Jiao, Y., Logsdail, A. J., & Fan, X. (2024). Anchoring Highly Dispersed Metal Nanoparticles by Strong 46 Universitas Sriwijaya Electrostatic Adsorption (SEA) on a Dealuminated Beta Zeolite For Catalysis. *Catalyst Science & Technology* . 14, 164–173.
- Zurohaina, Zikri, A., Febriana, I., Amin, J. M., Pratiwi, M., & Reyhan, M. H. (2020). Pengaruh Jumlah Katalis dan Temperatur pada Proses Pembuatan Bahan Bakar Cair Limbah Styrofoam dengan Metode Catalytic Cracking. *Jurnal Kinetika*, 11(01), 9–17.