

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KATALIS NiMo/Ti-PiLC DAN  
NiMo/Mn-PiLC UNTUK *UPGRADING* BIO-OIL HASIL PIROLISIS  
CANGKANG SAWIT**

**SKRIPSI**

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



**Oleh:**

**SERA AYU SAKIA**

**08031182025014**

**JURUSAN KIMIA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2024**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KATALIS NiMo/Ti-PiLC DAN  
NiMo/Mn-PiLC UNTUK *UPGRADING* BIO-OIL HASIL PIROLISIS  
CANGKANG SAWIT**

**SKRIPSI**

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

**Oleh :**

**Sera Ayu Sakia**

**08031182025014**

**Indralaya, 18 Maret 2024**

**Pembimbing I**



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

**NIP. 197205151997021003**

**Pembimbing II**



**Dr. Eng Nino Rinaldi**

**NIP. 197706122001121001**

**Mengetahui,**

**Dekan FMIPA**



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

**NIP. 197111191997021001**


## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi Sera Ayu Sakia (08031182025014) dengan judul "Sintesis Dan Karakterisasi Katalis NiMo/Ti-PiLC Dan NiMo/Mn-PiLC Untuk *Upgrading* Bio-Oil Hasil Pirolisis Cangkang Sawit" telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 22 Maret 2024 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 22 Maret 2024


Ketua :

1. Dr. Zainal Fanani, M. Si.  
NIP. 196708211995121001

(  )

Sekretaris:

1. Dr. Heni Yohandini, M.Si.  
NIP. 197011152000122004

(  )

Pembimbing:

1. Prof. Dr Hasanudin, M.Si.  
NIP. 197205151997021003

(  )

2. Dr. Eng Nino Rinaldi  
NIP. 197706122001121001

(  )

Penguji :

1. Dr. Ady Mara, M. Si.  
NIP.196404301990031003

(  )

2. Dra. Julinar, M. Si.  
NIP. 196507251993032002

(  )

Mengetahui,

Dekan FMIPA


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

Ketua Jurusan Kimia


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

## PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama Mahasiswa : Sera Ayu Sakia

NIM : 08031182025014

Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/ Kimia

Menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil karya seni 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, 22 Maret 2024



Yang menyatakan,

Sera Ayu Sakia

NIM. 08031182025014

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

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertandatangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Sera Ayu Sakia  
NIM : 08031182025014  
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 yang berjudul "Sintesis dan Karakterisasi Katalis NiMo/Ti-PiLC dan NiMo/Mn-PiLC Untuk *Upgrading Bio-oil* Hasil Pirolisis Cangkang Sawit". 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.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, 22 Maret 2024

Yang menyatakan,



Sera Ayu Sakia

NIM. 08031182025014

## HALAMAN PERSEMBAHAN

اللهم يأسر والأتسر

“Ya Allah, mudahkanlah dan janganlah Engkau persulit”

إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا

"Maka, sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan."

Skripsi ini saya persembahkan kepada :

- ♥ Bapak Mulyadi dan Ibu Rafiqo selaku Kedua orang tuaku tersayang dan adikku tercinta (Sheren Dwi Syahfitri) yang selalu memberikan semangat serta doa-nya dan selalu menjadi motivasi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini
- ♥ Seluruh keluarga besar yang telah memberikan semangat dan doa-nya
- ♥ Kedua dosen pembimbingku Prof. Dr. Hasanudin, M.Si dan Dr. Eng. Nino Rinaldi
- ♥ Al Ghifari Sangpati yang selalu membantu dari awal penulisan sampai akhir
- ♥ Teman-teman seperjuangan dan Alamamaterku yang aku banggakan Universitas Sriwijaya

## KATA PENGANTAR

Puji serta syukur selalu terucap atas rahmat dan berkat karunia Allah SWT. Dzat yang maha kuasa serta maha pengasih dan maha penyayang. Tak lupa shalawat kepada nabi Muhammad SAW yang insyaallah syafaatnya kita nantikan di hari yaumul akhir kelak. Alhamdulillah, akhirnya penulis mampu dalam menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul “Sintesis Dan Karakterisasi Katalis NiMo/Ti-PiLC Dan NiMo/Mn-PiLC Untuk *Upgrading* Bio-oil Hasil Pirolisis Cangkang Sawit”. 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 tidak terlepas dari berbagai rintangan, mulai dari pengumpulan literatur, penelitian, pengumpulan data dan sampai pada pengolahan data maupun dalam tahap penulisan. Namun dengan kesabaran, keikhlasan dan ketekunan yang dilandasi dengan rasa penuh tanggung jawab selaku mahasiswa dan juga bantuan dari berbagai pihak, baik material maupun moril, akhirnya selesai sudah penulisan dari skripsi ini. Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada pembimbing yaitu **Bapak Prof. Dr. Hasanudin, M.Si**, yang telah banyak memberikan bimbingan, bantuan, motivasi, saran, dan petunjuk kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tuaku Bapak Mulyadi dan Ibu Rafiqo tersayang, terimakasih sudah selalu mendoakan untuk kebaikan anaknya. Menjadi suatu kebanggaan memiliki orangtua yang mendukung anaknya. Terima kasih telah membuktikan kepada semuanya bahwa anakmu bisa menjadi sarjana. Tanpa kehadiran kalian, orang tua yang sangat luar biasa, pencapaian ini tidak mungkin terwujud, karena kalian merupakan sumber inspirasi dan kekuatan yang tak tergantikan. Selesainya skripsi ini, sera berharap dapat sebagai bentuk penghormatan sera dan apresiasi atas segala perjuangan dan kasih sayang yang telah kalian berikan.
2. Bapak Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.

3. Ibu Prof. Dr. Muharni, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya serta sebagai Dosen Pembimbing Akademik.
4. Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si. selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
5. Bapak Prof. Dr. Hasanudin, M.Si dan Bapak Dr. Eng Nino Rinaldi selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, yang selalu memberikan bimbingan, dukungan, materi kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan penelitian dengan baik dan benar.
6. Seluruh Dosen Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah memberikan banyak ilmu, mendidik, serta membimbing dalam dunia perkuliahan
7. Kak iin dan Mba Novi selaku admin jurusan kimia yang selalu sedia membantu selama masa perkuliahan hingga lulus.
8. Bapak dan Ibu Peneliti BRIN yang selalu membantu selama penelitian. Pak Egi, Pak Adep, Pak Arif, Bu Anis, Mba Sarah, terutama Pak Dadi yang selalu bantu Sera selama proses penelitian kalau ada alat rusak. Maaf jika sering lalai dan merusak alat...
9. Adikku tersayang, Sheren Dwwi Syahfitri. Terimakasih sudah menjadi motivasi penulis untuk selalu memberikan contoh, pengalaman dan inspirasi yang terbaik untukmu.
10. Kepada seseorang yang tak kalah penting kehadirannya, Al Ghifari Sangpati. Terimakasih telah menemani, menyemangati, dan menguatkan selama penulisan skripsi ini
11. Podcastku tercinta (Adel, Dina, Pia, Rafly, Shinta, Putri), terimakasih gaiss sudah ada dari awal maba sampai sekarang. Terimakasih berkat kalian masa kuliahku berwarna, makaih sudah menjadi rumah dikala capek dengan perkuliahan. Tanpa kalian, masa perkuliahanku pasti tudak akan segila dan seberwarna ini. love u gais!!
12. Alifia Dhiya Ulhaq, terimakasih sudah selalu treat sera dengan baik, makasih sudah selalu menjadi pendengar dan mau menjadi teman dari awal maba online. Selalu jadi teman sera ya!
13. Shinta Amalia, makasih shin udah selalu sedia bantu sera dan selalu ada.



14. Anisa Dwiyana yang sudah mau mendengar keluh kesah sera, alhamdulillah kita sampe di titik sekarang yaa!!
15. Team *Catalyst* Brin Squad, makasih gais udah nguatin selama masa penelitian dan masa skripsian ini wkwkwk, ingat jalan kita gada yang mulus selalu berkelok-kelok, tapi itu yang buat kita kuat!
16. Adik-adik asuhku (Utik, Tazira, Indah) terimakasih sudah selalu merayakan pencapaian kasuhmu ini dan selalu memberikan semangat serta doanya, semangat untuk kedepannyaa.
17. Kak farez dan kak novi yag selalu membantu penulis saat lagi kesusahan dan bingung tentang penelitiannya.
18. cacaaaa terimakasih sudah selalu membantu penulis dalam segala hal, Untuk almerr makasih sudah berjasa selama semhas dan sidangg, untuk Betty makasih banyak sudah selalu baikk sama aku, makasih sudah mau selalu direpotkan bet, sorii kalo sering buat kesel karena kepanikan ku ini wkwkkw.
19. Teman-teman seperjuangan Kimia 2020, terimakasih untuk kebersamaan di perkuliahan ini.
20. Last but not least. Terimakasih kepada diriku sendiri, Sera Ayu Sakia. Terimakasih sudah selalu merayakan pencapaianmu, kamu kuat bisa sampai di titik ini.

Semua bimbingan, ilmu, bantuan, masukan dan motivasi yang telah diberikan kepada penulis semoga menjadi amal shaleh. Dengan kerendahan hati, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dan kesalahan, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca. Penulis menyadari masih banyak terdapat kekurangan dalam karya tulis serta jauh dari kata sempurna. Semoga karya tulis ini dapat bermanfaat dalam perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Indralaya, 22 Maret 2024

Penulis

## SUMMARY

### SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF NiMo/Ti-PiLC AND NiMo/Mn-PiLC CATALYST FOR UPGRADING BIO-OIL PRODUCED FROM PALM KERNEL SHELL PYROLYSIS

Sera Ayu Sakia : Supervised by Prof. Dr. Hasanudin, M.Si and Dr. Eng. Nino Rinaldi

Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University

xvii +91 pages +11 figures +5 tables +7 attachments

The synthesis and characterization of NiMo/Ti-PiLC and NiMo/Mn-PiLC catalysts for upgrading bio-oil resulting from palm kernel shell pyrolysis has been carried out. In this research, a pillarization process was carried out by adding Ti and Mn metal to bentonite, an impregnation process of NiMo metal into Ti/Mn PiLC and a catalyst performance test on bio-oil upgrading products under conditions of 70 bar, 350°C for 6 hours. Catalyst characterization using Surface Area Analyzer (SAA), X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX), Temperature Program Desorption-NH<sub>3</sub> (TPD-NH<sub>3</sub>), and X-Ray Fluorescence ( XRF). The results of XRD analysis showed an increase in the basal distance of 0.1% on Ti-PiLC and 0.04% on Mn-PiLC and the characteristic peak of MoO<sub>3</sub> oxide was not found on NiMo/Ti-PiLC while it was found on NiMo/Mn-PiLC. Acidity analysis with TPD-NH<sub>3</sub> showed an increase in acidity of 0.08% for Ti-PiLC and 0.01% for Mn-PiLC, after being impregnated with NiMo metal the acidity increased in NiMo/Ti-PiLC but in NiMo/Mn-PiLC there was a decrease in acidity from bentonite. The results of SAA analysis show an increase in surface area after pillarization and after being impregnated with NiMo metal on NiMo/Ti-PiLC, but on NiMo/Mn-PiLC there is a decrease. The metal distribution in SEM-EDX shows that the NiMo/Ti-PiLC catalyst is more evenly distributed compared to NiMo/Mn-PiLC. Analysis of bio-oil upgrading products through the hydrodeoxygenation reaction was measured using the CHN-Elemental Analyzer. The calorific value of combustion in bio-oil upgrading products using NiMo/Ti-PiLC and NiMo/Mn-PiLC catalysts increases 2-fold compared to bio-oil resulting from pyrolysis. This is in line with the increase in the weight percent of carbon and hydrogen and the decrease in oxygen content in the bio-oil products upgraded with NiMo/Ti-PiLC and NiMo/Mn-PiLC catalysts.

Keywords : Bio-oil Upgrading, NiMo/Mn-PiLC, NiMo/Ti-PiLC, catalyst characterization

Citations : 87 (2006-2023)

## RINGKASAN

### SINTESIS DAN KARAKTERISASI KATALIS NiMo/Ti-PiLC DAN NiMo/Mn-PiLC UNTUK *UPGRADING* BIO-OIL HASIL PIROLISIS CANGKANG SAWIT

Sera Ayu Sakia : Dibimbing oleh Prof. Dr. Hasanudin, M.Si dan Dr. Eng. Nino Rinaldi

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

xvii +91 halaman +10 gambar +5 tabel +7 lampiran

Sintesis dan karakterisasi katalis NiMo/Ti-PiLC dan NiMo/Mn-PiLC untuk *upgrading* bio-oil hasil pirolisis cangkang sawit telah dilakukan. Pada penelitian ini dilakukan proses pilarisasi dengan menambahkan logam Ti dan Mn pada bentonit, proses impregnasi logam NiMo ke Ti/Mn PiLC dan uji kinerja katalis pada produk *upgrading* bio-oil dengan kondisi 70 bar, 350°C selama 6 jam. Karakterisasi katalis menggunakan *Surface Area Analyzer* (SAA), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX), *Temperature Program Desorption-NH<sub>3</sub>* (TPD-NH<sub>3</sub>), serta *X-Ray Fluorescence* (XRF). Hasil analisa XRD menunjukkan peningkatan jarak basal 0,1% pada Ti-PiLC dan 0,04% pada Mn-PiLC serta tidak ditemukan puncak karakteristik oksida MoO<sub>3</sub> pada NiMo/Ti-PiLC sedangkan pada NiMo/Mn-PiLC ditemukan. Analisa keasaman dengan TPD-NH<sub>3</sub> terjadi peningkatan keasaman 0,08% untuk Ti-PiLC dan 0,01% untuk Mn-PiLC, setelah diimpregnasi logam NiMo keasaman meningkat pada NiMo/Ti-PiLC namun pada NiMo/Mn-PiLC terjadi penurunan keasaman dari bentonit. Hasil analisa SAA memperlihatkan peningkatan luas permukaan setelah dipilarisasi dan setelah diimpregnasi dengan logam NiMo pada NiMo/Ti-PiLC, namun pada NiMo/Mn-PiLC terjadi penurunan. Persebaran logam pada SEM-EDX menampilkan katalis NiMo/Ti-PiLC lebih terdistribusi secara merata jika dibandingkan dengan NiMo/Mn-PiLC. Analisa produk *upgrading* bio-oil melalui reaksi hidroleoksidasi diukur menggunakan *CHN-Elemental Analyzer*. Nilai kalor pembakaran pada produk *upgrading* bio-oil menggunakan katalis NiMo/Ti-PiLC dan NiMo/Mn-PiLC meningkat 2 kali lipat dibandingkan dengan bio-oil hasil pirolisis. Hal ini sejalan dengan peningkatan persen berat karbon dan hidrogen serta menurunnya kandungan oksigen pada produk bio-oil ter-*upgrade* katalis NiMo/Ti-PiLC dan NiMo/Mn-PiLC.

Kata Kunci : *Upgrading* bio-oil, NiMo/Mn-PiLC, NiMo/Ti-PiLC, karakterisasi katalis

Sitasi : 87 (2006-2023)

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>x</b>
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
2.1 Cangkang Sawit .....	4
2.2 Katalis .....	4
2.3 Logam NiMo.....	6
2.4 Lempung Terpillar.....	7
2.5 Titanium (Ti).....	8
2.6 Mangan (Mn) .....	9
2.7 Impregnasi.....	10
2.8 Sulfidasi .....	11
2.9 Bio-oil .....	12
2.10 Hidrogen.....	13

2.11	<i>Upgrading Bio-oil Melalui Reaksi Hidrodeoksigenasi</i> .....	14
2.12	Pirolisis.....	17
2.13	Karakterisasi.....	18
2.13.1	<i>X-Ray Diffraction</i> .....	18
2.13.2	<i>Surface Area Analyzer: Brunauer Emmett Teller</i> .....	19
2.13.3	<i>X-Ray Fluorescence (XRF)</i> .....	20
2.13.4	<i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)</i> .....	21
2.13.5	<i>CHN Elemental Analyzer</i> .....	22
2.13.6	<i>Temperature Program Desorption-NH<sub>3</sub> (TPD-NH<sub>3</sub>)</i> .....	23
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....		<b>25</b>
3.1	Waktu dan Tempat .....	25
3.2	Alat dan Bahan .....	25
3.2.1	Alat .....	25
3.2.2	Bahan.....	25
3.3	Prosedur Penelitian.....	25
3.3.1	<i>Fast Pyrolysis</i> dari Cangkang Sawit .....	25
3.3.2	Preparasi katalis NiMo/Ti-PiLC dan NiMo/Mn-PiLC .....	26
3.3.2.1	Pembuatan Katalis Ti-PiLC.....	26
3.3.2.2	Sintesis Katalis NiMo/Ti-PiLC .....	26
3.3.2.3	Pembuatan Katalis Mn-PiLC.....	27
3.3.2.4	Sintesis Katalis NiMo/Mn-PiLC .....	28
3.3.2.5	Sulfidasi Katalis NiMo/Ti-PiLC dan NiMo/Mn-PiLC .....	28
3.3.3	<i>Upgrading Bio-oil</i> melalui Reaksi Hidrodeoksigenasi dengan katalis NiMo/Ti-PiLC dan NiMo/Mn-PiLC .....	29
3.3.4	Karakterisasi Katalis NiMo/Ti-PiLC dan NiMo/Mn-PiLC.....	29
3.3.4.1	Karakterisasi katalis dengan <i>Surface Area Analyzer</i> ...	29
3.3.4.2	Karakterisasi dengan TPD-NH <sub>3</sub> .....	30
3.3.4.3	Karakterisasi dengan <i>X-ray Diffraction</i> .....	30
3.3.4.4	Karakterisasi dengan <i>X-ray Fluorescence</i> .....	30
3.3.4.5	Karakterisasi dengan SEM-EDX.....	31
3.4	Analisa Produk <i>Upgrading Bio-oil</i> Dengan CHN- <i>Elemental Analyzer</i> .....	31

<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>32</b>
4.1 Karakterisasi Katalis .....	32
4.1.1 Karakterisasi Katalis dengan <i>X-Ray Fluorescence</i> .....	32
4.1.2 Karakterisasi Katalis dengan <i>Surface Area Analyzer</i> .....	33
4.1.3 Karakterisasi Katalis dengan <i>Scanning Electron Microscope- Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)</i> .....	37
4.1.4 Karakterisasi Katalis dengan <i>Temperature Program Desorption-NH<sub>3</sub></i> .....	41
4.1.5 Karakterisasi Katalis dengan <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	42
4.2 Hasil Analisa Produk <i>Upgrading Bio-oil</i> .....	45
4.2.1 Analisa Produk <i>Upgrading Bio-oil</i> dengan <i>CHN-Elemental Analyzer</i> dan Nilai Kalor Pembakaran.....	45
4.2.2 Tingkat Deoksigenasi.....	47
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>49</b>
5.1 Kesimpulan .....	49
5.2 Saran.....	49
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>51</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>60</b>
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....</b>	<b>74</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.</b> Reaksi Hidrodeoksigenasi Senyawa 2-etil fenol dengan Katalis Mo-S/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	16
<b>Gambar 2.</b> Contoh Pola Difraksi XRD (Kang <i>et al.</i> , 2018).....	19
<b>Gambar 3.</b> Grafik Isoterm Adsorpsi-Desorpsi Tipe IV Bentonite pada analisa SAA.....	20
<b>Gambar 4.</b> Contoh hasil analisa SEM (a) bentonit dan (b) Ti-PiLC .....	22
<b>Gambar 5.</b> Grafik Isoterm Adsorpsi-desorpsi pada Bentonit .....	34
<b>Gambar 6.</b> Grafik isoterm adsorpsi-desorpsi pada katalis (a) Ti-PiLC, (b) Mo/Ti-PiLC dan (c) NiMo/Ti-PiLC.....	35
<b>Gambar 7.</b> Grafik isoterm adsorpsi-desorpsi pada katalis Mn-PiLC, Mo/Mn-PiLC dan NiMo/Mn-PiLC .....	36
<b>Gambar 8.</b> Morfologi SEM permukaan (a) bentonit; (b) Ti-PiLC; dan (c) Mn-PiLC (d) NiMo/Ti-PiLC dan (e) NiMo/Mn-PiLC dengan perbesaran 5000 x.....	38
<b>Gambar 9.</b> Mapping EDX dari (a) Ni (b) Mo (c) Mix NiMo (NiMo/Ti-PiLC) dan (d) Mix NiMo (NiMo/Mn-PiLC) .....	40
<b>Gambar 10.</b> Pola difraksi (a) Bentonit, (b) Ti-PiLC (c) Mo/Ti-PiLC (d) NiMo/Ti-PiLC (e) Mn-PiLC (f) Mo/Mn-PiLC dan (g) NiMo/Mn-PiLC.....	43
<b>Gambar 11.</b> Produk yang didapatkan dari reaksi hidrodeoksigenasi senyawa guaicol dengan katalis NiMo/Ti-PiLC.....	47

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.</b> Hasil Karakterisasi dengan <i>X-Ray Fluorescence</i> .....	32
<b>Tabel 2.</b> Hasil Karakterisasi dengan <i>Surface Area Analyzer</i> .....	37
<b>Tabel 3.</b> Hasil Karakterisasi TPD- NH <sub>3</sub> .....	41
<b>Tabel 4.</b> Hasil Analisis Unsur Produk Bio-Oil Hasil Pirolisis dan <i>Upgrading</i> Bio-oil dengan Katalis serta Nilai Kalor Pembakaran .....	46
<b>Tabel 5.</b> Rasio O/C dan H/C serta nilai DOD hasil reaksi HDO pada berbagai katalis .....	48



## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1.</b> Skema Kerja.....	61
<b>Lampiran 2.</b> Perhitungan Preparasi Katalis.....	62
<b>Lampiran 3.</b> Data Analisa CHN- <i>Elemental Analyzer</i> dan Perhitungan HHV.....	65
<b>Lampiran 4.</b> Perhitungan DOD serta H/C Produk HDO .....	66
<b>Lampiran 5.</b> Perhitungan Keasaman serta Kurva Analisa TPD-NH <sub>3</sub> .....	68
<b>Lampiran 6.</b> Gambar Alat Penelitian.....	70
<b>Lampiran 7.</b> Dokumentasi Penelitian .....	72

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Biomassa merupakan sumber energi terbarukan yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi makhluk hidup (Verma and Sharma, 2015). Salah satu jenis biomassa yang dapat menjadi solusi dengan ketersediaan yang melimpah adalah kelapa sawit. Indonesia termasuk salah satu negara yang memiliki luas lahan kelapa sawit terbesar di Asia Tenggara, dapat dilihat pada tahun 2018 luas lahan kelapa sawit di Indonesia mencapai 14.030.000 hektar (Putri *et al.*, 2022). Biomassa yang dihasilkan dari industri kelapa sawit berupa tandan buah kosong, bungkil inti sawit, serat *mesocarp* serta cangkang sawit (Jamil *et al.*, 2016). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Elakhame *et al.*, (2014) menunjukkan bahwa sampel cangkang sawit memberikan sifat terbaik dan efektif, seperti proporsi karbon dan nilai kalor yang tinggi serta kandungan sulfur yang rendah, sehingga menjadi energi alternatif ramah lingkungan yang dimanfaatkan sebagai bahan bakar melalui proses pirolisis.

Pirolisis merupakan suatu proses penguraian bahan organik tanpa adanya oksigen yang menghasilkan berbagai produk, seperti bio-oil, *syn*-gas dan bio-char. Proses pirolisis dari bahan baku biomassa menghasilkan uap yang dapat dikondensasikan menjadi cairan yang dikenal sebagai bio-oil (Bardalai and Maharta, 2015). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Rinaldi *et al.*, (2017), didapatkan nilai kalor pembakaran bio-oil hasil pirolisis sebesar 20,4 MJ/Kg dan kandungan oksigen yang masih tinggi sebesar 41,61%. Kandungan oksigen yang tinggi tersebut membuat bio-oil tidak dapat digunakan sebagai bahan bakar langsung karena menimbulkan beberapa masalah, seperti nilai kalor yang rendah, korosif dan kadar air yang tinggi sehingga dapat merusak mesin. Oleh karena itu, untuk menangani permasalahan tersebut diperlukan proses *upgrading* bio-oil (Rinaldi *et al.*, 2017).

Bio-oil yang dihasilkan dari biomassa yang dipirolisis dapat dilakukan *upgrading* melalui berbagai reaksi, antara lain reaksi hidrodeoksigenasi, hidrogenasi, deoksigenasi, reforming uap, dan *catalytic cracking* (Zhang *et al.*,

2013). Namun, berdasarkan penelitian yang dilakukan Lee *et al.*, (2016) reaksi hidrodeoksigenasi terbukti memiliki potensi yang tinggi untuk meningkatkan kualitas bio-oil dan mengurangi kandungan oksigen yang tinggi di dalamnya, sehingga menghasilkan bahan bakar dengan kepadatan dan stabilitas energi tinggi. Ambursa *et al.*, (2021) melakukan penelitian menggunakan katalis bi-fungsional untuk meningkatkan selektivitas senyawa yang diinginkan pada reaksi hidrodeoksigenasi yaitu katalis NiMo.

Katalis NiMo memiliki kemampuan untuk meningkatkan stabilitas dan aktivitas katalitik tinggi dalam reaksi hidrodeoksigenasi (Muangsuwan *et al.*, 2021). Namun, Qiaan *et al.*, (2014) menambahkan penyangga pada katalis NiMo untuk mencegah terjadinya aglomerasi atau penggumpalan, sehingga menghasilkan interaksi antara reaktan dan pusat aktif yang efisien. Penyangga yang banyak digunakan sebagai pendukung katalis NiMo berupa lempung atau bentonit. Bentonit memiliki luas permukaan yang besar, strukturnya mesopori, serta stabilitas termal dan kapasitas pertukaran ion yang tinggi (Dou and Goldfarb, 2017). Aktivitas katalitik bentonit dapat ditingkatkan melalui proses pilarisasi (*Pillared Interlayer Clay* (PiLC)) dengan penambahan oksida logam seperti titanium (Rinaldi *et al.*, 2023) dan mangan yang menyebabkan luas permukaan dan volume pori bentonit semakin besar, serta menjadi lebih stabil dari sebelum dipilarisasi (Mofrad *et al.*, 2019).

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, dalam penelitian ini akan dilakukan sintesis dan karakterisasi katalis NiMo/Ti-PiLC dan NiMo/Mn-PiLC untuk *upgrading* bio-oil hasil pirolisis cangkang sawit melalui reaksi hidrodeoksigenasi. Karakterisasi katalis dilakukan dengan beberapa analisa yaitu XRF (*X-Ray Fluorescence*), SAA (*Surface Area Analyzer*), SEM-EDX (*Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive X-Ray*), TPD-NH<sub>3</sub> (*Temperature Program Desorption-NH<sub>3</sub>*), XRD (*X-Ray Diffraction*) dan analisa produk berupa CHN-*Elemental Analyzer*.

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh penambahan logam Ti dan Mn terhadap karakter bentonit dengan proses pilarisasi?
2. Bagaimana pengaruh penambahan logam NiMo terhadap karakter katalis

berbasis bentonit terpilar Ti/Mn?

3. Bagaimana nilai kalor pembakaran antara produk *upgrading* bio-oil dengan penambahan katalis NiMo/Ti-PiLC dan NiMo/Mn-PiLC dengan produk bio-oil hasil pirolisis?

### 1.3 Tujuan Penelitian

1. Menentukan pengaruh penambahan logam Ti dan Mn terhadap karakter bentonit melalui proses pilarisasi menggunakan analisa SAA, TPD-NH<sub>3</sub>, XRF dan XRD.
2. Menentukan pengaruh penambahan logam NiMo terhadap karakter katalis berbasis bentonit terpilar Ti/Mn menggunakan analisa SAA, TPD-NH<sub>3</sub>, XRF, XRD dan SEM-EDX.
3. Menentukan perbandingan nilai kalor pembakaran antara produk *upgrading* bio-oil dengan penambahan katalis NiMo/Ti-PiLC dan NiMo/Mn-PiLC dengan produk bio-oil hasil pirolisis menggunakan analisa CHN-*Elemental Analyzer*.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan untuk menciptakan inovasi dalam meminimalisir ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, dengan cara menghasilkan produk bio-oil yang berkualitas tinggi dan ramah lingkungan melalui proses *upgrading* bio-oil menggunakan reaksi hidrodeoksigenasi. Penelitian ini juga bertujuan untuk meningkatkan pemahaman tentang sifat dan karakteristik katalis NiMo/Ti-PiLC dan NiMo/Mn-PiLC.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abd Mutalib, M., Rahman, M. A., Othman, M. H. D., Ismail, A. F., & Jaafar, J. (2017). Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy-Dispersive X-Ray (EDX) Spectroscopy. In *Membrane Characterization*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63776-5.00009-7>
- Abubakar, U. C., Alhooshani, K. R., & Saleh, T. A. (2020). Effect of ultrasonication and chelating agents on the dispersion of NiMo catalysts on carbon for Hydrodesulphurization. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(4), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103811>
- Adilina, I. B., Rinaldi, N., Simanungkalit, S. P., Aulia, F., Oemry, F., Stenning, G. B. G., Silverwood, I. P., & Parker, S. F. (2019). Hydrodeoxygenation of Guaiacol as a Bio-Oil Model Compound over Pillared Clay-Supported Nickel-Molybdenum Catalysts. *Journal of Physical Chemistry C*, 123(35), 21429–21439. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.9b01890>
- Ahmad, R, N, Hamidin, U.F.M, A. and C. Z. A. A. (2014). Characterization Of Bio-Oil From Palm Kernel Shell Pyrolysis. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 7(December), 1134–1140.
- Ahmed, Y. M., Salleh, K., Sahari, M., Ishak, M., & Khidhir, B. A. (2014). Titanium and its Alloy. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 3(10), 1351–1361.
- 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). <https://doi.org/10.3390/min12020205>
- Amaya, S. L., Alonso-Núñez, G., Zepeda, T. A., Fuentes, S., & Echavarría, A. (2014). Effect of the divalent metal and the activation temperature of NiMoW and CoMoW on the dibenzothiophene hydrodesulfurization reaction. *Applied Catalysis B: Environmental*, 148–149, 221–230. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2013.10.057>
- Ambursa, M. M., Juan, J. C., Yahaya, Y., Taufiq-Yap, Y. H., Lin, Y. C., & Lee, H. V. (2021). A review on catalytic hydrodeoxygenation of lignin to transportation fuels by using nickel-based catalysts. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 138(April 2020), 110667. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110667>
- Baloch, H. A., Nizamuddin, S., Siddiqui, M. T. H., Riaz, S., Jatoi, A. S., Dumbre, D. K., Mubarak, N. M., Srinivasan, M. P., & Griffin, G. J. (2018). Recent advances in production and upgrading of bio-oil from biomass: A critical overview. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(4), 5101–5118. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.07.050>
- Bancin, S. G., Rohsari, A., Utama, I., & Darus, L. (2021). Pengaruh Variasi Waktu

- Dan Jenis Limbah Padat Kelapa Sawit Pada Pirolisis Menjadi Asap Cair. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 8(5), 5819–5825.
- Bardalai, M. & Mahanta, D. K. (2015). A Review of Physical Properties of Biomass Pyrolysis Oil, *International Journal of Renewable Energy Research*, 5(1), 276–286.
- Basoglu, F. T. (2016). Effect of titanium source on structural properties and acidity of Ti-pillared bentonite. *Chemical Papers*, 70(7), 933–945. <https://doi.org/10.1515/chempap-2016-0026>
- Bernal, M., Romero, R., Roa, G., Barrera-Díaz, C., Torres-Blancas, T., & Natividad, R. (2013). Ozonation of indigo carmine catalyzed with Fe-pillared clay. *International Journal of Photoenergy*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/918025>
- Bijang, C. M., Nurdin, M., Azis, T., Sekewael, S. J., & Wattimena, H. (2020). Ouw Natural Clay-Titanium Oksida (LaO-TiO<sub>2</sub>) Composite Adsorption Ability on Lead (Pb) Metal. *Journal of Physics: Conference Series*, 1463(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1463/1/012011>
- Brame, J. A., & Griggs, C. (2016). Surface Area Analysis Using the Brunauer-Emmett-Teller (BET) Method: Scientific Operation Procedure Series : SOP-C. *U.S Army Engineer Research and Development Center, September*, 1–23. [www.erd.c.usace.army.mil](http://www.erd.c.usace.army.mil).
- Bunaciu, A. A., Udriștioiu, E. gabriela, & Aboul-Enein, H. Y. (2015). X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 45(4), 289–299. <https://doi.org/10.1080/10408347.2014.949616>
- Cheng, J., Song, Y., Ye, Q., Cheng, S., Kang, T., & Dai, H. (2018). A mechanistic investigation on the selective catalytic reduction of NO with ammonia over the V-Ce/Ti-PILC catalysts. *Molecular Catalysis*, 445, 111–123. <https://doi.org/10.1016/j.mcat.2017.11.019>
- da Silva Veras, T., Mozer, T. S., da Costa Rubim Messeder dos Santos, D., & da Silva César, A. (2017). Hydrogen: Trends, production and characterization of the main process worldwide. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(4), 2018–2033. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.08.219>
- Daroughegi Mofrad, B., Rezaei, M., & Hayati-Ashtiani, M. (2019). Preparation and characterization of Ni catalysts supported on pillared nanoporous bentonite powders for dry reforming reaction. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(50), 27429–27444. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.08.194>
- Dik, P. P., Danilova, I. G., Golubev, I. S., Kazakov, M. O., Nadeina, K. A., Budukva, S. V., Pereyma, V. Y., Klimov, O. V., Prosvirin, I. P., Gerasimov, E. Y., Bok, T. O., Dobryakova, I. V., Knyazeva, E. E., Ivanova, I. I., & Noskov, A. S. (2019). Hydrocracking of vacuum gas oil over NiMo/zeolite-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Influence of zeolite properties. *Fuel*, 237(October 2018), 178–190. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.10.012>

- Dou, G., & Goldfarb, J. L. (2017). In situ upgrading of pyrolysis biofuels by bentonite clay with simultaneous production of heterogeneous adsorbents for water treatment. *Fuel*, *195*, 273–283. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.01.052>
- Elakhame, Z. U., Alhassan, O., & Samuel, A. (2014). Development and Production of Brake Pads from Palm Kernel Shell Composites. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, *5*(October 2014), 735–744.
- Elkasabi, Y., Liu, Q., Choi, Y. S., Strahan, G., Boateng, A. A., & Regalbutto, J. R. (2017). Bio-oil hydrodeoxygenation catalysts produced using strong electrostatic adsorption. *Fuel*, *207*, 510–521. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.06.115>
- Erdogdu, A. E., Polat, R., & Ozbay, G. (2019). Pyrolysis of goat manure to produce bio-oil. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, *22*(2), 452–457. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2018.11.002>
- Fan, D., Lan, Y., Tratnyek, P. G., Johnson, R. L., Filip, J., O'Carroll, D. M., Nunez Garcia, A., & Agrawal, A. (2017). Sulfidation of Iron-Based Materials: A Review of Processes and Implications for Water Treatment and Remediation. *Environmental Science and Technology*, *51*(22), 13070–13085. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b04177>
- Gea, S., Irvan, Wijaya, K., Nadia, A., Pulungan, A. N., Sihombing, J. L., & Rahayu. (2022). Bio-oil hydrodeoxygenation over zeolite-based catalyst: the effect of zeolite activation and nickel loading on product characteristics. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, *13*(2), 541–553. <https://doi.org/10.1007/s40095-021-00467-0>
- Girish, C. R. (2018). Various impregnation methods used for the surface modification of the adsorbent: A review. *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*, *7*(4.7 Special Issue 7), 330–334. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.7.20571>
- Govan, J., & Gun'ko, Y. K. (2014). Recent advances in the application of magnetic nanoparticles as a support for homogeneous catalysts. *Nanomaterials*, *4*(2), 222–241. <https://doi.org/10.3390/nano4020222>
- Habibie, T. K., Susanto, B. H., & Carli, M. F. (2018). Effect of NiMo/Zeolite catalyst preparation method for bio jet fuel synthesis. *E3S Web of Conferences*, *67*, 1–6. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186702024>
- Hasanudin, H., Asri, W. R., Putri, Q. U., Fanani, Z., Bahrin, D., Agustina, T. E., & Wijaya, K. (2022). Montmorillonite-Zirconium Phosphate Catalysts for Methanol Dehydration. *Iranian Journal of Catalysis*, *12*(3), 389–397. <https://doi.org/10.30495/IJC.2022.1960655.1942>
- Hasanudin, H., Asri, W. R., Tampubolon, K., Riyanti, F., Purwaningrum, W., & Wijaya, K. (2022). Dehydration Isopropyl Alcohol to Diisopropyl Ether over Molybdenum Phosphide Pillared Bentonite. *Pertanika Journal of Science and*

- Technology*, 30(2), 1739–1754. <https://doi.org/10.47836/pjst.30.2.47>
- Ishii, T., & Kyotani, T. (2016). Temperature Programmed Desorption. In *Materials Science and Engineering of Carbon: Characterization*. Tsinghua University Press Limited. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805256-3.00014-3>
- Jamil, F., Ahmad, M. M., Yusup, S., & Abdullah, B. (2016). Upgrading of bio-oil from palm kernel shell by catalytic cracking in the presence of HZSM-5. *International Journal of Green Energy*, 13(4), 424–429. <https://doi.org/10.1080/15435075.2014.966370>
- Jantasee, S., Rodtuk, N., Mens, W., & Chaiya, C. (2023). Upgrading of soybean meal-derived bio-oil via hydrodeoxygenation over  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-supported monometallic and bimetallic catalysts. *Energy Reports*, 9, 484–489. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.09.062>
- Julkapli, N. M., & Bagheri, S. (2015). Graphene supported heterogeneous catalysts: An overview. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(2), 948–979. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.10.129>
- Kabir, G., & Hameed, B. H. (2017). Recent progress on catalytic pyrolysis of lignocellulosic biomass to high-grade bio-oil and bio-chemicals. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70(January), 945–967. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.001>
- Kaewpengkrow, P., Atong, D., & Sricharoenchaikul, V. (2017). Selective catalytic fast pyrolysis of *Jatropha curcas* residue with metal oxide impregnated activated carbon for upgrading bio-oil. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(29), 18397–18409. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.04.167>
- Kang, L., Liu, H., He, H., & Yang, C. (2018). Oxidative desulfurization of dibenzothiophene using molybdenum catalyst supported on Ti-pillared montmorillonite and separation of sulfones by filtration. *Fuel*, 234(July), 1229–1237. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.07.148>
- Khromova, S. A., Smirnov, A. A., Bulavchenko, O. A., Saraev, A. A., Kaichev, V. V., Reshetnikov, S. I., & Yakovlev, V. A. (2014). Anisole hydrodeoxygenation over Ni-Cu bimetallic catalysts: The effect of Ni/Cu ratio on selectivity. *Applied Catalysis A: General*, 470, 261–270. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2013.10.046>
- Kumar, P., Maity, S. K., & Shee, D. (2019). Role of NiMo Alloy and Ni Species in the Performance of NiMo/Alumina Catalysts for Hydrodeoxygenation of Stearic Acid: A Kinetic Study [Research-article]. *ACS Omega*, 4(2), 2833–2843. <https://doi.org/10.1021/acsomega.8b03592>
- Kusumastuti, H., Trisunaryanti, W., Falah, I. I., & Marsuki, M. F. (2018). Synthesis of mesoporous silica-alumina from lapindo mud as a support of Ni and Mo metals catalysts for hydrocracking of pyrolyzed  $\alpha$ -cellulose. *Rasayan Journal of Chemistry*, 11(2), 522–530. <https://doi.org/10.7324/RJC.2018.1122061>



- Lee, H., Kim, Y. M., Lee, I. G., Jeon, J. K., Jung, S. C., Chung, J. Do, Choi, W. G., & Park, Y. K. (2016). Recent advances in the catalytic hydrodeoxygenation of bio-oil. *Korean Journal of Chemical Engineering*, *33*(12), 3299–3315. <https://doi.org/10.1007/s11814-016-0214-3>
- Li, Z., Yao, Z. J., Haidry, A. A., Plecenik, T., Xie, L. J., Sun, L. C., & Fatima, Q. (2018). Resistive-type hydrogen gas sensor based on TiO<sub>2</sub>: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, *43*(45), 21114–21132. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.09.051>
- Marguá, E., Queralt, I., & de Almeida, E. (2022). X-ray fluorescence spectrometry for environmental analysis: Basic principles, instrumentation, applications and recent trends. *Chemosphere*, *303*(P1), 135006. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135006>
- Mehrabadi, B. A. T., Eskandari, S., Khan, U., White, R. D., & Regalbuto, J. R. (2017). A Review of Preparation Methods for Supported Metal Catalysts. In *Advances in Catalysis* (Vol. 61, Issue August 2018). <https://doi.org/10.1016/bs.acat.2017.10.001>
- Meng, Y., Song, W., Huang, H., Ren, Z., Chen, S., & Suib, S. L. (2014). Hubungan Struktur dan Properti MnO<sub>2</sub> Bifungsional Struktur Nano: Air Elektrokimia Sangat Efisien dan Sangat Stabil Katalis Reaksi Oksidasi dan Reduksi Oksigen Diidentifikasi dalam Media Alkalin. *2*(2).
- Meryemoğlu, B., Hasanoğlu, A., Irmak, S., & Erbatur, O. (2014). Biofuel production by liquefaction of kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) biomass. *Bioresource Technology*, *151*, 278–283. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.10.085>
- Monteiro, M. C. O., Dattila, F., López, N., & Koper, M. T. M. (2022). The Role of Cation Acidity on the Competition between Hydrogen Evolution and CO<sub>2</sub> Reduction on Gold Electrodes. *Journal of the American Chemical Society*, *144*(4), 1589–1602. <https://doi.org/10.1021/jacs.1c10171>
- Muangsuwan, C., Kriprasertkul, W., Ratchahat, S., Liu, C. G., Posoknistakul, P., Laosiripojana, N., & Sakdaronnarong, C. (2021). Upgrading of Light Bio-oil from Solvothermal Liquefaction of an Oil Palm Empty Fruit Bunch in Glycerol by Catalytic Hydrodeoxygenation Using NiMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> or CoMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Catalysts. *ACS Omega*, *6*(4), 2999–3016. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c05387>
- Naderi, M. (2015). Surface Area: Brunauer-Emmett-Teller (BET). *Progress in Filtration and Separation*, 585–608. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384746-1.00014-8>
- Nugraha, B. A., Ariadne, L. J., Rinaldi, N. (2023). *Reaction Condition Optimization of Biodiesel from Waste. June 1999.*
- Pandey, B., Prajapati, Y. K., & Sheth, P. N. (2019). Recent progress in thermochemical techniques to produce hydrogen gas from biomass: A state of

- the art review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(47), 25384–25415. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.08.031>
- Ponec, V. (2014). Catalysis, science and technology. *Applied Catalysis*, 6(3), 385. [https://doi.org/10.1016/0166-9834\(83\)80125-0](https://doi.org/10.1016/0166-9834(83)80125-0)
- Prabhudesai, V. S., Gurralla, L., & Vinu, R. (2022). Catalytic Hydrodeoxygenation of Lignin-Derived Oxygenates: Catalysis, Mechanism, and Effect of Process Conditions. *Energy and Fuels*, 36(3), 1155–1188. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.1c02640>
- Purnami, P., Wardana, I., & K, V. (2015). Pengaruh Penggunaan Katalis Terhadap Laju Dan Efisiensi Pembentukan Hidrogen. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 6(1), 51–59. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2015.006.01.8>
- 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>
- Qarizada, D., Mohammadian, E., Alias, A. B., Rahimi, H. A., & Yusuf, S. B. M. (2018). Effect of temperature on bio-oil fractions of palm kernel shell thermal distillation. *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*, 1(2), 27–31. <https://doi.org/10.53894/ijirss.v1i2.7>
- Qian, E. W., Chen, N., & Gong, S. (2014). Role of support in deoxygenation and isomerization of methyl stearate over nickel-molybdenum catalysts. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 387, 76–85. <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2014.02.031>
- Redaputri, A. P., & Yusuf S Barusman, M. (2021). The analysis of renewable energy management to generate electricity in lampung province Indonesia. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 11(6), 347–352. <https://doi.org/10.32479/ijeeep.11549>
- Remucal, C. K., & Ginder-Vogel, M. (2014). A critical review of the reactivity of manganese oxides with organic contaminants. *Environmental Sciences: Processes and Impacts*, 16(6), 1247–1266. <https://doi.org/10.1039/c3em00703k>
- Rinaldi, N., Nashiruddin, I., Dwiatmoko, A. A., & Saridewi, N. (2020). Modification of photocatalyst Ti-Pillared clay by Zn metal addition for decolorization process of organic liquid waste. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 483(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/483/1/012010>
- 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(December 2022), 106598. <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2022.106598>

- Rinaldi, N., Simanungkalit, S. P., & Kristiani, A. (2017). Hydrodeoxygenation of bio-oil using different mesoporous supports of NiMo catalysts. *AIP Conference Proceedings*, 1904. <https://doi.org/10.1063/1.5011935>
- Romero, A., Dorado, F., Asencio, I., García, P. B., & Valverde, J. L. (2006). Ti-pillared clays: Synthesis and general characterization. *Clays and Clay Minerals*, 54(6), 737–747. <https://doi.org/10.1346/CCMN.2006.0540608>
- Romero, Y., Richard, F., & Brunet, S. (2010). Hydrodeoxygenation of 2-ethylphenol as a model compound of bio-crude over sulfided Mo-based catalysts: Promoting effect and reaction mechanism. *Applied Catalysis B: Environmental*, 98(3–4), 213–223. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2010.05.031>
- Saffarzadeh, A., Arumugam, N., & Shimaoka, T. (2016). Aluminum and aluminum alloys in municipal solid waste incineration (MSWI) bottom ash: A potential source for the production of hydrogen gas. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(2), 820–831. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.11.059>
- Sarecka-Hujar, B., Balwierz, R., Ostrozka-Cieslik, A., Dyja, R., Lukowiec, D., & Jankowski, A. (2017). Scanning electron microscopy and X-ray energy dispersive spectroscopy-useful tools in the analysis of pharmaceutical products. *Journal of Physics: Conference Series*, 931(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/931/1/012008>
- Shaker, K., & AbdAlsalm, A. (2018). Synthesis and Characterization Nano Structure of MnO<sub>2</sub> via Chemical Method. *Engineering and Technology Journal*, 36(9A), 946–950. <https://doi.org/10.30684/etj.36.9a.1>
- Sihombing, J. L., Herlinawati, H., Pulungan, A. N., Simatupang, L., Rahayu, R., & Wibowo, A. A. (2023). Effective hydrodeoxygenation bio-oil via natural zeolite supported transition metal oxide catalyst. *Arabian Journal of Chemistry*, 16(6), 104707. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.104707>
- Stauffer, T., & Grüner, F. (2023). Review of Development and Recent Advances in Biomedical X-ray Fluorescence Imaging. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(13). <https://doi.org/10.3390/ijms241310990>
- Stinn, C., & Allanore, A. (2022). Selective sulfidation of metal compounds. *Nature*, 602(7895), 78–83. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-04321-5>
- Sukumar, V., Manieniyar, V., & Sivaprakasam, S. (2015). Bio oil production from biomass using pyrolysis and upgrading - A review. *International Journal of ChemTech Research*, 8(1), 196–206.
- Sun, X., Ji, L., Huang, W., Li, Z., Liao, Y., Xiao, K., Zhu, X., Xu, H., Feng, J., Feng, S., Qu, Z., & Yan, N. (2021). Production of H<sub>2</sub>S with a novel short-process for the removal of heavy metals in acidic effluents from smelting flue-gas scrubbing systems. *Environmental Science and Technology*, 55(6), 3988–3995. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c07884>

- Susanto, B. H., Prakasa, M. B., & Shahab, M. H. (2017). *32-115-1-Pb*. 2(1), 43–47. <https://doi.org/10.23960/eISSN>
- Syahfitri, W. Y. N., Kurniawati, S., Adventini, N., & Lestiani, D. D. (2013). Evaluasi Penerapan Energi Dispersive X-Ray. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Nuklir*, 272–277.
- Tandon, P. K. (2015). *Catalysis : A Brief Review on Nano-Catalyst. August 2014*.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.10.023>
- Tengker, S. M. T., & Kumajas, J. (2019). Karakterisasi material mesopori Ni/MCM-41 dan pengaruh penambahan logam nikel terhadap tingkat keasaman material. *Fullerene Journal of Chemistry*, 4(2), 61. <https://doi.org/10.37033/fjc.v4i2.83>
- Thommes, M., Kaneko, K., Neimark, A. V., Olivier, J. P., Rodriguez-Reinoso, F., Rouquerol, J., & Sing, K. S. W. (2015). Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 87(9–10), 1051–1069. <https://doi.org/10.1515/pac-2014-1117>
- Utubira, Y., Onaola, B. M., & Manuhutu, J. B. (2020). PILARISASI LEMPUNG ALAM DESA OUW DENGAN Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA METIL ORANGE. *Molucca Journal of Chemistry Education (MJoCE)*, 10(1), 63–71. <https://doi.org/10.30598/mjocevol10iss1pp63-71>
- Verma, P., & Sharma, M. P. (2015). *Performance and Emission Characteristics of Biodiesel Fuelled Diesel Engines*. 5(1).
- Widi, R. K. (2018). *Pemanfaatan Material Anorganik: Pengenalan dan Beberapa Inovasi di bidang Penelitian*.
- Yang, T., Jie, Y., Li, B., Kai, X., Yan, Z., & Li, R. (2016). Catalytic hydrodeoxygenation of crude bio-oil over an unsupported bimetallic dispersed catalyst in supercritical ethanol. *Fuel Processing Technology*, 148, 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2016.01.004>
- Yao, L., Galvez, M. E., Hu, C., & Da Costa, P. (2017). Mo-promoted Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst for dry reforming of methane. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(37), 23500–23507. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.03.208>
- Zhang, L., Liu, R., Yin, R., & Mei, Y. (2013). Upgrading of bio-oil from biomass fast pyrolysis in China: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 66–72. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.027>
- Zheng, X., Zhao, J., Liu, Q., Xu, M., Yang, S., Zeng, M., Qi, C., Cao, X., & Wang, B. (2020). Chitosan modified Ti-PILC supported PdOx catalysts for coupling

reactions of aryl halides with terminal alkynes. *International Journal of Biological Macromolecules*, 158, 67–74.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.203>

Zwain, H. M., Vakili, M., & Dahlan, I. (2014). Waste material adsorbents for zinc removal from wastewater: A comprehensive review. *International Journal of Chemical Engineering*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/347912>