

**KONVERSI MINYAK KELAPA SAWIT MENJADI *BIOFUEL*
MELALUI PROSES *CONTINUE HYDROCRACKING* DENGAN
KATALIS NIKEL OKSIDA-KADMIUM OKSIDA/KARBON
AKTIF**

*CONVERSION OF PALM OIL INTO BIOFUEL VIA CONTINUE
HYDROCRACKING PROCESS USING NICKEL OXIDE-CADMIUM
OXIDE/ACTIVATED CARBON CATALYST*

TESIS



**RINA MAULINA
NIM: 19923009**

**PROGRAM STUDI MAGISTER KIMIA
JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2022**

**KONVERSI MINYAK KELAPA SAWIT MENJADI *BIOFUEL* MELALUI
PROSES *CONTINUE HYDROCRACKING* DENGAN KATALIS NIKEL
OKSIDA-KADMIUM OKSIDA/KARBON AKTIF
*CONVERSION OF PALM OIL INTO BIOFUEL VIA CONTINUE
HYDROCRACKING PROCESS USING NICKEL OXIDE-CADMIUM
OXIDE/ACTIVATED CARBON CATALYST*
TESIS**

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Magister Sains (M.Si)
Program Studi Magister Kimia, Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta



Diajukan oleh:

**RINA MAULINA
NIM: 19923009**

**PROGRAM STUDI MAGISTER KIMIA
JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2022**

SURAT PERNYATAAN

Nama : Rina Maulina
Tempat dan tanggal lahir : G. Tabur, 17 Agustus 1995
Nomor Induk Mahasiswa : 19923009
Konsentrasi : Material untuk Energi & Lingkungan
Judul Tesis : KONVERSI MINYAK KELAPA SAWIT
MENJADI BIOFUEL MELALUI PROSES
HYDROCRACKING CONTINUE DENGAN
KATALIS NIKEL OKSIDA-KADMIUM
OKSIDA/KARBON AKTIF

Menyatakan bahwa tesis ini secara keseluruhan adalah hasil penelitian saya sendiri, kecuali pada bagian-bagian yang dirujuk sumbernya. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa tesis ini adalah hasil plagiasi, maka saya siap untuk dicabut gelas magister yang dianugerahkan dan mendapatkan sanksi sesuai ketentuan yang berlaku

Yogyakarta, 31 Maret 2022



A 10000 Indonesian postage stamp with a Garuda emblem and a signature over it. The stamp includes the text '10000', 'METERA TEMPORER', and the number 'A95BFAJXPT5828721'.

Rina Maulina

HALAMAN PENGESAHAN TESIS

KONVERSI MINYAK KELAPA SAWIT MENJADI BIOFUEL MELALUI
PROSES HYDROCRACKING CONTINUE DENGAN KATALIS NIKEL
OKSIDA-KADMIUM OKSIDA/KARBON AKTIF
TESIS

Diajukan oleh:

RINA MAULINA

No. Mahasiswa: 19923009

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Penguji Tesis
Program Studi Magister Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Islam Indonesia

Tanggal: 31 Maret 2022

Telah disetujui oleh:

Dewan penguji

Tanda tangan

1. Drs. Allwar, M.Sc., Ph.D.

2. Prof. Dr. Is Fatimah, S.Si, M.Si.

3. Dr. Maisari Utami, S.Si.

Mengetahui

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Indonesia



Prof. Riyanto S.Pd., M.Si., Ph.D.

KONVERSI MINYAK KELAPA SAWIT MENJADI *BIOFUEL* MELALUI PROSES *CONTINUE HYDROCRACKING* DENGAN KATALIS NIKEL OKSIDA-KADMIUM OKSIDA/KARBON AKTIF

INTISARI

Rina Maulina

No. Mahasiswa: 19923009

Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan mengkarakterisasi nikel (II) nitrat heksahidrat (Ni) dan kadmium asetat dihidrat (Cd) yang diimbangkan dengan karbon aktif (KA) dari cangkang kelapa sawit sebagai katalis heterogen untuk *continue hydrocracking* pada minyak mentah sawit. Pembuatan NiO-CdO menggunakan metode kopresipitasi dengan NaOH dan pengembannya pada karbon aktif menggunakan metode kalsinasi. Katalis bimetal adalah suatu campuran berupa paduan logam dari dua logam aktif dimana kedua komponen berada dalam jumlah yang relatif besar. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan indeks miller (hkl) (111), (210), (211), (22-1) dan (220). Hasil analisis dari FTIR KBr teridentifikasi diantaranya adanya gugus fungsi O-H (hidroksil), C=C, C-O, C-H kemudian bilangan gelombang 887 cm^{-1} dan 432 cm^{-1} diduga merupakan ikatan logam Ni dan Cd. Karakterisasi dengan SEM-EDX menunjukkan bahwa Ni dan Cd terembani pada permukaan karbon aktif. Luas permukaan pada katalis Ni-Cd/KA diperoleh sebesar $25.6261\text{ m}^2/\text{g}$ dan luas permukaan karbon aktif $1.3008\text{ m}^2/\text{g}$. Hasil analisis produk menggunakan GC-MS diperoleh 3 fraksi yaitu *gasoline*, *kerosene* dan *diesel*. Hasil dalam penelitian ini menunjukkan katalis NiO-CdO/KA memiliki kemampuan yang baik dalam mengkonversi minyak mentah sawit menjadi *biofuel*.

Kata Kunci: *Biofuel*, Cangkang kelapa sawit, *Hydrocracking*, minyak mentah sawit, Ni-Cd/KA.

**CONVERSION OF PALM OIL INTO BIOFUEL VIA CONTINUE
HYDROCRACKING PROCESS USING NICKEL OXIDE-CADMIUM
OXIDE/ACTIVATED CARBON CATALYST**

ABSTRACT

Rina Maulina

This study aims to synthesize and characterize nickel (II) nitrate hexahydrate (Ni) and cadmium acetate dihydrate (Cd) treated with activated carbon (KA) from palm oil shells as heterogeneous catalysts for continue hydrocracking in crude palm oil. The manufacture of NiO-CdO uses the method of co-conspiration with NaOH and its development on activated carbon using the calcination method. A bimetallic catalyst is a mixture of metal alloys of two active metals in which both components are in relatively large quantities. XRD characterization results show miller indices (hkl) (111), (210), (211), (22-1) and (220). The results of the analysis of FTIR KBr identified include the existence of O-H (hydroxyl), C=C, C-O, C-H function groups then wave numbers 887 cm^{-1} and 432 cm^{-1} are thought to be ni and Cd metal bonds. Characterization by SEM-EDX showed that Ni and Cd were embedded on the activated carbon surface. The surface area on the Ni-Cd/AC catalyst was obtained at $25.6261\text{ m}^2/\text{g}$ and the surface area of activated carbon was $1.3008\text{ m}^2/\text{g}$. The results of product analysis using GC-MS were obtained by 3 fractions, namely gasoline, kerosene and diesel. The results of this study showed that NiO-CdO/AC catalysts can convert crude palm oil into biofuels.

Keywords: Biofuel, Oil palm shell, Hydrocracking, crude palm oil, NiO-CdO/AC.

KATA PENGANTAR



Segala puji dan syukur kepada Allah SWT, atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir tesis dengan Judul “KONVERSI MINYAK KELAPA SAWIT MENJADI *BIOFUEL* MELALUI PROSES *CONTINUE HYDROCRACKING* DENGAN KATALIS NIKEL OKSIDA-KADMIUM OKSIDA/KARBON AKTIF”, sebagai persyaratan untuk mendapatkan gelar Magister Sains pada Program Studi Ilmu Kimia Konsentrasi Material untuk Energi dan Lingkungan.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir Tesis ini tidak lepas dari bantuan banyak pihak, oleh sebab itu saya ucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Allah SWT serta Nabi Muhammad SAW dan para pengikutnya yang telah memberikan kemudahan dalam penyusunan laporan penelitian tesis.
2. Prof. Riyanto, S.Pd., M.Si., Ph.D. selaku Dekan FMIPA Universitas Islam Indonesia.
3. Drs. Allwar, M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia.
4. Keluargaku: Ayah, Ibu dan keluarga atas kasih sayang, doa dan segala dukungan yang tidak ternilai harganya, baik secara moril maupun materil.
5. Semua pihak yang telah membantu sehingga Tesis ini dapat terselesaikan dengan lancar.

Penulis menyadari bahwa penulisan Tesis ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak sangat diharapkan. Semoga tulisan ini bermanfaat bagi kita semua.

Yogyakarta, 2022
Penulis

Rina Maulina
NIM. 19923009

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN TESIS	Error! Bookmark not defined.
INTISARI	ii
ABSTRACT.....	iii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
I.1.Latar Belakang.....	1
I.2.Rumusan Masalah.....	4
I.3.Tujuan Penelitian.....	4
I.4. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II.....	6
II.1 Kajian Penelitian Terdahulu.....	6
II.1.1 Katalis Bimetal.....	6
II.1.2 Katalis Dengan Metode <i>Hydrocracking</i>	7
II.1.3 Karbon Aktif dari Cangkang Kelapa Sawit.....	13
II. 2 Landasan Teori.....	15
II.2.1 Minyak Bumi.....	15
II.2.2 Bahan Bakar Cair	16
II.2.3 kelapa sawit.....	17
II.2.4 Minyak kelapa sawit.....	18
II.2.5 Cangkang Kelapa Sawit	20
II.2.6 Karbon Aktif	22
II. 2.7 Metode impregnasi.....	23
II.2.8 Katalis.....	24
II.2.9 Karakterisasi katalis	26
II.2.10 Kinerja katalis.....	27
II. 2.11 Metode Pengembanan Logam	27

II.2.12 Nikel	28
II.2.13 Kadmium	31
II.2.14. Metode Kopresipitasi	33
II.3 Perengkahan (<i>Cracking</i>).....	34
II.3.1 Perengkahan termal	35
II.3.2 Perengkahan katalitik	36
II.3.3 Perengkahan Hidro (<i>Hydrocracking</i>)	37
II.3.4. Hidrotermal	39
II.4 XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	40
II.5 FTIR (<i>Fourier Transform Infra-Red</i>).....	43
II.6 SEM (<i>Scanning Electron Microscope</i>) dan <i>Mapping</i>	44
II.7 GSA (<i>Gas sorption analyzer</i>).....	46
II 8. GC-MS (<i>Gas Chromatoraphy Mass Spectroscopy</i>).....	48
II.9 HIPOTESIS	49
BAB III	50
METODE PENELITIAN.....	50
III.1. Bahan	50
III.2. Instrumentasi	50
III.3. Prosedur kerja	Error! Bookmark not defined.
III.3.1 Pembuatan karbon aktif	Error! Bookmark not defined.
III.3.2 Pembuatan logam bimetal NiO-CdO	Error! Bookmark not defined.
III.3.3 Pembuatan Komposit karbon aktif /Ni-Cd.....	Error! Bookmark not defined.
III.4 karakterisasi	50
III.5 <i>Hydrocracking</i> minyak sawit menjadi <i>biofuel</i>	Error! Bookmark not defined.
BAB IV	Error! Bookmark not defined.
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	Error! Bookmark not defined.
IV.1 Karakterisasi dengan XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	Error! Bookmark not defined.
IV.2 Karakterisasi dengan FTIR (<i>Fourier Transform Infra-Red</i>) ..	Error! Bookmark not defined.
IV.3 Karakterisasi SEM-EDX (<i>Scanning Electron Microscopy</i>) dan <i>Mapping</i>	Error! Bookmark not defined.
IV.4 Karakterisasi GSA (<i>Gas sorption analyzer</i>).....	Error! Bookmark not defined.

IV.5 Karakterisasi GC-MS (<i>Gas Chromatography – Mass Spectroscopy</i>) minyak mentah sawit	Error! Bookmark not defined.
BAB V	52
KESIMPULAN DAN SARAN.....	52
V.1 Kesimpulan	52
V.2 Saran.....	53
Daftar Pustaka.....	54
LAMPIRAN.....	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Klasifikasi buah sawit (Heryani & Nugroho, 2017).	18
Gambar 2. Cangkang kelapa sawit.....	21
Gambar 3. Konversi trigliserida menjadi hidrokarbon (Sankaranarayanan et al., 2011)..	38
Gambar 4. Konsep FAME konvensional (S., M. Oguma, and N. Chollacoop, 2010)	39
Gambar 5. Difraksi sinar -X oleh atom-atom pada bidang (Rahman, 2016)	41
Gambar 6. Diagram alat difraksi (Sumber: Weller,1994).....	41
Gambar 7. Skema kerja alat FTIR (Dachriyanus, 2004).....	43
Gambar 8. <i>Scanning Electron Microscope</i> (Sujatno et al., 2017).....	45
Gambar 9. Reaktor <i>hydrocracking</i> dan <i>thermal</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 10. Difraktogram NiO-CdO/KA dan KA.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 11. FTIR NiO-CdO/KA dan KA.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 12. SEM-EDX pada sampel karbon aktif.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 13. SEM-EDX mapping sampel NiO-CdO	Error! Bookmark not defined.
Gambar 14. SEM-EDX mapping NiO-CdO/KA	Error! Bookmark not defined.
Gambar 15. Ilustrasi proses <i>Hydrocracking continue</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 16. Produk thermal dan <i>hydrocracking continue</i> ..	Error! Bookmark not defined.
Gambar 17. Kromatogram GC minyak sawit tanpa katalis	Error! Bookmark not defined.
Gambar 18. kromatogram GC minyak mentah sawit katalis Fraksi 150 °C fraksi minyak 320 °C.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 19. kromatogram GC minyak mentah sawit katalis Fraksi 250 °C fraksi minyak 400 °C.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 20. kromatogram GC minyak mentah sawit katalis Fraksi 350 °C fraksi minyak 500 °C.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 21. Grafik perbandingan hasil termal dan <i>hydrocracking</i> ..	Error! Bookmark not defined.
Gambar 22. Grafik perbandingan hasil tanpa katalis dan dengan katalis	Error! Bookmark not defined.
Gambar 23. Grafik hasil <i>biofuel</i> yang dihasilkan.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 24. Prediksi mekanisme reaksi <i>hydrocracking</i>	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Katalis untuk proses <i>Hydrocracking</i>	12
Tabel 2. Komposisi asam lemak pada minyak sawit	20
Tabel 3. Serapan FTIR pada material	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. komposisi senyawa dengan <i>peak</i> tertinggi minyak mentah sawit tanpa katalis dan menggunakan katalis	Error! Bookmark not defined.
Tabel 5. komposisi senyawa <i>thermalcracking</i> minyak mentah sawit. Error! Bookmark not defined.	
Tabel 6. Komposisi senyawa menggunakan katalis dan perbedaan temperatur.	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	89
Lampiran 2	96

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Seiring penurunan produksi dalam kegiatan eksplorasi minyak bumi nasional mendorong adanya upaya pencarian bahan bakar alternatif sebagai pengganti minyak bumi. Salah satunya adalah konversi minyak mentah sawit menjadi bahan bakar. Pemanfaatan bahan bakar nabati akan mengurangi impor minyak mentah dan bahan bakar minyak (BBM). Bahan bakar alternatif dari minyak nabati yang dikenal *biofuel* bahkan beragam studi untuk membuat bahan bakar tersebut telah dilakukan di berbagai negara dan terus berlanjut sampai sekarang (Haryani *et al.*, 2020). Pentingnya penggunaan bahan bakar alternatif muncul karena sumber daya minyak yang terbatas, kenaikan harga minyak dan masalah lingkungan yang meningkat. Minyak sawit dan turunannya adalah satu dari biomassa yang menarik untuk produksi *biofuel* karena biayanya yang rendah dan hasil tertinggi per hektar dibandingkan dengan minyak nabati lainnya di Asia Tenggara (Srihanun *et al.*, 2020).

Pesatnya industri kelapa sawit juga menghasilkan limbah yang menumpuk serta pengelolaan dan pemanfaatan yang belum maksimal salah satunya adalah cangkang kelapa sawit. Cangkang kelapa sawit berpotensi sebagai karbon aktif. Karbon aktif dari cangkang kelapa sawit dipilih karena bahannya lebih mudah didapat dan juga upaya pengelolaan terhadap limbah cangkang kelapa sawit yang pemanfaatannya belum optimal. Cangkang kelapa sawit merupakan bagian yang paling keras pada komponen yang terdapat pada kelapa sawit (Aziz *et al.*, 2020). Salah satu cara untuk menjadikan cangkang kelapa sawit menjadi karbon aktif yaitu menggunakan aktivator dengan beberapa metode. Impregnasi adalah salah satu cara yang paling mudah dan murah untuk ion kalium (K⁺) pada larutan KOH untuk masuk atau diserap pori-pori pada permukaan karbon aktif (Taslim *et al.*, 2018). Untuk proses konversi dari minyak mentah sawit dibutuhkan pula katalis perekah yang merupakan katalis heterogen salah satunya jenis katalis untuk proses tersebut adalah *metal supported catalyst* yang terdiri dari logam yang diimbangkan

dengan pengemban padat agar reaktivitas dan selektivitas lebih besar dari pada katalis tunggal (Trisunaryanti *et al.*, 2005). Logam nikel banyak digunakan sebagai fotokatalis dalam fotodegradasi beberapa polutan air dan kelebihan menggunakan logam nikel cukup efektif memberikan kontribusi positif terhadap aktivitas katalis dan Nikel juga memiliki sifat keasaman yang tinggi sehingga dapat berperan sebagai katalis yang dibutuhkan untuk reaksi *cracking* (Latipah *et al.*, 2017). Penggunaan kadmium yang paling besar (75%) adalah dalam industri batu baterai (terutama baterai Ni-Cd). Selain itu, logam ini juga dapat digunakan campuran pigmen, *electroplating*, pembuatan *alloys* dengan titik lebur yang rendah, pengontrol pembelahan reaksi nuklir, dalam pigmen cat dengan membentuk beberapa garamnya seperti kadmium oksida (yang lebih dikenal sebagai kadmium merah), semikonduktor, stabilisator PVC, obat-obatan seperti sipilis dan malaria dan penambangan timah hitam dan bijih seng dan sebagainya. kombinasi yang layak antara Ni dan Cd akan menjadi komposit unggulan untuk meningkatkan aktivitas katalitik (Zeid *et al.*, 2019).

Logam-logam transisi sangat banyak digunakan untuk katalisis akan tetapi diperlukan biaya yang sangat tinggi. Sehingga cara yang mudah agar mendapatkan katalis yang memiliki luas permukaan komponen aktif dan mudah dalam pemakaiannya adalah dengan mendispersikan komponen aktif pada pengemban. Cara ini mampu menghasilkan efisiensi yang tinggi, luas permukaan spesifik logam maksimum, menaikkan stabilitas termal sehingga masa umur katalis menjadi lebih lama dan katalis mudah diregenerasi (Maarif, 2009). Katalis memiliki situs aktif didalamnya yang berfungsi untuk mempertemukan reaktan dan menyumbangkan energi dalam bentuk panas sehingga molekul pereaktan mampu melewati energi aktivasi lebih mudah, maka penggunaan katalis menjadi kebutuhan yang sangat penting dalam berbagai industri. Pemilihan katalis yang tepat dapat menyebabkan proses yang diinginkan memiliki hasil yang lebih optimal (Iestari, 2012).

Kekurangan dari katalis logam adalah dapat terjadi penggumpalan komponen aktif logam ketika proses katalitik berlangsung, akibatnya umur katalis menjadi lebih pendek. Masalah tersebut diatasi dengan mengembankan katalis

logam pada bahan pendukung seperti silika-alumina, alumina atau karbon aktif sehingga umur katalis bertambah (Rahmawati, 2012). Penyangga katalis harus mempunyai struktur yang dapat mendispersikan situs aktif sehingga dapat memperbanyak jumlahnya yang berada di permukaan katalis. Dengan semakin luas permukaan situs aktif aktivitas akan meningkat dan daya tahan keseluruhan juga meningkat dibandingkan dengan situs aktif tanpa penyangga (Rasidi *et al.*, 2015). Karbon aktif telah banyak digunakan sebagai katalis karena luas permukaan dan kapasitas adsorpsinya yang tinggi (Faria *et al.*, 2007). Berdasarkan penelitian oleh Yulianto, dkk (2013) dalam pembuatan karbon aktif menggunakan proses gabungan antara kimia dan fisika dengan perendaman dengan aktivasi dan pemanasan dengan injeksi nitrogen pada suhu tinggi (Anggraeni & Yuliana, 2015). Banyak penelitian saat ini yang melakukan analisis mengenai sintesis katalis bimetalik salah satunya adalah Efiyanti dkk, (2016) melakukan penelitian tentang NiO dan Ni-MoO/zeolit sebagai katalis dalam mengkonversi bensin. Bahan yang digunakan untuk perengkahan di penelitian ini dari cangkang biji jambu mete. Zeolit aktif yang diimpregnasi dengan logam nikel (Ni) dan molibdenum (Mo) menggunakan impregnasi basah. Logam nikel dan molibdenum dipilih karena memiliki orbital d yang kosong sehingga dapat berikatan dengan hidrogen dan memutus ikatan rangkap. Katalis Ni dan Mo yang diembankan dapat meningkatkan sifat keasaman, aktivitas dan selektivitas katalis pada produk (Efiyanti & Santi, 2016).

Pada penelitian ini telah dibuat katalis bimetal NiO-CdO yang diembankan dengan pada karbon aktif yang berasal dari cangkang kelapa sawit dengan menggabungkan menjadi komposit. Komposit ini akan menjadi katalis heterogen untuk mengkonversi minyak mentah sawit menjadi *biofuel*. Pemilihan logam nikel yakni karena logam nikel paling sering digunakan sebagai katalis pada proses hidrogenasi, daya adsorpsi yang kuat terhadap reaktan dan memiliki sifat keasaman yang tinggi sehingga dapat berperan sebagai katalis (sartika dkk,2014), sedangkan kadmium dipilih karena memiliki potensi aplikasi penting yang belum dimaksimalkan, biaya rendah, stabilitas kimia, anti korosif dan ketersediaan tersebar luas (Sivakumar *et al.*, 2015). logam NiO-CdO yang diembankan dengan

karbon aktif berfungsi sebagai katalis dalam mengkonversi minyak mentah sawit (*crude palm oil*) menjadi *biofuel* dengan berbagai fraksi (*gasoline, kerosene dan diesel*) dengan menggunakan proses *continue hydrocracking*. Karbon aktif yang akan digunakan adalah dari cangkang kelapa sawit karena bahan baku yang melimpah, belum maksimalnya pengolahan cangkang kelapa sawit menjadi bahan yang bernilai tinggi, kandungan karbon yang cukup besar dan karbon aktif memiliki permukaan yang berpori-pori sehingga mampu menjadi penyangga bagi logam. Dalam penelitian ini katalis *Nickel oxide-Cadmium oxide/Activated Carbon* atau NiO-CdO/KA yang akan dikarakterisasi dengan SEM-EDX mapping (*Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray Analysis*) (JEOL JED-2300), FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) (PerkinElmer Spectrum Version 10.5.1), XRD (*X-Ray Diffraction*), GSA (*Gas Sorption Analyzer*) dan produk bensin akan di karakterisasi dengan GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*) (Shimadzu QP2010 SE).

I.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana sintesis dan karakterisasi NiO-CdO/KA dari cangkang kelapa sawit?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan katalis NiO-CdO/KA dalam mengkonversi minyak mentah sawit dengan metode *continue hydrocracking* menjadi *gasoline, kerosene dan diesel*?
3. Bagaimana pengaruh temperatur pada proses *continue hydrocracking* dalam mengkonversi minyak mentah sawit?

I.3. Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui hasil sintesis dan karakterisasi NiO-CdO dan KA dari cangkang kelapa sawit.
2. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan katalis NiO-CdO/KA dalam mengkonversi minyak mentah sawit dengan metode *continue hydrocracking* menjadi *gasoline, kerosene dan diesel*.
3. Untuk mempelajari pengaruh temperatur pada proses *continue hydrocracking* dalam mengkonversi minyak mentah sawit.

I.4. Manfaat Penelitian

1. Sebagai sumber penelitian dan ilmu pengetahuan mengenai bahan baku alternatif sumber energi yang dapat diperbaharui seperti minyak mentah sawit. Untuk mengetahui pembuatan katalis dan karbon aktif dan digunakan sebagai kajian dalam penelitian lebih lanjut mengenai katalis berbasis *alloy* dan komposit.
2. Mencarikan alternatif bahan baku minyak bumi serta meningkatkan peran minyak mentah kelapa sawit menjadi bahan bakar dengan metode perengkahan.
3. Hasil karakterisasi katalis bimetalik dan karbon aktif dalam mengkonversi minyak mentah sawit menjadi *gasoline*, *kerosene* dan *diesel* sebagai bahan alternatif.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN PERUMUSAN HIPOTESIS

II.1 Kajian Penelitian Terdahulu

II.1.1 Katalis Bimetal

Katalis adalah suatu zat yang ditambahkan dalam sistem reaksi untuk mempercepat suatu reaksi. Katalis juga memiliki situs aktif yang berperan sebagai mempertemukan reaktan dan menyumbangkan energi dalam bentuk panas sehingga molekul pereaktan dapat melewati energi aktivasi dengan mudah. Karena fungsi yang sangat penting maka penggunaan katalis menjadi kebutuhan penting di bidang industri serta dengan menggunakan katalis cenderung lebih ekonomis (lestari, 2012).

Sintesis katalis dari nikel telah banyak dilakukan seperti pada penelitian optimalisasi komposisi katalis berbasis nikel dan kondisi reaksi untuk pencegahan deposisi karbon dalam reformasi toluena (Park *et al.*, 2019). Jenis logam yang biasanya digunakan secara luas dalam industri minyak bumi adalah Ni-Mo dan Ni-Pd. Logam bimetal yang diembankan masing-masing memiliki peran yakni katalis Ni sebagai katalis dan logam Mo dan Pd sebagai promotor. Adapun dalam penelitian ini logam Ni-Mo diembankan dengan zeolite alam yang diharapkan dapat menghasilkan katalis yang memiliki karakter yang baik (keasaman dan kristalinitas yang tepat) dan selektif untuk digunakan sebagai katalis pada proses hidrorengkah (*hydrocracking*) sampah plastik polipropilen menjadi fraksi bensin yang lebih bermanfaat (Trisunaryanti *et al.*, 2005).

Penelitian dengan katalis pada proses hidrorengkah minyak goreng bekas telah dilakukan menggunakan katalis dari logam dan bentonit. Pada penelitian ini didapatkan hasil dengan nilai keasaman Na/bentonit 0,78 mmol/gram, H/bentonit 1,13 mmol/gram dan Ni/bentonit 1,19 mmol/gram. Nilai keasaman katalis Ni/bentonit lebih tinggi dibandingkan bentonit sebelum diembankan logam, hal ini menunjukkan bahwa dengan adanya logam yang diembankan dengan bentonit akan menambah situs asam karena logam Ni mempunyai orbital *d* kosong yang

cukup reaktif dalam menerima pasangan elektron dari basa piridin yang teradsorpsi. Pada penelitian sebelumnya Efiyanti dkk, (2016) mengemukakan bahwa katalis Ni dan Mo yang diimbangkan dapat meningkatkan sifat keasaman, aktivitas dan selektivitas katalis pada produk yang dihasilkan. Katalis NiOMoO/zeolit alam aktif bekerja optimal dengan konversi produk cair sebesar 65-75% dengan selektivitas produk bensin sebesar 37-47% dan diesel sebesar 22-31% pada perengkahan minyak cangkang biji jambu mete (Efiyanti & Santi, 2016). Penelitian dari Siswodiharjo, (2006) menunjukkan bahwa katalis bimetal NiMo/Zeolit alam aktif memiliki efektivitas katalis yang lebih baik daripada katalis monometalnya Ni/Zeolit dan Mo/Zeolit pada reaksi hidrokrek terhadap *parafin*. Penelitian tentang modifikasi katalis dengan pengemban telah banyak dilakukan guna meningkatkan aktivitas katalis telah dipelajari tentang bagaimana modifikasi katalis dengan metode impregnasi logam Nikel (Ni) ke dalam zeolit jenis modernit sebagai pengemban dan diperoleh kesimpulan persentase Ni terbesar yang diserap ke dalam zeolit terjadi pada zeolit-Ni 0,2 M (Tadeus *et al.*, 2013).

Berdasarkan kenyataan bahwa katalis campuran logam dapat menunjukkan reaktivitas dan selektivitas yang lebih besar daripada apabila logam tersebut digunakan secara sendiri-sendiri. Menurut Nurhayati, (2014) Pada penelitiannya yang mensintesis katalis bimetal Ni-Cr/Zeolit dapat dilakukan dengan metode impregnasi terpisah. Aktivasi yang dilakukan ini dengan larutan HCl 3M. Dengan metode pengembanan logam Ni dan Cr yang dapat meningkatkan luas permukaan katalis. Hasil dengan menggunakan metode ini didapat luas permukaan katalis sebesar 42,03337 m²/gram (Nurhayati & Wigiani, 2014).

II.1.2 Katalis Dengan Metode *Hydrocracking*

Pada penelitian terdahulu Hasanudin *et.al*, (2020) telah melakukan analisis dengan Model Kinetik *Hydrocracking* minyak sawit mentah menggunakan logam Ni/Mo ZrO₂-Katalis Bentonit. *Hydrocracking* minyak sawit mentah menggunakan katalis bentonit berpenyangga, Ni/Mo-ZrO₂ membentuk 3 produk yaitu gas, minyak dan kokas. Produk minyak dari *Crude Palm Hydrocracking* minyak

dianalisis dengan menggunakan kromatografi gas untuk menentukan komposisinya. Tiga jenis fraksi dikelompokkan yaitu bensin, minyak tanah dan minyak diesel. Dalam fokus penelitian adalah kinetika *hydrocracking* dengan menggunakan model *lump* kinetik. Model kinetik diselesaikan dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB R2018b melibatkan efek aktivitas katalis pada laju reaksi. Untuk menghasilkan produk bahan bakar dari minyak mentah sawit dibutuhkan katalis untuk mempercepat laju reaksi (Hasanudin *et al.*, 2020).

Sintesis paladium monometalik (Pd) dan bimetalik *Palladium-iron* (Fe) yang dilakukan untuk produksi *biofuel* dari minyak sawit. Penelitian ini menggunakan penyangga aluminium oksida (Al_2O_3) melalui metode impregnasi. Katalis monometalik (0,5% Pd/ Al_2O_3) dalam penelitian ini digunakan sebagai kontrol. Untuk katalis bimetal, rasio Pd terhadap Fe divariasikan 0,38% Pd-0,12% Fe (PF1), 0,25% Pd-0,25% Fe (PF2) dan 0,12% Pd-0,38% Fe (PF3). Katalis dikarakterisasi dilakukan dengan analisis *Brunauer-Emmett-Teller* (BET), *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *X-Ray DiFraction* (XRD). Karakterisasi ini untuk mengetahui luas permukaan, ukuran pori, porositas dan distribusi ukuran pori, morfologi permukaan katalis, menentukan struktur kristal dan termasuk: komposisinya berdasarkan luas permukaan. Selanjutnya semua katalis diterapkan untuk produksi *biofuel* antara lain *green diesel*, *kerosene* dan *gasoline* dari minyak sawit melalui reaksi *hydrocracking*. Hasil menunjukkan bahwa logam Fe yang diemban Pd/ Al_2O_3 dapat meningkatkan luas permukaan aktif, porositas dan pori diameter. Mempertimbangkan efisiensi katalitik untuk reaksi *hydrocracking biofuel* mentah tertinggi hasil (94,00%) diperoleh dengan adanya katalis PF3, sedangkan katalis Pd menunjukkan hasil pemurnian tertinggi *biofuel* sebesar (86,00%). Proporsi terbesar produksi *biofuel* adalah *greendiesel* sebesar (50,00–62,02%) diikuti oleh *green kerosene* (31,71-43,02%) dan *green gasoline* sebesar (6,10-8,11%) masing-masing (Srihanun *et al.*, 2020b).

Reaksi perengkahan dengan katalis dan gas hidrogen pada temperatur tertentu telah dilakukan salah satunya dengan menggunakan katalis. Katalis yang digunakan adalah logam kromium (Cr) yang diembankan pada zeolit kemudian

diaktifkan menjadi Cr/zeolit alam aktif (Cr/ZAA). Katalis (Cr/ZAA) adalah bifungsional katalis memiliki fungsi sebagai katalis asam yang mengkatalisis reaksi perengkahan serta sebagai fungsi dari logam yang mengkatalisis pembentukan olefin dan reaksi hidrogenasi. Rantai karbon lemak asam minyak mentah sawit akan mengalami proses *hydrocracking*. Proses ini bertujuan untuk memecah rantai karbon panjang menjadi rantai karbon yang lebih pendek dan bercabang (Said *et al.*, 2014). Adapun Penelitian katalis menggunakan logam Ni-Fe/HZSM-5 pada proses *hydrocracking* minyak kelapa menunjukkan hasil analisis GC-MS bahwa reaksi *hydrocracking* pada katalis 10% (Ni-Fe)/HZSM-5 dengan temperatur 375 °C diperoleh kandungan hidrokarbon tertinggi (mengandung n-parafin 49,4%, isoparafin 26,93%, 3,58%). Olefin dan rendemen bio-gasoline tertinggi 38,6%. Pentadecane (n-C₁₅) dan heptadecane (n-C₁₇) merupakan senyawa hidrokarbon yang paling melimpah dalam hidrokarbon cair *biofuel*. Dekarboksilasi atau dekarbonilasi adalah jalur reaksi yang dominan dalam proses ini. Berdasarkan hasil tersebut temperatur dalam reaksi ini berpengaruh nyata terhadap distribusi komposisi *biofuel* dan rendemen *biofuel* dari minyak kelapa (Al-Muttaqii *et al.*, 2019).

Perbandingan efisiensi katalitik antara katalis Pt/Al₂O₃ dan Pd/ Al₂O₃ untuk produksi *biofuel* dari minyak sawit melalui reaksi *hydrocracking*. Ada banyak katalis yang digunakan pada reaksi *hydrocracking* seperti nikel (Ni), niobium fosfat (NbOPO₄), zeolit, rhodium (Rh), platinum (Pt) dan paladium (Pd). Hasil penelitian menunjukkan bahwa *yield biofuel* tertinggi (90%) diperoleh dengan menggunakan katalis Pt/Al₂O₃ sedangkan Pd/Al₂O₃ memberikan hasil *biofuel* yang lebih rendah yaitu 80%. Demikian pula Pd/C menunjukkan efisiensi yang tinggi untuk deoksigenasi minyak kedelai dengan kandungan hidrokarbon total dari 99%. *Hidroprosesing* distilat asam lemak sawit menggunakan katalis Pd/C juga dilaporkan oleh Kiatkittipong dkk. Hasil solar tertinggi 81% diperoleh dalam 1 jam. Meskipun katalis Pd menunjukkan efisiensi katalitik yang tinggi untuk produksi *biofuel* dari trigliserida (TG), biayanya yang tinggi adalah keterbatasan. Akibatnya, penambahan logam aktif berbiaya rendah ke katalis Pd monometalik untuk bimetalik sintesis katalis merupakan pendekatan alternatif

untuk mengatasi masalah ini (Kiatkittipong *et al.*, 2013). Namun, untuk meningkatkan promosi aktivitas katalitik maka logam sekunder dapat ditambahkan untuk bekerja sama dengan logam aktif yang mampu meningkatkan stabilitas katalis yang dihasilkan (Srihanun *et al.*, 2020a).

Perengkahan berkatalis ini dilakukan dengan menggunakan katalis pada kondisi temperatur tertentu. Katalis yang digunakan dalam proses perengkahan pada umumnya adalah katalis logam yang dimodifikasi dengan suatu bahan pengemban. Memodifikasi suatu katalis dalam sistem pengemban-logam telah banyak dilakukan guna meningkatkan aktivitas katalis. Septiansyah, (2011) telah melakukan modifikasi katalis dengan metode impregnasi terhadap logam Nikel (Ni) ke dalam zeolit jenis mordenit sebagai pengemban dan diperoleh kesimpulan bahwa persentase Ni terbesar yang terserap ke dalam zeolit terjadi pada zeolit-Ni 0,2 M Penggunaan katalis dalam waktu tertentu akan menyebabkan penurunan aktivitas. Penurunan aktivitas katalis terjadi karena katalis mengalami deaktivasi. Deaktivasi ini diakibatkan oleh pengotor (*fouling*), yaitu pembentukan karbon atau kokas dalam proses perengkahan (Tadeus *et al.*, 2013). Kokas/residu karbon mendeaktivasi katalis dengan mem-*block* pori-pori katalis. Kokas yang terbentuk dapat dihilangkan dengan pembakaran pada 600 °C (Chen and Manos, 2004).

Hasil penelitian terdahulu menyatakan bahwa deposit kokas pada permukaan katalis CoO-MoO/ZnO-zeolit alam aktif mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya waktu penggunaan sehingga menyebabkan menurunnya aktivitas katalis. Salah satu faktor penyebab terbentuknya kokas yaitu keasaman total katalis. keasaman total katalis merupakan gabungan dari asam *Bronsted* dan asam *Lewis*. Semakin tinggi keasaman katalis maka pembentukan kokas semakin cepat (Tadeus *et al.*, 2013).

Hydrotreating minyak sawit menjadi *green diesel* telah dilakukan dan menunjukkan bahwa perlakuan dengan tekanan rendah dapat menurunkan produksi n-C₁₆ dan n-C₁₈ dan menghasilkan sejumlah ikatan rantai n-C₁₅ dan n-C₁₇. Temperatur tinggi dapat meningkatkan produksi n-C₁₆ dan n-C₁₈. Kondisi optimal pada proses ini dengan menggunakan tekanan antara 30 bar dan 60 bar, temperatur dari 300 °C-400 °C dan rasio molar H²: minyak (20:1). Diperoleh

kemurnian diesel 97% dan produk terdiri dari 52,9% n-C₁₈, 44,2% n-C₁₆, 1% H₂O, 1% n-C₁₇ dan 0,7% n-C₁₅ (Plazas-González *et al.*, 2018). Sintesis *green diesel* melalui reaksi *hydrocracking* minyak sawit (*PO*), minyak bunga matahari (*SFO*), minyak kedelai (*SO*), dan minyak dedak padi (*RBO*) telah dilakukan dengan tekanan yang konstan 5MPa dan temperatur 450°C dalam reaktor dan H² menggunakan katalis Pd/TiO₂-Al₂O₃. Hasilnya menunjukkan bahwa minyak dedak padi memberikan hasil produk cair tertinggi yaitu 94%, sedangkan minyak sawit memberikan selektivitas *diesel* tertinggi sebesar 82% hal ini dikarenakan tingginya kandungan asam lemak jenuh (C16:0) dan tak jenuh tunggal (C18:1) (Attaphaiboon *et al.*, 2021).

Hydrocracking dieksplorasi sebagai pendekatan alternatif untuk produksi *biofuel* karena dapat mengubah minyak nabati menjadi hidrokarbon (terutama C₁₅-C₁₈) menggunakan katalis heterogen bifungsional seperti NiMo/Al₂O₃ atau NiW/Al₂O₃. Dibandingkan dengan metode transesterifikasi untuk menghasilkan FAME. Katalis konvensional yang biasanya digunakan dalam *hydrocracking* adalah alumina yang didukung bentuk sulfida NiMo atau CoMo. Namun penggunaan katalis tersebut memerlukan penambahan senyawa yang mengandung sulfur, misalnya H₂S atau dimetil disulfida untuk mempertahankan katalis dalam bentuk aktif (C. Liu *et al.*, 2013).

Dapat dilihat dari Tabel 1 yang merupakan katalis umum pada minyak nabati dengan proses *hydrocracking* sebagai berikut:

Tabel 1. Katalis untuk proses *Hydrocracking*

Jenis	Produk Utama	Katalis	Suhu	Referensi
Minyak Sayur	n-C ₁₂ , n-C ₁₈ Alkana	NiMo/Al ₂ O ₃ bersulfida	400	(Veriansyah <i>et al.</i> , 2012)
	C ₅ -C ₉	NiMo, NiW, dan Pt/ SBA 15	340	(Barrón C. <i>et al.</i> , 2011)
Minyak Jarak	C ₈ -C ₁₅	Ni/USY– APTES– MCM-41 (APTES	300	(S. Liu <i>et al.</i> , 2015)
Minyak Kelapa Sawit	C ₁₅ -C ₁₇	10 wt.% Ni ₂ P/SiO ₂	380- 400	(Jeong <i>et al.</i> , 2020)
Minyak Biji Rami	C ₁₇ -C ₁₈ Alkana	sulfided NiMo/Al ₂ O ₃	260- 340	(Šimáček <i>et al.</i> , 2009)
Minyak Jarak Pagar	C ₁₅ -C ₁₈ Alkana	non-sulfided NiMoCe/Al ₂ O ₃	370	(J. Liu <i>et al.</i> , 2012)
Minyak Bunga Matahari- Minyak Gas	C ₁₅ -C ₁₈ Alkana	NiO (3%)– MoO ₃ (12%) –γ-Al ₂ O ₃ with various amounts of β zeolite	330	(Sankaranarayanan <i>et al.</i> , 2011)
Minyak Bunga Matahari	Paraffin tinggi	CoMo/Al ₂ O ₃	380	(Krár <i>et al.</i> , 2010)
Minyak Kedelai	Bensin	Zeolite (ZSM-5) supported PtNiMo sulfides	420	(Ishihara <i>et al.</i> , 2017)
Metil Palmitat	Bahan bakar jet	HPW- Ni/MCM-41	390	(Zhang <i>et al.</i> , 2020)

Penggunaan katalis logam yang diimbangkan dengan material berpori atau menggunakan logam lainnya dapat meningkatkan kinerja katalis dibandingkan menggunakan katalis tunggal dan menghindari penggumpalan material katalis.

II.1.3 Karbon Aktif dari Cangkang Kelapa Sawit

Penelitian Hartanto, (2010) telah melakukan percobaan dengan membuat karbon aktif dari tempurung kelapa sawit dengan metode aktivasi kimia, maka dari percobaan tersebut didapatkan hasil yang menyatakan bahwa proses karbonisasi dilakukan pada temperatur 300 °C, 450 °C dan 500 °C dengan waktu 1 jam, 1,5 jam, 2,0 jam, 2,5 jam dan 3 jam. Sedangkan proses aktivasi dilakukan dengan menggunakan aktivator NaOH, NaCl dan HCl dengan konsentrasi 2% dan aktivasi selama 1 jam, 2 jam dan 4 jam pada temperatur 500 °C. Proses karbonisasi menunjukkan hasil terbaik pada temperatur 500 °C dan waktu 3 jam dengan kadar air 18%, rendemen 23%, zat yang mudah menguap 3% dan kadar karbon terikat 61%. Aktivasi dengan NaOH selama 4 jam menunjukkan hasil terbaik dengan kadar air arang aktif 3,6% dan daya serap I₂ 851,8797 mg/g dan hasil ini sesuai dengan SNI No. 06-3730-1995. Hasil *Scanning Electron Microscope* (SEM) juga menunjukkan bahwa sebelum aktivasi dan setelah aktivasi perbedaan dikarenakan pori yang terbentuk masih tertutup oleh pengotor-pengotor pori sedangkan setelah aktivasi pori lebih terbuka sehingga luas permukaan adsorpsi menjadi lebih besar (Hartanto, 2010). Adapun pembuatan arang aktif dari cangkang kelapa sawit dengan aktivasi secara fisika, kimia, dan fisika-kimia yang telah dilakukan. Hasil dari penelitian menyatakan bahwa pada aktivasi secara fisika dilakukan dengan pemanasan pada temperatur tinggi menggunakan *furnace* yaitu dengan temperatur 750 °C selama 3 jam. Aktivasi secara kimia yaitu menggunakan ZnCl₂ sebagai agen aktivator dan direndam selama 24 jam. Aktivasi secara fisika-kimia merupakan penggabungan dari aktivasi fisika dan aktivasi kimia. Berdasarkan hasil penelitian arang aktif yang dibuat dari cangkang kelapa sawit dengan proses aktivasi secara fisika-kimia mempunyai daya jerap yang paling baik di antara arang aktif lain yang diaktivasi dengan proses fisika dan kimia. Pada waktu penjerapan selama 4 jam, arang aktif berdiameter 355 µm dengan aktivasi fisika-kimia mampu menjerap sebanyak 34,4% bagian dari larutan asam (Meisrilestari *et al.*, 2013).

Pada penelitian pembuatan karbon aktif dari pelepah aren dengan agen aktivator kimia dapat disimpulkan bahwa aktivator tersebut sangat mempengaruhi

sifat dari karbon aktif yang dihasilkan. Temperatur dan jenis aktivator memberikan pengaruh khusus terhadap kadar air dan bilangan iodine dari karbon aktif. Aktivator yang terbaik untuk pelepah aren adalah H_3PO_4 dengan konsentrasi 1M dan temperatur karbonisasi 500 °C selama 1 jam dengan nilai iodine 767,745 mg/gram dan kadar air sebesar 6% (Marina Olivia Esterlita & Netti Herlina, 2015). Adapun penelitian sebelumnya tentang limbah cangkang kelapa sawit dengan tahapan karbonisasi dan aktivasi. Pada proses karbonisasi menggunakan pirolisis dan pada proses karbonisasi temperatur 200 °C-400 °C selama 6 jam yang kemudian sampel diaktifkan pada temperatur yang bervariasi: 700 °C, 750 °C, 800 °C dan 850 °C. Hasil analisis menunjukkan ukuran pori terbesar terjadi pada suhu 850 °C dengan diameter 48,3 nm dan suhu terendah 700 °C dengan ukuran pori 35,9 nm. Pada analisis FTIR menunjukkan bilangan gelombang 2165,18 cm^{-1} , 1554 cm^{-1} , 1030,76 cm^{-1} dan 424,11 cm^{-1} (Syidiq *et al.*, 2019). Adapun manfaat lain dari karbon aktif yang terbuat dari cangkang kelapa sawit yaitu digunakan sebagai adsorben logam berat karna salah satu fungsi karbon adalah sebagai bahan penyerap yang baik. Pada penelitian tentang komposit Al_2O_3 /karbon aktif telah berhasil disintesis dengan metode hidrotermal dengan Studi perbandingan luas permukaan antara karbon aktif dan komposit Al_2O_3 /karbon aktif menunjukkan bahwa luas permukaan meningkat dari 63,6 menjadi 67,87 m^2/g (Allwar & Sari, 2018). Pemanfaatan cangkang kelapa sawit juga sebagai campuran pada bahan bakar diesel dengan menggunakan cara pirolisis untuk dapat menghasilkan minyak dari cangkang kelapa sawit. Hasil dari campuran bahan bakar cangkang kelapa sawit dan solar memiliki kinerja yang baik dan terbukti *diesel* menyala lebih lama dibanding menggunakan solar murni (A. S. Nugroho *et al.*, 2019).

Jamilatun, dkk (2014), telah melakukan penelitian pembuatan karbon aktif dari tempurung kelapa yang diaktivasi menggunakan agen KOH. Berdasarkan hasil penelitian disimpulkan bahwa untuk mengetahui pengaruh aktivasi maka dilakukan aktivasi satu kali (sesudah pirolisis) dan aktivasi dua kali (sebelum dan sesudah pirolisis) dengan aktivasi kimia KOH dengan variasi waktu perendaman. Tempurung kelapa dibakar pada drum pembakaran dengan temperatur 300-500 °C

selama 3-5 jam. Arang diaktivasi menggunakan CKAl_2 dan ZnCl_2 (kadar 25%) selama 12-24 jam untuk menjadi karbon aktif. Hasil penelitian didapatkan daya serap terhadap kadar iod sebesar 580,0 mg/g yang memenuhi standar SNI 06-3730 (Jamilatun *et al.*, 2015). Karbon aktif dari cangkang sawit yang di rendam dengan 20% H_3PO_4 dan di aktivasi pada temperatur 700 °C selama 3 jam dengan aliran N_2 . Karbon aktif yang dihasilkan dibilas hingga pH kemudian dikeringkan pada temperatur 105 °C selama 12 jam. Hasil dari perlakuan ini didapatkan luas permukaan BET sebesar 1411,16 m^2/g , volume pori 0,961 mm^3/g dan diameter pori BJH 3,1 nm (Abdullah *et al.*, 2020).

II. 2 Landasan Teori

II.2.1 Minyak Bumi

Proses Pembentukan Minyak dan gas dihasilkan dari pembusukan organisme kebanyakannya tumbuhan laut (terutama ganggang dan tumbuhan sejenis) dan hewan yang terkubur dalam lumpur yang berubah menjadi bebatuan selama berjuta-juta tahun lamanya. Proses pemanasan dan tekanan di lapisan-lapisan bumi membantu proses terjadinya minyak dan gas bumi. Migas atau dengan istilah ilmiah secara umum disebut petroleum merupakan kompleks yang terjadi secara alamiah didalam bumi yang terperangkap dalam batuan kerak bumi (Nandi, 2006). Minyak bumi memiliki dua kegunaan utama yaitu pertama sebagai bahan bakar. Pada pembakaran minyak mentah menyebabkan berbagai mKAam energi yang dihasilkan sebagai produk. Kedua penggunaan minyak bumi adalah sintesis senyawa organik. Sekitar pada tahun 1965 sekitar 80% kimia organik dunia telah disintesis dari minyak bumi dan terus meningkat menjadi 98% pada tahun 1980 dan 99% pada tahun 2000 (Eneh, 2011). Menurut pusklat Migas (1995) minyak bumi merupakan hasil proses alami yang terdiri dari hidrokarbon dalam tekanan dan temperatur atmosfer berupa fase cair atau padat termasuk aspal dan bitumen yang dihasilkan dari proses penambangan, akan tetapi batu bara atau endapan hidrokarbon diperoleh dari kegiatan yang tidak berkaitan dengan usaha minyak dan gas bumi (Prasetyo Jati, K dkk, 2017).

II.2.2 Bahan Bakar Cair

Bahan bakar cair adalah gabungan dari senyawa hidrokarbon yang diperoleh dari alam maupun secara buatan. Bahan bakar cair umumnya berasal dari minyak bumi. Minyak bumi merupakan campuran alami hidrokarbon cair dengan sedikit belerang, nitrogen, oksigen, sedikit sekali metal dan mineral. Beberapa kelebihan bahan bakar cair dibandingkan dengan bahan bakar padat antara lain:

- Kebersihan dari hasil pembakaran
- Menggunakan alat bakar yang lebih kompak
- Penanganannya lebih mudah

Salah satu kekurangan bahan bakar cair ini adalah harus menggunakan proses pemurnian yang cukup kompleks (Wiratmaja, 2010). Bensin adalah senyawa hidrokarbon yang terdiri dari hidrogen dan atom karbon. Bensin didapat dari hasil dan proses destilasi minyak bumi menjadi fraksi-fraksi yang diinginkan. kisaran titik didih senyawa ini antara 40 °C sampai 220 °C yang terdiri dari senyawa karbon C₅ sampai C₁₂. Bensin berasal berbagai jenis minyak mentah yang diolah melalui proses yang berbeda-beda baik secara destilasi langsung maupun hasil perengkahan, reformasi, alkilasi dan isomerisasi.

Banyak sumber energi alternatif terbarukan yang berasal dari sumber alam yang dapat diperbaharui seperti dari minyak kelapa sawit, minyak kedelai, minyak jarak, minyak bunga matahari dan minyak lainnya. Dengan mempertimbangkan sumber energi alternatif yang ketersediaan cukup dan mudah didapatkan, secara efisien dan memiliki komposisi kimia dan karakteristik yang baik maka dapat dipilih minyak nabati cocok untuk *biofuel* (Haryani *et al.*, 2020). Dimasa yang akan datang, kemungkinan bahan bakar cair yang berasal dari *oil shale*, *tar sands*, batu bara dan biomassa akan meningkat. Minyak bumi merupakan campuran alami hidrokarbon cair dengan sedikit logam dan mineral (Wiratmaja, 2010). Salah satu sumber energi yang adapat diperbaharui serta dapat diperoleh dan diolah dengan mudah adalah energi yang bersumber dari minyak tumbuh-tumbuhan dan lemak hewan yang biasa disebut juga *biofuel* (Pramesti, V. E dan Razin, 2017).

Biofuel dapat berbahan dasar dari beberapa hasil pertanian seperti ubi kayu, tebu, kelapa, kacang tanah, kelapa sawit dan jarak pagar dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan bioenergi/*biofuel*. Sampai saat ini dikenal tiga jenis bahan bakar nabati yaitu *bioethanol*, *biodiesel* dan *bio-oil*. *Biofuel* kemungkinan mampu memproduksi energi tanpa meningkatkan kadar karbon di atmosfer karena berbagai tanaman yang digunakan untuk memproduksi *biofuel* mengurangi kadar karbondioksida di atmosfer tidak seperti bahan bakar fosil yang mengembalikan karbon yang tersimpan dibawah permukaan tanah selama jutaan tahun ke udara. Dengan begitu *biofuel* lebih bersifat *carbon neutral* dan sedikit meningkatkan konsentrasi gas-gas rumah kaca di atmosfer (Coryana, 2020). *Biofuel* adalah campuran beroksigen tinggi dengan sejumlah besar makromolekul, yang hampir melibatkan semua jenis organik teroksigenasi seperti ester, eter, keton, fenol, asam organik, dan lain-lain (Chen, 2012).

II.2.3 kelapa sawit

Kelapa sawit atau yang mempunyai nama latin *Elaeis guineensis* telah menjadi spesies tanaman dan komoditas penting di dunia. Sebagai salah satu sumber bahan baku minyak nabati, kelapa sawit adalah jenis tanaman yang paling produktif dalam menghasilkan minyak nabati (A. Nugroho, 2019) . Klasifikasi ilmiah kelapa sawit sebagai berikut:

Kerajaan: Plantae

Divisi: Magnoliophyta

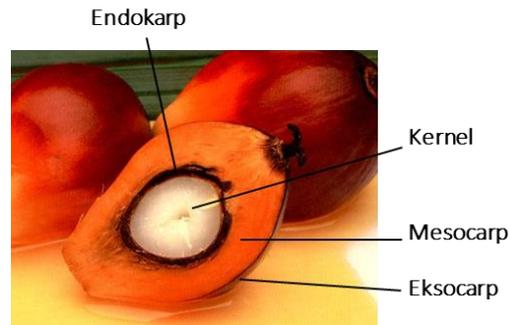
Kelas: Liliopsida

Ordo: Arecales

Famili: Arecaceae

Genus: *Elaeis*

Spesies: *Elaeis guineensis* Jacq.



Gambar 1. Klasifikasi buah sawit (Heryani & Nugroho, 2017).

Eksokarp merupakan bagian terluar dari buah sawit yang berupa kulit buah yang bertekstur licin dan berwarna merah jingga pada buah yang matang. Mesokarp adalah bagian penting dari buah sawit karena bagian inilah sebagian besar minyak (*crude palm oil*) tersimpan. Bagian ini adalah daging buah yang berserat dan berwarna kuning terang. Sementara itu, endokarp adalah bagian lebih dalam setelah mesokarp yang berupa cangkang atau tempurung yang melindungi bagian dalam yang berupa inti sawit atau kernel (endosperm). Pada kernel ini terdapat embrio sawit yang mana merupakan bagian yang menghasilkan minyak inti sawit (A. Nugroho, 2019).

II.2.4 Minyak kelapa sawit

Minyak kelapa sawit secara alami berwarna merah karena mengandung beta-karoten yang tinggi. Minyak sawit berbeda dengan minyak inti kelapa sawit yang dihasilkan dari inti buah yang sama. Minyak kelapa sawit juga berbeda dengan minyak kelapa yang dihasilkan dari inti buah kelapa (*Cocos nucifera*). Perbedaan ada pada warna (minyak inti sawit tidak memiliki karotenoid sehingga tidak berwarna merah) dan kadar lemak jenuhnya. Minyak sawit mengandung 41% lemak jenuh, minyak inti sawit 81%, dan minyak kelapa 86% (Harold McGee, 2004).

Minyak sawit kasar merupakan minyak kelapa sawit mentah yang diperoleh dari hasil ekstraksi atau dari proses pengempaan daging buah kelapa sawit dan belum mengalami pemurnian. Minyak sawit biasanya digunakan untuk kebutuhan seperti: sebagai bahan pangan, dibidang industri kosmetik, industri

kimia dan industri pakan ternak. Kebutuhan minyak sawit sebesar 90% yang digunakan untuk bahan pangan seperti minyak goreng, margarin, *shortening*, pengganti lemak kakao dan juga untuk kebutuhan industri roti, cokelat, es krim, biskuit dan makanan ringan. Kebutuhan 10% dari minyak sawit lainnya digunakan untuk industri oleokimia yang menghasilkan asam lemak, *fatty alcohol*, gliserol, dan metil ester serta surfaktan. Minyak kelapa sawit (CPO) merupakan hasil dari pengolahan buah kelapa sawit berupa minyak nabati yang dihasilkan dari buah kelapa sawit yang berwarna kuning dan minyak inti sawit PKO atau *palm kernel oil* yang tidak berwarna (jernih). Minyak kelapa sawit memiliki beragam keunggulan yang terletak pada penggunaannya. Komposisi dari minyak mentah sawit memiliki komponen lipid sekitar 95%-nya berupa molekul minyak/lemak (trigliserida) dan sisanya berupa asam lemak bebas. Komposisi lainnya yang totalnya tidak lebih 1% berupa air, fosfatida, karoten, aldehid dan komponen lainnya dalam jumlah yang kecil. Trigliserida merupakan sebuah molekul penyusun dari minyak atau lemak yang tersusun dari tiga asam lemak yang terikat pada molekul gliserol (A. Nugroho, 2019). Sifat-sifat dari minyak kelapa sawit pada umumnya dipengaruhi oleh temperatur. Berikut merupakan sifat fisik yang telah diketahui dari minyak kelapa sawit sebagai berikut:

1. Tidak larut dalam air karena adanya asam lemak berantai karbon panjang dan tidak ada gugus polar.
2. Warna minyak kelapa sawit berwarna kuning. Sedangkan sifat kimia dari minyak kelapa sawit antara lain:
 - a) Jika terjadi kontak dengan oksigen akan terjadi reaksi oksidasi yang akan menyebabkan minyak berbau.
 - b) Pada reaksi hidrolisa minyak tersebut akan diubah menjadi asam lemak dan gliserol dan hidrolisa terjadi karena adanya air atau kelembaban yang tinggi.
 - c) Penambahan sejumlah basa akan terjadi reaksi penyabunan. Jumlah asam lemak bebas dalam minyak tidak diinginkan karena akan mempengaruhi kualitas minyak (Haryani and Nugroho , 2017).

Tabel 2. Komposisi asam lemak pada minyak sawit

Asam lemak Nama	Presentasi terhadap asam lemak total	
	Kisaran	Rata-rata
Asam laurat	0,1-1,0	0,2
Asam miristat	0,9-1,5	1,1
Asam palmitat	41,8-45,8	44,0
Asam palmitoleat	0,1-0,3	0,1
Asam streat	4,2-5,1	4,5
Asam oleat	37,3-40,8	39,2
Asam linoleat	9,1-11,0	10,1
Asam linolenat	0,2-0,6	0,4
Asam arakidonat	0,2-0,7	0,4

Sumber: (Hariyadi, 2014).

Keunggulan dari minyak kelapa sawit dibandingkan minyak nabati lainnya diantara lain:

- Sebagai sumber energi yang baik.
- Multifungsi diantaranya menjadi minyak goreng, *shortening* dan margarin.
- Tingkat efisiensi yang tinggi sehingga mampu menempatkan CPO menjadi sumber minyak nabati termurah.
- Memiliki komposisi asam lemak yang seimbang dan mengandung asam lemak linoleat sebagai asam lemak esensial.
- Penggunaan minyak nabati lebih ramah lingkungan.

Salah satu pemanfaatan minyak sawit diantaranya sebagai bahan baku untuk industri pangan, industri, non pangan dan sebagai salah satu bahan penghasil biodiesel (Haryani and Nugroho,2017).

II.2.5 Cangkang Kelapa Sawit

komposisi utama cangkang kelapa sawit adalah hemiselulosa, selulosa dan lignin Semakin banyak kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin maka akan semakin baik karbon aktif yang dihasilkan. Pemilihan bahan baku cangkang kelapa sawit untuk menjadi karbon aktif adalah karena besarnya kandungan

karbon pada cangkang kelapa sawit, jika dibandingkan dengan tempurung kelapa biasa. Proses pirolisis dari cangkang kelapa sawit dapat menghasilkan lebih dari 400 senyawa aktif yang dapat digunakan sebagai bahan industri. Aktivator yang sering digunakan untuk bahan baku yang memiliki kandungan karbon yang tinggi adalah aktivator yang bersifat basa. Hal ini dikarenakan aktivator yang bersifat basa tersebut bereaksi dengan gugus fungsi yang mengandung karbon. Beberapa jenis agen aktivasi yang umum digunakan adalah H_3PO_4 , KOH , dan $ZnCl_2$. Penggunaan masing-masing agen aktivasi dalam sintesis karbon aktif memiliki mekanisme aktivasi yang berbeda, dengan karakteristik karbon aktif yang dihasilkan berbeda pula (Kristianto, 2017). Modifikasi karbon aktif salah satunya dengan impregnasi dengan larutan basa KOH yang berfungsi untuk menjenuhkan zat tertentu. Penjenuhan dilakukan dengan mengisi pori-pori penyangga dengan larutan logam aktif melalui adsorpsi logam, yaitu dengan merendam support dalam larutan yang mengandung logam aktif (Oko, Syarifuddin Irmawati, 2018).

Pada pengkajian lebih dalam cangkang kelapa sawit termasuk memiliki lignin dan selulosa yang berkadar karbon tinggi dan mempunyai berat jenis yang lebih tinggi dari pada kayu yang mencapai $1,4 \text{ gr/cm}^3$, dimana semakin besar berat jenis bahan baku maka daya serap arang aktif yang dihasilkan akan semakin besar, karakteristik ini memungkinkan bahan tersebut baik untuk dijadikan arang aktif (Yunica, 2017). Dapat dilihat Gambar 2 yang merupakan cangkang kelapa sawit.



Gambar 2. Cangkang kelapa sawit

Cangkang kelapa sawit merupakan salah satu limbah dari industri sawit yang cukup besar, yaitu mencapai 60% dari produksi minyak. Cangkang kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai arang aktif. Arang aktif dapat dibuat dengan melalui proses karbonisasi pada suhu 550 °C selama kurang lebih tiga jam. Karakteristik arang aktif yang dihasilkan melalui proses tersebut memenuhi SII, kecuali kadar abu. Tingkat keaktifan arang cukup tinggi, hal ini terlihat dari daya serap iodnya yang sebesar 28,9% (Kurniati, 2008).

II.2.6 Karbon Aktif

Karbon aktif memiliki bentuk dominannya yaitu *amorf* yang memiliki luas permukaan yang luar biasa besar dan volume pori. Karakteristik unik ini terkait dengan sifat daya serapnya yang dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi fase cair maupun fase gas. Karbon aktif adalah adsorben yang sangat serbaguna karena ukuran dan distribusi pori-pori di dalam matriks karbon dapat dikontrol untuk memenuhi kebutuhan pasar saat ini (Ris, 2014). Karbon aktif diharuskan memiliki luas permukaan spesifik dan distribusi ukuran pori yang dapat dikontrol. Karbon aktif dapat diproduksi melalui proses aktivasi fisik maupun kimia. Untuk aktivasi kimia adalah yang paling umum digunakan karena aktivasinya menggunakan temperatur yang lebih rendah dan sifat yang sangat baik dibandingkan sifat fisik (Noor *et al.*, 2008). Luas permukaan karbon aktif sekitar 300 sampai 2000 m²/gram dan fungsi dari pori-pori sebagai penyerap. Daya serap dari karbon aktif yaitu 25-1000% terhadap berat karbon aktif (Marina Olivia Esterlita & Netti Herlina, 2015).

Karbon aktif dapat dihasilkan dari bahan yang mengandung sumber karbon seperti selulosa, hemiselulosa, lignin dan pektin karbon aktif (Pujiono & Mulyati, 2017). Karbon aktif memiliki 3 jenis ukuran pori yaitu mikropori (<2nm), mesopore (2 nm-50 nm), dan makropori (>50 nm). Sifat-sifat istimewa dapat digunakan untuk mengemban logam-logam ke dalam pori dan permukaan sehingga menghasilkan katalis yang baik. Karbon aktif adalah suatu bahan hasil proses pirolisis arang yang biasa dilakukan pada temperatur 600-900 °C. Karbon aktif yang digunakan sebagai adsorben adalah arang yang telah diaktifkan baik

secara fisika maupun kimia yang memiliki diameter pori-pori yang sangat kecil untuk dapat menyerap gas. Daya serap ditentukan oleh luas permukaan partikel dan kemampuan ini bisa menjadi tinggi jika arang tersebut diaktivasi dengan aktivator bahan kimia ataupun dengan pemanasan pada temperatur tinggi (*Dewi et al.*, 2021).

Pembuatan karbon aktif terdiri dari beberapa tahapan yaitu dehidrasi, aktivasi dan karbonisasi. Dehidrasi adalah proses untuk menghilangkan kandungan air pada bahan baku yang dilakukan dengan pengeringan di bawah sinar matahari atau pemanasan dalam oven sampai diperoleh berat konstan. Aktivasi adalah proses untuk mengurangi tar yang dihasilkan. Tar merupakan senyawa hidrokarbon pengotor sisa dari hasil proses pembakaran suatu bahan mentah. Karbonisasi adalah proses pembakaran material organik pada bahan baku yang akan menyebabkan terjadinya dekomposisi material organik dan pengeluaran pengotor dimana sebagian besar unsur non-karbon akan hilang pada tahap ini (Rohmah, 2014). Beberapa jenis agen aktivasi yang umum digunakan adalah H_3PO_4 , KOH, HCl, $ZnCl_2$. Penggunaan masing-masing agen aktivasi dalam sintesis pada karbon aktif ini memiliki mekanisme yang berbeda dengan karakteristik karbon aktif yang dihasilkan berbeda pula (Kristianto, 2017). Dalam penelitian ini dilakukan inovasi pembaharuan minyak mentah sawit menjadi *biofuel* menggunakan katalis dari cangkang kelapa sawit yang diimpregnasi dengan KOH dan diimbangkan dengan logam.

II. 2.7 Metode impregnasi

Impregnasi adalah suatu proses penjenuhan total pada zat menggunakan zat tertentu. Metode impregnasi merupakan Teknik preparasi katalis yang paling sering digunakan karena biaya murah dan Teknik yang sederhana dari pada metode lainnya. Tujuan dari metode ini adalah untuk mengisi pori-pori menggunakan larutan garam logam dengan konsentrasi tertentu. Setelah katalis diimpregnasi Langkah selanjutnya adalah pengeringan dan pemanasan pada temperatur tinggi (kalsinasi) sehingga terjadi dekomposisi prekursor menjadi spesi aktif. Metode impregnasi terbagi menjadi dua yakni impregnasi basah (*wet impregnation*)

metode ini adalah Teknik yang termudah tetapi dapat menghasilkan deposisi prekursor fasa aktif yang sangat banyak pada bagian luar penyangga setelah dikeringkan dan dapat menghasilkan distribusi fasa aktif yang seperti kulit telur pada bagian luar penyangga karena pada impregnasi basah jumlah larutan prekursor fasa aktif ditambahkan ke penyangga melebihi volume pori penyangga. Sedangkan impregnasi kering (*incipient wetness impregnation*) jumlah larutan prekursor aktif yang ditambahkan sama dengan jumlah volume penyangga. Keuntungan dari impregnasi kering adalah metode ini akurat dalam mengontrol komponen aktif yang akan digabungkan dalam katalis, namun metode ini juga memiliki kelemahan yakni sulit melakukan pembuatan dengan persen berat komponen aktif yang besar (Pramesti, V. E dan Razin, 2017).

II.2.8 Katalis

Katalis merupakan suatu senyawa kimia yang mampu mempercepat reaksi untuk mencapai kesetimbangan tanpa mengalami perubahan kimiawi diakhir reaksi. Katalis umumnya memiliki sifat-sifat sebagai berikut: aktivitas, selektivitas, umur, regenerasi dan kekuatan mekanik. Secara umum katalis memiliki 2 fungsi yakni untuk mempercepat reaksi menuju kesetimbangan atau fungsi aktivitas dan meningkatkan hasil reaksi yang dikehendaki atau fungsi selektivitas (Pramesti, V. E dan Razin, 2017). Sifat-sifat katalis ini sangat berpengaruh terhadap sisi aktif yang berperan sebagai media reaksi antar prekursor (Permana *et al.*, 2020). Katalisator di definisi sebagai suatu substansi yang mengubah laju suatu reaksi kimia tanpa mengubah besarnya energi yang menyertai reaksi tersebut. Bell (1941) menjelaskan substansi yang dapat disebut sebagai katalisator suatu reaksi adalah ketika sejumlah tertentu substansi ditambahkan maka akan mengakibatkan laju reaksi bertambah dari laju pada keadaan stoikiometri biasa. Semua definisi diatas memasukkan kategori katalisator sebagai substansi yang menaikkan laju reaksi dan dalam hal ini tidak mengganggu kesetimbangan (Maarif, 2009).

Kemampuan dari katalis dalam mempercepat suatu laju reaksi dipengaruhi oleh berbagai faktor. Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja katalis antara lain

adalah sifat fisika dan kimia katalis seperti kondisi operasi seperti temperatur, tekanan, laju alir, waktu kontak, jenis umpan yang digunakan, jenis padatan pendukung yang digunakan. Katalis yang dipreparasi dengan cara yang berbeda akan menghasilkan aktivitas dan selektivitas yang berbeda. Kemampuan suatu katalis dalam suatu proses biasanya diukur dari aktivitas dan selektivitasnya. Aktivitas biasanya dinyatakan dalam persentase konversi atau jumlah produk yang dihasilkan dari jumlah reaktan yang digunakan dalam waktu reaksi tertentu. Sedangkan selektivitas adalah ukuran katalis dalam mempercepat reaksi pada pembentukan suatu produk tertentu (lestari, 2012). Katalis sangat berperan penting pada laju reaksi yang terjadi. Laju reaksi menggunakan katalisator bergantung pada aktivitas katalitiknya, semakin tinggi aktivitas katalitiknya, maka laju reaksinya menjadi semakin cepat. Adapun beberapa faktor yang dapat mempengaruhi aktivitas katalitik, yaitu:

- a. Konsentrasi dan luas permukaan katalisator
 - b. Kespesifikan terhadap katalisator tertentu
 - c. Bentuk geometri atau orientasi permukaan katalisator
 - d. Promotor sebagai pengaktif kerja katalitik dari katalisator
 - e. Inhibitor sebagai zat yang menghambat kerja katalisator
- (Puspitasari, 2018).

Katalis bimetal merupakan campuran logam atau senyawa interlogam dari dua logam aktif katalitik atau salah satu diantaranya memiliki komponen yang relatif besar (lestari, 2012). Penggolongan katalis secara umum dibagi menjadi dua yaitu katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis homogen adalah katalis yang fasa dan reaktannya berada pada fasa yang sama sedangkan katalis heterogen adalah katalis yang mempunyai fasa berbeda dengan reaktannya. Pada katalis heterogen terdapat 3 komponen yaitu senyawa aktif, penyangga dan promotor. Senyawa aktif adalah senyawa yang mengatur terjadinya suatu reaksi kimia pada katalis sehingga reaktan dapat merubah menjadi produk, penyangga atau *support* adalah komponen pada katalis yang berfungsi sebagai tempat distribusi senyawa aktif ke pori-pori bahan penyangga secara merata sehingga terjadi dispersi senyawa aktif yang merata. Sedangkan promotor adalah bahan yang digunakan

sebagai aditif untuk membantu meningkatkan aktivitas katalis dengan menjaga disperse fasa katif dan meningkatkan stabilitas termal serta meningkatkan selektivitas (Pramesti, V. E dan Razin, 2017).

II.2.9 Karakterisasi katalis

Karakterisasi katalis dapat dibagi menjadi beberapa berdasarkan sifat-sifat partikelnya. Karakterisasi katalis meliputi luas permukaan, penentuan keasaman, porositas atau distribusi ukuran pori serta penentuan rasio.

a. Luas permukaan

Sifat ini merupakan hal yang penting sebagai kemampuan suatu padatan sebagai katalis. Secara umum meliputi luas permukaan, distribusi ukuran pori dan bentuk pori. Adapun luas permukaan total yang merupakan kriteria untuk katalis padat karena sangat menentukan jumlah situs aktif pada katalis.

b. Keasaman (pada katalis)

Pada teori asam-basa Bronsted, asam adalah zat yang memiliki kecenderungan untuk melepaskan proton (H^+) sehingga keasaman suatu padatan adalah sebagai kemampuan padatan untuk memberikan proton. Teori lewis menyatakan bahwa asam suatu zat padatan didefinisikan sebagai kemampuan suatu padatan untuk menerima pasangan elektron. Perhitungan pusat asam pada permukaan padatan berkenaan dengan teori asam Bronstead dan Lewis diatas, yaitu jumlah gugusan asam Bronstead (proton) dan asam Lewis (orbital kosong yang mampu menerima pasangan elektron) yang terdapat pada permukaan padatan. Penentuan keasaman total suatu padatan dapat dilakukan dengan cara gravimetri, yaitu penimbangan berdasarkan selisih berat antara berat padatan yang telah mengadsorpsi basa dengan berat padatan sebelum mengadsorpsi basa, sehingga dapat dihitung jumlah asamnya (Setyawan, 2001).

c. Distribusi ukuran pori

Sifat-sifat pori dalam katalis pada kenyataannya sangat mengendalikan fenomena perpindahan dan berhubungan dengan selektivitas pada proses

reaksi katalitik. Sifat-sifat pori seperti volume pori dan distribusi ukuran pori selanjutnya menjadi parameter penting terutama untuk katalis yang bersifat selektif terhadap bentuk dan ukuran pori (*shape selectiv catalysis*). Metode penjerapan gas biasanya digunakan untuk mengkarakterisasi material berpori yang berukuran mesopori (diameter 2-50 nm) dan mikropori (diameter < 2 nm).

II.2.10 Kinerja katalis

Kinerja dari suatu katalis diantaranya memiliki daerah temperatur operasi antara 20 °C hingga 500 °C. Jika diberikan temperatur kurang dari temperatur batas bawah (20 °C) maka reaksi katalitik akan berjalan sangat lambat dan lebih mahal karena membutuhkan energi untuk meningkatkan probabilitas terjadinya tumbukan. Sebaliknya jika operasi pengerjaan pada temperatur di atas 500 °C maka selektivitas produk reaksi relatif sangat sulit dicapai, kecuali jika produk yang dihasilkan sangat stabil (Satterfield,1980).

Katalis dalam proses perengkahan menggunakan katalis heterogen. Keaktifan dan kereaktifan katalis heterogen ditentukan oleh beberapa faktor, antara lain adalah luas permukaan katalis padatan, volume dan besarnya pori serta distribusi sisi aktif (Wicakso, 2011). Karbon aktif banyak digunakan sebagai katalis dan pendukung katalis, karena luas permukaannya yang besar dan stabilitas kimianya yang bagus (Kimi, *et al.*, 2018).

II. 2.11 Metode Pengembanan Logam

Metode preparasi yang umum digunakan untuk menempatkan komponen aktif logam ke dalam pengemban adalah metode impregnasi. Prinsip impregnasi adalah memasukkan katalis logam secara paksa kedalam rongga-rongga pengemban. Impregnasi juga merupakan prosedur yang umum untuk membuat katalis bimetal. Katalis bimetal dapat dibuat dengan koimpregnasi yaitu kedua garam logam dimasukkan dalam waktu yang sama atau dengan impregnasi terpisah yaitu garam logam pertama dimasukkan kemudian diikuti garam logam yang kedua. Dalam koimpregnasi letak dan sifat logam dalam pengemban tergantung pada jenis garam prekursor yang digunakan dan kecenderungan untuk

membentuk paduan dua komponen (Augustine, 1996 dalam Yusnani, 2008). Sedangkan dalam impregnasi terpisah diharapkan logam dapat terdispersi secara merata karena tidak adanya kompetisi antara logam untuk masuk dalam pengemban (Maarif, 2009).

Perengkahan katalitik dengan katalis yang dimodifikasi dengan logam harus memperhatikan beberapa faktor antara lain aktivitas, selektivitas, waktu penggunaan dan regenerasi. Katalis zeolit dalam proses perengkahan dapat mengontrol aktivitas dan selektivitas, namun jumlah rendemen biogasoline yang dihasilkan sangat rendah. Kinerjanya dapat ditingkatkan melalui modifikasi dengan logam seperti Cu, Ni, Zn (Haryani *et al.*, 2020). Aktivasi Katalis bimetal memiliki beberapa tahapan yakni tahap aktivasi yang meliputi pengeringan, kalsinasi, oksidasi, dan reduksi digunakan untuk meratakan distribusi logam dalam pengembanan. Pengeringan bertujuan untuk menghilangkan pelarut yang digunakan dengan perlakuan *thermal*. Kalsinasi merupakan pemanasan pada suhu yang relatif tinggi di dalam *furnace*. Kalsinasi ini bertujuan untuk menghilangkan pengotor-pengotor organik menguraikan senyawa logam serta memperbesar struktur permukaan pengemban. Kalsinasi mempengaruhi mobilitas logam dalam pengemban dan interaksi antar logam dan pengemban. Aliran gas *inert* seperti gas nitrogen diperlukan untuk memperoleh mobilitas logam yang merata di setiap struktur permukaan katalis. Menurut Augustine (1996), kalsinasi yang dilakukan sebelum reduksi akan memberikan logam yang lebih terdispersi daripada direduksi secara langsung. Oksidasi bertujuan untuk merubah garam prekursor yang mungkin masih tersisa pada proses kalsinasi diubah menjadi bentuk oksida. Oksidasi juga diperlukan agar komponen aktif logam membentuk oksida sehingga terdistribusi lebih baik dalam pengembanan. Proses oksidasi dilakukan menggunakan aliran gas oksigen pada temperatur dan waktu tertentu.

II.2.12 Nikel

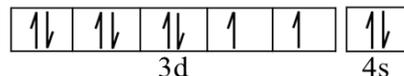
Katalis berbasis nikel telah menunjukkan kinerja yang baik dalam proses deoksigenasi. Pada penelitian terdahulu telah dilaporkan bahwa hidrogen terperangkap pada permukaan logam Ni dan kemudian energi aktivasi dari

disosiasi hidrogen berkurang. Selain itu, sifat elektronik logam Ni dapat menyebabkan reaksi yang sama seperti logam mulia (paladium atau platinum) seperti pemutusan ikatan C-C atau C-H untuk reaksi hidrokarbon. Reduksi oksida nikel memainkan peran penting dalam reaksi katalisis heterogen karena Ni dengan bilangan oksidasi nol adalah bentuk paling aktif dalam hal kemampuan adsorpsi permukaan, aktivasi dan radikal sifat formasi (Hongloi *et al.*, 2019). Nikel merupakan logam putih seperti perak yang bersifat keras dan anti karat. Logam nikel dapat membantu proses dalam pengubahan beberapa logam olahan dalam bentuk larutan yang menghasilkan energi panas. Selain itu Nikel juga berperan penting dalam beberapa proses pengendapan logam keras dalam bentuk padatan (*alloy*). Nikel memiliki berat atom 58,71 g/mol dengan titik leleh 1453°C dan titik didih 2732 °C.

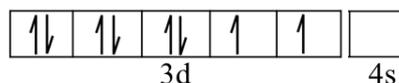
Nikel merupakan logam transisi yang berada pada period ke-4 dalam sistem periodik unsur. Nikel (II) memiliki elektron pada kulit terluar 3d⁸. Konfigurasi dari elektron Ni dan Ni²⁺ dapat dilihat pada konfigurasi dibawah ini:



Ni:



Ni²⁺:



Ion nikel II membentuk senyawa kompleks dengan ligan karena mempunyai orbital *d* yang belum terisi penuh dengan elektron. Orbital tersebut berfungsi sebagai penerima pasangan elektron dari ligas sehingga terbentuk sehingga terbentuk senyawa kompleks jika telah kosong karena adanya pengaturan elektron (king, 2015).

Pada umumnya tingkat oksidasi dari Ni adalah +2 dengan jari-jari kationnya 69 pm. Nikel pada tingkat oksidasi +3 hanya sedikit dikenal. Hidrat ion Ni²⁺ berwarna hijau dan garam-garam Ni²⁺ umumnya berwarna hijau dan biru. Distribusi elektron pada orbital-orbital atom Ni mengikuti aturan Hund, maka

terdapat elektron-elektron yang belum berpasangan dalam orbital d dengan konfigurasi sebagai berikut (Vogel, 1985).

Beberapa bentuk senyawa nikel diantaranya nikel oksida, nikel hidroksida, nikel subsulfida, nikel klorida, dan nikel karbonil yang dapat diolah menjadi material nanopartikel (Pramana., Y., b, 2016). Nikel dalam bentuk nanopartikel dapat digunakan sebagai katalis dalam reaksi hidrogenasi dan reaksi oksidasi dalam bidang elektronik dapat digunakan sebagai super kapasitor dan dapat diaplikasikan sebagai sensor insulin, glukosa, etanol. Dalam penelitian sebelumnya katalis bimetalik dengan Cu-Ni oksida yang diemban pada γ - $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ yang disintesis untuk heterogen oksidasi basah katalitik dan katalis bimetalik ini menunjukkan lebih baik kinerja katalitik daripada katalis monometalik (Li *et al.*, 2019). Nikel (II) Oksida adalah senyawa kimia dengan rumus NiO. NiO memiliki struktur yang mengadopsi struktur NKAl yaitu struktur kubik, dengan bentuk oktahedral bagian Ni (II) dan O^{2-} . Sama halnya dengan oksida logam biner lainnya NiO seringkali dalam bentuk non-stoikiometri yang berarti bahwa rasio Ni:O menyimpang dari satu. Pada nikel oksida non stoikiometri ini ditandai dengan perubahan warna. Warna NiO secara stoikiometri adalah hijau sedangkan yang non stoikiometri berwarna hitam.

NiO mempunyai beberapa aplikasi yaitu NiO dapat digunakan dalam pembentukan *alloy*, pembuatan keramik di industri untuk membuat ferrit, kKAa porselen dan frits oksida yang disintering digunakan untuk pembuatan *alloy* nikel baja. Serta NiO juga dapat digunakan sebagai komponen dalam baterai nikel-iron yang dikenal juga dengan baterai Edison, sebagai komponen dalam *fuel cell*. Selain itu NiO juga digunakan sebagai prekursor dalam pembuatan banyak garam nikel dan sebagai katalis, digunakan pada baterai nikel kadmium atau baterai NiCd. NiO digunakan sebagai katalis dalam hidrogenasi.

sifat-sifat dari material NiO:

1. Massa molar NiO adalah 74,6928 g/mol
2. Berat jenis sebesar 6,67 g/mL

3. Indeks bias 2,1818
4. Titik leleh 1955°C
5. Larut dalam amonium hidroksida dan KCN.

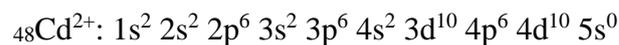
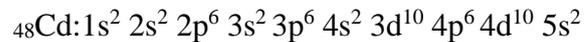
Nikel nitrat merupakan senyawa kimia dengan rumus $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$. Nikel nitrat terdapat dalam bentuk hidrat dan anhidrat dengan massa molekul relatif sebesar 182,703 g/mol. Nikel nitrat heksahidrat adalah senyawa kimia yang memiliki rumus $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dengan massa molekul relatif sebesar 290,79 g/mol, padatan yang berwarna hijau emerald dengan sifat higroskopis, tidak berbau, densitas sekitar 2,05 g/cm³, titik leleh 56,7°C, titik didih 136,7°C, larut dalam air dan alkohol. Penulisan nikel nitrat heksahidrat terdiri-dari dua yaitu $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $(\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6)(\text{NO}_3)_2$. Rumus terakhir ini menunjukkan bahwa atom pusat nikel (II) dikelilingi oleh enam molekul air dalam garam hidrat. Anion nitrat tidak berikatan dengan nikel. Nikel oksida memiliki berbagai aplikasi sebagai semikonduktor tipe-p. Ni memiliki sifat elektronik dan magnetiknya yang berguna, memiliki aplikasi dalam sensor gas, baterai lithium-ion dan kapasitor elektrokimia (Karthik *et al.*, 2018).

II.2.13 Kadmium

Kadmium adalah logam berwarna putih, lunak, mengkilap, tidak larut dalam basa, mudah bereaksi, serta menghasilkan Kadmium Oksida bila dipanaskan. Kadmium (Cd) umumnya terdapat dalam kombinasi dengan klor (Cd Klorida) atau belerang (Cd Sulfit). Kadmium membentuk Cd^{2+} yang bersifat tidak stabil. Cd memiliki nomor atom 40, berat atom 112,4, titik leleh 321 °C, titik didih 767 °C dan memiliki masa jenis 8,65 g/cm. Logam kadmium (Cd) memiliki karakteristik berwarna putih keperakan seperti logam aluminium, tahan panas, tahan terhadap korosi. kadmium digunakan untuk elektrolisis bahan pigmen untuk industri cat, enamel dan plastik. Logam kadmium biasanya selalu dalam bentuk campuran dengan logam lain terutama dalam pertambangan timah hitam dan seng. Kadmium adalah metal berbentuk kristal putih keperakan. Cd didapat bersama-sama Zn, Cu, Pb dalam jumlah yang kecil. Kadmium didapat

pada industri *alloy*, pemurnian Zn, pestisida, dan lain-lain (Istarani & Pandebesie, 2014).

Berikut konfigurasi elektron dan hibridisasi kadmium asetat:



Berikut Sifat-sifat Fisika dan Kimia:

a) Tampilan Bentuk: padat

Warna: putih

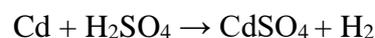
b) Titik lebur/titik beku Titik lebur/rentang: 254 - 256 °C

c) Flamabilitas: Produk ini tidak mudah-menyala

d) Densitas 2,01 g/cm³ pada 20 °C

e) Cd tidak larut dalam basa

f) Larut dalam H₂SO₄ encer dan HCl encer



g) Cd tidak menunjukkan sifat amfoter

h) Bereaksi dengan halogen dan nonlogam seperti S, Se, P

i) Cd adalah logam yang cukup aktif

j) Dalam udara terbuka, jika dipanaskan akan membentuk asap coklat CdO

k) Memiliki ketahanan korosi yang tinggi

l) CdI₂ larut dalam alkohol

Logam kadmium (Cd) mempunyai penyebaran yang sangat luas di alam. Berdasarkan pada sifat kimianya, Cd didalam persenyawaan yang dibentuk umumnya mempunyai bilangan valensi 2+ dan sangat sedikit yang mempunyai bilangan valensi 1+. Bila dimasukkan ke dalam larutan yang mengandung ion OH, ion-ion Cd²⁺ akan mengalami proses pengendapan. Endapan yang terbentuk dari ion-ion Cd²⁺ dalam larutan OH biasanya dalam bentuk senyawa terhidrasi yang berwarna putih. Logam Cd mempunyai penyebaran yang sangat luas di

alam. Penggunaan Cd yang paling utama adalah sebagai penyeimbang, pewarna plastik dan *electroplating* (penyepuh/pelapisan logam). Selain itu digunakan pula untuk pencampuran logam serta industri baterai. Senyawa koordinasi berbasis kadmium dengan kinerja katalitik dibagi menjadi dua subdivisi, pertama adalah kompleks koordinasi yang menunjukkan katalisis homogen, sementara yang lain mengKAu pada polimer koordinasi dengan potensi aktivitas katalitik heterogen (Mukherjee, 2015). Nanomaterials memiliki sifat fisikokimia yang unik, spesifik, sifat permukaan, ketahanan mekanik, sifat elektronik, konduktivitas termal dan kimia reaktivitas.

Cadmium oxide (CdO) adalah semikonduktor tipe-n II–VI yang terkenal dengan struktur kristal garam-batu dan memiliki celah pita langsung 2,2 eV dengan komposisi non-stoikiometrik karena adanya kadmium interstisial atau kekosongan oksigen, yang bertindak sebagai donor bermuatan ganda (Sivakumar *et al.*, 2015). Kadmium dan senyawanya sangat larut dalam air dibandingkan dengan logam lain. Bioavailabilitas kadmium sangat tinggi dan karena itu cenderung bioakumulasi (Adhani, R & Husaini, 2017). Dalam beberapa tahun terakhir nanopartikel telah menarik minat yang besar karena sifat kimia dan fisiknya. Di antara nanopartikel ini terutama nanopartikel logam oksida yang menunjukkan kemajuan dan pengembangan teknologi untuk sel surya, sensor kimia dan tampilan kristal cair. Struktur nano kadmium oksida diterapkan dalam sel surya, sensor gas, elektroda transparan dan fotodioda, katalis, fotokatalis dan perangkat optoelektronik. Banyak struktur oksida kadmium dalam skala nano telah dilaporkan seperti nanopar *ticles*, *nanowires*, film tipis, *nanoneedles*, *nanotube*, *nanorods*. Ada beberapa teknik untuk menyiapkan bahan tersebut seperti sonokimia, mikroemulsi, metode hidrotermal/solvotermal dan proses mekanokimia. Tampaknya dalam proses sintesis, kondisi kompleks dan waktu sintesis yang lama mungkin diperlukan untuk teknologi ini (Kaviyarasu *et al.*, 2014).

II.2.14. Metode Kopersipitasi

Kopersipitasi merupakan metode yang sederhana sehingga metode ini menjadi salah satu teknik yang lebih disukai untuk membuat nanopartikel.

Nanopartikel yang dihasilkan dari metode kopresipitasi biasanya polidispersif dengan morfologi berbentuk bulat. Kebanyakan studi mengenai metode kopresipitasi dan nanopartikel (ukuran < 20 nm) hanya difokuskan pada satu variabel yang menghasilkan partikel dengan sifat-sifat tertentu (B. Permana, T. Saragi, M. Saputri *et al.*, 2009). Metode kopresipitasi adalah teknik yang ekonomis dan beberapa variasi kondisi dapat ditentukan mulai dari temperatur, pH, agen pengendap dan sebagainya. Metode kopresipitasi atau pengendapan dilakukan dengan menambahkan larutan pengendap pada pH larutan yang mengandung prekursor material pendukung dan katalis, sehingga terbentuk spesi logam hidroksida yang akan bereaksi dengan gugus hidroksil permukaan yang diikuti dengan lepasnya molekul air. Metode ini umumnya digunakan untuk memperoleh distribusi fasa aktif yang sangat seragam (K. widi dan sabanii Putri, 2018). Senyawa-senyawa hidroksida dapat digunakan sebagai bahan pengendap. Salah satunya adalah NaOH yang biasanya digunakan dalam metode pembuatan nanopartikel, akan tetapi kerugian menggunakan larutan NaOH ini adalah kation-kation Na^+ dapat diabsorpsi oleh endapan hidroksida, sedangkan pencucian untuk membebaskan endapan dari kation-kation ini sangat sulit dilakukan. Penggunaan metode kopresipitasi memiliki keunggulan diantaranya, sebagai berikut:

1. tingkat kemurnian yang tinggi, proses pengendapannya sangat sederhana sehingga memudahkan dalam pemisahannya pada temperature rendah,
2. waktu yang dibutuhkan relatif cepat serta dengan peralatan yang sederhana dan membutuhkan biaya yang relatif murah.
3. Kelarutan zat diharapkan dapat melewati masa larutan jenuh dimana konsentrasi zat terlarut lebih besar dibandingkan keadaan kesetimbangan sistem yang akan menghasilkan pembentuk inti kristal.
4. Proses ini memungkinkan untuk menghasilkan serbuk dengan ukuran kristal yang kecil (Khairiah, 2011).

II.3 Perengkahan (*Cracking*)

Perengkahan adalah proses pemutusan senyawa hidrokarbon yang mempunyai berat molekul besar menjadi berat molekul rendah. Proses

perengkahan ini menghasilkan senyawa seperti metan, etan, propan, butan, *gasoline*, *kerosene* serta *diesel*. Bahan baku yang biasa digunakan dalam proses perengkahan adalah minyak bumi atau residu. Pada proses perengkahan dibagi menjadi tiga bagian, yaitu *thermalcracking*, *catalytic cracking* dan *hydrocracking* (Pramesti, V. E dan Razin, 2017). Perengkahan tergantung pada alat, bahan dan cara pemanasan. Perengkahan dengan *reaktor* secara *batch* sering digunakan untuk mengolah bahan dalam jumlah kecil atau untuk proses katalitik. Umpan dan katalisator bersamasama dipanaskan dalam reaktor dan uap yang dihasilkan diembunkan dengan alat pendingin. Kelemahan perengkahan dengan reaktor ini adalah katalis sulit untuk diregenerasi dan cepat terjadi penutupan pada pori katalis. Proses ini sering disebut pirolisis yang pada dasarnya bersifat termal. Pirolisis sendiri merupakan proses pada suhu tinggi yang menyebabkan molekul pecah dan dapat retak. Untuk minyak nabati proses ini dimulai pada temperatur dari 593 K. Selanjutnya, perengkahan menghasilkan molekul dan deoksigenasi terjadi secara bersamaan dengan pengaruh panas. Proses ini telah dipelajari secara ekstensif dan telah dilaporkan di beberapa ulasan.(Haryani *et al.*, 2020).

II.3.1 Perengkahan termal

Perengkahan termal adalah cara paling sederhana yakni proses perengkahan minyak nabati yang menggunakan panas tanpa keberadaan katalis. Kelemahan proses tanpa katalis ini adalah reaksi akan berjalan lambat dan rantai karbon dari bahan baku akan terengkah secara acak sehingga selektivitasnya tidak dapat dikontrol serta konversinya yang dihasilkan sangat rendah (Pramesti, V. E dan Razin, 2017). Proses perengkahan termal melibatkan reaksi dekarboksilasi yang dilakukan pada temperatur tinggi biasanya berkisar 350-750 °C dan tekanan yang tinggi kira-kira $6,89 \times 10^6$ Pa yang dibutuhkan untuk proses perengkahan termal dari minyak nabati. Pirolisis dapat diterapkan pada minyak nabati dan lemak dari hewan untuk menghasilkan senyawa dengan karakteristik yang mirip dengan bahan bakar fosil. Pemutusan rantai atom yang panjang dari molekul trigliserida mengarah pada pembentukan campuran hidrokarbon dari rantai kecil seperti alkana, alkena, alkadiena, aromatik, aldehida, keton, dan asam karboksilat

(Al-Muttaqii *et al.*, 2019). Pada proses perengkahan minyak kelapa sawit akan terbentuk tiga fasa produk, yaitu bentuk padat, gas dan cair. Produk cair akan terbentuk pada rantai $C_6 - C_{28}$ yaitu sebagai *biofuel* dengan terbentuk tiga bagian, yaitu $C_5 - C_{12}$ diidentifikasi sebagai *gasoline*, $C_{13} - C_{17}$ diidentifikasi sebagai *kerosene* dan $C_{18} - C_{28}$ diidentifikasi sebagai minyak gas atau *diesel* (Tambun, *et al.*, 2017).

II.3.2 Perengkahan katalitik

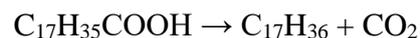
Perengkahan berkatalis (*catalytic cracking*) adalah suatu cara yang digunakan untuk memecahkan hidrokarbon yang kompleks menjadi suatu molekul. Perengkahan berkatalis ini dilakukan dengan menggunakan katalis pada kondisi temperatur tertentu. Katalis logam tersebut pada umumnya dimodifikasi pada bahan pengemban (Tadeus *et al.*, 2013). Proses perengkahan ini menggunakan katalis dan membutuhkan panas dalam jumlah lebih sedikit dibanding perengkahan termal. Proses ini menghasilkan produk dengan kualitas yang lebih baik, tergantung pada jenis katalis yang digunakan (Pramessti, V. E dan Razin, 2017). Perengkahan katalitik dikomersialisasi sebelum perang dunia II dengan fakta bahwa produk memiliki angka setana lebih besar dibandingkan perengkahan termal. Beberapa tahun lalu sejumlah kecil krom kadang ditambahkan ke katalis silika-alumina untuk meningkatkan oksidasi CO didalam regenerator, tetapi akan menurunkan selektivitas katalis di dalam reaktor perengkahan. Dalam susunan reaktor pertama *fixed-bed* ditunjuk untuk mengganti siklus perengkahan dan regenerasi, katalis yang terpisahkan secara cepat diedarkan kembali dan seterusnya antara reaktor dan regenerator, dimana kokas yang terdapat yang terendap dihilangkan melalui pembakaran dengan udara dan untuk operasi optimum berhubungan dengan temperatur yang lebih tinggi dan waktu kontak yang lebih singkat. Reaksi ini berlangsung pada temperatur sekitar $460\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan katalis silika-alumina didalam *fluidized-bed* dan sekitar $540\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan katalis zeolit (Trisunaryanti, 2020).

II.3.3 Perengkahan Hidro (*Hydrocracking*)

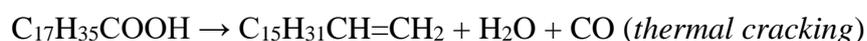
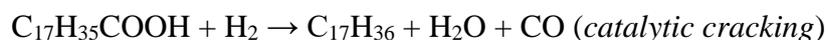
Hydrocracking merupakan kombinasi antara *cracking* dan hidrogenasi untuk menghasilkan senyawa yang jenuh. Reaksi tersebut dilakukan pada tekanan tinggi dan temperatur yang lebih rendah daripada *thermal cracking*. H₂ akan meminimalkan terbentuknya kokas sehingga umur katalis akan lebih panjang. Keuntungan lain dari *hydrocracking* ini adalah bahwa reaksi berlangsung bertahap, mulai dari hidrogenasi hingga dilanjutkan proses *cracking*. *Cracking* merupakan reaksi pemutusan ikatan tunggal antar C-C yang melibatkan katalis (Aini, 2018).

Metode ini salah satu yang paling menjanjikan yang dapat langsung dikonversi menjadi *biofuel*. Keuntungan dari proses ini adalah pengenalan gas hidrogen (menghilangkan atom oksigen dalam bentuk H₂O, CO dan CO₂) kemudian untuk mencapai hasil cair yang tinggi dikenal sebagai alkana rantai lurus *biofuel* dan angka setana tinggi dari produk sebagai produk utama sampai 75% (Al-Muttaqii *et al.*, 2019). Penggunaan hidrogen dapat diperuntukkan untuk proses deoksigenasi dalam prosesnya. Katalis yang banyak digunakan dalam *hydrocracking* adalah zeolit dengan pori besar (mesopori) yang diimpregnasikan dengan logam aktif seperti Pt, Pd, Ni, Co-Mo, Ni-Mo. Biasanya proses ini dilangsungkan pada temperatur 270-450 °C. Katalis logam-pengemban memberikan keuntungan seperti luas permukaan yang besar dan stabil terhadap pemanasan serta bernilai ekonomi tinggi (Budiyanto *et al.*, 2018). Tiga reaksi yang paling penting berlangsung selama *hydrocracking* minyak nabati yaitu:

1. Reaksi dekarboksilasi, reaksi yang mengarah ke penghapusan kelompok karboksilat dan menghasilkan karbon dioksida (CO₂).



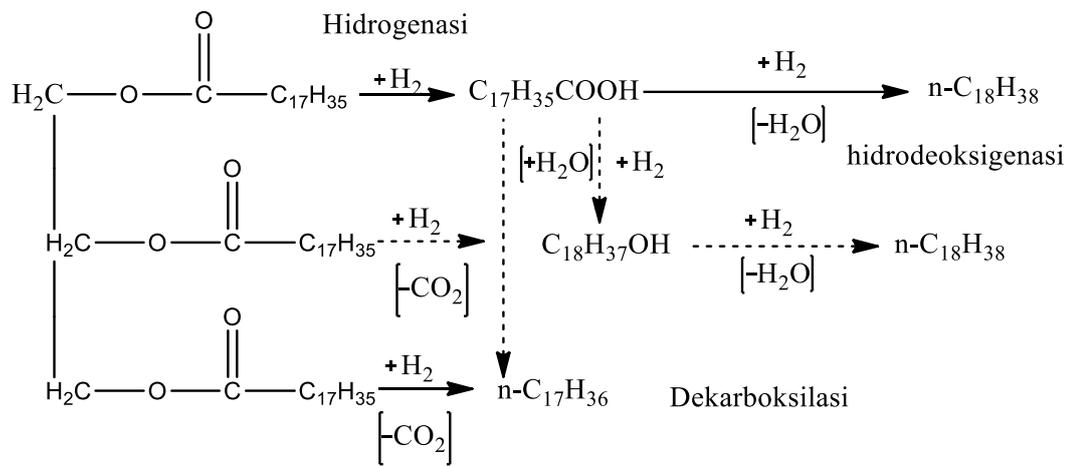
2. Reaksi dekarbonilasi, reaksi yang menghasilkan hidrokarbon utama dengan bilangan karbon yang ganjil. Produk sampingnya adalah H₂O dan CO.



3. Reaksi hidredeoksigenasi (reduksi), reaksi yang menghasilkan hidrokarbon utama dengan bilangan karbon yang genap dan air.



hidrogenasi parsial FAME dan metode hidredeoksigenasi trigliserida (Goto, *et al.*, 2010).

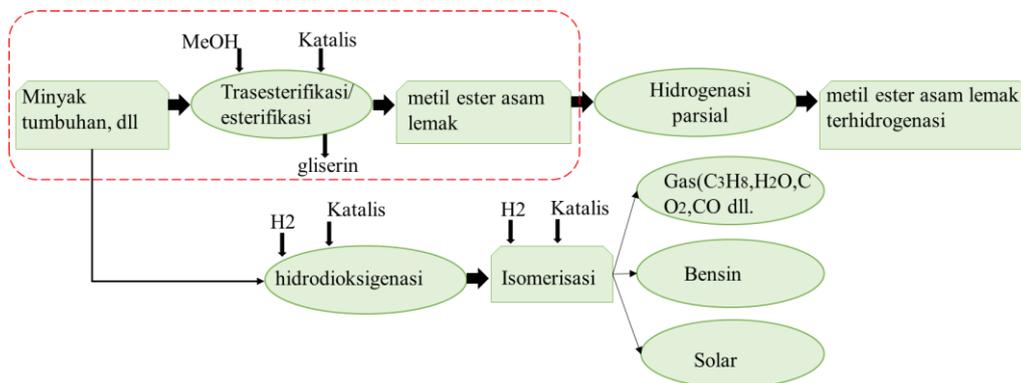


Gambar 3. Konversi trigliserida menjadi hidrokarbon (Sankaranarayanan *et al.*, 2011).

Berdasarkan Gambar 3 dijelaskan bahwa ada 3 proses yang terjadi yaitu hidrogenasi ikatan karbon tidak jenuh pemutusan ikatan karboksil dan penghilangan oksigen dalam bentuk uap air dan gas CO_2 . Hidrodekarboksilasi dapat menghemat penggunaan gas hidrogen yang merupakan faktor penting dalam ekonomi proses. Merupakan reaksi yang sensitif terhadap temperatur karena kedua reaksi ini adalah reaksi endotermis sehingga membutuhkan temperatur yang lebih tinggi. Sedangkan hidredeoksigenasi merupakan reaksi eksotermis. Tekanan hydrogen yang tinggi tidak begitu menguntungkan bagi reaksi *hydrocracking* ini karena produk samping reaksi ini adalah CO_2 dan CO yang dihasilkan reaksi dekarboksilasi atau dekarbonilasi dan H_2O dihasilkan dari reaksi hidredeoksigenasi.

Gambar 4 menunjukkan bahwa minyak nabati dapat diubah menjadi produk bahan bakar dengan dua metode yaitu transesterifikasi dan

hidrodioksigenasi. Metode transesterifikasi dapat menggunakan katalis dan metanol yang akan menghasilkan metil ester dengan produk samping gliserin. Hidrodioksigenasi merupakan metode yang juga menggunakan katalis namun dalam proses ini dialirkan gas H_2 . Metode tersebut akan menghasilkan isomerisasi berupa produk gas, bensin dan solar (Goto *et al.*, 2010).



Gambar 4. Konsep FAME konvensional (Goto *et al.*, 2010).

II.3.4. Hidrotermal

Kata hidrotermal berasal dari bahasa Yunani yaitu ‘*hydros*’ yang berarti air dan ‘*termos*’ yang berarti panas. Tetapi Byrappa dan Yoshimura (2001) mendefinisikan hidrotermal sebagai reaksi kimia heterogen dengan adanya pelarut (baik itu *aqueous* maupun *non-aqueous*) pada suhu ruang dan pada tekanan yang lebih besar dari 1 atm dalam sistem tertutup. Teknik ini tidak hanya membantu pada proses monodispersi dan homogenitas nanopartikel yang tinggi, tetapi juga bertindak sebagai tehnik yang paling menarik untuk pengolahan material nano-hybrid dan nanokomposit (Byrappa 2001).

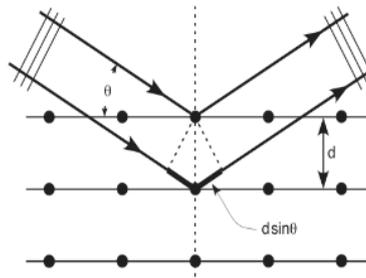
Hidrotermal merupakan metode yang menggunakan air dan panas yang sifatnya dapat mengubah larutan menjadi kristal. Metode hidrotermal dapat menghasilkan kristalinitas dan kemurnian yang lebih tinggi, beberapa penelitian dengan menerapkan metode hidrotermal untuk meneliti suatu objek yang dapat dilihat pada pengaruh jenis dan konsentrasi. Karena hal ini mempengaruhi kristalinitas produk yang akan dihasilkan dari metode hidrotermal (Putri *et al.*, 2018). Kelebihan metode hidrotermal temperatur rendah yaitu temperatur relatif

rendah pada proses reaksi, kristalinitas partikel tinggi, kemurnian tinggi dan distribusi ukuran partikel yang homogen (Alqab dan Sopyan, 2009).

II.4 X-Ray Diffraction (XRD)

XRD merupakan instrumen yang digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan suatu senyawa dengan mengamati pola pembiasan cahaya sebagai akibat dari berkas cahaya yang dibiaskan oleh material yang memiliki susunan atom pada kisi kristalnya. Pola difraksi dinyatakan dengan besar sudut yang terbentuk sebagai hasil dari difraksi berkas cahaya oleh kristal pada material. Nilai sudut dinyatakan dalam 2θ , dimana θ mempresentasikan sudut datang cahaya sedangkan nilai 2θ merupakan besar sudut datang dengan sudut difraksi yang terdeteksi detektor. Sinar-X adalah gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang $0,5 - 2,0 \text{ \AA}$. Sinar-X dihasilkan dari penembakan logam dengan elektron energi tinggi. Elektron itu mengalami perlambatan saat masuk ke dalam logam dan menyebabkan elektron pada kulit atom logam tersebut terpental membentuk kekosongan. Elektron dengan energi yang lebih tinggi masuk ke tempat kosong dengan memancarkan kelebihan energinya sebagai foton sinar-X (Mackenzie, 1982). Gambar 5 difraksi sinar-X oleh atom-atom pada bidang atom parallel a dan a_1 yang terpisah oleh jarak d . dianggap bahwa dua berkas sinar-X i_1 dan i_2 yang bersifat parallel, monokromatik dan koheren dengan Panjang gelombang λ datang pada bidang dengan sudut θ . Jika kedua berkas sinar tersebut berturut-turut terdifraksi oleh M dan N menjadi i_1' dan i_2' yang masing-masing membentuk sudut θ terhadap bidang dan bersifat paralel, monokromatik dan koheren, perbedaan panjang antara $i_1 - M - i_1'$ dengan $i_2 - N - i_2'$ adalah sama dengan n kali panjang gelombang, maka persamaan difraksi dapat dituliskan sebagai berikut:

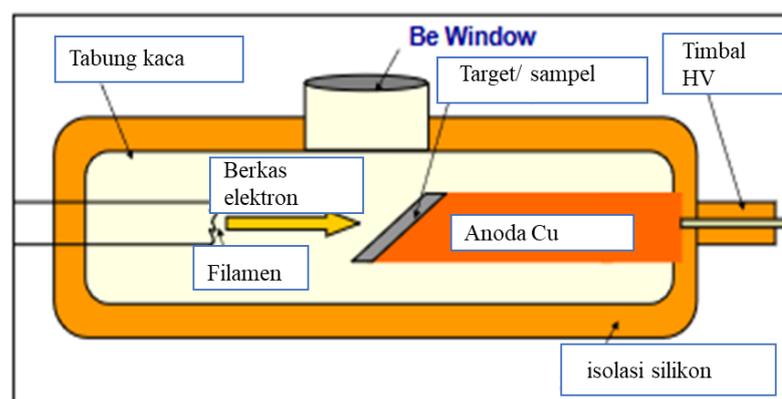
$$n \lambda = ON + NP \text{ atau } n \lambda = d \sin \theta + d \sin \theta = 2d \sin \theta$$



Gambar 5. Difraksi sinar -X oleh atom-atom pada bidang (Rahman, 2016)

Persamaan diatas dikenal sebagai Hukum Bragg, dengan n adalah bilangan refleksi yang bernilai bulat (1, 2, 3, 4, . .). Karena nilai $\sin \theta$ tidak melebihi 1, maka pengamatan berada pada interval $0 < \theta < \pi/2$.

Jika pada saat terjadi tumbukan antara berkas cahaya dengan material sampel energi yang terkandung pada berkas sinar-X diabsorpsi oleh atom pada material tersebut, dapat menyebabkan atom dalam material sampel menjadi tidak stabil karena energi yang dimiliki atom tersebut menjadi lebih besar daripada energi yang diperlukan untuk menjaga agar elektron berada pada orbitalnya. Akibatnya elektron yang berada pada orbital dengan tingkat energi yang lebih rendah dapat mengalami eksitasi keluar dari orbitalnya.



Gambar 6. Diagram alat difraksi (Sumber: Weller,1994)

Beberapa kegunaan dari difraksi sinar-X untuk mengetahui struktur kristal, mendapatkan informasi, komposisi dan keadaan material polikristalin dan dapat menentukan ukuran kristalin, derajat kristalinitas dan konstanta kisi kristalografi secara tepat. Metode difraksi sinar X (XRD/*X-Ray Diffraction*) digunakan untuk

memperoleh informasi tentang komposisi material kristalin, senyawa yang biasa dapat diidentifikasi menggunakan table pola referensi. Batas minimal deteksi sekitar 5% untuk senyawa dan 1% untuk unsur (Trisunaryanti *et al.*, 2005). Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam mineral dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Metode analisis tersebut tidak merusak sampel dan tidak dipengaruhi oleh cara kerja serta sampel dapat digunakan lagi untuk analisis sifat material lainnya.

Struktur kristal merupakan susunan atom-atom yang teratur dan berulang dalam ruang 3 dimensi. Kisi ruang bravais dan susunan atom pada kristal, kisi ruang kristal didefinisikan sebagai susunan titik dalam ruang 3 dimensi yang memiliki lingkungan identik antara satu dengan lainnya. Simpul kisi adalah titik dengan lingkungan yang serupa sedangkan sel unit merupakan kesatuan yang berulang didalam kisi ruang. Bidang kristal merupakan bidang yang terbentuk dari susunan atom yang berulang dalam sebuah sistem kristal. Jarak yang terdapat antara bidang yang saling berdekatan disebut dengan jarak antar bidang atau *spacing* (d). Cara yang dapat dilakukan untuk menghitung besarnya jarak antar bidang (d-spacing) adalah dengan menentukan nilai “*Index Miller*” kemudian nilai yang diperoleh dari hasil indeksing tersebut digunakan dalam rumus untuk masing-masing sistem kristal (kubus, tetrahedral, hexagonal, dll). Perhitungan nilai d-*spacing* setelah diketahui nilai hkl dari bidang kristal maka Langkah selanjutnya adalah menentukan besarnya jarak antar bidang kristal.

A. Sistem kristal orthogonal dengan dimensi a, b, c dimana nilai $a \neq b \neq c$ dapat

dihitung dengan rumus: $\frac{1}{d^2} = \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2}$

B. Untuk sistem kubus memiliki indeks Miller (hkl) dan dimensi a, b, c dimana nilai $a=b=c$ sehingga untuk penentuan jarak antar bidang dapat dirumuskan menjadi:

$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2+k^2+l^2}{a^2}$

C. Sistem kristal tetragonal dengan hkl, memiliki dimensi $a=b \neq c$ sehingga

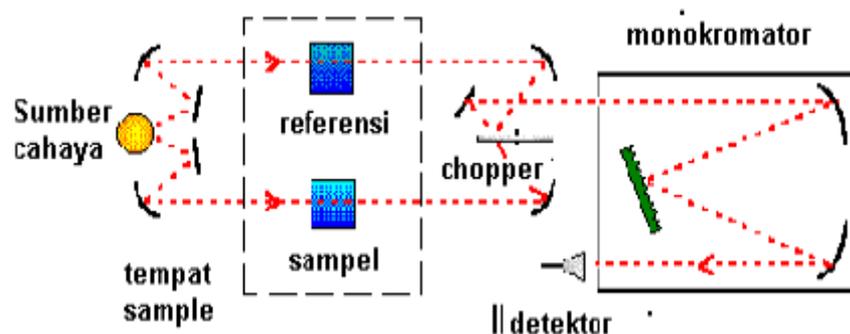
untuk rumus penentuan jarak antar bidang menjadi: $\frac{1}{d^2} = \frac{h^2+k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2}$

D. Sistem kristal hexagonal dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut: $1/d^2 = 4/3(h^2+hk+k^2)/a^2 + l^2/c^2$ (Setiabudi, 2012).

Penentuan struktur kristal dapat dilakukan dengan menggunakan metode difraksi serbuk. Metode ini dapat memberikan peluang yang lebih besar bagi berkas cahaya untuk terdifraksi yang disebabkan oleh banyaknya kristal yang berada pada orientasi yang memungkinkan untuk mendifraksi berkas cahaya yang datang sedangkan metode kristal *single* yang memiliki keterbatasan dalam hal orientasi kristal yang cenderung satu arah. Indeks miller (nilai hkl) adalah nilai integer oleh karena itu dalam menentukan konstanta pengali terhadap $\sin^2\theta$ dapat diperkirakan bilangan pengali yang akan menghasilkan bilangan integer. Kemudian setelah menentukan masing-masing indeks miller dapat diketahui sistem kristalnya seperti kubus sederhana memiliki nilai $(h^2+k^2+l^2)$ sebesar 1,2,3,4,5,6 dan seterusnya kecuali 7 dan 15. Kubus berpusat badan (BCC) memiliki nilai $(h+k+l)$ yang semua genap sedangkan kubus berpusat muka (FCC) memiliki nilai (hkl) yang semua genap atau semuanya ganjil (Setiabudi, 2012).

II.5 Fourier Transform Infra-Red (FTIR)

Metode spektroskopi inframerah merupakan metode yang umum digunakan untuk mengidentifikasi secara kualitatif adanya gugus fungsional didalam suatu senyawa yang dianalisis. Prinsip dasar dari metode ini adalah interaksi antara energi berupa radiasi sinar inframerah dengan ikatan kovalen dalam suatu senyawa.



Gambar 7. Skema kerja alat FTIR (Dachriyanus, 2004).

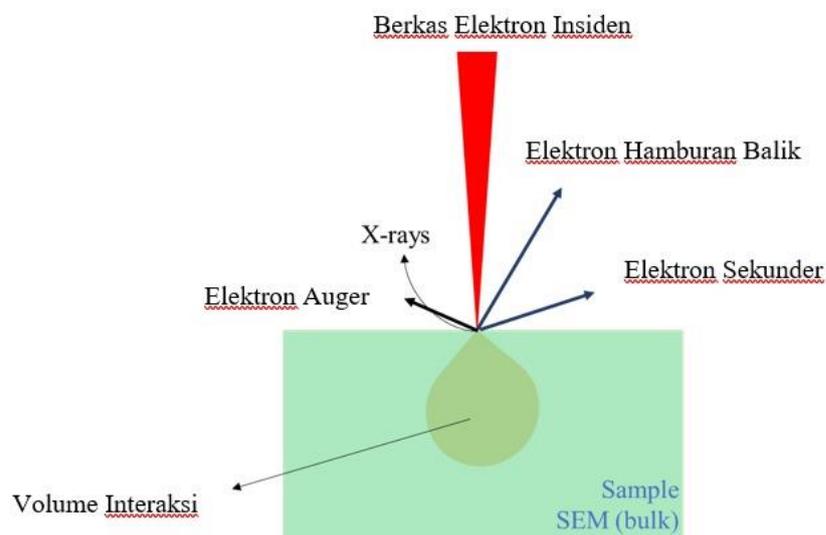
Jika suatu frekuensi sumber tertentu dari radiasi inframerah dilewatkan pada sampel suatu senyawa organik maka akan terjadi penyerapan frekuensi oleh senyawa tersebut. Transformasi Fourier diaplikasikan maka akan menghasilkan fungsi X , interferogram merupakan plot antara antara intensitas sinar laser dengan perbedaan pola optik dengan satuan cm, ketika interferogram merupakan plot intensitas sinar laser dengan cm^{-1} (Pramana., Y., b, 2016).

Sampel padat untuk pemeriksaan transmisi dapat berbentuk lapis tipis atau bubuk. Sampel lapis tipis terutama bahan polimer. Pengecoran larutan polimer adalah metode yang umum digunakan dalam pembuatan lapisan tipis. Lapisan tipis polimer juga dapat dibuat dengan pengepresan pada temperatur tinggi. Sampel serbuk dibuat dengan menggiling bahan padat menjadi bubuk dan kemudian mengencerkan serbuk dengan bahan matriks. Ada dua metode khas untuk menyiapkan sampel bubuk: membuat Pelet KBr dan pembuatan mulls. Untuk membuat pelet, giling sampel padat dengan KBr untuk mendapatkan partikel bubuk dengan ukuran diameter kurang dari 2 μm . Kemudian, campuran serbuk dipress untuk membentuk pelet. Untuk metode mull, sampel padat ditumbuk menjadi serbuk dan kemudian diencerkan dengan agen mulling (biasanya minyak mineral). Bubur minyak bubuk dioleskan pada piring KBr dan diapit dengan piring KBr lainnya. Metode mull sederhana dan murah Namun, agen *mulling* mengandung rantai hidrokarbon yang panjang dan lurus yang menyerap dengan kuat disekitarnya 3000 dan 1400 cm^{-1} sehingga memperumit spektrum sampel.

II.6 Scanning Electron Microscope (SEM)

SEM (*Scanning Electron Microscope*) mempunyai *depth of field* yang besar, yang dapat memfokus jumlah sampel yang lebih banyak pada satu waktu dan menghasilkan bayangan yang baik dari sampel tiga dimensi. SEM memiliki perbesaran 10 – 3000000x, *depth of field* 4 – 0.4 mm dan resolusi sebesar 1-10 nm. Untuk mengetahui morfologi senyawa padatatan dan komposisi unsur yang terdapat dalam suatu senyawa dapat digunakan alat *scanning electron microscope* (SEM), adalah suatu tipe mikroskop elektron yang menggambarkan permukaan

sampel melalui proses *scan* dengan menggunakan pancaran energi yang tinggi dari elektron dalam suatu pola scan raster. Elektron berinteraksi dengan atom-atom yang membuat sampel menghasilkan sinyal yang memberikan informasi mengenai permukaan topografi sampel, komposisi dan sifat-sifat lainnya seperti konduktivitas listrik. SEM memiliki kemampuan untuk menganalisis sampel tertentu dengan memanfaatkan salah satu metode yang disebutkan di atas. Sayangnya, setiap jenis analisis dianggap merupakan aksesori perangkat tambahan untuk SEM. Aksesori yang paling umum dilengkapi dengan SEM adalah dispersif energi detektor x-ray atau EDX (kadang-kadang dirujuk sebagai EDS). EDX merupakan suatu sistem peralatan dan *software* tambahan yang dipasangkan pada suatu mikroskop elektron. EDX dapat digunakan untuk menganalisis semikuantitatif unsur-unsur dari material. Pada instrumen SEM-EDX terdapat bagian analisis berupa *mapping*. Analisis tersebut bertujuan untuk melihat posisi susunan material sehingga dapat memperkirakan struktur senyawa material tersebut.



Gambar 8. *Scanning Electron Microscope* (Sujatno *et al.*, 2017)

Gambar 8 menunjukkan prinsip kerja dari instrumen SEM. Pada sebuah pistol elektron akan memproduksi sinar elektron, kemudian elektron tadi dipercepat oleh anoda, setelah itu lensa magnetik memfokuskan elektron menuju

ke sampel, elektron telah fokus tadi memindai keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai, ketika elektron mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor (CRT). Alat ini bisa menghasilkan hasil resolusi yang tinggi dengan menggunakan *thermal emission electron optics*. Alat ini juga bisa digunakan untuk mengakurasi kesulitan dalam preparasi material (Pambudi *et al.*, 2017).

II.7 Gas sorption analyzer (GSA)

GSA adalah sebuah instrumen karakterisasi material untuk menentukan luas dan volume pori material padatan. Prinsip kerja alat ini menggunakan mekanisme adsorpsi gas pada permukaan suatu bahan padat pada berbagai temperatur dan tekanan yang konstan (*isotherm*). Gas yang biasa digunakan adalah helium untuk mikropori ($< 20 \text{ \AA}$), nitrogen untuk mesopori ($20\text{-}500 \text{ \AA}$), atau argon untuk makropori ($> 500 \text{ \AA}$) (Agus, *et al.*, 2012). *Gas sorption analyzer* (GSA) adalah alat yang digunakan untuk pengukuran fisik terhadap suatu material, meliputi luas permukaan, volume pori, jari-jari pori, distribusi pori, dan lain-lain. Pengukuran tersebut bertujuan untuk karakterisasi suatu bahan material.

Alat ini tidak melakukan konversi sinyal-sinyal listrik untuk menghasilkan suatu data seperti halnya spektroskopi, GC, HPLC dan alat-alat instrument lainnya. Alat ini hanya melakukan pengukuran fisik terhadap suatu material meliputi luas permukaan, volume pori, jari-jari pori, distribusi pori. Pengukuran tersebut bertujuan untuk karakterisasi suatu bahan material. Hasil karakterisasi yang diperoleh dapat digunakan untuk berbagai tujuan penelitian, industri dan sebagainya. Sebagai contoh karbon aktif merupakan bahan material yang sering digunakan sebagai absorbent (penyerap). Karakterisasi penyerapan karbon aktif tersebut, seperti daya serap, absorbat yang dapat diserap. Dapat dipelajari setelah mengetahui luas pori, volume pori, jari-jari pori dan distribusi porinya. Bahkan dengan data-data tersebut dapat dilakukan modifikasi terhadap karbon aktif untuk meningkatkan kemampuan penyerapannya. Syarat-syarat material yang dapat dikarakterisasi menggunakan GSA adalah padatan berpori. Beberapa contohnya, antara lain adalah material karbon, pengemban katalis,

material organik, zeolit, alumina, lumpur, silika, keramik, semen, paper, serbuk logam, tulang dan lain-lain. Berdasarkan isotherm adsorpsi, dapat ditentukan luas permukaan spesifik, volume total dan rerata jejari pori menggunakan metode BET. Metode BET bertujuan untuk menjelaskan adsorpsi fisik molekul gas pada permukaan padatan (solid) atau distribusi pori dari padatan dan berfungsi sebagai dasar untuk suatu teknik analisis luas permukaan spesifik suatu material. Metode ini dikembangkan oleh Brunauer, Emmett dan Teller atau lebih dikenal dengan metode BET yang dituliskan dalam persamaan sebagai berikut (Skoog, 1998):

$$\frac{1}{W\left(\frac{P_0}{P}\right)} = \frac{1}{WmC} + \left(\frac{C-1}{WmC}\right) \frac{P}{P_0}$$

Membuat kurva regresi linear berdasarkan data BET yang diperoleh dari percobaan.

Sumbu x: Relative Pressure (P/P₀)

Sumbu y: (1/(W(P₀/P)-1))

Diperoleh persamaan garis $y = bx + a$

a. Menghitung Konstanta BET

$$C = \frac{s}{i} + 1$$

b. Berat gas yang teradsorb atau koefisien *Monolayer* Material (W_m)

$$W_m = \frac{1}{s+i}$$

c. Luas permukaan Total (SA)

$$SA = \frac{W_m \times N \times C_{sa}}{m \times M}$$

Keterangan:

C: konstanta BET

s: slope

i: intersep

W: berat gas total yang terserap pada tekanan relatif

W_m: berat gas nitrogen yang membentuk lapisan *monolayer* pada permukaan zat padat.

P/P₀: tekanan relatif

N: bilangan Avogadro ($6,023 \times 10^{23}$ partikel/mol)

m: Berat molekul gas

C_{sa}: cross section area ($0,162 \times 10^{-18} \text{ m}^2$)

M: $1 \text{ M} / (10^{10})^2 \text{ \AA}^2$

(Sudarlin, 2012).

II 8. Gas Chromatography Mass Spectroscopy (GC-MS)

Gas Chromatography Mass Spectroscopy merupakan penggabungan antara alat kromatografi gas dan spektroskopi massa. Alat kromatografi gas memiliki fungsi yaitu untuk memisahkan komponen senyawa kimia yang dianalisis sedangkan spektroskopi massa digunakan untuk mendeteksi dari masing-masing senyawa kimia yang telah dipisahkan oleh alat kromatografi gas tersebut (Oko, Syarifuddin Irmawati, 2018). Adapun kegunaan alat GC-MS adalah untuk menentukan berat molekul serta dapat mengenali senyawa berdasarkan reaksi fragmentasi sehingga bisa didapatkan cara tambahan untuk mengetahui apakah senyawa tersebut termasuk golongan alkohol, asam karboksilat, aldehida dan lain sebagainya. Spektroskopi massa dapat digunakan untuk mengetahui rumus molekul tanpa melalui analisis unsur. Kromatografi gas merupakan metode yang dinamis untuk pemisahan dan deteksi senyawa-senyawa yang mudah menguap dalam suatu campuran. Spektrometer massa merupakan suatu instrumen yang

dapat menyeleksi molekul-molekul gas bermuatan berdasarkan massa atau beratnya (Amin *et al.*, 2015).

II.9 HIPOTESIS

1. Kecenderungan terjadinya proses perengkahan pada minyak mentah sawit menjadi *biofuel* (*gasoline, kerosene, diesel*) dipengaruhi oleh temperatur yang akan dibuktikan dengan hasil optimumnya masing-masing fraksi pada temperature yang berbeda-beda.
2. Pada penambahan logam Nikel dan kadmium yang diembankan pada karbon aktif dapat meningkatkan kualitas dan aktivitas katalitik katalis dalam proses *continue hydrocracking* minyak mentah sawit menjadi *biofuel* yang akan dibuktikan dengan perbandingan *cracking* tanpa katalis dan *cracking* menggunakan katalis.
3. Penggunaan hidrogen pada proses *cracking* menunjukkan hasil yang lebih baik. Dengan demikian telah dihipotesiskan bahwa pre-treatment hidrogen pada katalis untuk *cracking* minyak sawit untuk mendapatkan selektivitas bensin yang lebih tinggi. Hal ini dapat dilihat pada produk hasil dari *hydrocracking* menggunakan katalis yang menghasilkan produk-produk baru rantai karbon pendek pada waktu retensi <10 menit yang terdeteksi dengan GC-MS.

BAB III

METODE PENELITIAN

III.1. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan adalah Kadmium asetat Cd $(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Nikel (II) nitrat heksahidrat $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, aditif yang digunakan adalah larutan NaOH 2 M, KOH, etanol p.a, Tempurung Kelapa Sawit dari PT. Hutan Hijau Mas, minyak mentah sawit dari PT. Guntur Samba (Kalimantan timur-Berau), aquabides, pH meter, thermometer, *grinder*, mortal dan alu, ayakan 300 mesh, gas nitrogen (N_2) dan gas hidrogen (H_2) dari PT. Tira *austenite* tbk.

III.2. Instrumentasi

Instrumen yang digunakan adalah seperangkat alat gelas, *furnace*, *reKator hydrocracking*, *hot plate stirrer*, *magnetic stirrer*, neraca analitik, saringan *mesh*, *grinder* (*FomKA ZT-300 Herb*), SEM-EDX mapping (*Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray Analysis*) (JEOL JED-2300), FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) (PerkinElmer Spectrum Version 10.5.1), XRD (*X-Ray Diffraction*), GSA (*Gas Sorption Analyzer*) dan produk bensin akan di karakterisasi dengan GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*) (Shimadzu QP2010 SE).

III.4 karakterisasi

Karakterisasi pada penelitian ini adalah dengan menggunakan beberapa instrument yaitu:

a. X-Ray Diffraction (XRD)

Preparasi sampel yang akan dianalisa dengan difraktometer sinar-x relatif mudah. Material yang akan dianalisa disiapkan sekitar 0,1 gram (diusahakan material tersebut sudah terbebas dari pengotor yang tidak diinginkan). Haluskan material tersebut sampai berukuran sekitar 10 μm (200-mesh). Letakan pada sampel *holder* secara merata pada permukaan yang mendatar dan material sampel telah siap untuk dianalisa (Setiabudi, 2012).

b. *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)*

SEM-EDX mapping untuk menganalisis morfologi dari Ni-Cd/KA sebelum dan sesudah impregnasi. Bersihkan sampel yang akan dianalisis kemudian keringkan dengan vakum jika memungkinkan (sampel harus bebas dari H₂O). Tempatkan sampel pada sampel *holder*, ukuran sampel *holder* adalah 12 mm atau 25 mm. Untuk menempelkan sampel diperlukan *doublesided tape conductive*. Area yang dipelajari sebaiknya diletakan pada sudut 45 derajat (Setiabudi, 2012).

c. *Fourier Transform Infrared (FTIR) KBr*

Inframerah akan melewati celah ke menuju sampel. Sampel untuk pemeriksaan transmisi dapat berbentuk lapis tipis atau bubuk. KBr yang akan digunakan di oven selama 10-15 menit. Untuk membuat pelet, digerus sampel padatan dengan campuran KBr untuk mendapatkan partikel bubuk dengan ukuran diameter > 2 μ m. Kemudian campuran dengan perbandingan KBr:sampel (100:1) dipress untuk membentuk pelet.

d. *Gas Sorption Analyzer (GSA)*

Mekanisme adsorpsi gas pada permukaan suatu bahan padat pada berbagai tekanan dan suhu yang konstan (isotherm). Gas yang digunakan adalah gas nitrogen untuk mesopori (20-500 Å^o).

e. *Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)*

Sampel yang berupa cairan diinjeksikan ke dalam injektor kemudian diuapkan. Sampel yang berbentuk uap dibawa oleh gas pembawa menuju kolom untuk proses pemisahan. Setelah terpisah, masing-masing komponen akan melalui ruang pengion dan terjadi tumbukan oleh elektron sehingga terjadi ionisasi. Fragmen-fragmen ion yang dihasilkan akan ditangkap oleh detektor dan dihasilkan spektrum massa.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian sintesis dan karakterisasi dari logam nikel-kadmium dan karbon aktif dari cangkang kelapa sawit maka dapat disimpulkan beberapa hasil sebagai berikut:

1. Katalis NiO-CdO dibuat dengan metode kopresipitasi dan pembuatan komposit NiO-CdO/KA menggunakan metode pirolisis dengan gas N₂.
2. Hasil analisis menggunakan XRD katalis NiO-CdO/KA diperoleh puncak difraksi pada sudut $2\theta = 23,345^{\circ}$; $44,246^{\circ}$; $51,608^{\circ}$; $61,716^{\circ}$ dan $76,302^{\circ}$ yang menghasilkan struktur *face center cubic (fcc)* dan karbon aktif diperoleh sudut $2\theta = 23,65^{\circ}$ dan $42,88^{\circ}$ (*Simple cubic*).
3. Berdasarkan gugus fungsi yang teridentifikasi pada karbon aktif adanya gugus fungsi O-H, C=C, C-O dan C-H. Kemudian pada bilangan gelombang 887 cm^{-1} dan 432 cm^{-1} diduga merupakan ikatan logam Ni-O dan Cd-O.
4. Didapatkan hasil struktur morfologi karbon aktif adalah permukaan kasar dengan struktur permukaan tidak rata dengan diameter pori besar. Struktur morfologi NiO-CdO/KA terlihat jelas bahwa permukaan karbon aktif ditutupi oleh Ni dan Cd. Hal ini dapat diasumsikan bahwa pengembangan berhasil terbentuk dengan meningkatkan kekasaran permukaan.
5. Hasil analisis menggunakan GSA didapatkan hasil luas permukaan karbon aktif sebesar sebesar $1,3008\text{ m}^3/\text{g}$ dan luas permukaan komposit NiO-CdO/KA sebesar $25,6261\text{ m}^2/\text{g}$.
6. Proses *continue hydrocracking* minyak mentah sawit menggunakan katalis NiO-CdO/KA telah dilakukan dan menghasilkan 3 produk *biofuel* (*gasoline, kerosene* dan *diesel*).

V.2Saran

1. Perlu dilakukan studi lanjutan dengan variasi rasio/wt% logam yang lebih tinggi agar terlihat pengaruhnya terhadap karakteristik karbon aktif.
2. Perlu memperhatikan tahapan pada proses pencucian/pembilasan dan kebersihan *autoclave* untuk pirolisis karbon aktif dari cangkang kelapa sawit. Hal ini dikarenakan hasil analisa masih menunjukkan terdapat zat-zat pengotor pada karbon aktif.
3. Perlu memperhatikan proses impregnasi logam kedalam karbon aktif. Hal ini dikarenakan hasil dari analisa masih menunjukkan logam belum terdistribusi secara merata dan sempurna.

Daftar Pustaka

- Abdullah, R. F., Rashid, U., Taufiq-Yap, Y. H., Ibrahim, M. L., Ngamcharussrivichai, C., & Azam, M. (2020). Synthesis of bifunctional nanocatalyst from waste palm kernel shell and its application for biodiesel production. *RSC Advances*, *10*(45), 27183–27193.
<https://doi.org/10.1039/d0ra04306k>
- Adhani, R & Husaini, 2017. (2017). *Logam berat sekitar manusia* (S. Kholishotunnisa, syarifah (ed.); cetakan II). lambung mangkurat university press.
- Aini, N. A. dkk. (2018). *Hydrocracking of coconut oil using ni- fe/hzsm-5 catalyst for biofuel production* (Issue July).
- Al-Muttaqii, M., Kurniawansyah, F., Prajitno, D. H., & Roesyadi, A. (2019). Bio-kerosene and bio-gasoil from coconut oils via hydrocracking process over Ni-Fe/HZSM-5 catalyst. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, *14*(2), 309–319.
<https://doi.org/10.9767/bcrec.14.2.2669.309-319>
- Allwar, A., & Sari, M. K. (2018). Synthesis and characterization of composite of Al₂O₃/activated carbon from palm oil shell by hydrothermal method. *AIP Conference Proceedings*, 2026. <https://doi.org/10.1063/1.5065054>
- Amin, S., Ruswanto, & Yansen, N. I. (2015). Analisis minyak atsiri umbi bawang putih (*allium sativum* linn.) menggunakan kromatografi gas spektrometer massa. *Jurnal Kesehatan Bakti Tunas Husada: Jurnal Ilmu-Ilmu Keperawatan, Analisis Kesehatan Dan Farmasi*, *11*(1), 37.
<https://doi.org/10.36465/jkbth.v11i1.43>
- Anggraeni, I. S., & Yuliana, L. E. (2015). Pembuatan Karbon Aktif dari Limbah Tempurung Siwalan (*Borassus Flabellifer* L.) dengan Menggunakan Aktivator Seng Klorida (ZnCl₂) dan Natrium Karbonat (Na₂CO₃). *Skripsi*,

1–19.

Attaphaiboon, W., Neramittagapong, S., Theerakulpisut, S., & Neramittagapong, A. (2021). Potential of Vegetable Oils for Producing Green Diesel Via Hydrocracking Process. *Thai Environmental Engineering Journal*, 35(2), 1–11. www.eeat.or.th

Aziz, I., Kurnianti, Y., Saridewi, N., Adhani, L., & Permata, W. (2020). Utilization of Coconut Shell as Cr₂O₃ Catalyst Support for Catalytic Cracking of Jatropha Oil into Biofuel. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 23(2), 39–45. <https://doi.org/10.14710/jksa.23.2.39-45>

B. Permana, T. Saragi, M. Saputri L. L. Safriani, I. Rahayu, R. (2009). Sintesis Nanopartikel ZnO dengan Metode Kopresipitasi. *Jurnal Teknik POMITS*, 07(02), 1–7.

Barrón C., A. E., Melo-Banda, J. A., Dominguez E., J. M., Hernández M., E., Silva R., R., Reyes T., A. I., & Meraz M., M. A. (2011). Catalytic hydrocracking of vegetable oil for agrofuels production using Ni-Mo, Ni-W, Pt and TFA catalysts supported on SBA-15. *Catalysis Today*, 166(1), 102–110. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2011.01.026>

Budiyanto, R., Setyawan, D., & Andarini, N. (2018). Aktivitas dan selektivitas katalis ni/h₅nza terhadap hidrorengkah metil oleat menjadi senyawa hidrokarbon fraksi pendek. *Jurnal Kimia Riset*, 3(1), 58. <https://doi.org/10.20473/jkr.v3i1.8902>

Chen, S. (2012). Green Oil Production by Hydroprocessing. *International Journal of Clean Coal and Energy*, 01(04), 43–55. <https://doi.org/10.4236/ijcce.2012.14005>

Coryana, M. (2020). Pemanfaatan katalis Cu-Ni/Karbon aktif tandan kelapa sawit pada hydrocracking minyak kelapa sawit menjadi fraksi biofuel.

Dachriyanus. (2004). *Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi*.

Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (LPTIK).

- Dewi, R., Azhari, A., & Nofriadi, I. (2021). Aktivasi Karbon Dari Kulit Pinang Dengan Menggunakan Aktivator Kimia Koh. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 9(2), 12. <https://doi.org/10.29103/jtku.v9i2.3351>
- Efiyanti, L., & Santi, D. (2016). *Perengkahan minyak cangkang biji jambu mete (The Influence of NiO and NiOMoO catalyst for Hydrocracking of Cashew Nut Shell Liquid)*. 34(3), 189–197.
- Eneh, O. C. (2011). A review on petroleum: Source, uses, processing, products and the environment. *Journal of Applied Sciences*, 11(12), 2084–2091. <https://doi.org/10.3923/jas.2011.2084.2091>
- Faria, P. C. C., Órfão, J. J. M., & Pereira, M. F. R. (2007). Ozonation of aniline promoted by activated carbon. *Chemosphere*, 67(4), 809–815. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.10.020>
- Goto, S., M. Oguma, and N. Chollacoop. (2010). Chapter 4 Biodiesel Fuel Quality. In *Biodiesel Fuel Trade Handbook* (Issue July, pp. 27–62).
- Hariyadi, P. (2014). *Menngenal Minyak Sawit Dengan Beberapa Karakter Unggulnya* (pp. 1–22).
- Hartanto, S. (2010). *Sawit dengan metode aktivasi kimia Pada karbonisasi terjadi proses penguapan air*. 12(1), 12–16.
- Haryani, N., Harahap, H., Taslim, & Irvan. (2020). Biogasoline production via catalytic cracking process using zeolite and zeolite catalyst modified with metals: A review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 801(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/801/1/012051>
- Hasanudin, H., Rachmat, A., Said, M., & Wijaya, K. (2020). Kinetic model of crude palm oil hydrocracking over ni/mo zro2 –pillared bentonite catalyst. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 64(2), 238–247. <https://doi.org/10.3311/PPch.14765>

- Heryani, H., & Nugroho, A. (2017). *CCP dan CP pada proses pengolahan CPO dan CPKO* (Ed.1,Cet.1). Deepublish.
- Hongloi, N., Prapainainar, P., Seubsai, A., Sudsakorn, K., & Prapainainar, C. (2019). Nickel catalyst with different supports for green diesel production. *Energy*, *182*, 306–320. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.06.020>
- Hudaya, T., & Wiratma, I. G. P. (2015). *Kajian Kinerja Katalis Ni-Mo-S/ γ -Al₂O₃ Proses Hidrotreating Minyak Biji Kapok (Ceiba pentandra) untuk Sintesa Biohidrokarbon*. *22*(2), 184–206.
- Ishihara, A., Ishida, R., Ogiyama, T., Nasu, H., & Hashimoto, T. (2017). Dehydrocyclization-cracking reaction of soybean oil using zeolite-metal oxide composite-supported PtNiMo sulfided catalysts. *Fuel Processing Technology*, *161*, 17–22. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2017.02.028>
- Istarani, F., & Pandebesie, E. S. (2014). Studi Dampak Arsen (As) dan Kadmium (Cd). *Jurnal Teknik POMITS*, *3*(1), 1–6.
<http://ejurnal.its.ac.id/index.php/teknik/article/viewFile/5684/1685>
- Jamilatun, S., Setyawan, M., Salamah, S., Purnama, D. A. A., & Putri, R. U. M. (2015). Pembuatan Arang Aktif Dari Tempurung Kelapa Dengan Aktivasi Sebelum Dan Sesudah Pirolisis. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi*, *0258*, 1–8.
- Jeong, H., Shin, M., Jeong, B., Jang, J. H., Han, G. B., & Suh, Y. W. (2020). Comparison of activity and stability of supported Ni₂P and Pt catalysts in the hydroprocessing of palm oil into normal paraffins. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, *83*, 189–199.
<https://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.11.027>
- Karthik, K., Dhanuskodi, S., Gobinath, C., Prabukumar, S., & Sivaramakrishnan, S. (2018). Nanostructured CdO-NiO composite for multifunctional applications. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*.
<https://doi.org/10.1016/j.jpics.2017.09.016>

- Kaviyarasu, K., Manikandan, E., Paulraj, P., Mohamed, S. B., & Kennedy, J. (2014). One dimensional well-aligned CdO nanocrystal by solvothermal method. *Journal of Alloys and Compounds*, *593*, 67–70.
<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.01.071>
- Kiatkittipong, W., Phimsen, S., Kiatkittipong, K., Wongsakulphasatch, S., Laosiripojana, N., & Assabumrungrat, S. (2013). Diesel-like hydrocarbon production from hydroprocessing of relevant refining palm oil. *Fuel Processing Technology*, *116*, 16–26.
<https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2013.04.018>
- Krár, M., Kovács, S., Kalló, D., & Hancsók, J. (2010). Fuel purpose hydrotreating of sunflower oil on CoMo/Al₂O₃ catalyst. *Bioresource Technology*, *101*(23), 9287–9293. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.06.107>
- Kristianto, H. (2017). Review: sintesis karbon aktif dengan menggunakan aktivasi kimia ZnCl₂. *Jurnal Integrasi Proses*, *6*(3), 104–111.
<https://doi.org/10.36055/jip.v6i3.1031>
- Kurniati, E. (2008). Pemanfaatan Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Arang Aktif. *Jurnal Penelitian Ilmu Teknik*, *8*(2), 96–103.
- Latipah, N., Sundaryono, A., & Elvia, R. (2017). Titanium Oksida dan Implementasinya pada Pembelajaran Kimia (Biofuel Production of CPO Waste with Ni/TiO₂ and Co/TiO₂ Catalyst and Implementation Of Chemical Learning). *FKIP Universitas Bengkulu*, *2*(1), 19–24.
- lestari, yuania dewi. (2012). *Pemilihan katalis yang ideal Dewi Yuanita Lestari Jurusan Pendidikan Kimia FMIPa UNY*. 53–58.
- Li, Z., Liu, F., Ding, Y., Wang, F., You, H., & Jin, C. (2019). Preparation and properties of Cu-Ni bimetallic oxide catalyst supported on activated carbon for microwave assisted catalytic wet hydrogen peroxide oxidation for biologically pretreated coal chemical industry wastewater treatment. *Chemosphere*, *214*, 17–24.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.09.098>

- Liu, C., Liu, J., Zhou, G., Tian, W., & Rong, L. (2013). A cleaner process for hydrocracking of jatropha oil into green diesel. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, *44*(2), 221–227.
<https://doi.org/10.1016/j.jtice.2012.10.006>
- Liu, J., Fan, K., Tian, W., Liu, C., & Rong, L. (2012). Hydroprocessing of Jatropha oil over NiMoCe/Al₂O₃ catalyst. *International Journal of Hydrogen Energy*, *37*(23), 17731–17737.
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.09.020>
- Liu, S., Zhu, Q., Guan, Q., He, L., & Li, W. (2015). Bio-aviation fuel production from hydroprocessing castor oil promoted by the nickel-based bifunctional catalysts. *Bioresource Technology*, *183*, 93–100.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.02.056>
- Maarif, H. (2009). Reaksi kompetisi antara perengkahan dan polimerisasi tir karet dari ban bekas dengan katalis mo-ni/zeolit Y. *Journal of Chemical Information and Modeling*, *53*(9), 1689–1699.
- Marina Olivia Esterlita, & Netti Herlina. (2015). Pengaruh penambahan aktivator zncl₂, koh, dan h₃po₄ dalam pembuatan karbon aktif dari pelepah aren (Arenga Pinnata). *Jurnal Teknik Kimia USU*, *4*(1), 47–52.
<https://doi.org/10.32734/jtk.v4i1.1460>
- Meisrilestari, Y., Khomaini, R., & Wijayanti, H. (2013). Pembuatan Arang Aktif Dari Cangkang Kelapa Sawit Dengan. *Konversi*, *2*(1), 46–51.
- Mukherjee, S. (2015). *Cadmium-based Catalysts*. November.
<https://doi.org/10.1039/1757-7047>
- Nandi. (2006). Minyak Bumi Dan Gas. In *Pendidikan Geografi, Universitas Pendidikan Indonesia*.
- Noor, A. Bin, Asri, M., & Mohd, B. (2008). Textural Characteristics of Activated

Carbons Prepared from Oil Palm Shells Activated with $ZnCl_2$ and Pyrolysis Under Nitrogen and Carbon Dioxide. *Journal of Physical Science*, 19(2), 93–104.

Nugroho, A. (2019). *Buku Teknologi Agroindustri Kelapa Sawit* (Issue August).

Nugroho, A. S., Mesin, J. T., Teknologi, A., & Surakarta, W. (2019).

Pemanfaatan Limbah Tempurung Kelapa Sawit. 21–26.

Nurhayati, N. D., & Wigiani, A. (2014). Sintetis Katalis Ni-Cr/Zeolit dengan Metode Impregnasi Terpisah. *Seminar Nasional Kimia Dan Pendidikan Kimia VI*, 479–484.

Oko, Syarifuddin Irmawati, S. (2018). Synthesis of Biodiesel from Palm Oil Using Superbasic CaO Catalyst from Utilization of Chicken Egg Shell Waste. *Jurnal Teknologi*, 10(Vol 10, No 2 (2018): Jurnal Teknologi), 113–122. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/jurtek/article/view/1782>

Pambudi, A., Farid, M., & Nurdiansah, H. (2017). Analisa Morfologi dan Spektroskopi Infra Merah Serat Bambu Betung (*Dendrocalamus Asper*) Hasil Proses Alkalisasi Sebagai Penguat Komposit Absorpsi Suara. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), 441–444. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.24808>

Park, N. K., Lee, Y. J., Kwon, B. C., Lee, T. J., Kang, S. H., Hong, B. U., & Kim, T. (2019). Optimization of nickel-based catalyst composition and reaction conditions for the prevention of carbon deposition in toluene reforming. *Energies*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/en12071307>

Permana, E., Cristine, I., Murti, S. D. S., & Yanti, F. M. (2020). Preparasi dan karakterisasi katalis Cu / ZnO dengan support karbon aktif menggunakan aktivator H_3PO_4 dan $ZnCl_2$. *Jurnal Teknologi*, 13(1), 6–15.

Plazas-González, M., Guerrero-Fajardo, C. A., & Sodr , J. R. (2018). Modelling and simulation of hydrotreating of palm oil components to obtain green diesel. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 184).

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.275>

- Pramana., Y., b, 2016. (2016). *Sintesis nanopartikel nikel hidroksida dari logam nikel secara elektrokimia menggunakan tegangan tinggi*. 14–16.
- Pramesti, V. E dan Razin, M. F. (2017). Produksi Biofuel Melalui Proses Hydrocracking Minyak Biji Kapuk Randu Menggunakan Katalis Zn-Mo/hzsm-5. *Skripsi*, Institut Teknologi Sepuluh November.
- Prasetyo Jati, K dkk. (2017). Dampak penambangan minyak tradisional terhadap kondisi sosial ekonomi dan lingkungan hidup (Studi Kasus Desa Ledok Kecamatan Sambong Kabupaten Blora). *Jurnal GeoEco*, 3(1), 58–67.
- Pujiono, F. E., & Mulyati, T. A. (2017). Potensi Karbon Aktif Dari Limbah Pertanian Sebagai Material Pengolahan Air Limbah. *Jurnal Wiyata*, 4(1), 37–45.
- Puspitasari, D. (2018). *Variasi Konsentrasi Nh_4cl Dalam Proses Aktivasi Zeolit Dan Komposisi Katalis Terhadap Proses Esterifikasi Gliserol Menjadi Triasetin*.
- Putri, D. F., Ritonga, H. M., Murdiati, V., & Zainul, R. (2018). *a Review What Is Hydrothermal*. <https://doi.org/10.31227/osf.io/dm56c>
- Putri, K. widi dan sabanii. (2018). *Jurnal einstein. Jurnal Hasil Penelitian Bidang Fisika*, 1(1), 22–28.
http://www.journals.cambridge.org/abstract_S0263034606000267%0Ahttp://ejurnal.bppt.go.id/index.php/JAI/article/view/2452/2063%0Ahttps://jurnalfar.masimalahayati.sch.id/index.php/jfm/article/download/7/3/
- Rahman, S. (2016). Rancangan Eksperimen Analisis Struktur Mikro Sampel dengan Prinsip XRD Menggunakan Metode Kristal Berputar. *Jurnal Riset Dan Kajian Pendidikan Fisika*, 3(1), 5.
<https://doi.org/10.12928/jrpkpf.v3i1.4538>
- Rahmawati, fitri et. al. (2012). Studi deaktivasi katalis ni-mo/zeolit alam pada

reaksi hidrogenitrogenasi (hdn) piridin. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 1(1).

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.

Ris, J. (2014). *Vol. 7, No. 2, Maret 2014 J. Ris. Kim.* 7(2).

Rohmah, putri miftakhul dan redjeki athiek sri. (2014). Pengaruh waktu karbonisasi pada pembuatan karbon aktif berbahan baku sekam padi dengan aktivator koh. *Pengaruh waktu karbonisasi pada pembuatan karbon aktif berbahan baku sekam padi dengan aktivator KOH*, 3, 9.

Said, M., Fanani, Z., & Gulo, F. (2014). *Use of Condensate Combined with Hydrocking Palm Oil Products for Improving The Quality of Premium.* 21–26.

Sankaranarayanan, T. M., Banu, M., Pandurangan, A., & Sivasanker, S. (2011). Hydroprocessing of sunflower oil-gas oil blends over sulfided Ni-Mo-Al-zeolite beta composites. *Bioresource Technology*, 102(22), 10717–10723. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.08.127>

Setiabudi, A. R. H. A. M. (2012). Karakterisasi Material: Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia. In *UPI Press* (Vol. 1).

Šimáček, P., Kubička, D., Šebor, G., & Pospíšil, M. (2009). Hydroprocessed rapeseed oil as a source of hydrocarbon-based biodiesel. *Fuel*, 88(3), 456–460. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.10.022>

Sivakumar, S., Venkatesan, A., Soundhirarajan, P., & Khatiwada, C. P. (2015). Synthesis, characterizations and anti-bacterial activities of pure and Ag doped CdO nanoparticles by chemical precipitation method. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 136(PC), 1751–1759. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2014.10.078>

- Srihanun, N., Dujjanutat, P., Muanruksa, P., & Kaewkannetra, P. (2020a). Biofuels of green diesel–kerosene–gasoline production from palm oil: Effect of palladium cooperated with second metal on hydrocracking reaction. *Catalysts*, *10*(2), 1–13. <https://doi.org/10.3390/catal10020241>
- Srihanun, N., Dujjanutat, P., Muanruksa, P., & Kaewkannetra, P. (2020b). Biofuels of green diesel–kerosene–gasoline production from palm oil: Effect of palladium cooperated with second metal on hydrocracking reaction. *Catalysts*, *10*(2). <https://doi.org/10.3390/catal10020241>
- Sudarlin, S. (2012). *Prinsip dan Teknik Penggunaan Gas Sorption Analyzer (GSA)* (Issue July). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13364.07048>.
- Sujatno, A., Salam, R., Bandriyana, B., & Dimyati, A. (2017). Studi Scanning Electron Microscopy (Sem) Untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir*, *9*(1), 44. <https://doi.org/10.17146/jfn.2015.9.1.3563>
- Syidiq, R., Yusran, L. O., Anas, M., & Fayanto, S. (2019). Characterization of Activated Charcoal Oil Palm (*Elaeis Guineensis* Jacq) Shell Waste using SEM and FTIR: Effect of Activation Temperature. *Indonesian Review of Physics*, *2*(2), 67. <https://doi.org/10.12928/irip.v2i2.812>.
- Tadeus, A., Silalahi, I. H., Endah, S., & Aladin, S. (2013). Karakterisasi Katalis Zeolit-Ni Regenerasi Dan Tanpa Regenerasi Dalam Reaksi Perengkahan Katalitik. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, *2*(1), 24–29.
- Taslim, Bani, O., Iriany, Aryani, N., & Kaban, G. S. (2018). Preparation of activated carbon-based catalyst from candlenut shell impregnated with KOH for biodiesel production. *Key Engineering Materials*, *777 KEM*, 262–267. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.777.262>.
- Trisunaryanti, W., Triwahyuni, E., & Sudiono, S. (2005). Preparasi, Modifikasi Dan Karakterisasi Katalis Ni-Mo/Zeolit Alam Dan Mo-Ni/Zeolit Alam. *Teknoin*, *10*(4), 269–282. <https://doi.org/10.20885/teknoin.vol10.iss4.art7>

- Veriansyah, B., Han, J. Y., Kim, S. K., Hong, S. A., Kim, Y. J., Lim, J. S., Shu, Y. W., Oh, S. G., & Kim, J. (2012). Production of renewable diesel by hydroprocessing of soybean oil: Effect of catalysts. *Fuel*, *94*, 578–585. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.10.057>.
- Wiratmaja, I. (2010). Pengujian Karakteristik Fisika Biogasoline Sebagai Bahan Bakar Alternatif Pengganti Bensin Murni. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, *4*(2).
- Yunica, A. R. I. (2017). *Efektiftas Karbon Aktif Tempurung Kelapa dalam Menurunkan Kadar TSS (Total Suspended Solid) Limbah Cair Tahu*. <https://dspace.umkt.ac.id/handle/463.2017/353>.
- Zeid, E. F. A., Ibrahim, I. A., Ali, A. M., & Mohamed, W. A. A. (2019). The effect of CdO content on the crystal structure, surface morphology, optical properties and photocatalytic efficiency of p-NiO/n-CdO nanocomposite. *Results in Physics*, *12*(December 2018), 562–570. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2018.12.009>.
- Zhang, Z., Cheng, J., Zhu, Y., Guo, H., & Yang, W. (2020). Jet fuel range hydrocarbons production through competitive pathways of hydrocracking and isomerization over HPW-Ni/MCM-41 catalyst. *Fuel*, *269*(February), 117465. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117465>.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan dalam penelitian

1. NaOH 2 M 100 mL

$$M = \frac{m \times n}{Mr \times V}$$
$$2 \text{ M} = \frac{m \times 1}{40 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 0,1 \text{ L}}$$
$$m = 8 \text{ g}$$

2. HNO₃ 1 M

$$M = \frac{\text{persentase} \times \text{massa jenis} \times 10}{Mr}$$

$$M = \frac{70\% \times 1,3 \text{ g/mL} \times 10}{63 \text{ g/mol}}$$

$$M = 14,44 \text{ M}$$

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$14,44 \text{ M} \times V_1 = 1 \text{ M} \times 250 \text{ mL}$$

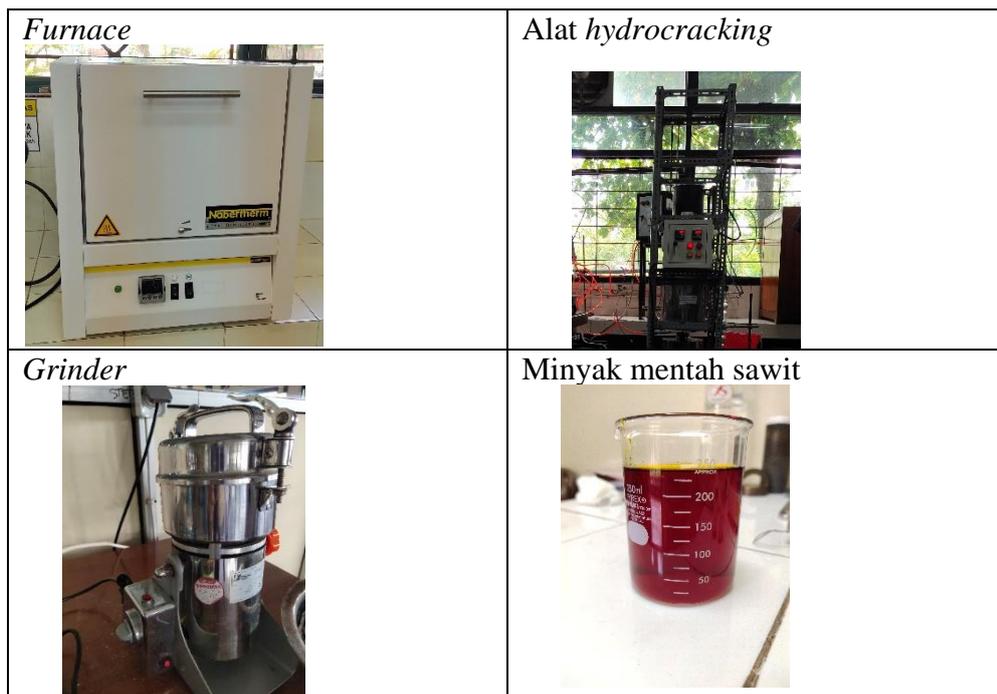
$$V_1 = 17,31 \text{ mL}$$

3. KOH

60% dalam 100 mL

ditimbang 60 Gram dalam 100 mL aquadest

Lampiran foto-foto pendukung



Seperangkat mesh dan ayakan



Nikel



Karbon aktif dari cangkang kelapa sawit



Cangkang sawit



Autoclave/reaktor



Kadmium

