SINTESIS KATALIS NI-CU/KA UNTUK MENGKONVERSI CRUDE PALM OIL (CPO) MENJADI BIOFUEL MENGGUNAKAN PROSES HYDROCRACKING

SYNTHESIS OF Ni-Cu/KA CATALYSTS TO CONVERT CRUDE PALM OIL (CPO) INTO BIOFUEL USING HYDROCRACKING PROCESS

TESIS

Feby Rahmawati

NIM: 19923004

PROGRAM STUDI MAGISTER KIMIA

JURUSAN KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

YOGYAKARTA

2022

SINTESIS KATALIS NI-CU/KA UNTUK MENGKONVERSI CRUDE PALM OIL (CPO) MENJADI BIOFUEL MENGGUNAKAN PROSES HYDROCRACKING

SYNTHESIS OF Ni-Cu/KA CATALYSTS TO CONVERT CRUDE PALM OIL (CPO) INTO BIOFUEL USING HYDROCRACKING PROCESS

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:

Feby Rahmawati
NIM: 19923004

PROGRAM STUDI MAGISTER KIMIA

JURUSAN KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

YOGYAKARTA

2022

SURAT PERNYATAAN

Nama	: Feby Rahmawati
Tempat dan tanggal lahir	: Jambi, 14 Februari 1998
Nomor Induk Mahasiswa	: 19923004
Konsentrasi	: Material untuk Energi dan Lingkungan
Judul tesis	: SINTESIS KATALIS Ni-Cu/KA UNTUK MENGKONVERSI CRUDE PALM OIL (CPO) MENJADI BIOFUEL MENGGUNAKAN PROSES HYDROCRACKING

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

Yogyakarta, 31 Maret 2022



Feby Rahmawati

Dipindai dengan CamScanner

SINTESIS KATALIS Ni-Cu/KA UNTUK MENGKONVERSI Crude Palm Oil (CPO) MENJADI BIOFUEL MENGGUNAKAN PROSES HYDROCRACKING

Diajukan oleh :

FEBY RAHMAWATI
NIM: 19923004

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

Tanggal : Kamis, 31 Maret 2022

Dewan Penguji	Tanda Tangan
1. Drs. Allwar, M.Sc., Ph.D	.....
2. Prof. Dr. rer. Nat. Ir. Agus Taftazani	.....
3. Dr. Dwiarso Rubiyanto, S.Si., M.Si.	.....

Mengetahui,
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Indonesia

Prof. Riyanto, Ph.D

Dipindai dengan CamScanner

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum wr.wb.

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan Penelitian Skripsi serta dapat menyelesaikan tesis yang berjudul

"*SINTESIS KATALIS Ni-Cu/KA UNTUK MENGKONVERSI CRUDE PALM OIL (CPO) MENJADI BIOFUEL MENGGUNAKAN PROSES HYDROCRACKING*"

Tesis ini merupakan salah syarat wajib yang harus ditempuh untuk kelulusan untuk mendapatkan gelar sarjana M.Si, sebagai mana yang telah ditetapkan dalam Program Studi Magister Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia (UII).

Dalam penyusunan tesis ini penulis banyak dibimbing dan didukung oleh berbagai pihak. Oleh karena itu,penulis ingin mengungkapkan rasa terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang senantiasa selalu melimpahkan rahmat serta karunia-Nya serta Baginda Rasulullah SAW yang membawa kita keluar dari kehidupan Jahiliyah ke kehidupan yang penuh dengan rahmat dan berkah.
2. Kedua orang tua dan adik yang selalu memberikan dukungan dan nasihat serta mengirimkan doa di setiap waktunya.
3. Bapak Prof. Riyanto, S.Pd., M.Si., Ph.D. selaku dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
4. Bapak Drs. Allwar, M.Sc., Ph.D selaku ketua Prodi Magister Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan dan pembimbing yang selalu memberi dukungan dan ilmu yang dapat mendukung pembuatan tesis sampai akhir.
5. Prof. Dr. rer. Nat. Ir. Agus Taftazani dan bapak Dr. Dwiarso Rubiyanto selaku penguji dalam sidang tesis.
6. Tim penelitian tesis (Kak Rina, Nevi) yang selalu membantu dan memberi dukungan dari penelitian berlangsung sampai pembuatan tesis sampai akhir.

7. Semua pihak yang telah membantu dan memberikan informasi baik secara langsung maupun tidak langsung dalam pembuatan tesis ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kesalahan yang dilakukan dalam penyusunan tesis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran yang bermanfaat untuk perbaikan tesis ini. Semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Wassalamu'alaikum wr.wb

Yogyakarta, Maret 2022

Feby Rahmawati

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN iii
KATA PENGANTAR v
INTISARI xi
BAB I 63
I.1 Latar Belakang Masalah 63
I.2 Rumusan Masalah 65
I.3 Tujuan Penelitian Dan Manfaat Penelitian 65
I.3.1 Tujuan Penelitian 65
I.3.2 Manfaat 66
BAB II 67
II.1 Kajian Penelitian Terdahulu 67
II.1.1 Katalis Heterogen 67
II.1.2 Karbon Aktif 68
II.1.3 Katalis dari Komposit 70
II.1.4 Katalis untuk *Hydrocracking* 71
BAB III 73
III.1 Landasan Teori 73
III.1.1 Logam *Nickel* 73
III.1.2 Logam *Copper* 74
III.1.3 Katalis Bimetal 75
III.1.4 Kopresipitasi 76
III.1.5 Kelapa Sawit 77
III.1.6 *Crude Palm Oil* (CPO) 78
III.1.7 Karbon Aktif 81
III.1.8 Metode Pengembanan 84
III.1.9 Perengkahan 86
III.1.10 *Fourier Transform Infrared* (FTIR) 88
III.1.11 *X-ray Diffraction* (XRD) 90
III.1.12 *Scanning Elektron Microscope – Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX) dan *Mapping* 93

III.1.13 *Gas Sorption Analyzer* (GSA)..... 94
III.1.14 *Gas Chromatography – Mass Spectrometer* (GC-MS) 94
III.2 Hipotesis..... 96
BAB IV..... 97
IV.1 Bahan dan Peralatan..... 97
IV.1.1 Bahan 97
IV.1.2 Instrumentasi..... 97
IV.2 Prosedur Penelitian 97
IV.2.1 Pembuatan Karbon Aktif dengan Metode Pirolisis **Error! Bookmark not defined.**
IV.2.2 Pembentukan Komposit Ni-Cu/KA dengan Metode Pirolisis .. **Error! Bookmark not defined.**
IV.2.3 Karakterisasi Komposit Ni-Cu/KA..... 97
IV.3 Uji Aktivitas dan Selektivitas Katalis dalam Proses Konversi Minyak Kelapa Sawit Menjadi Bahan Bakar 98
BAB V .....**Error! Bookmark not defined.**
V.1.1 Mekanisme Reaksi Karbon Aktif.....**Error! Bookmark not defined.**
V.1.2 Hasil Analisis FTIR KA dan Ni-Cu/KA..... **Error! Bookmark not defined.**
V.1.3 Hasil Analisis XRD Ni-Cu/KA.....**Error! Bookmark not defined.**
V.1.4 Hasil Analisis SEM-EDX dan Mapping KA, Ni-Cu dan Ni-Cu/KA **Error! Bookmark not defined.**
V.1.5 Hasil Analisis GSA KA dan Ni-Cu/KA..... **Error! Bookmark not defined.**
V.1.6 Uji Aktivitas Katalis Terhadap Konversi CPO Menggunakan *Hydrocracking* .....**Error! Bookmark not defined.**
V.1.7 Perbandingan Hasil *Hydrocracking* dengan atau tanpa Katalis **Error! Bookmark not defined.**
V.1.8 Konversi CPO menjadi *Gasoline*, *Kerosene* dan *Diesel*..... **Error! Bookmark not defined.**
BAB VI..... 100
VI.1 Kesimpulan..... 100
VI.2 Saran 100

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Logam Nikel 14
Gambar 3.2 Logam Tembaga 16
Gambar 3.3 Penampang bagian kelapa sawit 20
Gambar 3.4 Contoh struktur kimia trigliserida 21
Gambar 3.5 Mekanisme reaksi selulosa dengan asam posfat 24
Gambar 3.6 Struktur karbon aktif 25
Gambar 3.7 Proses sederhana perengkahan 29
Gambar 3.8 Mekanisme kerja FTIR 31
Gambar 3.9 Diagram teknik XRD 33
Gambar 3.10 Ilustrasi interaksi SEM dengan spesimen 35
Gambar 3.11 Ilustrasi proses kerja GC-MS 38
Gambar 4.1 Ilustrasi reaktor *hydrocracking* 41
Gambar 4.2 Diagram alir penelitian 42
Gambar 5.1 Prediksi mekanisme reaksi selulosa dengan KOH 43
Gambar 5.2 Spektra IR KA dan komposit 44
Gambar 5.3 Spektra XRD Ni-Cu/KA 46
Gambar 5.4 Morfologi KA (A), Ni-Cu (B) dan Ni-Cu/KA (C) 49
Gambar 5.5 Prediksi interaksi katalis pada proses *hydrocracking* 51
Gambar 5.6 Kromatogram fraksi (A) tanpa katalis dan katalis Ni-Cu/KA fraksi (B) 150 ℃, (C) 250 ℃ dan (D) 350 ℃ 54
Gambar 5.7 Perbandingan hasil produk dari *hydrocracking* 56
Gambar 5.8 Perbandingan hasil produk dari setiap fraksi 57
Gambar 5.9 Perbandingan hasil produk tanpa katalis (A), katalis Ni-Cu/KA fraksi (B) 150 ℃, (C) 250 ℃ dan (D) 350 ℃ dari konversi CPO59

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Penelitian yang telah dilakukan terkait sintesis Ni-Cu 6

Tabel 1.2 Penelitian yang telah dilakukan terkait Ni-Cu/matriks 11

Tabel 3.1 Karakteristik fisika dan kimia minyak kelapa sawit 21

Tabel 3.2 Asam-asam lemak pada CPO 22

Tabel 3.3 *Database* Gugus Fungsi IR 31

Tabel 5.1 Ukuran partikel komposit Ni-Cu/KA 47

Tabel 5.2 Hasil produk cair tertinggi tiap fraksi katalis dan tanpa katalis 58

Tabel 5.3 Perhitungan hasil produk yang diperoleh dari tiap fraksi dan tanpa katalis 59

Tabel 5.3 Perbandingan hasil semua produk tiap fraksi 61

SINTESIS KATALIS Ni-Cu/KA UNTUK MENGKONVERSI CRUDE PALM OIL (CPO) MENJADI BIOFUEL MENGGUNAKAN PROSES HYDROCRACKING

Feby Rahmawati
NIM: 19923004

INTISARI

Proses konversi katalitik melibatkan katalis heterogen. Katalis heterogen merupakan katalis yang tepat untuk digunakan pada konversi perengkahan menjadi bahan bakar alternatif pengganti minyak bumi. Perengkahan menggunakan minyak nabati yang akan menghasilkan biofuel. Biofuel akan diperoleh 3 jenis produk yakni gasolin, kerosin dan diesel. Kelangkaan minyak bumi penyebab salah satu krisis pada dunia sebagai bahan energi untuk bahan bakar. Solusi untuk permasalahan ini adalah bahan bakar alternatif dengan mengkonversi CPO dengan menggunakan katalis logam bimetalik Ni-Cu. Penelitian akan dilakukan dengan dua tahap yaitu sintesis dan karakterisasi katalis Ni-Cu/Karbon Aktif sebagai katalis bimetalik yang akan diaplikasikan pada konversi minyak kelapa sawit dengan proses *hydrocracking*. Penelitian ini akan mengkaji terkait efektifitas katalis digunakan untuk mengkonversi minyak kelapa sawit menjadi senyawa hidrokarbon yang lebih pendek. Analisis hasil produk yang akan diperoleh dilakukan karakterisasi GC-MS. Karakterisasi katalis yang akan dilakukan yaitu menggunakan FTIR, XRD dan SEM-EDX. Hasil FTIR menunjukkan gugus fungsi bimetal dan ikatan terhadap karbon pada bilangan gelombang 445 cm^{-1}, 422 cm^{-1}, 1359 cm^{-1} dan 2082 cm^{-1}. Hasil XRD menunjukkan nilai hkl (111), (111), (210), (120), (211) dan (2-12) sesuai dengan database JCPDS. Hasil SEM menunjukkan bahwa struktur komposit bergirigi kasar. Hasil GC-MS menunjukkan pada hasil yang berbeda-beda tiap fraksi. Fraksi 150 ℃ diperoleh kerosin, fraksi 250 ℃ diperoleh gasolin dan fraksi 350 ℃ kerosin.

Kata Kunci: Karbon Aktif, Bimetalik Ni-Cu, *Hydrocracking*

SYNTHESIS OF Ni-Cu/KA CATALYSTS TO CONVERT CRUDE PALM OIL (CPO) INTO BIOFUEL USING HYDROCRACKING PROCESS

Feby Rahmawati

NIM: 19923004

ABSTRACT

The catalytic conversion process involves heterogeneous catalysts. Heterogeneous catalysts are the right catalysts for use in the conversion of sugar into alternative fuels in place of petroleum. Cracking uses vegetable oil which will produce biofuel. Biofuel will be obtained 3 types of products namely gasoline, kerosene and diesel. The scarcity of petroleum is the cause of one of the crises in the world as an energy source for fuel. The solution to this problem is an alternative fuel by converting CPO using a bimetallic Ni-Cu metal catalyst. The research will be carried out in two stages, namely the synthesis and characterization of the Ni-Cu/Activated Carbon catalyst as a bimetallic catalyst which will be applied to the conversion of palm oil by the hydrocracking process. This study will examine the effectiveness of the catalyst used to convert palm oil into shorter hydrocarbon compounds. The analysis of the product to be obtained is carried out by GC-MS characterization. The catalyst characterization will be carried out is using FTIR, XRD, and SEM-EDX. FTIR results showed bimetallic functional groups and bonds to carbon at wavenumbers 445 cm^{-1}, 422 cm^{-1}, 1359 cm^{-1} and 2082 cm^{-1}. XRD results show hkl values (111), (111), (210), (120), (211) and (2-12) according to the JCPDS database. The SEM results show that the composite structure is coarsely scalloped. The results of GC-MS showed different results for each fraction. The 150 ℃ fraction was obtained for kerosene, the 250 ℃ fraction was obtained for gasoline and the 350 ℃ fraction was obtained for kerosene.

Keyword: Activated Carbon, Bimetallic Ni-Cu, Hydrocracking

BAB I
PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang Masalah

Katalis merupakan suatu material atau senyawa yang dapat meningkatkan laju reaksi kimia. Sehinggga reaksi berlangsung lebih cepat dan mencapai kesetimbangan tanpa mengalami perubahan kimia di akhir proses reaksi. Katalis tidak merubah tingkat kesetimbangan melainkan berperan dalam menurunkan energi aktivasi. Sehingga energi untuk terjadinya interaksi tumbukan berkurang dan reaksi berlangsung lebih cepat. Umumnya peran katalis ada dua yakni mempercepat reaksi dan meningkatkan hasil reaksi akhir.

Proses konversi katalitik banyak melibatkan katalis yang berjenis homogen. Namun, katalis tersebut memiliki kelemahan seperti tidak dapat digunakan secara berulang serta sulit untuk dipisahkan dari reaktan. Oleh sebab itu, katalis berjenis heterogen merupakan katalis yang tepat untuk memberikan banyak keunggulan yakni mudahnya dalam penggunaan pada reaksi, dapat digunakan secara berulang dan mudah dilakukan regenerasi. Katalis heterogen dapat digunakan pada konversi perengkahan menjadi bahan bakar alternatif pengganti minyak bumi.

Permasalahan dunia perindustrian terutama pada kelangkaan terhadap minyak bumi menjadi penyebab krisis sumber energi sebagai bahan bakar. Minyak bumi merupakan cairan kental berwarna coklat kehitaman tersusun dari senyawa hidrokarbon. Total kebutuhan energi dunia terpenuhi 84% untuk energi yang tidak terbarukan dan 16% untuk energi yang terbarukan (Azad, 2017). Berdasarkan total kebutuhan energi tersebut, diperlukan sumber bahan bakar alternatif berupa minyak nabati dari kelapa sawit. Hasil perengkahan dari minyak nabati akan diperoleh produk berupa *biofuel*. *Biofuel* merupakan bahan bakar yang diperoleh dari minyak nabati. Bahan bakar tersebut dapat membentuk tiga jenis produk cair yaitu *gasoline*, *kerosene* dan *diesel*.

Kelapa sawit merupakan minyak yang berkarakteristik ramah lingkungan dengan harga yang murah dapat digunakan sebagai alternatif sumber bahan bakar. Industri pengolahan kelapa sawit atau dikenal sebagai *Crude Palm Oil* (CPO) pada

proses industri menghasilkan limbah. Jenis limbah yang banyak dihasilkan yaitu limbah padat berupa tempurung kelapa sawit (A. S. Nugroho, 2019). Tempurung kelapa sawit dapat digunakan sebagai bahan baku karbon aktif. Karbon aktif adalah material karbon non-grafit yang memiliki stuktur berpori. Keunggulan karbon aktif dari tempurung kelapa sawit yaitu jumlah *raw material* yang berlimpah, biaya sintesis yang murah, ramah lingkungan, berpori dan mengandung berbagai senyawa organik (selulosa, hemiselulosa dan lignin) (Lubis, Nasution and Zubir, 2020).

Penelitian-penelitian sebelumnya menyatakan bahwa, karbon aktif tempurung kelapa sawit dapat digunakan sebagai katalis pada proses konversi bahan bakar. Menurut Buasri et al (2011) karbon aktif mampu digunakan sebagai katalis untuk produksi biodiesel. Penelitian Nazarudin et al (2018) berhasil mensintesis karbon aktif sebagai katalis untuk konversi minyak kelapa sawit dengan proses *hydrocracking*. Penelitian Wulandari Mirzayanti et al (2020) melaporkan katalis berbasis karbon aktif yang teraktivasi H_3PO_4 berhasil mengkonversi minyak curah menjadi biodiesel. Tetapi, karbon aktif tanpa logam pengemban tidak optimal pada kemampuan katalitik dalam proses *hydrocracking*, karena karbon aktif tidak memiliki sisi aktif dan jika pada suhu tinggi akan merusak struktur permukaan porinya dikarenakan, karbon aktif memiliki termal stabilitas yang rendah.

Oleh sebab itu, karbon aktif memerlukan *support* untuk membantu proses katalitik. *Supporting* yang baik sebagai pengemban dalam karbon aktif yaitu logam oksida dan bimetalik. Peneltian Efiyanti and Santi (2016) menyatakan bahwa NiO dan NiO-MoO teremban *zeolite* mampu sebagai katalis untuk proses perengkahan minyak cangkang biji jambu mete yang menghasilkan fase *liquid* bensin. Penelitian Suseno et al (2018) melaporkan proses *hydrocracking* minyak goreng menjadi *biogasoline* berhasil dilakukan dengan kemampuan katalisis Ni-Cu/BZR dengan hasil *gasoline* fraksi C_5-C_7 sebesar 71,17% (Suseno, 2019). proses katalitik Ni-Cu/BZR memiliki kemampuan katalisis yang baik dalam mengkonversi minyak kelapa sawit. Berdasarkan penelitian sebelumnya, proses katalitik bimetalik Ni-Cu ternyata efektif digunakan sebagai katalis *hydrocracking*, akan tetapi pengemban yang paling sering digunakan adalah *zeolite*. Material tersebut tidak efektif digunakan, dikarenakan membutuhkan biaya yang mahal, metode yang kompleks

dan ketersediaan yang sedikit. Oleh sebab itu, material karbon aktif merupakan material pengganti yang baik sebagai pengemban atau matriks.

Pada penelitian ini dilakukan sintesis dan karakterisasi katalis Ni-Cu/Karbon Aktif (Ni-Cu/KA) sebagai katalis bimetalik yang akan diaplikasikan pada konversi minyak kelapa sawit menjadi *biofuel* dengan proses *hydrocracking*. Karakterisasi katalis yang akan dilakukan yaitu menggunakan *Fourier Transform Infrared (*FTIR), *X-Ray Diffraction (*XRD) dan *Scanning Elektron Microscope with Energy Dispersive X-Ray (*SEM-EDX). Efektifitas katalis dilakukan dengan mengkonversi minyak kelapa sawit menjadi senyawa hidrokarbon. Analisis hasil produk yang diperoleh dilakukan karakterisasi *Gas Chromatoghraphy-Mass Spectrometry* (GC-MS).

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana proses pengembanan logam bimetalik Ni-Cu/KA dari tempurung kelapa sawit ?
2. Bagaimana imobilisasi logam bimetalik Ni-Cu dalam karbon aktif memiliki sifat sebagai katalis pada proses *hydrocracking*?
3. Bagaimana proses katalitik Ni-Cu/KA saat diaplikasikan pada konversi CPO menjadi senyawa *biofuel*?

I.3 Tujuan Penelitian Dan Manfaat Penelitian

I.3.1 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Memanfaatkan limbah tempurung kelapa sawit sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif.
2. Membuktikan logam bimetalik Ni-Cu mempunyai sifat sebagai katalis pada proses *hydrocracking*.
3. Membuktikan katalis Ni-Cu/KA dapat digunakan pada konversi CPO menjadi *biofuel*.

I.3.2 Manfaat

Penelitian bermanfaat untuk:

1. Mengurangi limbah tempurung kelapa sawit dari hasil produksi minyak kelapa sawit.
2. Mengetahui keunggulan dan kekurangan logam bimetalik Ni-Cu sebagai katalis.
3. Modifikasi baru terhadap katalis Ni-Cu/KA yang dapat digunakan pada konversi bahan bakar alternatif

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Kajian Penelitian Terdahulu

II.1.1 Katalis Heterogen

Katalis adalah material yang meningkatkan laju reaksi kimia dengan menurunkan energi aktivasi reaksi reaktan untuk menjadi produk. Molekul reaktan akan diimobilisasi pada permukaan katalis hingga berubah menjadi molekul dalam keadaan transisi. Proses tersebut dinamakan sebagai peristiwa *chemisorption*. Katalisis merupakan suatu fenomena permukaan material padat yang juga memanfaatkan sifat porositas material padat tersebut atau proses reaksi yang melibatkan katalis. Secara umum, katalis terdiri dari dua jenis yakni katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis homogen adalah katalis yang berada pada fase yang sama antara reaktan dan produk. Katalis homogen secara umum digunakan pada beberapa aplikasi seperti; hidrolisis ester dengan asam, oksidasi sulfur dioksida dengan nitrogen dioksida dan dekomposisi kalium klorat dengan mangan oksida. Katalis heterogen merupakan katalis yang berada pada fase yang berbeda antara reaktan dan produk. Sistem ini memungkinkan pemisahan reaktan dan aliran produk yang mudah dari katalis. Katalis heterogen dapat digunakan dalam beberapa aplikasi seperti hidrogenasi, dehidrogenasi, hidrogenolisis, desulfurisasi, isomerisasi, fotokatalis, dehidrasi, polimerasi dan alkilasi (Widi, 2018).

Material katalis sebagai katalis homogen atau heterogen menjadi penelitian yang terus-menerus berkembang baik dalam pemodifikasian. Sehingga pemanfaatannya dapat ditingkatkan lebih baik. Logam transisi sebagai katalis dalam beberapa reaksi organik. Logam transisi banyak digunakan sebagai katalis heterogen terkait dengan sifat kimianya. Sifat tersebut disebabkan logam transisi dapat merubah biloks, muatan, geometri dan tingkat oksidasi yang memberikan pengaruh pada kereaktifan dari katalis. Logam transisi mempunyai kemampuan adsorpsi terhadap substansi lain yang berada di permukaan logam, sebab logam transisi mempunyai pasangan elektron bebas. Beberapa logam transisi yang dapat

digunakan sebagai katalis yaitu Ni, Cu, Cd, Co, Mo, Fe, Pd, Pt. Logam transisi yang akan dibahas pada penelitian ini adalah logam Ni dan Cu.

Logam nikel merupakan unsur dari golongan VII B transisi yang sering digunakan sebagai katalis. Logam nikel memiliki ikatan kimia yang akan terbentuk antar logam dengan reaktan relatif lemah, sehingga produk dari reaksi mudah terlepas dari permukaan katalis, dengan kata lain logam nikel akan membentuk ikatan kovalen koordinasi yang membuat senyawa antara matriks katalis menjadi lebih mudah. Pernyataan ini berdasarkan aturan Hund bahwa nikel memiliki orbital 3d yang terdapat pasangan-pasangan elektron bebas sehingga logam bersifat magnetik. Katalis logam nikel memiliki aktivitas serta selektivitas yang baik pada reaksi hidrogenasi (Savitri, Nugraha and Aziz, 2016).

Logam Cu juga termasuk unsur golongan transisi yang sering digunakan sebagai katalis pada fase aktifnya dengan kata lain sebagai promotor logam. Pada reaksi katalitik, logam Cu digunakan sebagai pengatomisasi molekul-molekul diatomik serta pemberi atom kepada reaktan lain atau intermediat. Logam Cu berfungsi sebagai promotor logam dapat meningkatkan selektifitas dan aktivitas terhadap luas permukaan yang bertindak sebagai situs asam lewis untuk mempolarisasi ikatan C=O, sehingga logam Cu menjadi lebih reaktif pada reaksi hidrogenasi (Vargas-Hernández *et al.*, 2014).

II.1.2 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan material karbon yang telah teraktivasi dengan baik secara fisika maupun kimia. Dari aktivasi tersebut, akan menghasilkan karbon berstruktur pori-pori. Struktur halus yang dimiliki karbon aktif meningkatkan luas permukaan hingga >1000 m^2/g sehingga pori-pori yang dihasilkan mempunyai sifat adsorptif yang kuat (Tadda *et al.*, 2018). Karbon aktif telah banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang industri sebagai matriks, adsorben, katalis, *remover*, *purifier* dan lainnya (Pujiono and Mulyati, 2017). Pengembangan pada pengolahan karbon aktif merupakan solusi yang tepat, karena potensi bahan baku yang luas. Bahan baku yang umum digunakan untuk produksi karbon aktif yaitu limbah pertanian (Arsad, 2010). Keunggulan karbon aktif dibandingkan dengan material berpori yang lain adalah ketersediaan atom *carbon* (C) sebagai penyusun struktur *raw*

material lebih banyak daripada atom lain di alam dan metode sintesis yang digunakan murah dan efisien.

Pembuatan karbon aktif dapat diaktivasi dengan dua metode yaitu kimia, fisika. Karbon berbahan ampas tebu diaktivasi dengan $ZnCl_2$ diperoleh luas permukaan sebesar 632 m^2/g (Pujiyanto, 2010), pengaktifan karbon berbahan baku *bituminous coal* dengan aktivasi kimia menggunakan KOH beratmosfer N_2 (Yuliusman, 2015), karbon pelepah aren menggunakan variasi aktivator kimia seperti KOH, $ZnCl_2$ dan H_3PO_4 (Marina Olivia Esterlita and Netti Herlina, 2015), aktivasi fisika karbon berbahan baku tempurung kemiri dengan menggunakan aliran gas CO_2 diperoleh luas permukaan sebesar 1050 m^2/g (Yuliusman, 2015), aktivasi fisika terhadap karbon berbahan baku ampas tebu menggunakan aliran N_2 diperoleh luas permukaan sebesar 293 m^2/g, karbon kulit durian dengan aktivator kimia KOH (Apriani *et al.*, 2013), dan aktivasi karbon dari tempurung kelapa sawit menggunakan $ZnCl_2$ diperoleh luas permukaan sebesar 1253,5 m^2/g (Hoseinzadeh Hesas *et al.*, 2013).

Karbon aktif sebagai matriks pada katalis, diantaranya adalah *wood char* sebagai katalis *hydrocracking jatophra oil* (Nurdini *et al.*, 2020), karbon yang diimpregnasi $ZnCl_2$ digunakan sebagai katalis pada produksi biodiesel (Astuti *et al.*, 2021), katalis karbon aktif cangkang kelapa (Pradana *et al.*, 2018) (Sriwijaya, 2021) tempurung kelapa (Wulandari Mirzayanti *et al.*, 2020) tempurung kelapa sawit (Buasri, Chaiyut and Nakweang, 2011) untuk sintesis biodiesel, abu sekam kelapa sebagai katalis heterogen untuk biodiesel dari minyak biji *manghas* (Husin *et al.*, 2018), pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit sebagai katalis basa untuk transesterifikasi metil ester (Ruchiyat, 2018), karbon aktif dari limbah bambu sebagai penyangga katalis logam dalam sintesis *biofuel* (Rastini, 2018) dan abu kulit kelapa sebagai katalis transesterifikasi minyak sawit (Muhammad Yusuf Ritonga, Doni Hermanto Sihombing and Allen Rianto Sihotang, 2013).

Karbon aktif sebagai katalis dapat digunakan pada konversi bahan bakar dengan penambahan pengemban logam. Huo et al (2020) menyatakan pembentukan *corncob* AC/MgO sebagai katalis dalam proses pirolisis katalitik limbah plastik untuk menghasilkan bahan bakar jet. Luas permukaan BET karbon aktif yang dihasilkan sebesar 1167,06 m^2/g serta memiliki struktur mesopori. Analisis FTIR

menunjukkan kelompok hidroksil pada puncak 3300-3500 cm^{-1}, puncak C=C di sekitar 1530 cm^{-1}, -C-H ditemukan pada puncak 700 cm^{-1} dan C=C pada puncak 880 cm^{-1}. Katalis AC/MgO memiliki stabilitas termal yang baik dalam proses konversi limbah plastik menjadi bahan bakar jet dengan hasil yang diperoleh hampir mencapai 100% (aromatik 28,7% dan alkane 71,3%). Penelitian Aziz et al., (2020) melaporkan bahwa tempurung kelapa sawit dengan penambahan logam oksida Cr_2O_3 dapat digunakan sebagai katalis dalam konversi minyak jarak menjadi *biofuel* dengan hasil konversi minyak jarak 67,777% *biofuel*, 36,97% bensin, 14,87% minyak tanah dan 15,94% diesel. Karakteristik *biofuel* yang diperoleh menggunakan katalis pengemban logam menunjukkan kelimpahan relatif tinggi pada rantai hidrokarbon. Kepadatan struktur dari kedua katalis tersebut membentuk struktur mikropori (Sadeek *et al.*, 2020).

Pembuatan karbon aktif terdapat beberapa faktor yang diperhatikan yaitu jenis aktivator, suhu dan proses aktivasi. Hal ini memiliki pengaruh yang signifikan terutama pada luas permukaan karbon aktif. Faktor-faktor tersebut dilaporkan pada penelitian Nazarudin et a.l (2018) bahwa suhu mempengaruhi pembentukan karbon aktif sebagai katalis. Pembuatan karbon aktif sebagai katalis dari tempurung kelapa sawit dengan menggunakan variasi suhu 450 ℃ dan 550 ℃. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kenaikan suhu berperan dalam peningkatan kinerja katalis. Jenis aktivator mempengaruhi ukuran partikel karbon aktif, kadar air dan kadar abu karbon. Proses aktivasi pada karbon aktif bertujuan untuk memperbesar diameter pori karbon serta membuka pori-pori baru sehingga kinerja katalis lebih optimal.
Pemanfaatan karbon aktif sebagai matriks katalis mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan dengan material lainnya seperti permukaan karbon yang bersifat inert terutama dalam keadaan asam dan basa, distribusi ukuran pori dan sifat kimia pada luas permukaan (Iwanow *et al.*, 2020).

II.1.3 Katalis dari Komposit

Komposit adalah suatu material yang tersusun dari dua atau lebih zat atau senyawa yang akan membentuk sifat baru dari material tersebut. Sifat material komposit dipengaruhi beberapa faktor seperti distribusi unsur, sifat bahan material dan ukuran (Utama and Zakiyya, 2016). Salah satu contoh dari komposit adalah logam yang diembankan pada material berpori seperti karbon aktif.

Pengembanan logam pada material yang berpori akan menghasilkan katalis *bimetal* dengan berbagai metode, salah satunya adalah impregnasi. Metode impregnasi dapat dilakukan dengan dua teknik, yakni menggabungkan garam logam atau memasukkan garam logam secara terpisah. Material pengemban dan logam setelah digabungkan kemudian dikeringkan, dikalsinasi, dioksidasi serta reduksi sehingga akan memperoleh katalis logam-pengemban (Nugrahaningtyas, Cahyono and Widjonarko, 2016).

Kinerja katalis dapat ditingkatkan dengan penambahan penyangga katalis. Penyangga katalis yang dapat digunakan diantaranya adalah karbon aktif, *modernite*, *bentonite*, *zeolite*, *clay* dan logam oksida. Penambahan penyangga pada katalis bertujuan untuk meningkatkan luas permukaan sehingga pori-pori juga ikut bertambah, menambah situs aktif asam ataupun basa yang bersifat amfoter dengan kemampuan yang berbeda-beda tergantung proses sintesisnya (Savitri, Nugraha and Aziz, 2016).

II.1.4 Katalis untuk *Hydrocracking*

Hydrocracking merupakan proses perengkahan melalui hidrogenasi katalitik yang mana berat molekul umpan yang tinggi diubah dan terhidrogenasi menjadi produk dengan berat molekul yang lebih rendah. Katalis yang digunakan dalam proses perengkahan tersebut adalah *bifunctional*. Katalis tersebut terdiri dari logam yang berperan sebagai tahap hidrogenasi dan situs asam (material *amorf*) yang berperan sebagai proses perengkahan. Tahap hidrogenasi dapat menghilangkan zat pengotor seperti belerang, nitrogen dan logam. Sedangkan pada situs asam adalah tahap pemutusan atau pemecahan ikatan sehingga produk yang dihasilkan lebih sederhana dan stabil (Fahim, Alsahhaf and Elkilani, 2010).

Katalis dengan dukungan material *amorf* masih dalam penggunaan komersial terutama dalam memaksimalkan konversi pelumas minyak sebagai katalis hidrotreasi. Katalis dengan gabungan logam yang umumnya terdiri dari golongan logam non mulia yakni golongan VI dan VIII. Logam-logam yang digunakan adalah Co, Ni, Mo dan W sebagai katalis *hydrocracking* ringan seperti katalis logam yang didukung oleh zeolit untuk konversi minyak gas (Fahim, Alsahhaf and Elkilani, 2010).

Penelitian Mampuru et al., (2019) melaporkan kelayakan untuk memproduksi *biogasoline* dari limbah minyak goreng telah ditelusuri dan produksi *biogasoline* berhasil dilakukan. Produksi dilakukan melalui *catalytic cracking* dengan penambahan katalis hidrogenasi *bifunctional* Ni-Mo/alumina. Penelitian Liu et al., (2019) dengan metode *hydrocracking* pada minyak dari *alga Botryococcus braunii* dengan penambahan katalis Ni-Mo memperoleh hasil hidrokarbon C_{10}-C_{15} sebagai bahan bakar penerbangan. Katalis Ni-Mo bertindak sebagai katalis asam padat dalam reaksi *hydrocracking*. Hidrokarbon yang dihasilkan sebesar 52 % pada suhu 300 ℃ dengan waktu kontak 6 jam. Selain penelitian dari Gurdeep Singh et al., (2019) juga melaporkan reaksi dari *catalytic cracking* minyak biji karet yang dikonversi menjadi *biogasoline* dengan penambahan zeolite memperoleh *biogasoline* yang terbentuk yaitu *isoparafin*.

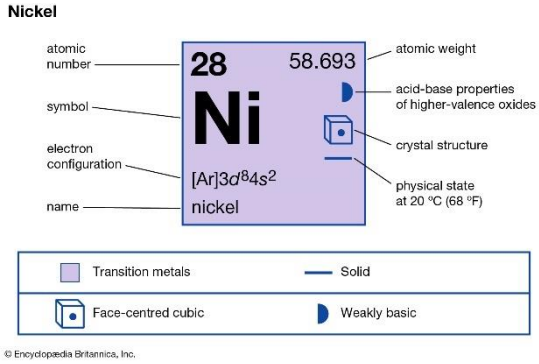
Penelitian Tambun et al., (2017) melaporkan katalis zeolite menghasilkan produk cair sebesar 84,2% pada suhu 400 ℃ dengan waktu kontak 120 menit. Hasil dari produk cair terdiri dari C_6-C_{12}, C_{14}-C_{16} dan C_{18}-C_{28}. Penelitian Laosiripojana et al., (2019) melaporkan bimetalik katalis Ni-Cu dapat digunakan dalam proses *hydrotreatment* karena sangat aktif untuk hidrogenasi, hidrodeoksigenasi dan *hydrocracking*. Konversi minyak *Eucalyptus* menjadi *liquid fuel* memperoleh hasil hidrodeoksigenasi sebesar 8,3% dengan relatif deposisi karbon rendah sebesar 3,4 WT% dicapai pada suhu 325 ℃ dengan waktu kontak 2 jam. Penelitian Mironenko et al., (2017) memodifikasi metode *catalytic cracking* menjadi *catalytic steam cracking* dengan penambahan katalis Mo merupakan efisiensi dari *hydrocracking* dan *steam cracking* dalam memproduksi minyak semisintetik. Penelitian Gurdeep Singh et al., (2020) melaporkan bahwa *biogasoline* telah berhasil diperoleh dari konversi minyak nabati dengan bantuan katalis zeolite yang diembankan logam Ni dan Cu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Cu/ZSM-5 menghasilkan *liquid* sebesar 79,1% serta meningkatkan kandungan isoparafin dari 1,6% menjadi 6,8%. Sebaliknya, Makertihartha et al., (2020) menyatakan dengan menggunakan katalis yang sama hanya menghasilkan *bio-naphta* 48% pada suhu regenerasi 600 ℃.

BAB III
LANDASAN TEORI

III.1 Landasan Teori

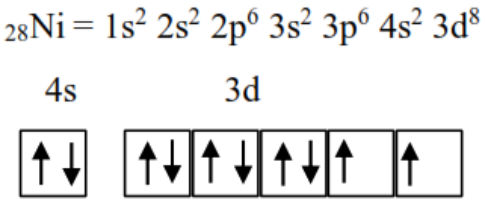
III.1.1 Logam *Nickel*

Proses penyediaan bahan bakar terbarukan diperlukan beberapa tahap proses supaya diperoleh bahan bakar dengan karakteristik tertentu. Logam transisi salah satunya adalah logam nikel merupakan logam yang digunakan untuk reaksi hidrogenasi. Logam tersebut telah digunakan secara luas dalam industri perminyakan, sebab memiliki daya adsorpsi yang kuat terhadap reaktan. Sehingga logam nikel mampu mengadsorpsi gas hidrogen pada permukaan serta mengaktifkan ikatan hidrogen-hidrogennya supaya menjadi lebih mudah bereaksi. Semakin luas permukaan logam maka interaksi antara senyawa-senyawa yang bereaksi juga akan bertambah besar, sehingga kecepatan reaksi juga ikut bertambah besar (Aini Nur, 2018).



Gambar 3.1 Logam Nikel

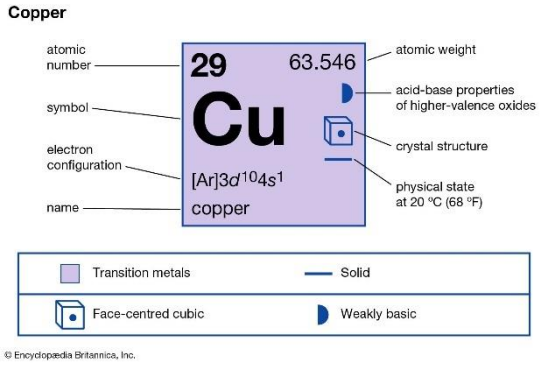
Nikel (Ni) merupakan logam putih perak keras yang bersifat liat, dapat ditempa dan sangat kokoh. Karakterisitik logam ini akan melebur pada suhu 1455 ℃, bersifat magnetik. Pada sistem periodic unsur logam Ni terletak pada bagian golongan B atau yang sering disebut bagian logam transisi dengan nomor atom 28, nomor massa 58,71 dan konfigurasi electron [Ar] $3d^8$. Tingkat oksidasi dari logam Ni umumnya tingkat oksidasi adalah +2 dan +3. Namun pada tingkat oksidasi +3 jarang dikenal. Hidrat ion Ni^{2+} berwarna hijau. Distribusi electron pada orbital-orbital atom Ni mengikuti aturan Hund. Elektron-elektron yang bebas dalam orbital d dengan konfigurasi seperti berikut.



Proses pembentukan katalis bimetalik salah satunya dapat dilakukan dengan impregnasi basah, yang mana material inti umumnya logam transisi 3d dipersiapkan terlebih dahulu, kemudian disispkan logam aktif (logam mulia atau logam transisi). Metode ini berlaku luas untuk sintesis katalis bimetalik dengan ukuran, bentuk, serta komposisi yang terkontrol dengan baik (De *et al.*, 2016).

III.1.2 Logam *Copper*

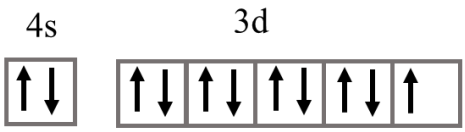
Proses perengkahan katalitik secara umum menggunakan katalis dengan pengembanan logam aktif. Tujuan pengembanan tersebut untuk memperbanyak jumlah sisi aktif (Zahrina and Akbar, 2012). Pengembanan logam umumnya menggunakan logam transisi salah satunya adalah logam tembaga. Logam tembaga mempunyai jari-jari atom kecil sehingga dapat tersebar merata pada pori-pori katalis. Hal tersebut dapat meningkatkan aktivitas serta selektivitas katalis (Lestari, Purwo Handoko and Sulistiyo, 2019).



Gambar 3.2 Logam Tembaga

Tembaga (Cu) adalah logam merah-muda, yang lunak, dapat ditempa, serta liat. Logam tersebut dapat melebur pada suhu 1038 ℃. Terdapat dua deret senyawa pada logam Cu yaitu Cu^{+}, Cu^{2+}, yang mana logam Cu mudah dioksidasikan menjadi senyawa tembaga (II) yang diturunkan dari tembaga (II) oksida, CuO, hitam. Garam-garam tembaga berwarna biru baik juga dalam bentuk hidrat (Svehla, 1979).

$_{29}Cu = 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^9$



Pada reaksi katalitik, logam Cu digunakan sebagai pengatomisasi molekul-molekul diatomik serta pemberi atom kepada reaktan lain atau intermediat. Pemilihan logam Cu sebagai promotor logam kedua dikarenakan logam tersebut dapat meningkatkan selektifitas dan aktivitas terhadap luas permukaan yang bertindak sebagai situs asam lewis untuk mempolarisasi ikatan C=O, sehingga logam Cu menjadi lebih reaktif pada reaksi hidrogenasi (Vargas-Hernández *et al.*, 2014). Umumnya peningkatan aktivitas katalis bimetalik disebabkan oleh optimalisasi struktur geometris. Sebagai logam 3d Cu ($3d^{10}$ $4s^1$) menunjukkan beberapa sifat katalitik dengan keadaan oksidasi logam Cu yakni Cu^0, Cu^{1+}, Cu^{2+} dan Cu^{3+}. Struktur koordinasi yang tepat dapat meningkat secara efektif aktivitas katalis. Pada beberapa kasus, logam sekunder hanya mempunyai fungsi sebagai pengubah orbital. Namun pada logam Cu memiliki peran sebagai pemercepat aktivasi pada reaktan (Han *et al.*, 2020).

III.1.3 Katalis Bimetal

Katalis bimetal adalah suatu campuran logam yang umumnya berupa paduan logam atau senyawa interlogam dari dua logam aktif katalitik. Interaksi logam-logam yang kuat dalam sistem bimetal dapat menyesuaikan ikatan antara reaktan dan permukaan katalis, sehingga menstabilkan keadaan transisi, reaksi antara zat serta berpengaruh pada peningkatan aktivitas dan selektivitas katalis (Suhanda, 2006). Beberapa contoh katalis bimetal beserta aplikasi yang digunakan seperti katalis Ni-Mo sebagai katalis pada pencampuran hidrogen dan argon (Mishakov et al., 2020), katalis Ni-Co sebagai katalis dehidrogenasi hidrazin hidrat (Suhanda, 2006), katalis Ni-Mo sebagai katalis pencairan biomassa menjadi *biooil* (Bahri, Indra and Setia, 2010), katalis Co-Ni sebagai katalis *biofuel* dari minyak kemiri (Al-muttaqii, 2016), katalis Ni-Cu sebagai katalis *hydrocracking* minyak kelapa (Suseno, 2019), katalis Ni-Cu sebagai katalis *hydrocracking* minyak goreng (Suseno et al., 2018), dan masih banyak lagi katalis bimetal dengan berbagai aplikasi. Dari berbagai katalis bimetal yang telah ada, logam Ni dan Cu dipilih sebagai katalis

bimetal yang akan digunakan pada proses perengkahan. Selain harga logam yang murah, dua logam tersebut mempunyai stabilitas termal, aktivitas serta aktivitas katalis yang baik dalam proses perengkahan. Hal tersebut telah dijelaskan pada subbab masing-masing logam.

Katalis dari perpaduan bimetalik dan karbon aktif lebih baik aktivitas katalisis dibandingkan dengan monometalik (Cu/KA dan Ni/KA) karena menghasilkan pembentukan paduan logam Ni-Cu yang meningkatkan selektivitas, aktivitas. Serta stabilitas katalis. Selain itu mempunyai sifat struktural, mekanik, kimia dan termal yang lebih baik. Impregnasi dibagi menjadi dua jenis yaitu impregnasi kering dan impregnasi basah. Salah satu metode yang baik untuk sintesis bimetalik/KA yaitu impregnasi basah. Prinsip impregnasi secara umum adalah dengan memasukkan zat aktivator secara paksa ke dalam pori-pori material yang disertai dengan proses pengadukan dan pemanasan. Impregnasi basah merupakan proses perendaman basah terhadap material dengan larutan yang akan mengisi pori-pori pada permukaan material. Metode impregnasi basah memungkinkan saturasi pori dengan pelarut yang kemudian mentransfer zat terlarut ke dalam pori-pori dengan difusi. Variabel dalam metode tersebut adalah pH, waktu impregnasi (distribusi logam), serta volume larutan (muatan logam pada penyangga). Waktu kontak tidak dapat mempengaruhi distribusi logam jika konsentrasi zat terlarut rendah dan volume tidak cukup. Sebelum metode dilakukan observasi terhadap rasio volume per gram untuk membasahi semua karbon aktif. Katalis bimetalik Ni-Cu yang disupport dengan penyangga karbon aktif melewati tiga Langkah yaitu; impregnasi. Pengeringan dan aktivasi. Setiap langkah menentukan dalam karakteristik yang berebda dari katalis, namun dari semua langkah tersebut impregnasi adalah langkah yang menentukan distribusi fase aktif karena terjadi kontak antara support dan promotor (Ramirez Hernandez, 2016).

III.1.4 Kopresipitasi

Metode kopresipitasi merupakan salah satu metode pembentukan senyawa anorganik seperti bimetal. Tahap dari metode tersebut didasari dengan proses pengendapan satu atau lebih zat secara serentak saat melewati titik kejenuhan. Kopresipitasi saat proses dilakukan menggunakan suhu rendah sehingga mudah dalam mengontrol ukuran partikel dengan waktu relatif cepat. Beberapa zat

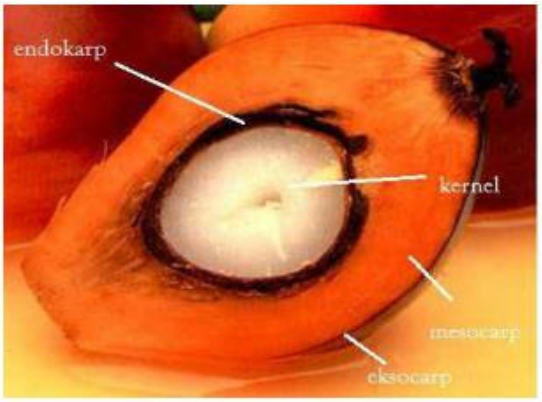
pengendap dalam metode kopresipitasi yakni karbonat, hidroksida, sulfat dan oksalat (Rosyidah, 2016). Proses metode kopresipitasi diawali dengan tahap pengendapan material-material dengan reaktan. Kemudian dilakukan proses pengeringan serta pencucian terhadap endapan yang terbentuk. Metode sintesis material dipengaruhi oleh ukuran, bentuk, distribusi ukuran partikel yang dihasilkan dan ikatan kimia pada permukaan material. Metode kopresipitasi merupakan metode yang sesuai sebab mempunyai proses yang efisien serta efektif. Partikel yang dihasilkan berukuran butiran yang sangat kecil. Sehingga mudah dalam menghasilkan partikel berukuran nanopartikel (Sihite Tua, 2021). Dalam hal ini metode kopresipitasi digunakan dalam pembentukan nanopartikel bimetal.

Nanopartikel bimetal merupakan hasil pembentukan nanopartikel dari gabungan dua buah logam dengan zat pengendap untuk menghasilkan nanopartikel dengan berbagai variasi struktur. Nanopartikel bimetal mempunyai struktur yang khas yakni campuran berbagai geometri yang dipengaruhi oleh sifat, bentuk dan fungsi sebagai nanopartikel bimetal. Perpaduan logam yang menghasilkan nanopartikel bimetal menunjukkan sifat fisik serta struktur yang efektif dengan pemodifikasian sifat fisik dan kimia, sehingga pemilihan antara kedua logam berpengaruh terhadap hasil akhir pembentukan nanopartikel bimetal (Syam Aulya, 2022).

III.1.5 Kelapa Sawit

Tanaman kelapa sawit merupakan tumbuhan tropis golongan plasma yang tanaman tahunan. Kelapa sawit awalnya berasal dari negara Afrika Barat dan sekarang tumbuh subur di Indonesia. Tanaman tersebut adalah tanaman yang sangat penting bagi pembangunan nasional perkebunan kelapa sawit yang dapat menyerap lapangan tenaga kerja yang lebih besar dan sebagai sumber devisa negara (Masykur, 2013). Kelapa sawit merupakan tanaman berkeping satu berfamili *Palmae* yang memiliki daging buah berwarna putih kuning dan berwarna jingga setelah buah matang. Kelapa sawit mempunyai akar tunggang saat tanaman keluar dari biji, kemudian akar tersebut akan berganti menjadi akar serabut saat proses pertumbuhan berlangsung secara berkala (Heryani and Nugroho, 2017). Tanaman sawit terdiri dari empat bagian utama yakni eksokarp, mesokarp, endokarp dan endosperma. Eksokarp merupakan bagian paling terluar berupa kulit yang

bertekstur licin berwarna merah jingga. Mesokarp adalah daging buah yang berserabut berwarna kuning terang. Bagian tersebut tempat terkandungnya minyak yang tersimpan. Endokarp merupakan bagian dari tempurung sawit yang berfungsi untuk melindungi inti sawit. Endosperma adalah inti dari kelapa sawit (A. Nugroho, 2019).



Gambar 3.3 Penampang bagian kelapa sawit (Heryani and Nugroho, 2017)

Berbeda dengan jenis tanaman penghasil minyak lainnya, kelapa sawit menghasilkan dua jenis minyak yang sama-sama diolah dan diproses dengan pengepresan daging buah sawit yang akan menghasilkan minyak sawit kasar atau yang dikenal sebagai *Crude Palm Oil* (CPO) dan minyak inti sawit kasar atau yang dikenal sebagai *Crude Palm Kernel Oil* (CPKO) (Heryani and Nugroho, 2017). Minyak kelapa sawit yang berasal dari buah tanaman tersebut, yang satu tandannya dapat memiliki berat sebesar 40-50 kg. Seratus kilogram dari bibit minyak tersebut dapat menghasilkan sekitar 20 kg minyak. Satu hektar kelapa sawit dapat menghasilkan 5.000 kg minyak mentah atau hampir sekitar 6.000 liter (Masykur, 2013).

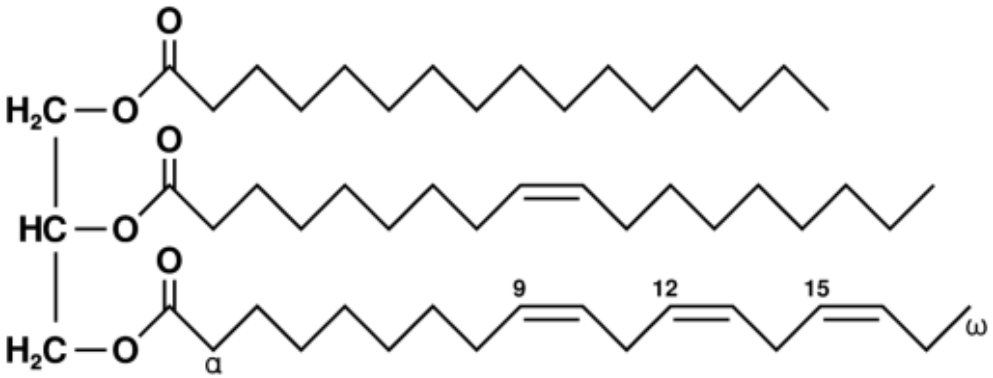
III.1.6 *Crude Palm Oil* (CPO)

CPO merupakan minyak yang diperoleh dari daging buah. Minyak tersebut dikenal sebagai minyak kelapa sawit kasar atau CPO (Heryani and Nugroho, 2017). Minyak kelapa sawit mengandung asam lemak jenuh (asam palmitat (C16) (40 – 46%)), asam lemak tidak jenuh (asam oleat (C18:1) (39 – 45%)) dan (asam linoleat (7 – 11%). Berikut karakteristik fisika dan kimia dari minyak kelapa sawit pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Karakteristik fisika dan kimia minyak kelapa sawit (Heryani and Nugroho, 2017)

Sifat	Minyak Sawit
Warna	Kuning
Fisik	Tidak larut dalam air
Bobot jenis	0,900
Indeks bias pada 40 ℃	1,4565 – 1,4585
Bilangan Iod	46 – 48
Bilangan penyabunan	196 – 206
Reaksi Hidrolisa	Diubah menjadi asam lemak dan gliserol
Penambahan basa	Terjadi reaksi penyabunan
Kontak dengan O_2	Terjadi reaksi oksidasi

Komposisi minyak kelapa sawit dominan lemak yang berkisar 95% berupa trigliserida dan sisanya asam lemak bebas (*free fatty acid*). Komponen utama minyak kelapa sawit adalah trigliserida. Trigliserida merupakan molekul penyusun minyak yang terdiri tiga molekul asam lemak yang terikat pada gliserol. Susunan asam lemak tersebut dapat berupa asam lemak sejenis ataupun berbeda, baik itu dari jumlah rantau karbon ataupun ikatan rangkapnya. Susunan komposisi tersebut yang membedakan berbagai jenis minyak nabati atau hewani (A. Nugroho, 2019). Berikut struktur serta komposisi asam lemak pada minyak kelapa sawit.



Gambar 3.4 Contoh struktur kimia trigliserida (A. Nugroho, 2019)

Tabel 3.2 Asam-asam lemak pada CPO (Proses, Cpo and Cpko, 2017)

Asam Lemak	Panjang Rantai Karbon	Persentase Total
Asam Laurat	C12:0	0,1 – 1,0
Asam Miristat	C14:0	1,1 – 2,5
Asam Palmitat	C16:0	40 – 46
Asam Palmitoleat	C16:1	0,1 – 0,3
Asam Stearat	C18:0	3,6 – 4,7
Asam Oleat	C18:1	39 – 45
Asam Linoleat	C18:2	7 – 11
Asam Linolenat	C18:3	0,2 – 0,6

Gambar 3.4 menunjukkan struktur kimia dari trigliserida. Tabel 3.2 menunjukkan kandungan asam lemak yang terdapat pada CPO. Minyak kelapa sawit memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan minyak nabati lainnya seperti, sumber minyak nabati dengan tingkat efisiensi tinggi, pemanfaatan yang luas (minyak goreng, margarin, *shortening*), sumber energi yang baik, memiliki karakteristik yang unik (tidak mengandung asam lemak trans), memiliki komposisi asam lemak yang seimbang, serta keluasan dalam ragam pemanfaatan di bidang pangan maupun nonpangan. Dari keunggulan minyak kelapa sawit tersebutlah dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif pengganti minyak bumi (Susanti, 2015). Namun, pada industri minyak kelapa sawit tentu akan menghasilkan limbah pada proses pembuatannya.

Limbah-limbah dari proses produksi CPO dikelompokkan menjadi empat jenis yakni limbah padat, limbah cair, limbah gas dan limbah B3. Limbah padat antara lain seperti tandan kosong sawit, tempurung sawit, serat dan abu. Limbah cair antara lain seperti air kondensat, air cucian pabrik dan air limbah dari proses klarifikasi. Limbah gas antara lain seperti asap pembakaran biomassa dari ketel uap. Limbah B3 antara lain seperti oli bekas dari mesin produksi dan sarana transportasi yang beroperasi di pabrik. Limbah padat merupakan limbah utama dalam produksi minyak kelapa sawit.

Limbah padat dari industri minyak sawit banyak mengandung senyawa organik seperti karbon, kalori, serta mineral yang tinggi. Salah satu limbah padat tersebut adalah tempurung. Rata-rata produksi kelapa sawit per tahun adalah sebesar 5,6 juta ton. Jumlah ini akan meningkat seiring dengan peningkatan produksi minyak sawit.

Ketersediaan limbah tersebut, maka diperlukan suatu proses untuk mengubah limbah tempurung kelapa sawit menjadi suatu produk bernilai ekonomis tinggi seperti karbon aktif (Yuliusman, 2015).Tempurung kelapa sawit merupakan limbah yang tidak cepat terurai oleh tanah sehingga perlu dilakukan pengolahan dan pemanfaatan yang tepat (A. Nugroho, 2019). Pemanfaatan tempurung dapat dilakukan salah satunya dengan menjadikan limbah tersebut sebagai karbon aktif. Tempurung adalah material mentah yang tepat mengandung ligniselulosa yang berkadar karbon tinggi, mengandung selulosa sebesar 26,6% dan hemiselulosa 27,7% yang baik untuk pembuatan karbon aktif (Yuliusman, 2015).

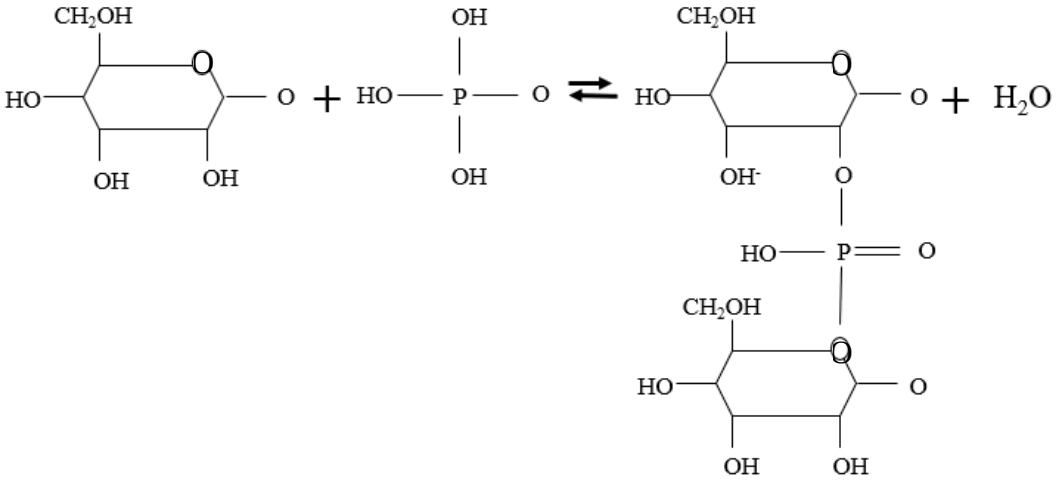
III.1.7 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan senyawa karbon amorf yang diproses dengan aktivasi sehingga terbentuk luas permukaan (sekitar 300 – 2000 m^2/g) (Marina Olivia Esterlita and Netti Herlina, 2015) dan pori-pori. Struktur pori dan permukaan karbon aktif terbentuk setelah melalui proses aktivasi kimia ataupun fisika (Pujiono and Mulyati, 2017). Aktivasi tersebut bertujuan untuk meningkatkan daya adsoprsi, sehingga pori-pori tersebut memiliki gaya *Van der Waals* yang kuat (Erlina, Umiatin and Budi, 2015). Tempurung kelapa secara umum di gunakan sebagai bahan bakar sehari hari. Beberapa metoda sudah dilakukan untuk meningkatkan nilai ekonomi tempurung kelapa seperti souvenir, tas dan sebagainya. Pengembangan inovasi pemanfaatan tempurung kelapa dibuat untuk karbon aktif. Pembuatan karbon aktif dapat dilakukan dengan 2 metoda yaitu proses aktivasi fisika dan aktivasi kimia (Nustini and Allwar, 2019). Karbon aktif dihasilkan dari bahan baku yang mengandung sumber karbon seperti hemiselulosa, selulosa, lignin dan pektin. Pemilihan bahan baku karbon aktif ditentukan oleh beberapa faktor yaitu kecenderungan berstruktur pori, kuantitas dan harga yang murah seperti limbah pertanian, salah satunya adalah tempurung kelapa sawit.

Pembentukan karbon aktif melalui dua proses yaitu karbonisasi dan aktivasi. Karbonisasi adalah penguraian selulosa organik menjadi unsur karbon dan penghilangan unsur non karbon yang berlangsung pada suhu dan waktu tertentu. Saat karbonisasi sedang berlangsung, terjadi volatilitas selulosa atau yang disebut dengan tar. Aktivasi merupakan perlakuan pada karbon untuk memperbesar pori dan permukaan dengan memecah ikatan hidrokarbon sehingga mengalami

perubahan sifat fisika dan kimia material tersebut (Wahyuni and Fathoni, 2019). Aktivasi dilakukan dengan proses perendaman di dalam agen aktivator dengan tujuan untuk membantu membuka pori-pori serta membentuk pori baru sehingga permukaan material menjadi semakin luas dan besar (Hartanto, 2010).

Salah satu metode pembentukan karbon aktif yaitu metode impregnasi. Impregnasi merupakan salah satu metode dalam preparasi karbon aktif yang paling sederhana dan efisien. Metode tersebut dilakukan dengan cara mengadsorpsikan komponen aktif dalam larutan aktivator kepada padatan pengemban. Tujuan impregnasi adalah untuk memenuhi pori pengemban dengan larutan aktivator. Aktivasi dapat secara kimia atau fisika. Aktivator secara kimia umumnya dalam pembuatan material berpori menggunakan aktivator KOH, $ZnCl_2$ dan H_3PO_4 dalam menghasilkan karbon aktif yang mempunyai permukaan luas untuk menyerap dan mempunyai pori-pori yang besar (Tadeus *et al.*, 2013). Berikut salah satu mekanisme reaksi material berpori dengan zat aktivator H_3PO_4 yang ditunjukkan pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Mekanisme reaksi selulosa dengan asam posfat (Esterlita and Herlina, 2015)

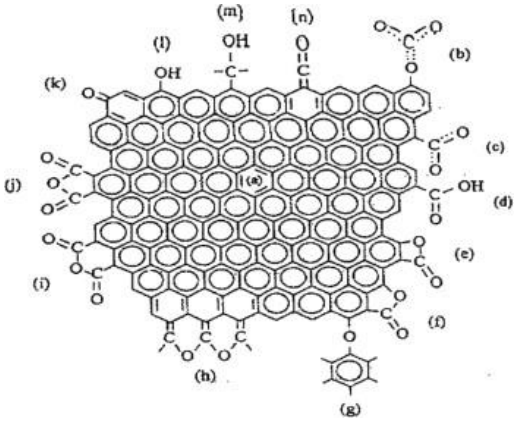
Aktivator H_3PO_4 bereaksi dengan selulosa yang menyebabkan pemutusan ikatan OH dari salah satu senyawa selulosa. Hal ini membuat asam posfat berikatan dengan seluosa. Proses pengikatan ini akan membentuk pori pada proses pemanasan suhu tinggi. Hasil pemutusan menghasilkan produk samping berupa H_2O dalam bentuk gas. Setelah mengalami pemanasan dengan suhu yang tinggi,

senyawa zat aktivator menghilang. Sehingga menyebabkan terbentuk pori-pori pada material.

Keunggulan dari metode impregnasi adalah perlakuan relatif sedikit, sesuai untuk katalis dengan persen berat komponen aktif katalis yang kecil. Secara umum impregnasi dapat dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

1. Material pengemban dicuci kemudian dipanaskan dalam oven untuk menghilangkan zat pengotor. Zat pengotor dapat menghambat penetrasi larutan aktivator masuk ke dalam material pengemban.
2. Material pengemban dikontakkan dengan larutan aktivator.
3. Larutan aktivator berlebih dihilangkan.
4. Material dikeringkan di dalam oven pada suhu 105-110 ℃.
5. Setelah material kering, kemudian dikalsinasi pada suhu tertentu untu menguapkan pelarut.
6. Kalsinasi kemudian dialirkan gas nitrogen untuk membantu proses pembentukan pori-pori baru pada material (Karakter, Kobalt and Alam, 2016).

Karbon aktif pada katalisis heterogen berperan sebagai penyangga katalis ataupun katalis. Karbon aktif merupakan senyawa *amorf* yang mengandung karbon-karbon, selain itu berupa oksigen, hidrogen, sulfur, nitrogen dan senyawa lainnya yang terbentuk dalam proses pembuatan. Karbon aktif biasanya dibuat oleh dekomposisi termal dengan aktivasi menggunakan larutan impregnasi, aliran gas yang diikuti dengan suhu yang tinggi (700-1000 ℃). Proses aktivasi akan menghilangkan senyawa penghambat karbonisasi sehingga akan terbentuk pori-pori karbon. Pori-pori inilah yang akan disisipkan dengan bimetal (R.M Augustya and Rasyida, 2018)



Gambar 3.6 Struktur karbon aktif

Karbon aktif mengandung sejumlah kecil hidrogen dan oksigen yang terikat pada gugus fungsi misalnya karboksil, fenol dan eter. Gugus fungsi ini dapat berasal dari bahan baku karbon aktif. Selain itu, gugus fungsi pada karbon aktif juga terbentuk selama proses aktivasi oleh adanya interaksi radikal bebas permukaan karbon dengan oksigen atau nitrogen yang berasal dari atmosfer. Gugus fungsi ini menjadikan karbon aktif reaktif secara kimia dan dapat mempengaruhi sifat adsorpsinya (R.M Augustya and Rasyida, 2018). Berdasarkan pori-porinya, karbon aktif dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu (IUPAC):

1. Mikropori. Merupakan bagian paling luar dari karbon aktif, diameter <2 nm
2. Mesopori. Memiliki diameter 2-50 nm Mesopori merupakan cabang setelah makropori dan berfungsi sebagai sarana transportasi.
3. Makropori. Memiliki diameter >50 nm.

III.1.8 Metode Pengembanan

Komposit adalah gabungan dua material atau lebih yang membentuk sifat baru pada material tersebut. Pada bentuk material gabungan bahan penyusun saling berhubungan namun tetap dalam bentuk material asli. Namun, pembedanya berada pada sifat akhir dari material tersebut yang lebih baik daripada sebelumnya (Mazumdar, 2002). Katalis merupakan zat yang membantu mempercepat reaksi dengan suhu tertentu tanpa berpengaruh dengan reaksi itu sendiri.

Komposit sebagai katalis dapat diaplikasikan sebagai proses hidrogenasi pada minyak nabati. Proses hidrogenasi dilakukan dengan penambahan logam transisi seperti Ni, Pt dan Pd (Rasidi, Bawa Putra and Suarsa, 2015). Proses untuk

memperoleh produk dapat dilakukan dengan katalis berbasis bimetal dengan karbon aktif sebagai penyangga. Modifikasi katalis bimetalik dengan penambahan promotor. Salah satunya menggunakan *solid catalysts* seperti karbon aktif, *zeolite*, clay dan sebagainya. Katalis berpromotor dibuat dengan metode pembuatan impregnasi dan kopresipitasi (Rahmawati, Intaningrum and Istadi, 2013). Katalis logam merupakan salah satu jenis katalis heterogen. Katalis logam banyak digunakan pada proses industri seperti penggilangan minyak bumi serta produksi bahan kimia sebagai katalis reforming, isomerasi dan *hydrocracking*. katalis tersebut dapat membantu memecah rantai senyawa karbon (Sianturi, 2009). Karbon aktif umumnya digunakan sebagai adsorben dan filter, namun karbon aktif dapat digunakan sebagai penyangga katalis. Sebagai penyangga, karbon aktif memiliki struktur yang dapat mendispersikan situs aktif sehingga dapat menambah jumlah situs aktif. Katalis heterogen mempunyai *yield* lebih rendah, pada pengembangan katalis padat. Salah satu diantarnya yaitu pengembangan katalis padatan oksida (*metal oxide*).

Terdapat beberapa macam metode preparasi untuk menempatkan komponen logam pada material berpori yaitu metode impregnasi -yaitu memasukkan katalis logam secara paksa ke dalam rongga-rongga pengemban, pertukaran ion, kopresipitasi, deposisi, *ultrasound* dan lain-lain. Beberapa contoh metode yang telah dilakukan pada proses pengembanan yakni sintesis katalis Ni-Cu/ZrO_2 menggunakan impregnasi (Suseno, 2019), sintesis katalis Ni-Cu/BZR menggunakan impregnasi basah (Suseno et al., 2018), sintesis katalis Ni-Cu/Char menggunakan impregnasi (Huang et al., 2021), katalis Ni-Cu/SiO_2 menggunakan impregnasi via *phyllosilicate* (Ashok et al., 2015), katalis Cu-Ni/Char menggunakan *ultrasound* dengan media air (Felpin & Fouquet, 2008) dan sebagainya. Dari beberapa metode tersebut yang paling umum digunakan adalah impregnasi. Pembuatan katalis bimetal dengan metode impregnasi terpisah mempunyai efektivitas yang lebih baik daripada pembuatan katalis dengan metode koimpregnasi. Impregnasi merupakan prosedur yang umum untuk membuat katalis dengan dua logam pengemban (bimetal). Katalis bimetal dapat dibuat dengan cara kedua garam logam dimasukkan dalam waktu yang sama (koimpregnasi) atau dengan cara garam logam pertama dimasukkan kemudian diikuti garam logam kedua (impregnasi terpisah).

Dalam koimpregnasi, letak dan sifat logam dalam pengemban tergantung pada jenis garam prekursor yang digunakan dan kecenderungan untuk membentuk paduan dua komponen. Sedangkan dalam impregnasi terpisah diharapkan logam dapat terdispersi secara merata karena tidak adanya kompetisi antara logam untuk masuk dalam pengemban.

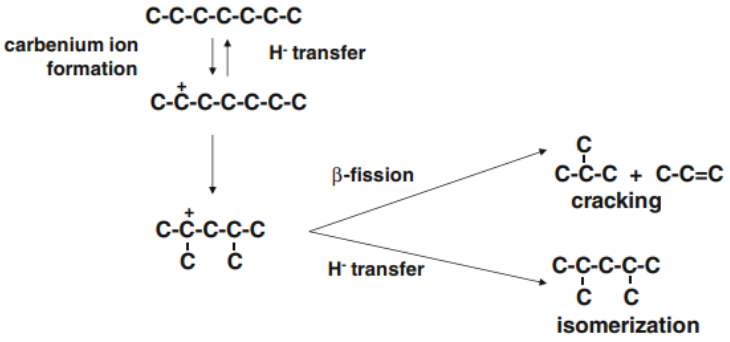
III.1.9 Perengkahan

Katalis pada perengkahan umumnya dikenal sebagai katalis *bifunctional*. Katalis tersebut terdiri dari logam yang berperan sebagai tahap hidrogenasi dan situs asam (material *amorf*) yang berperan sebagai proses perengkahan. Tahap hidrogenasi dapat menghilangkan zat pengotor seperti belerang, nitrogen dan logam. Sedangkan pada situs asam adalah tahap pemutusan atau pemecahan ikatan sehingga produk yang dihasilkan lebih sederhana dan stabil (Fahim, Alsahhaf and Elkilani, 2010).

Kinerja material katalis dapat dibuktikan dengan reaksi kimia yang sebagian besar diterapkan dalam industri penghasil bahan bakar. Proses industri, awalnya tidak melibatkan katalis yang dilakukan pada suhu tinggi diatas 500 ℃. Seiring berkembangnya material katalis yang beragam, proses reaksi kimia pada industri tersebut mulai menggunakan katalis untuk lebih menghemat energi serta mempercepat laju reaksi. Konsep dasar reaksi perengkahan terdiri atas perengkahan termal dan perengkahan katalitik (Trisunaryanti,2019). Perengkahan pada prinsipnya yaitu proses pemutusan senyawa hidrokarbon yang kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar dari minyak umpan (Napitupulu R, Kamisah D Pandaingan, 2012). Reaksi perengkahan melibatkan pemutusan ikatan antara C-C yang merupakan reaksi endotermik secara termodinamika dengan suhu yang tinggi. Terdapat beberapa proses yang melibatkan reaksi hidrokarbon, antara lain:

1. *Thermal Cracking* adalah proses perengkahan termal tanpa menggunakan katalis dalam proses pemutusan senyawa hidrokarbon berat menjadi senyawa hidrokarbon yang lebih sederhana. Jika hidrokarbon tanpa adanya katalis diperlakukan pada suhu tinggi makan akan terjadi perengkahan termal melalui mekanisme radikal bebas.

2. *Catalytic Cracking* merupakan proses perengkahan yang dilakukan dengan katalis berinteraksi secara langsung dengan minyak umpan yang kemudian dipanaskan pada suhu yang tinggi (Napitupulu R, Kamisah D Pandaingan, 2012).
3. *Hydrotreating* adalah proses hidrogenasi katalitik yang digunakan dalam pengilangan minyak bumi. Proses tersebut digunakan untuk meningkatkan kualitas produk akhir dengan tujuan untuk memperbaiki warna dan stabilitas produk.
4. *Hydrocracking* merupakan kombinasi dari perengkahan katalitik dan hidrogenasi pada tekanan yang tinggi. Gas hidrogen akan menghidrogenasi kokas pada katalis sehingga akan meminimalisir laju pembentukan kokas yang membuat hidup katalis lebih lama dicapai. Suhu reaksinya lebih rendah dibandingkan perengkahan katalitik yaitu dalam rentang 200-400 ℃, serta tekanan gas hidrogen sekitar 1-10 MPa (Trisunaryanti,2019). Proses perengkahan *bersupport* katalis dengan mereaksikan minyak nabati pada suasana gas hidrogen dengan suhu dan tekanan tertentu, dimana akan dikonversikan menjadi bahan bakar alternatif (*biofuel*) (Nugroho, Fitriyanto and Roesyadi, 2014). *Biofuel* dapat diperoleh dari transesterifikasi. Biodiesel yang diperoleh dari minyak nabati dengan reaksi transesterifikasi dengan metanol (Marlinda *et al.*, 2017). Reaksi *hydrocracking* berlangsung dengan mekanisme bifungsi yakni, dua jenis situs katalitik yang berbeda. Fungsi asam berguna untuk perengkahan dan isomerisasi dan fungsi logam digunakan untuk pembentukan hidrokarbon dan hidrogenasi dalam reaksi panas. Reaksi panas yang dilepaskan merupakan fungsi dari pemakaian hidrogen, dimana semakin tinggi tingkat pemakaian hidrogen maka semakin tinggi suhu yang dihasilkan (Treese, Pujadó and Jones, 2015). Berikut mekanisme perengkahan sederhana beserta hasil produk isomer dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Proses sederhana perengkahan (Hattori, 2010)

Mekanisme proses hydrocracking pada CPO mengalami proses berturut-turut yakni *decarboxylation*, *decarbonylation* dan *hydrodeoxygenation.* Berikut mekanisme reaksi ketiga tahap (Aini *et al.*, 2020b).

1. *Decarboxylation* : terjadi pembentukan CO_2

$C_{17}H_{35}COOH \longrightarrow C_{17}H_{36} + CO_2$

2. *Decarbonylation* : menghasilkan hidrokarbon utama dengan bilangan karbon ganjil dan produk samping H_2O dan CO

$C_{17}H_{35}COOH + H_2 \longrightarrow C_{17}H_{36} + H_2O + CO$

3. *Hydrodeoxygenation* : menghasilkan hidrokarbon utama dengan bilangan karbon genap dan produk samping H_2O

$C_{17}H_{35}COOH + 3H_2 \longrightarrow C_{18}H38 + 2H_2O$

III.1.10 *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Spektroskopi inframerah atau sering disebut dengan FTIR merupakan salah satu teknik spektroskopi berdasarkan penyerapan sinar inframerah pada suatu senyawa untuk menunjukkan gugus-gugus fungsi. Inframerah adalah radiasi elektromagnetik dari radiasi panjang gelombang yang lebih panjang dari gelombang tampak namun lebih panjang dari gelombang mikro. Energi pada inframerah sangat kecil sehingga hanya mampu menyebabkan vibrasi atom-atom pada seyawa yang diserapnya. Prinsip kerja dari FTIR berdasarkan interaksi energi radiasi elektromagnetik dengan suatu materi. Radiasi tersebut memiliki rentang frekuensi 400-4000 cm^{-1} yang dikenal sebagai bilangan gelombang (*wavenumber*). Radiasi tersebut akan dilewatkan melalui sampel yang kemudian akan terdeteksi

gugus-gugus tersebut yang berasal dari vibrasi yang dihasilkan. Kemudian hasil yang diperoleh ditampilkan dalam bentuk spektrum (Sinaga, 2017). Syarat sampel yang dapat dianalisis dengan FTIR yaitu senyawa mempunyai gugus fungsi, berbentuk padat, cairan, gas dan senyawa organik. Daerah spektrum inframerah dapat dibagi menjadi dua yaitu:

1. Daerah Frekuensi Gugus Fungsional

Terletak pada daerah radiasi 4000-1400 cm^{-1}, bagian dari daerah ini menunjukkan absorbsi yang timbul karena ikatan dan gugus. Kebanyakan puncak absorbsi dalam daerah spektrum ini dengan mudah dikenal berasal dari gugus fungsional yang khas.

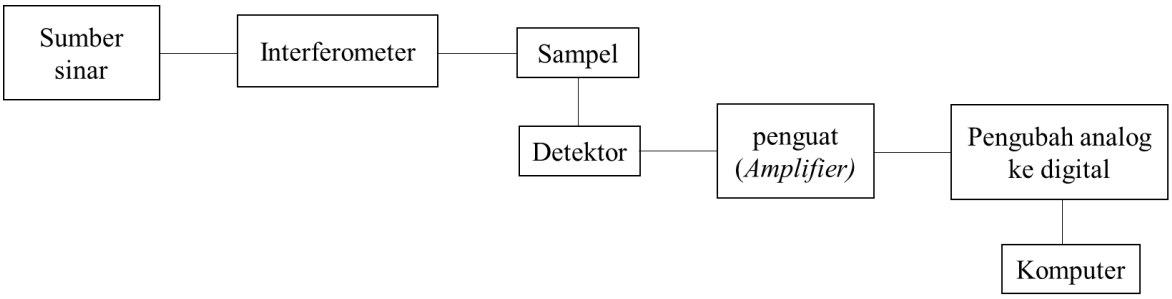
2. Daerah Sidik Jari (*Fingerprint*)

Terletak pada daerah 1400-400 cm^{-1}, pita-pita absorpsi pada daerah ini berhubungan dengan vibrasi molekul secara keseluruhan. Setiap atom dalam molekul akan saling mempengaruhi sehingga dihasilka pita-pita absorpsi yang khas untuk setiap model. Berikut daftar gugus fungsi serta bilangan gelombang IR.

Tabel 3.3 *Database* Gugus Fungsi IR (R.M Augustya and Rasyida, 2018)

Ikatan	**Tipe Senyawa**	**Daerah Frekuensi (cm^{-1})**	**Intensitas**
C-H	Alkana	2850-2970 1340-1470	Kuat Kuat
C-H	Alkena	310-3095 675-995	Sedang Kuat
C-H	Alkuna	3300	Kuat
C-H	Cincin aromatik	3010-3100 690-900	Sedang Kuat
O-H	Fenol, monomer alkohol, alkohol ikatan hidrogen, fenol	3590-3650 3200-3600	Berubah-ubah Berubah-ubah, terkadang melebar
	Monomer asam karboksilat, ikatan hidrogen asam karboksilat	3500-3650 2500-2700	Sedang Melebar
N-H	Amina, amida	3300-3500	Sedang
C=C	Alkena	1610-1680	Berubah-ubah
C=C	Cincin aromatik	1500-1600	Berubah-ubah

C≡ C	Alkuna	2100-2260	Berubah-ubah
C-N	Amina, amida	1180-1360	Kuat
C≡ N	Nitril	2210-2280	Kuat
C-O	Alkohol, eter, asam karboksilat, ester	1050-1300	Kuat
C=O	Aldehid, keton, asam karboksilat, ester	1690-1760	Kuat
NO_2	Senyawa nitro	1500-1570 1300-1370	Kuat Kuat



Gambar 3.8 Mekanisme Kerja FTIR

Mekanisme yang terjadi pada FTIR yaitu sinar datang dari sumber sinar yang kemudian diteruskan ke interferometer, fluktuasi sinar sampai pada detektor ini akan menghasilkan sinyal pada detektor yang terdapat pada interferometer, yang berfungsi sebagai pengatur intensitas sumber sinar inframerah dengan mengubah dari posisi cermin pemantul yang memantulkan sinar dari sumber sinar ke sampel. Kemudian sinar memasuki kompartemen sampel, yang diteruskan melalui cermin dari permukaan sampel yang tergantung pada jenis analisis. Sinar akhirnya lolos ke detektor untuk pengukuran akhir. Detektor ini digunakan khusus dirancang untuk mengukur sinar interfrogram khusus. Sinyal yang diukur secara digital dan dikirim ke komputer untuk diolah menjadi hasil spektrum.

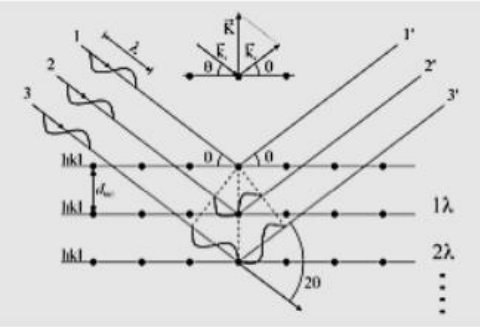
III.1.11 *X-ray Diffraction* (XRD)

XRD adalah metode analisis berdasarkan interaksi antara sinar-X dengan atom yang tersusun dalam sebuah sistem kristal. Radiasi sinar-X terjadi disebabkan transisi elektron dari orbital yang mempunyai tingkat energi lebih tinggi menuju orbital dengan tingkat energi yang lebih rendah melalui 2 tahapan yakni;

1. Sebuah elektron yang terletak di kulit bagian dalam terpental ke luar atom karena adanya berkas cahaya atau berkas elektron dari luar.

2. Kekosongan elektron ini selanjutnya digantikan oleh elektron dari kulit yang lebih luar disertai pemancaran sinar-X.

XRD digunakan untuk memperoleh informasi tentang struktur dan komposisi material kristalin, senyawa yang biasa dapat diidentifikasi menggunakan tabel pola referensi. Kisi ruang kristal merupakan susunan titik pada ruang tiga dimensi yang mempunyai lingkungan identik antara satu dengan lainnya. Kesatuan yang berulang pada kisi disebut sel unit struktur kristal, pada struktur jenis kristal terdapat 7 buah kemungkinan susunan sel unit terdiri dari; *Triclinic*, *monoclinic*, *orthorhombic*, *Tetragonal*, *cubic*, *hexagonal*, *Rhombohedral*. Pada beberapa sistem kristal terdapat jenis kisi, diantaranya *primitive*, *Body-Centered*, *Face-Centered* dan *Side Centered* (Setiabudi, 2012). Prinsip kerja dari XRD berdasarkan sinar-X yang dihasilkan pada tabung sinar X yang kemudian ditembakkan ke sampel. Setelah terdifraksi, sampel akan melewati celah penerima dan menjadi konvergen. Konvergen berkas menentukan lebar berkas yang sampai ke detektor. Peningkatan lebar celah akan meningkatkan intensitas refleksi pada pola difraksi. Puncak difraksi yang dihasilkan sesuai dengan sinar-X yang didifraksikan pada sampel (Christyaningsih, 2020).



Gambar 3.9 Diagram Teknik XRD (Christyaningsih, 2020)

secara umum proses teknik berlangsung dengan bila sinar datang (1,2,3) dengan Panjang gelombang (l) menembus struktur atom yang membentuk pola pada bidang hkl dengan jarak antar bidang (d_{hkl}) akan menghasilkan sinar (1',2',3') dengan intesitas diukur sebagai sudut datang (2θ). Interferensi dapat terjadi jika hukum Bragg terpenuhi (Christyaningsih, 2020). Pada persamaan tersebut terdapat dua variabel untuk menghasilkan pola difraksi yakni; Panjang gelombang dan sudut difraksi. Nilai d tidak dapat divariasikan sebab merupakan rusuk yang

menghubungkan antara bidang kristal dan bernilai tetap bagi suatu sistem kristal kecuali struktur kristal mengalami perubahan seperti penyisipan pada material komposit (Setiabudi, 2012).

$$n\,\lambda\, = 2\,d\sin\theta$$

Berkas cahaya yang mengenai material logam bersifat polikromatik yang menyebabkan interaksi sinar dengan logam yang menghasilkan dua jenis spektrum yaitu spektrum kontinyu dan spektrum garis. Spektrum kontinyu terjadi disebabkan berkas sinar mengenai material tidak mengalami percepatan sehingga energi yang dimilikinya lebih kecil dari energi yang dimiliki atom pada material untuk mengikat elektronnya. Pada spektrum garis terjadi karena elektron mengalami akselerasi yang disebabkan oleh tumbukan antara elektron dengan plat logam yang menyebabkan elektron pada kulit bagian dalam tereksitasi dan terpental. Sehingga elektron yang berada pada orbital lebih tinggi akan mengalami transisi sambil memancarkan energi yang dimiliki elektron yang tereksitasi (Setiabudi, 2012).

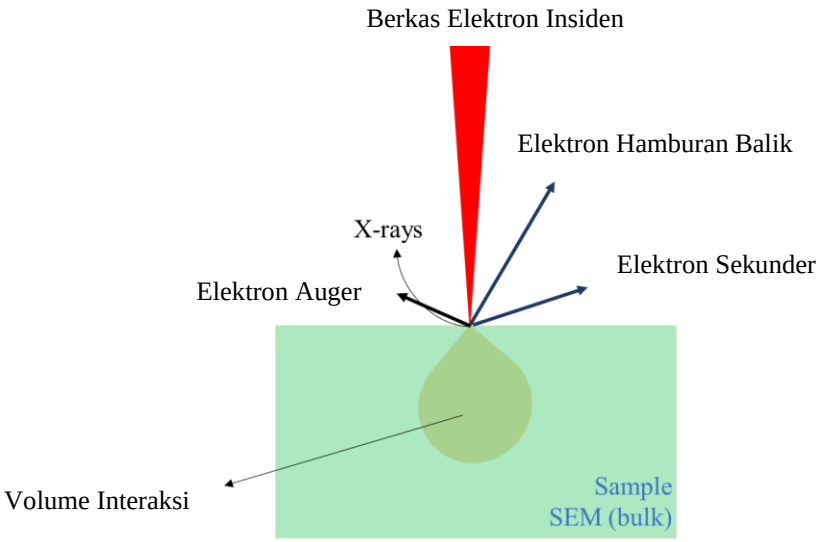
Hasil analisis XRD berupa difraktogram berupa susunan puncak dengan intensitas serta posisi berbeda pada material yang dianalisis. Tiap susunan mempunyai karakteristik untuk penentuan kesesuaian setiap puncak pada nilai sudut 2 theta. Kesesuaian tersebut dibandingkan data dari JCPDS (*Joint Committee Powder Diffraction Standar*). Difraksi sinar-X dapat digunakan untuk menentukan ukuran kristal dengan fase tertentu. Penentuannya menggunakan persamaan Debye Scherrer sebagai berikut.

$$D = \frac{K\lambda}{\beta cos\Theta}$$

dengan keterangan D sebagai nilai ukuran kristal, K sebagai nilai faktor bentuk dari kristal (0.9-1), β sebagai nilai dari *Full Width at Half Maximum* (FWHM) dan Θ sebagai nilai sudut difraksi. Persamaan Debye Scherrer menunjukkan bahwa nilai ukuran kristal yang dihasilkan akan berbanding terbalik dengan nilai FWHM. Nilai FWHM dipengaruhi oleh intensitas masing-masing bidang kristal, yang mana semakin tinggi intensitas maka nilai FWHM semakn kecil (Masruroh *et al.*, 2013).

III.1.12 *Scanning Elektron Microscope – Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX) dan *Mapping*

SEM-EDX adalah mikroskop elektron yang menunjukkan morfologi permukaan serta detail suatu specimen dengan resolusi yang tinggi serta untuk menampilkan komposisi kimia dari spesimen uji (Hoten, 2020). Komponen utama dari alat SEM adalah tiga pasang lensa elektromagnetik sebagai pemberi focus berkas elektron menjadi titik kecil, yang kemudian di*scan*-kan dengan frekuensi variable pada permukaan spesimen. Komponen kedua merupakan sumber elektron berupa filamen dari bahan kawat berbentuk jarum dari *Lantanu Hexaboride CeB6* yang menyediakan berkas elektron berenergi tunggal (monokromatik). Komponen ketiga adalah *imaging detector* sebagai pengubah sunyal elektron menjadi *image*. Sesuai dengan jenis elektron, SEM mempunyai dua jenis detektor yaitu SE dan BSE (Sujatno *et al.*, 2017).



Gambar 3.10 Ilustrasi interaksi SEM dengan spesimen (Sujatno *et al.*, 2017)

Analisis SEM, bintik elektron yang terfokus pada sampel dipindahkan melalui area kecil. Area tersebut ditampilkan dengan lebih dibesarkan pada tabung sinar katode (*chatode ray tube*). Resolusi instrument yang diizinkan adalah 50 nm atau lebih besar. Dibawah ukuran tersebut, derajat definisi ditentukan lebih oleh karakter sampel dibandingkan instrumen (Trisunaryanti,2019). Analisis EDX digunakan untuk mengetahui unsur-unsur apa saja yang berada pada material. Analisis *mapping* digunakan untuk mengetahui distribusi partikel yang ditampilkan dalam

bentuk warna dan *line scan*. Sehingga dapat mengetahui posisi material yang dianalisis.

III.1.13 *Gas Sorption Analyzer* (GSA)

GSA merupakan analisis untuk pengukuran fisik terhadap suatu material yang meliputi luas permukaan, volume pori, jari-jari pori dan distribusi pori. Pengukuran tersebut bertujuan untuk karakterisasi suatu bahan material. Prinsip kerja GSA berdasarkan mekanisme adsoprsi gas pada permukaan suatu material padat berbagai tekanan dan suhu yang konstan (*isotherm*). Gas yang digunakan secara umum yaitu gas He untuk mikropori (< 20 Å), gas nitrogen untuk mesopori (20-500 Å) dan gas argon untuk makropori (> 500 Å). Saat analisis dilakukan, GSA mengukur volume gas yang diserap oleh pori dan volume gas yang dikeluarkan oleh pori pada permukaan material. Volume gas yang diperoleh pada berbagai tekanan ditampilkan pada grafik dengan plot volume gas (v) vs tekanan relatif (P/P_0). Data yang diperoleh tersebut dibah menjadi data luas permukaan, volume pori, jari-jari pori dan distribusi pori (Sudralin, 2012). Luas permukaan suatu material dapat ditentukan dengan teori BET sebagai berikut.

$$C = \frac{Slope}{Intersept} + 1$$

Setelah mendapatkan nilai C, kemudian dihitung nilai W_m sebagai koefesien monolayer material untuk menentukan luas permukaan. Dengan keterangan Csa sebagai nilai *cross-sectional area* gas (untuk gas nitrogen 16.2 $Å^2$), N sebagai nilai bilangan Avogadro (6.023×10^{23}), m sebagai nilai massa molekul gas adsorbat (28.0134 gram/mol) dan M sebagai nilai konstanta ($1m^2/(10^{10})^2Å^2$) (Allwar, 2011).

$$Wm = \frac{1}{(Intersept \times C)}$$

$$S = \frac{Wm \times Csa \times N}{m \times M}$$

III.1.14 *Gas Chromatography – Mass Spectrometer* (GC-MS)

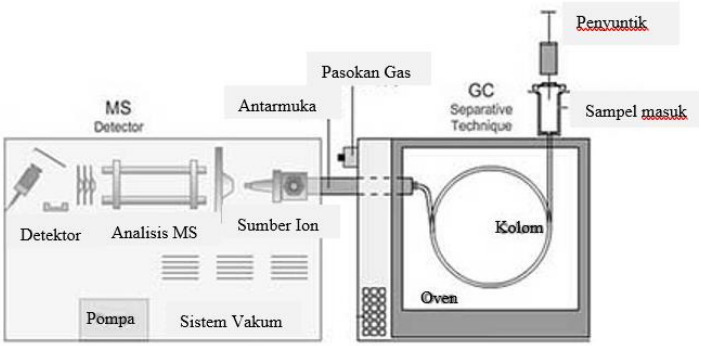
Gas chromatography (GC) adalah salah satu teknik kromatografi yang digunakan untuk mendeteksi senyawa-senyawa yang mudah menguap. GC-MS merupakan teknik kromatografi gas yang digunakan secara bersamaan dengan

spektrometri massa. Penggunaan kromatografi gas dilakukan untuk mencari senyawa yang mudah menguap pada kondisi vakum tinggi dengan tekanan yang rendah saat dipanaskan. Sedangkan spektrometri massa untuk menetukan berat molekul, rumus molekul. Dan menghasilkan molekul bermuatan (Hotmian *et al.*, 2021). Karakteristik senyawa menguap yaitu dapat menguap dalam kondisi vakum yang tinggi dengan tekanan rendah dan dapat dipanaskan. Prinsip pemisahan menggunakan GC yakni penyebaran cuplikan pada fase diam dan gas sebagai fase gerak mengelusi fase diam. Mekanisme kerja dari GC ialah suatu fase gerak yang berbentuk gas mengalir di bawah tekanan melewati pipa yang dipanaskan dan disalut dengan fasa diam cair pada suatu penyangga padat. Analit dimuatkan ke bagian atas kolom melalui suatu portal injeksi yang dipanaskan. Suhu oven diprogram agar meningkat secara bertahap. Ketika sudah berada dalam kolom, terjadi proses pemisahan antar komponen. Pemisahan ini akan bergantung pada lamanya waktu realatif yang dibutuhkan oleh komponen-komponen tersebut di fase diam.

Seiring dengan perkembangan teknologi maka instrumen GC digunakan dengan instrumen lain secara bersama-sama yaitu *Mass spectrometer* (MS). MS diperlukan untuk mengidentifikasi senyawa sebagai penentu berat molekul dan penentuan rumus molekul. Prinsip dari MS yaitu pengionan senyawa-senyawa kimia untuk menghasilkan molekul bermuatan atau fragmen molekul dan mengukur rasio massa. Molekul yang telah terionisasi akibat penembakan electron berenergi tinggi tersebut akan menghasilkan ion dengan muatan positif, kemudian ion tersebut diarahkan menuju medan magnet dengan kecepatan tinggi. Medan magnet akan membelokkan ion tersebut agar dapat menentukan berat molekulnya dan berat semua fragmen yang diperoleh. Kemudian detektor akan menghitung muatan yang terinduksi atau arus yang dihasilkan Ketika ion dilewatkan atau mengenai permukaan, *scanning* massa dan menghitung ion sebagai *mass to charge ratio* (m/z). terdapat empat proses dalam MS yaitu ionisasi, percepatan, pembelokkan dan pendeteksian (Darmapatni, 2016).

Sehingga gabungan dari GC-MS yaitu alat yang terdiri dari dua bagian utama (kromatografi gas dan spektrometer massa) yang mana perbedaan sifat kimia antara molekul-molekul yang berbeda dalam suatu campuran dipisahkan dari molekul

dengan melewatkan sepanjang kolom. Molekul-molekul tersebut memerlukan jumlah waktu yang berbeda (retensi waktu) untuk keluar dari kromatografi gas dan ini memungkinkan spektrometer massa untuk menangkap, ionisasi, mempercepat, membelokkan dan mendeteksi molekul secara terpisah. Hasil tersebut akan membentuk fragmen dengan massa/rasio.



Gambar 3.11 Ilustrasi proses kerja GC-MS

III.2 Hipotesis

1. Penggabungan logam *Nickel* dan *Copper* dengan metode kopresipitasi akan membentuk sebuah bimetal. Bimetal yang kemudian akan diembankan dalam karbon aktif dapat meningkatkan kinerja, efektifitas dan selektivitas sebagai katalis. Hal tersebut ditunjukkan dengan menggunakan aplikasi *hydrocracking* pada berbagai suhu fraksi.
2. Proses hydrocracking dipengaruhi dengan faktor suhu dan menghasilkan produk yang berbeda setiap fraksi.

BAB IV

METODE PENELITIAN

IV.1 Bahan dan Peralatan

IV.1.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tempurung kelapa sawit dari PT. Hutan Hijau Mas, CPO dari PT.Gunta Samba Kalimantan Timur (Berau), potassium hidroksida (KOH), asam nitrat (HNO_3), garam logam nikel nitrat heksahidrat (Ni $(NO_3)_2$.$6H_2O$), garam logam tembaga asetat (Cu $(CH_3COO)_2$ .H_2O), aquabidest, etanol, asam klorida (HCl), natrium hidroksida (NaOH), gas nitrogen (N_2) dan gas hidrogen (H_2) dari PT. Tira Austenite tbk.

IV.1.2 Instrumentasi

Alat yang digunakan dalam penelitian yaitu *heated magnetik stirrer*, *oven*, *reactor hydrocracking*, *mesh*, alat gelas laboratorium, indikator pH, neraca analitik, *grinder* (*Fomac* ZT-300 *Herb*) dan beberapa instrumen karakterisasi seperti *Fourier Transform Infrared* (FTIR) (*Perkin Elmer Spectrum Version* 10.5.1), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Elektron Microscope with Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) (JEOL JED-2300), *Surface Area Analyzer* (SAA) (*Quantachrome TouchWin* V1.11) dan *Gas Chromatography Mass-Spectrofotometer* (GC-MS).

IV.2 Prosedur Penelitian

IV.2.1 Karakterisasi Komposit Ni-Cu/KA

IV.2.3.1. *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Preparasi sampel dengan menyiapkan sekitar 0,01 gram sampel. Sampel digerus sampai menjadi serbuk halus. Kemudian sampel diletakkan pada sample holder yang berbentuk kristal kaca. Proses pengujian sampel dilakukan dengan membackgroundkan terdahulu alat instrument. Selanjutnya dilakukan pengscanan sampel sampai muncul hasil spektrum (Setiabudi, 2012).

IV.2.3.2. *X-Ray Diffraction* (XRD)

Preparasi sampel dengan menyiapkan sekitar 0,1 gram sampel. Kemudian haluskan material tersebut hingga berukuran sekitar 10 ɲm (200 mesh). Letakkan

pada *sample holder* secara merata pada permukaan yang mendatar dan material sampel telah siap untuk dianalisa (Setiabudi, 2012).

IV.2.3.3. *Scanning Elektron Microscope with Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX)

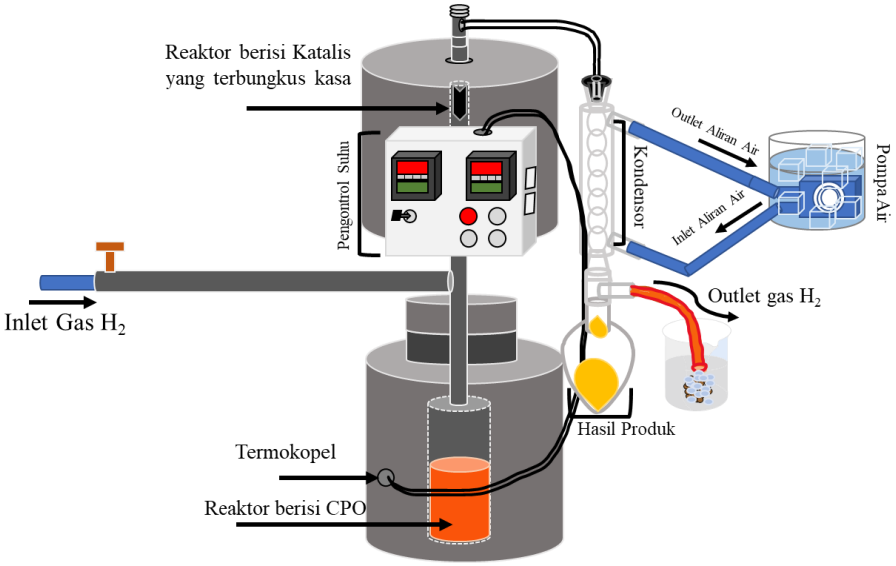
Preparasi sampel dilakukan dengan menyiapkan sekitar 0,5 gram sampel. Kemudian dikeringkan dengan vakum untuk menghilangkan kadar H_2O. selanjutnya ditempatkan sampel dalam *sample holder* berukuran 12 mm atau 25 mm dan menempelkan sampel dengan *double-sided tape conductive*. Titik area yang dianalisis sebaiknya diletakkan dengan sudut 45 derajat (Setiabudi, 2012).

IV.2.3.4. *Gas Surface Analyzer* (GSA)

Proses uji analisis dilakukan dengan sampel diberi tekanan gas nitrogen yang akan diserap dan dikeluarkan oleh sampel. Hasil serapan akan diperoleh data adsorpsi dan hasil yang dikeluarkan akan diperoleh data desorpsi.

IV.3 Uji Aktivitas dan Selektivitas Katalis dalam Proses Konversi Minyak Kelapa Sawit Menjadi Bahan Bakar

Proses konversi minyak kelapa sawit menjadi bensin dilakukan dengan metode *hydrocracking* dengan beberapa variasi suhu yaitu 150 ºC, 250 ºC dan 350 ºC. proses tersebut akan menghasilkan beberapa produk dan dikarakterisasi dengan instrumen *Gas Chromatography Mass-Spectrofotometer* (GC-MS) untuk menentukan produk bahan bakar yang dihasilkan. Berikut ilustrasi reaktor *hydrocracking*. Berikut ilustrasi reaktor yang digunakan untuk proses perengkahan menggunakan metode *hydrocracking* yang ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Ilustrasi Reaktor *Hydrocracking*

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

VI.1 Kesimpulan

1. Proses sintesis bimetalik Ni-Cu menggunakan metode kopresipitasi dan saat pengembanan bimetalik Ni-Cu kedalam pori-pori karbon aktif menggunakan proses impregnasi dan kalsinasi dengan suhu yang tinggi.
2. Hasil FTIR menunjukkan pada bilangan gelombang secara berturut-turut 445 cm^{-1} dan 442 cm^{-1} menunjukkan indikasi adanya logam Ni dan Cu berhasil terembankan pada permukaan karbon aktif.
3. Hasil XRD menunjukkan karbon aktif memiliki struktur SC (*Simple Cubic*) dengan nilai 2 theta 23.65 dan 42.89. Sedangkan komposit mempunyai struktur FCC (*Face Centered Cubic*) dengan nilai 2 theta secara berturut-turut diperoleh 38.84, 44.16, 51.45, 75.75, 92.11 dan 97.56. Hasil tersebut sesuai dengan referensi JCPDS.
4. Hasil SEM menunjukkan morfologi struktur komposit bergerigi kasar. Logam Ni dan Cu terlihat pada SEM tersisipkan dalam pori-pori pada permukaan karbon aktif. Hasil EDX menunjukkan terdapat unsur yang diinginkan yaitu Ni, Cu dan KA. Hasil *mapping* menunjukkan bahwa bimetalik berhasil tersisipkan pada permukaan karbon aktif serta dapat melihat posisi setiap unsur dengan *line scan*.
5. Imobilisasi bimetal Ni-Cu dalam karbon aktif mempunyai sifat katalisis yang baik setelah proses pengembanan. Logam Cu berperan sebagai pengikat antara karbon aktif dan logam Ni. Logam Ni berperan sebagai proses hidrogenasi pada *hydrocracking*
6. Persentase g*asoline* tertinggi sebesar 53.39% pada fraksi 250 ℃, *kerosene* sebesar 60.29% pada fraksi 350 ℃ dan *diesel* sebesar 41.73% pada fraksi tanpa katalis.

VI.2 Saran

Saran dari penelitian ini, diperlukan ketelitian dan ketepatan dalam pembuatan komposit serta proses aplikasi terhadap *hydrocracking*.

DAFTAR PUSTAKA

Aini, A. N. *et al.* (2020a) 'Kinerja Katalis Ni-Cu/HZSM-5 dalam Pembuatan Biogasoil dari Minyak Bintaro (Cerbera Manghas) dengan Proses Hydrocracking', *Berkala Sainstek*, 8(3), p. 84. doi: 10.19184/bst.v8i3.17937.

Aini, A. N. *et al.* (2020b) 'Kinerja Katalis Ni-Cu/HZSM-5 dalam Pembuatan Biogasoil dari Minyak Bintaro (Cerbera Manghas) dengan Proses Hydrocracking', *BERKALA SAINSTEK*, 8(3), p. 84. doi: 10.19184/bst.v8i3.17937.

Aini Nur, A. (2018) *Hydrocracking of Coconut Oil Using Ni-Fe/HZSM-5 Catalyst for Biofuel Production, Angewandte Chemie International Edition, 6(11), 951–952*. Surabaya.

Al-muttaqii, M. (2016) 'Rekayasa Katalis Co-Ni/HZSM-5 untuk Memproduksi Biofuel dari Minyak Kemiri Sunan', pp. 1–123.

Allwar, A. (2018) 'Preparation and characteristics of highly microporous activated carbon derived from empty fruit bunch of palm oil using KOH activation', *Rasayan Journal of Chemistry*, 11(1), pp. 280–286. doi: 10.7324/RJC.2018.1112000.

Apriani, R. *et al.* (2013) 'Pengaruh Konsentrasi Aktivator Kalium Hidroksida (KOH) terhadap Kualitas Karbon Aktif Kulit Durian sebagai Adsorben Logam Fe pada Air Gambut', *Prisma Fisika*, I(2), pp. 82–86. Available at: https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jpfu/article/view/2931.

Arsad, E. (2010) 'Teknologi Pengolahan Dan Pemanfaatan Karbon Aktif Untuk Industri', *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, 2(2), p. 43. doi: 10.24111/jrihh.v2i2.1146.

Ashok, J. *et al.* (2015) 'Ni and/or Ni-Cu alloys supported over SiO2 catalysts synthesized via phyllosilicate structures for steam reforming of biomass tar reaction', *Catalysis Science and Technology*, 5(9), pp. 4398–4409. doi: 10.1039/c5cy00650c.

Assila, O. *et al.* (2021) 'Copper nickel co-impregnation of Moroccan yellow clay as promising catalysts for the catalytic wet peroxide oxidation of caffeine', *Heliyon*, 7(1), p. e06069. doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e06069.

Astuti, E. *et al.* (2021) 'Active Charcoal from Palm Kernel Shells as a Catalyst in The Production of Biodiesel', *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 9(2), pp. 120 – 125.

Azad, A. K. (2017) 'Biodiesel from mandarin seed oil: A surprising source of alternative fuel', *Energies*, 10(11). doi: 10.3390/en10111689.

Aziz, I. *et al.* (2020) 'Utilization of Coconut Shell as Cr2O3 Catalyst Support for Catalytic Cracking of Jatropha Oil into Biofuel', *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 23(2), p. 39. doi: 10.14710/jksa.23.2.39-45.

Bahri, S., Indra, Y. S. and Setia, P. (2010) 'Sintesis dan Karakterisasi Katalis Bimetal Ni-Mo-zeolit untuk Proses Pencairan langsung Biomasa menjadi Biooil', pp. 1–13.

Bodenes, P. (2017) *Study of the application of pulsed electric fields (PEF) on*

microalgae for the extraction of neutral lipids. Microfluidic technologies to enhance microalgae process View project. Available at: https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01540436.

Buasri, A., Chaiyut, N. and Nakweang, C. (2011) 'Preparing activated carbon from palm shell for biodiesel fuel production', *Chiang Mai Journal of Science*, 38(4), pp. 572–578.

Chen, F. *et al.* (2020) 'Ni-Cu bimetallic catalysts on Yttria-stabilized zirconia for hydrogen production from ethanol steam reforming', *Fuel*, 280(July), p. 118612. doi: 10.1016/j.fuel.2020.118612.

Christyaningsih, R. Y. (2020) 'Aplikasi Fisika Kuantum-Hamburan Pada "X-Ray Diffaction (XRD)"', (June), pp. 1–6.

Darmapatni, K. A. G. (2016) 'Pengembangan Metode GC-MS untuk Penetapan Kadar Acetaminophen pada Spesimen Rambut Manusia', *Jurnal Biosains Pascasarjana*, 18(3), p. 255. doi: 10.20473/jbp.v18i3.2016.255-266.

De, S. *et al.* (2016) 'Ni-based bimetallic heterogeneous catalysts for energy and environmental applications', *The Royal Society of Chemistry*, 9(Energy & Environmental Science), pp. 3314–3347. doi: 10.1039/c6ee02002j.

Deerattrakul, V. *et al.* (2020) 'Enhancing the Dispersion of Cu-Ni Metals on the Graphene Aerogel Support for Use as a Catalyst in the Direct Synthesis of Dimethyl Carbonate from Carbon Dioxide and Methanol', *ACS Omega*, 5(21), pp. 12391–12397. doi: 10.1021/acsomega.0c01143.

Efiyanti, L. and Santi, D. (2016) 'Pengaruh Katalis Nio Dan Niomoo Terhadap Perengkahan Minyak Cangkang Biji Jambu Mete', *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 34(3), pp. 189–197. doi: 10.20886/jphh.2016.34.3.189-197.

Erlina, Umiatin and Budi, E. (2015) 'Pengaruh Konsentrasi Larutan KOH Pada Karbon Aktif Tempurung Kelapa Untuk Adsorpsi Logam Cu', *Prosiding Seminar Nasional Fisika*, IV, pp. 55–60.

Esterlita, M. O. and Herlina, N. (2015) 'Pembuatan Karbon Aktif Dari Pelepah Aren (Arenga Pinnata)', *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4(1), pp. 47–52.

Fahim, M. A., Alsahhaf, T. A. and Elkilani, A. (2010) *Hydroconversion*, *Fundamentals of Petroleum Refining*. doi: 10.1016/b978-0-444-52785-1.00007-3.

Felpin, F. X. and Fouquet, E. (2008) 'Heterogeneous multifunctional catalysts for tandem processes: An approach toward sustainability', *ChemSusChem*, 1(8–9), pp. 718–724. doi: 10.1002/cssc.200800110.

Guiza, M. *et al.* (2017) 'Effect of copper and nickel supported activated carbon catalysts on the simultaneous adsorption/ozonation process of nitrobenzene degradation', *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 52(5), pp. 836–851.

Gurdeep Singh, H. K. *et al.* (2019) 'Production of gasoline range hydrocarbons from catalytic cracking of linoleic acid over various acidic zeolite catalysts', *Environmental Science and Pollution Research*, 26(33), pp. 34039–34046. doi: 10.1007/s11356-018-3223-4.

Gurdeep Singh, H. K. *et al.* (2020) 'Biogasoline production from linoleic acid via catalytic cracking over nickel and copper-doped ZSM-5 catalysts', *Environmental Research*, 186(April), p. 109616. doi: 10.1016/j.envres.2020.109616.

Han, Y. *et al.* (2020) 'Mechanistic understanding of Cu-based bimetallic catalysts', *Frontiers of Chemical Science and Engineering*, 14(5), pp. 689–748. doi: 10.1007/s11705-019-1902-4.

Hartanto, S. (2010) 'Sawit Dengan Metode Aktivasi Kimia Pada karbonisasi terjadi proses penguapan air', 12(1), pp. 12–16.

Hattori, H. (2010) 'Solid acid catalysts: Roles in chemical industries and new concepts', *Topics in Catalysis*, 53(7–10), pp. 432–438. doi: 10.1007/s11244-010-9469-9.

Heryani, H. and Nugroho, A. (2017) *CCP dan CP Pada Proses Pengolahan CPO dan CPKO*. 1st edn. Yogyakarta: deepublish.

Hoseinzadeh Hesas, R. *et al.* (2013) 'Preparation of granular activated carbon from oil palm shell by microwave-induced chemical activation: Optimisation using surface response methodology', *Chemical Engineering Research and Design*, 91(12), pp. 2447–2456. doi: 10.1016/j.cherd.2013.06.004.

Hoten, H. Van (2020) 'Analisis Karakterisasi Serbuk Biokeramik Dari Cangkang Telur Ayam Broiler', *Rotor*, 13(1), p. 1. doi: 10.19184/rotor.v13i1.18874.

Hotmian, E. *et al.* (2021) 'Analisis Gc-Ms (Gas Chromatography - Mass Spectrometry) Ekstrak Metanol Dari Umbi Rumput Teki (Cyperus rotundus L.)', *Pharmacon*, 10(2), p. 849. doi: 10.35799/pha.10.2021.34034.

Hu, N. *et al.* (2019) 'Ni-Cu/Al2O3 catalysts for the selective hydrogenation of acetylene : a study on catalytic performance and reaction mechanism', *The Royal Society of Chemistry*, pp. 18120–18125. doi: 10.1039/c9nj03956b.

Huang, S. *et al.* (2021) 'Preparation and characterization of char supported Ni–Cu nanoalloy catalyst for biomass tar cracking together with syngas-rich gas production', *Fuel Processing Technology*, 218(January), p. 106858. doi: 10.1016/j.fuproc.2021.106858.

Huo, E. *et al.* (2020) 'Jet fuel and hydrogen produced from waste plastics catalytic pyrolysis with activated carbon and MgO', *Science of the Total Environment*, 727, p. 138411. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138411.

Husin, H. *et al.* (2018) 'Coconut husk ash as heterogenous catalyst for biodiesel production from cerbera manghas seed oil', *MATEC Web of Conferences*, 197, pp. 2–5. doi: 10.1051/matecconf/201819709008.

Iwanow, M. *et al.* (2020) 'Activated carbon as catalyst support: Precursors, preparation, modification and characterization', *Beilstein Journal of Organic Chemistry*, 16, pp. 1188–1202. doi: 10.3762/bjoc.16.104.

Karakter, T., Kobalt, K. and Alam, Z. (2016) 'Pengaruh Rasio Reaktan Pada Impregnasi dan Suhu Reduksi Terhadap Karakter Katalis Kobalt/Zeolit Alam Aktif', 22(3), pp. 9–18.

Laosiripojana, W. *et al.* (2019) 'Catalytic hydrotreatment of pyrolysis-oil with bimetallic Ni-Cu catalysts supported by several mono-oxide and mixed-oxide materials', *Renewable Energy*, 135, pp. 1048–1055. doi: 10.1016/j.renene.2018.12.069.

Lestari, W. P., Purwo Handoko, D. S. and Sulistiyo, Y. A. (2019) 'Uji Aktivitas Katalis Clay Termodifikasi Cu Dalam Reaksi Hidrorengkah Senyawa 1-Oktadekanol', *Lembaran publikasi minyak dan gas bumi*, 53(1), pp. 53–60. doi: 10.29017/lpmgb.53.1.367.

Liang, T. *et al.* (2017) 'Steam reforming of phenol-ethanol to produce hydrogen over bimetallic Ni[sbnd]Cu catalysts supported on sepiolite', *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(47), pp. 28233–28246. doi: 10.1016/j.ijhydene.2017.09.134.

Liu, J., Zheng, Y. and Hou, S. (2017) 'Facile synthesis of Cu/Ni alloy nanospheres with tunable size and elemental ratio', *RSC Advances*, 7(60), pp. 37823–37829. doi: 10.1039/c7ra06062a.

Liu, Y., Murata, K. and Inaba, M. (2019) 'Hydrocracking of algae oil to aviation fuel-ranged hydrocarbons over NiMo-supported catalysts', *Catalysis Today*, (April), pp. 115–121. doi: 10.1016/j.cattod.2018.07.047.

Lubis, R. A. F., Nasution, H. I. and Zubir, M. (2020) 'Production of Activated Carbon from Natural Sources for Water Purification', *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology (IJCST)*, 3(2), p. 67. doi: 10.24114/ijcst.v3i2.19531.

Makertihartha, I. G. B. N. *et al.* (2020) 'Biogasoline Production from Palm Oil: Optimization of Catalytic Cracking Parameters', *Arabian Journal for Science and Engineering*. doi: 10.1007/s13369-020-04354-4.

Mampuru, M. B., Nkazi, D. B. and Mukaya, H. E. (2019) 'Hydrocracking of waste cooking oil into biogasoline in the presence of a bi-functional Ni-Mo/alumina catalyst', *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*. doi: 10.1080/15567036.2019.1610527.

Marina Olivia Esterlita and 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), pp. 47–52. doi: 10.32734/jtk.v4i1.1460.

Marlinda, L. *et al.* (2017) 'Hydrocracking of Cerbera manghas Oil with Co-Ni/HZSM-5 as Double Promoted Catalyst', *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 12(2), pp. 167–184. doi: 10.9767/bcrec.12.2.496.167-184.

Masruroh *et al.* (2013) 'Penentuan Ukuran Kristal (Crystallite Size) Lapisan Tipis Pzt Dengan Metode Xrd Melalui Pendekatan Persamaan Debye Scherrer', *Erudio Journal of Educational Innovation*, 1(2), pp. 24–29. doi: 10.18551/erudio.1-2.4.

Masykur (2013) 'Pengembangan Industri Kelapa Sawit Sebagai Penghasil Energi Bahan Alternatif dan Mengurangi Pemanasan Global', *Jurnal Reformasi*, 3, pp. 96–

107.

Mazumdar, S. K. (2002) *Composites Material Engineer and Science, New York*.

Mironenko, O. O. *et al.* (2017) 'A study of the catalytic steam cracking of heavy crude oil in the presence of a dispersed molybdenum-containing catalyst', *Petroleum Chemistry*, 57(7), pp. 618–629. doi: 10.1134/S0965544117070088.

Mishakov, I. V. *et al.* (2020) 'Mechanochemical Synthesis, Structure, and Catalytic Activity of Ni-Cu, Ni-Fe, and Ni-Mo Alloys in the Preparation OF Carbon Nanofibers During the Decomposition of Chlorohydrocarbons', *Journal of Structural Chemistry*, 61(5), pp. 769–779. doi: 10.1134/S0022476620050133.

Muhammad Yusuf Ritonga, Doni Hermanto Sihombing and Allen Rianto Sihotang (2013) 'Pemanfaatan Abu Kulit Buah Kelapa Sebagai Katalis Pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Sawit Menjadi Metil Ester', *Jurnal Teknik Kimia USU*, 2(4), pp. 17–24. doi: 10.32734/jtk.v2i4.1486.

Napitupulu R, Kamisah D Pandaingan, S. W. (2012) 'Studi Pendahuluan Perengkahan Katalitik (Catalytic- Cracking) Minyak Kelapa Menjadi Bahan Bakar Cair (Liquid Fuel) Generasi Kedua Dengan Nano Katalis Ti-Silika Berbasis Sekam Padi', (978), pp. 499–503.

Nazarudin, N. *et al.* (2018) 'the Effect of Temperature on the Performance of Activated Carbon Over Catalytic Cracking of Crude Palm Oil', *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 5(1). doi: 10.29303/jppipa.v5i1.175.

Nugrahaningtyas, K. D., Cahyono, E. and Widjonarko, D. M. (2016) 'The Paraffin Cracking Reaction With Nimo/Active Natural Zeolite Catalyst: The Effect Temperature On Catalytic Activitythe Paraffin Cracking Reaction With Nimo/Active Natural Zeolite Catalyst: The Effect Temperature On Catalytic Activity', *Alchemy Jurnal Penelitian Kimia*, 11(2), p. 111. doi: 10.20961/alchemy.11.2.712.111-126.

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

Nugroho, A. P. P., Fitriyanto, D. and Roesyadi, A. (2014) 'Pembuatan Biofuel Dari Minyak Kelapa Sawit Melalui Proses Hydrocracking Dengan Katalis Ni- C-6-2', *Jurnal Teknik Pomits*, 3(2), pp. 1–7.

Nugroho, A. S. (2019) 'Pemanfaatan Limbah Tempurung Kelapa Sawit Sebagai Campuran Bahan Bakar Diesel', *Prosiding SNST Fakultas Teknik*, pp. 21–26. Available at: https://www.publikasiilmiah.unwahas.ac.id/index.php/PROSIDING_SNST_FT/article/view/2806.

Nurdini, L. *et al.* (2020) 'Atmospheric Hydro-cracking of Jatropha Oil Using Wood Char Catalyst', *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 9(2), pp. 113–119.

Nustini, Y. and Allwar, A. (2019) 'Pemanfaatan Limbah Tempurung Kelapa Menjadi Arang Tempurung Kelapa dan Granular Karbon Aktif Guna Meningkatkan Kesejahteraan Desa Watuduwur, Bruno, Kabupaten Purworejo', pp. 172–183.

Pradana, Y. S. *et al.* (2018) 'Application of coconut-shell activated carbon as heterogeneous solid catalyst for biodiesel synthesis', *Defect and Diffusion Forum*, 382 DDF, pp. 280–285. doi: 10.4028/www.scientific.net/DDF.382.280.

Proses, P., Cpo, P. and Cpko, D. (no date) *CCP dan CP*.

Pujiono, F. E. and Mulyati, T. A. (2017) 'Potensi Karbon Aktif Dari Limbah Pertanian Sebagai Material Pengolahan Air Limbah', *Jurnal Wiyata*, 4(1), pp. 37–45.

Pujiyanto (2010) 'Pembuatan karbon aktif super dari batubara dan tempurung kelapa', *Tesis*, Depok: Uni, p. 20275036.

R.M Augustya, P. and Rasyida, H. (2018) *Aplikasi Katalis Fe-Co/Karbon Aktif Dalam Pembuatan Biofuel Menggunakan Sintesis Fischer-Tropsch*.

Rahmawati, D. A., Intaningrum, D. and Istadi, I. (2013) 'Pembuatan dan Karakterisasi Katalis Heterogen SO42- - ZnO dan SO42-/ZnO dengan Metode Kopresipitasi dan Impregnasi untuk Produksi Biodiesel dari Minyak Kedelai', *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, 2(4), pp. 243–252.

Ramirez Hernandez, E. I. (2016) *Effect Of The Combination Of Copper-Nickel Catalyst Supported On Activated Carbon (Cu-Ni/Ac) And Zeolite A In The Direct Synthesis Of Linear Carbonates*. Universidad de Antioquia, Colombia.

Rasidi, I., Bawa Putra, A. and Suarsa, I. (2015) 'Preparasi Katalis Nikel-Arang Aktif Untuk Reaksi Hidrogenasi Asam Lemak Tidak Jenuh Dalam Minyak Kelapa', *Jurnal Kimia*, 9(1), pp. 77–85. doi: 10.24843/JCHEM.2015.v09.i01.p13.

Rastini, E. K. (2018) 'Pembuatan Serbuk Karbon Aktif Dari Limbah Bambu Sebagai Penyangga Katalis Logam Dalam Sintesis Biofuel Secara Fischer-Tropsch', *Indonesian Chemistry and Application Journal*, 2(1), p. 19. doi: 10.26740/icaj.v2n1.p19-25.

Rosyidah, N. (2016) *Sintesis Nanopartikel Zn1-xAlxO Dengan Metode Kopresipitasi Dan Karakterisasi Sifat Listik*.

Ruchiyat, A. (2018) 'Kajian Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit (Tankos) Sebagai Katalis Basa Pada Reaksi Transesterifikasi Metil Ester', *Inovtek Polbeng*, 8(1), p. 40. doi: 10.35314/ip.v8i1.269.

Sadeek, S. A. *et al.* (2020) 'Synthesis, characterization and catalytic performances of activated carbon-doped transition metals during biofuel production from waste cooking oils', *Journal of Molecular Liquids*, 306, p. 112749. doi: 10.1016/j.molliq.2020.112749.

Savitri, S., Nugraha, A. S. and Aziz, I. (2016) 'Pembuatan Katalis Asam (Ni/γ-Al2O3) dan Katalis Basa (Mg/γ-Al2O3) untuk Aplikasi Pembuatan Biodiesel dari Bahan Baku Minyak Jelantah', *Jurnal Kimia VALENSI*, pp. 1–10. doi: 10.15408/jkv.v2i1.3104.

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

Sianturi, S. (2009) ‘Reaksi Aminasi Gliserol Dalam Berbagai Tekanan Gas AMoniak Dengan Katalis Nikel’, pp. 1–83.

Sihite Tua, J. (2021) *Sintesis dan Karakterisasi Fe3O4/SiO2 pada Penambahan TiO2 dengan Metode Kopresipitasi*.

Sinaga, A. F. (2017) *Analisa Kuantitatif Ethylene-Buthene Kopolimer Menggunakan Spektrofotometer Fourier Transforminfra Red (Ft-Ir).*

Sriwijaya, P. N. (2021) ‘Pembuatan Katalis Berbasis Karbon Aktif Dari Tempurung Kelapa (Cocos Nucifera) Diimpregnasi Koh Pada Reaksi Transesterifikasi Sintesis Biodiesel Catalyst Shynthesis From Activated Carbon Of Coconut Shell (Cocos Nucifera) Impregnatedpotassium Hydroxide’, 12(01), pp. 23–31.

Sudralin (2012) ‘Prinsip dan Teknik Penggunaan Gas Sorption Analyzer (GSA)’, (v).

Suhanda, D. (2006) *Dehidrogenasi Hidrazin Hidrat Menggunakan Katalis Bimetal NiCo Berpenyangga ZA, Z-NaY, Z-HY, Al2O3, Dan TiO2*. Available at: http://www.riss.kr/link?id=A99932365.

Sujatno, A. *et al.* (2017) ‘Studi Scanning Electron Microscopy (Sem) Untuk Karakterisasi Proses Oxidasi Paduan Zirkonium’, *Jurnal Forum Nuklir*, 9(1), p. 44. doi: 10.17146/jfn.2015.9.1.3563.

Susanti (2015) *Modul Pembelajaran Pengolahan Kelapa Sawit*.

Suseno, A. *et al.* (2018) ‘Synthesis and Characterization of Ni-Cu doped Zirconia-pillared Bentonite’, *Oriental Journal of Chemistry*, 34(3), pp. 1427–1431. doi: 10.13005/ojc/340332.

Suseno, A. (2019) ‘Hydrocracking of palm oil to gasoline on bimetallic Ni-Cu/zirconia pillared bentonite’, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 509(1). doi: 10.1088/1757-899X/509/1/012005.

Svehla, G. (1979) ‘vogels-textbook-of-macro-and-semimicro-qualitative-inorganic-analysis-5th-ed-g-svehla.pdf’. United States of America: Longman Inc., New York, p. 599.

Syam Aulya, A. (2022) *Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Bimetal Ag-Cu dengan Bioreduktor Ekstrak Air Batang Tanaman Binahong (Anredera cordifolia L.) dan Aplikasinya sebagai Antibakteri*, *Angewandte Chemie International Edition, 6(11), 951–952.*

Tadda, M. . *et al.* (2018) ‘A Review on Activated Carbon from Biowaste : Process , Application and Prospects’, *Journal of Advanced Civil Engineering Practice and Research*, 5(3), pp. 82–83.

Tadeus, A. *et al.* (2013) ‘Karakterisasi Katalis Zeolit-Ni Regenerasi Dan Tanpa Regenerasi Dalam Reaksi Perengkahan Katalitik’, *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 2(1), pp. 24–29.

Tambun, R. *et al.* (2017) ‘Biofuel Production From Palm Olein By Catalytic Cracking Process Using Zsm-5 Catalyst’, *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 6(1), pp.

50–55. doi: 10.15294/jbat.v6i1.8733.

Treese, S. A., Pujadó, P. R. and Jones, D. S. J. (2015) *Handbook of petroleum processing, Handbook of Petroleum Processing*. doi: 10.1007/978-3-319-14529-7.

Utama, F. Y. and Zakiyya, H. (2016) 'Pengaruh variasi arah serat komposit berpenguat hibrida fiberhybrid terhadap kekuatan tarik dan densitas material dalam aplikasi body part mobil', *Mekanika*, 15(2), pp. 60–69.

Vargas-Hernández, D. *et al.* (2014) 'Furfuryl alcohol from furfural hydrogenation over copper supported on SBA-15 silica catalysts', *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 383–384, pp. 106–113. doi: 10.1016/j.molcata.2013.11.034.

Wahyuni, I. and Fathoni, R. (2019) 'Pembuatan Karbon Aktif Dari Cangkang Kelapa Sawit Dengan Variasi Waktu Aktivasi', *Jurnal Chemurgy*, 3(1), p. 11. doi: 10.30872/cmg.v3i1.2776.

Wang, D. *et al.* (2021) 'Influence of cerium doping on Cu-Ni/activated carbon low-temperature CO-SCR denitration catalysts', *RSC Advances*, 11(30), pp. 18458–18467. doi: 10.1039/d1ra02352g.

Wang, S. *et al.* (2020) 'Selective hydroisomerization of isobutane to n-butane over WO3-ZrO2 supported Ni-Cu alloy', *Fuel*, 280(May), p. 118274. doi: 10.1016/j.fuel.2020.118274.

Widi, R. K. (2018) *Pemanfaatan Material Anorganik: Pengenalan dan Beberapa Inovasi di bidang Penelitian*.

Wulandari Mirzayanti, Y. *et al.* (2020) 'Pemanfaatan Tempurung Kelapa sebagai Katalis pada Proses Konversi Minyak Curah Menjadi Biodiesel', *Journal of Research and Technology*, VI(2), pp. 173–183. Available at: https://journal.unusida.ac.id/index.php/jrt/article/view/351.

Yuliusman (2015) 'Pembuatan karbon aktif dari tempurung kelapa sawit dengan bahan pengaktif koh dan gas N2 / CO2', *Seminar Teknologi dan Rekayasa (SENTRA)*, pp. 978–979.

Zahrina, I. and Akbar, F. (2012) 'Perengkahan PFAD (Palm Fatty Acid Distillate) Dengan Katalis Zeolit Sintesis Untuk Menghasilkan Biofuel', *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 9(1), pp. 45–50.

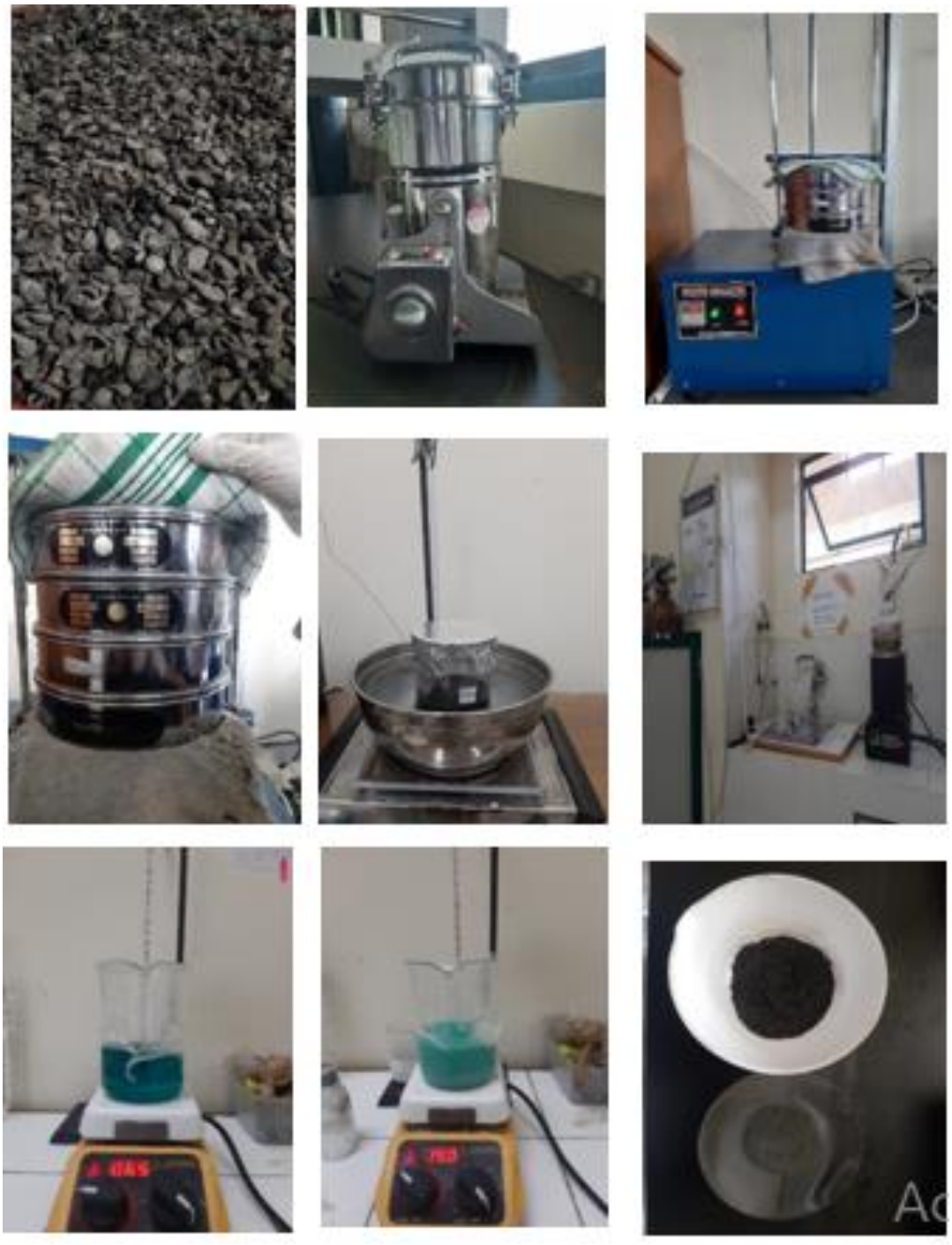
Zhang, Z. *et al.* (2018) 'Catalytic in-Situ Hydrogenation of Furfural over Bimetallic Cu-Ni Alloy Catalysts in Isopropanol', *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 57(12), pp. 4225–4230. doi: 10.1021/acs.iecr.8b00366.

Zheng, Y. *et al.* (2020) 'Efficient and stable Ni-Cu catalysts for ex situ catalytic pyrolysis vapor upgrading of oleic acid into hydrocarbon: Effect of catalyst support, process parameters and Ni-to-Cu mixed ratio', *Renewable Energy*, 154, pp. 797–812. doi: 10.1016/j.renene.2020.03.058.

Zhou, S. *et al.* (2020) 'Pure acetylene semihydrogenation over Ni–Cu bimetallic catalysts: Effect of the Cu/Ni ratio on catalytic performance', *Nanomaterials*, 10(3), pp. 1–12. doi: 10.3390/nano10030509.

LAMPIRAN-LAMPIRAN

A. Gambar Pada Saat Penelitian Berlangsung



B. Perhitungan Karbon Aktif

1. KOH 60%

Ditimbang 60 gram KOH dan ditambahkan pelarut aquabidest sebesar 100 mL

2. NaOH 5 M

$M = \frac{g}{Mr} \times \frac{1000}{mL}$

$5 = \frac{g}{40} \times \frac{1000}{100} = 20\ gram$