

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT Cu/CuO-
Cu₂O/KARBON AKTIF SEBAGAI KATALIS PADA
ISOMERISASI N-HEPTANA**

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai
gelar Sarjana Sains (S.Si) pada Program Studi Kimia
pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

**Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta**



Diajukan oleh:

MELLYNIA PRESTICIA PUTRI

No. Mhs: 18612009

PROGRAM STUDI KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

YOGYAKARTA

2022

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT Cu/CuO-
Cu₂O/KARBON AKTIF SEBAGAI KATALIS
PADA ISOMERISASI N-HEPTANA**

SKRIPSI

Yang diajukan oleh:

MELLYNIA PRESTICIA PUTRI

No Mhs: 18612009

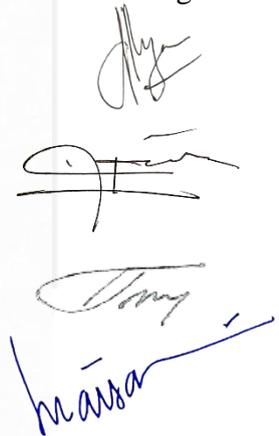
Telah dipertahankan dihadapan Panitia Penguji Skripsi
Prodi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Indonesia

Tanggal: 21 Juli 2022

Dewan penguji

1. Prof. Dr.rer.nat. Ir. Agus Taftazani
2. Drs. Allwar, M.Sc., Ph.D.
3. Gani Purwiandono, M.Sc., Ph.D.
4. Dr. Maisari Utami, S.Si.

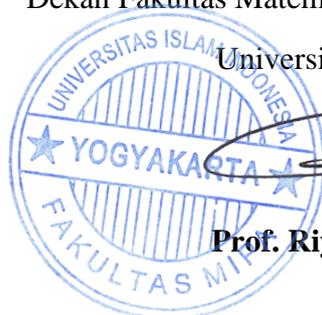
Tanda Tangan



Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Islam Indonesia



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

ii



PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Mellynia Presticia Putri
NIM : 18612009
Program Studi : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya dengan judul **“Sintesis dan Karakterisasi Komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon Aktif sebagai Katalis pada Isomerisasi N-Heptana”** bersifat asli dan tidak berisi material yang diterbitkan sebelumnya kecuali referensi yang telah disebutkan di dalam skripsi ini. Apabila terdapat kontribusi dari penulis lain, maka penulis tersebut secara eksplisit telah disebutkan dalam skripsi ini.

Apabila di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan tanggung jawab.

Yogyakarta, 1 Agustus 2022

Yang Menyatakan,



Mellynia Presticia Putri

NIM. 18612009

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum, Warrahmatullahi Wabarakatuh

Dengan menyebut nama Allah SWT Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran-Nya, yang telah melimpahkan rahmat, hidayah dan inayah-Nya sehingga dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT Cu/CuO-Cu₂O/KARBON AKTIF SEBAGAI KATALIS PADA ISOMERISASI N-HEPTANA". Skripsi ini penulis susun sebagai salah satu syarat akademis yang harus ditempuh untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains pada program studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Atas bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang selalu mendengarkan do'a dan memberikan semua kemudahan serta ridho-Nya hingga Skripsi ini bisa terselesaikan.
2. Prof. Riyanto, S.Pd., M.Sc., Ph.D selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia.
3. Dr. Dwiwarso Rubiyanto, S.Si., M.Si. selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia.
4. Prof. Dr.rer.nat. Ir. Agus Taftazani selaku dosen pembimbing 1 penulis yang telah memberikan bimbingan, pengarahan dan berbagai masukan dalam penyusunan proposal skripsi.
5. Drs. Allwar, M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing 2 penulis yang telah memberikan ilmu, bimbingan, serta arahan dalam penyusunan proposal skripsi.
6. Keluarga penulis, terutama Ibu dan Alm. Ayah serta Kakak penulis yang telah memberikan dukungan baik secara moral maupun materil.
7. Erina, Agil, Afina yang telah membantu dan memberi semangat penulis dalam penelitian dan menyelesaikan skripsi ini.

8. Kim Sunwoo dan Bible Wichapas Sumettikul yang telah memberikan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam laporan Skripsi ini masih banyak kekurangan dan masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat berharap kritik dan saran yang membangun untuk kesempurnaan laporan Skripsi ini, dan semoga dapat berguna untuk menambah wawasan dan bermanfaat bagi penulis khususnya dan umumnya bagi rekan-rekan yang membaca.

Yogyakarta, 04 Juli 2022

Penyusun



Mellynia Presticia Putri

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT
Cu/CuO-Cu₂O/KARBON AKTIF SEBAGAI KATALIS
PADA ISOMERISASI N-HEPTANA**

INTISARI

Mellynia Presticia Putri

18612009

Tempurung kelapa sawit sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif. Tempurung kelapa sawit telah berhasil disintesis menjadi karbon aktif dengan aktivasi menggunakan H₃PO₄ 65% dan dipirolisis dengan suhu 800°C. Logam Cu-CuO-Cu₂O diembankan pada karbon aktif menjadi komposit dengan metode hidrotermal, lalu digunakan sebagai katalis pada isomerisasi n-heptana. Komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon Aktif dikarakterisasi dengan instrument FTIR, XRD, GSA dan SEM yang menunjukkan bahwa komposit memiliki gugus fungsi O-H, alkuna, C=O, C-O, Cu(I)-O dan Cu(II)-O. Pada citra SEM menunjukkan komposit telah terembankan oleh logam tembaga (Cu) sebesar 59,15%. Hasil XRD menunjukkan bahwa pada komposit terdapat logam Cu dengan hkl [111], [200], logam CuO dengan hkl [111], [110], logam Cu₂O dengan hkl [220], [200], [311]. Hasil GSA menunjukkan pada komposit memiliki luas permukaan sebesar 9,892 m²/g. Komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon Aktif telah berhasil dibuat sebagai katalis pada isomerisasi n-heptana menghasilkan senyawa 2-metilheksana dan 1-heptana.

Kata kunci : Komposit, Cu/CuO-Cu₂O/Karbon Aktif, katalis, Isomerisasi n-Heptana

**SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF
Cu/CuO-Cu₂O/ACTIVATED CARBON COMPOSITES AS CATALYST
IN N-HEPTANE ISOMERIZATION**

ABSTRACTS

MELLYNIA PRESTICIA PUTRI

18612009

Oil palm shells as raw material for the manufacture of activated carbon. Oil palm shells have been successfully synthesized into activated carbon by activation using H₃PO₄ 65% and pyrolyzed at a temperature of 800°C. Cu-CuO-Cu₂O metal was impregnation on activated carbon into composite by the hydrothermal method, then used as a catalyst in the isomerization of n-heptane. Composite Cu/CuO-Cu₂O/activated carbon were characterized by the FTIR, XRD, GSA and SEM which shows composite had functional group of O-H, alkuna, C=O, C-O, Cu(I)-O and Cu(II)-O. On the SEM image shows the composite has been impregnation by metal Cu 59,15%. XRD result shows that the composite contains Cu metal with hkl [111], [200], CuO metal with hkl [111], [110], Cu₂O metal with hkl [220], [200], [311]. GSA result shows that the composite has a surface area of 9,892 m²/g. Composite Cu/CuO-Cu₂O/activated carbon has been successfully prepared as a catalyst in the isomerization of n-heptane to produce 2-methylhexane and 1-heptane.

Keywords : Composite, Cu/CuO-Cu₂O/Activated Carbon, n-heptane isomerization

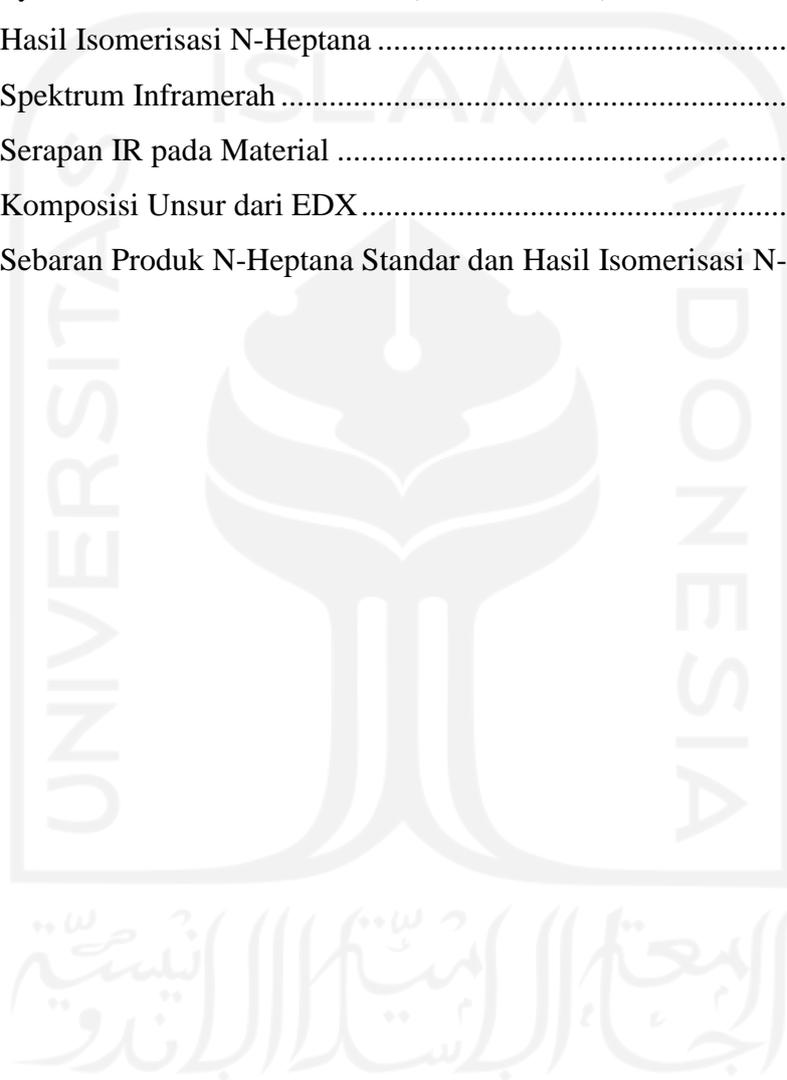
DAFTAR ISI

SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT Cu/CuO-Cu ₂ O/KARBON AKTIF SEBAGAI KATALIS PADA ISOMERISASI N-HEPTANA	i
SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT Cu/CuO-Cu ₂ O/KARBON AKTIF SEBAGAI KATALIS PADA ISOMERISASI N-HEPTANA	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
INTISARI	vi
ABSTRACTS	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	x
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II.....	4
2.1 Tempurung Kelapa Sawit sebagai Karbon Aktif	4
2.2 H ₃ PO ₄ sebagai Aktivator dalam Pembuatan Karbon Aktif	5
2.3 Komposit Cu/CuO/Karbon Aktif sebagai Katalis.....	6
2.4 Isomerisasi N-Heptana	8
BAB III	11
3.1 Tempurung Kelapa Sawit.....	11
3.2 Karbon Aktif	12
3.3 Katalis.....	16
3.4 Logam Tembaga (Cu)	17
3.5 N-Heptana	18
3.6 Isomerisasi Hidrokarbon	19
3.7 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	20
3.8 <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	22
3.9 <i>Gas Chromatography-Mass Spectroscopy</i> (GC-MS)	23

3.10 <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR).....	24
3.11 <i>Gas Sorption Analyzer</i> (GSA).....	25
BAB IV	27
4.1 Alat dan Bahan	27
4.1.1 Alat	27
4.1.2 Bahan	27
4.2 Prosedur Penelitian.....	28
4.2.1 Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit.....	28
4.2.2 Preparasi Logam CuO-Cu ₂ O	29
4.2.3 Pembuatan Komposit Cu/CuO-Cu ₂ O/Karbon Aktif.....	29
4.2.4 Proses Isomerisasi N-Heptana	29
4.2.5 Karakterisasi Karbon Aktif dan Komposit Cu/CuO/Karbon Aktif dengan FTIR, SEM-EDX, XRD dan GSA.....	30
4.2.6 Analisis dengan GC-MS	30
BAB V	31
5.1 Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit	31
5.2 Proses Pembuatan Komposit Cu/CuO-Cu ₂ O/Karbon Aktif.....	33
5.3 Karakterisasi Karbon Aktif dan Komposit Cu/CuO-Cu ₂ O/Karbon Aktif.....	34
5.3.1 Karakterisasi <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	34
5.3.2 Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	36
5.3.3 Karakterisasi Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX).....	38
5.3.4 Karakterisasi <i>Gas Sorption Analyzer</i> (GSA)	41
5.4 Aplikasi Komposit Cu/CuO-Cu ₂ O/KA sebagai Katalis untuk Proses Isomerisasi N-Heptana	44
5.4.1 Isomerisasi N-Heptana	46
BAB VI	55
6.1 Kesimpulan.....	55
6.2 Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA	56
LAMPIRAN.....	64

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Klasifikasi Karbon Aktif berdasarkan bentuknya.....	15
Tabel 2. Syarat Mutu Karbon Aktif SNI (06-3730-1995)	15
Tabel 3. Hasil Isomerisasi N-Heptana	19
Tabel 4. Spektrum Inframerah	25
Tabel 5. Serapan IR pada Material	35
Tabel 6. Komposisi Unsur dari EDX.....	39
Tabel 7. Sebaran Produk N-Heptana Standar dan Hasil Isomerisasi N-Heptana	48



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Tempurung Kelapa Sawit.....	11
Gambar 2. Struktur Kimia Karbon Aktif	13

Gambar 3. Grafik perbedaan energi aktivasi antara reaksi yang melibatkan katalis dengan reaksi yang tidak melibatkan katalis	17
Gambar 4. Struktur N-Heptana	18
Gambar 5. Skema Kerja XRD (Wu & Wu, 2017)	21
Gambar 6. Difraksi Sinar-X	21
Gambar 7. Skema Kerja SEM	22
Gambar 8. Komponen dari FTIR	24
Gambar 9. Reaksi Aktivasi menggunakan H ₃ PO ₄	31
Gambar 10. Skema ilustrasi karbon aktif mengikat logam Cu/CuO-Cu ₂ O	34
Gambar 11. Spektra FTIR (a) Karbon Aktif, (b) Komposit Cu/CuO-Cu ₂ O/KA	35
Gambar 12 Difraktogram (a) Karbon Aktif, (b) Komposit Cu/CuO-Cu ₂ O/KA	37
Gambar 13. Citra SEM-EDX (a) Karbon Aktif, (b) Komposit Cu/CuO-Cu ₂ O/KA .	39
Gambar 14. Grafik Isoterm Adsorpsi-Desorpsi (a) Karbon Aktif, (b) Komposit Cu/CuO-Cu ₂ O/KA	41
Gambar 15. Kurva BET (a) Karbon Aktif, (b) Komposit Cu/CuO-Cu ₂ O/KA	43
Gambar 16. Skema Ilustrasi Reaktor Isomerisasi N-Heptana	44
Gambar 17. Skema Mekanisme Isomerisasi n-heptana (Dhar et al., 2017).....	45
Gambar 18. Kromatogram GC-MS, (a) N-Heptana Standar, (b) Isomerisasi N-Heptana suhu 135°C, (c) Isomerisasi N-Heptana suhu 150°C, (d) Isomerisasi N-Heptana suhu 180°C.....	47
Gambar 19. Komponen Senyawa pada N-Heptana	48
Gambar 20. Diagram Batang Komponen Senyawa pada N-Heptana	48

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Karbon aktif merupakan bahan padat yang memiliki ukuran partikel relatif kecil, bentuk bubuk atau granular yang memiliki ciri-ciri yang sangat baik sebagai adsorben. Keistimewaan dari karbon aktif dapat dipisahkan secara fisik dan sifat kimia yang membuatnya sejalan untuk aplikasi proses katalitik (Yakout & Sharaf El-Deen, 2016). Karbon aktif memiliki struktur yang sangat berpori dan memiliki gugus fungsi yang aktivitas permukaannya dipahami dalam proses adsorpsi yang melibatkan adsorben, katalis dan dukungan katalis dalam reaksi kimia. Material komposit adalah material yang terbuat dari dua atau lebih material yang memiliki sifat-sifat yang berbeda dari sifat fisika maupun sifat kimianya, material komposit menghasilkan bahan dengan karakteristik yang berbeda dari komponen individunya (Elhajjar *et al.*, 2013). Komposit ini bisa digunakan untuk katalis, adsorben atau memperkuat bahan. Fungsi katalis sangat penting di bidang industri.

Katalis sendiri adalah sesuatu yang mengakibatkan reaksi lebih cepat mencapai kesetimbangannya tetapi tidak akan mengubah tetapan kesetimbangan. Definisi lain dari katalis Menurut (Chang, 2003) adalah zat yang dapat meningkatkan laju reaksi kimia tanpa ikut bereaksi. Katalis dapat bereaksi dengan membentuk zat antara, tetapi akan diperoleh kembali dalam tahap reaksi berikutnya. Pada umumnya katalis ini mempunyai sifat-sifat yaitu sebagai berikut aktivitas, stabilitas, selektivitas, umur, regenerasi dan kekuatan mekanik. 2 fungsi katalis yaitu dapat mempercepat reaksi menuju kesetimbangan atau fungsi aktivitas dan meningkatkan hasil reaksi yang dikehendaki atau fungsi selektivitas (Nasikin *et al.*, 2008). Katalis pada fase yang sama (liquid) dengan reaktan disebut sebagai katalis homogen. Sedangkan katalis pada fase yang berbeda dengan reaktannya (dapat berupa padatan, cairan yang tidak dapat bercampur ataupun gas) disebut sebagai katalis heterogen (Helwani *et al.*, 2009).

Logam yang digunakan dalam penelitian ini yaitu logam Cu/CuO-Cu₂O. Tembaga adalah semikonduktor tipe-p dan 3-d logam transisi, dapat mengalami beberapa jenis reaksi karena beberapa keadaan oksidasi (Cu(0), Cu(I), Cu(II))

(Nasibulin *et al.*, 2001). Oksida tembaga campuran ini memiliki kecenderungan untuk transferelektron cepat karena kombinasi keadaan oksidasi ion logam yang stabil dan tidakstabil. Sintesis mikropartikel Cu/CuO/Cu₂O adalah kandidat yang baik karena memiliki keadaan logam nol, mono dan divalen, sehingga memiliki kemampuan untuk memfasilitasi transfer elektron-hole. Penelitian yang melibatkan sintesis mikrosfer Cu/CuO/Cu₂O melalui metode dan studi hidrotermal yaitu aplikasinya sebagai katalis dan aditif. Aplikasi untuk katalis lebih baik karena Cu(I) yang sangat tidak stabil dan bertindak sebagai agen pereduksi kuat dengan adanya hidrogen peroksida (H₂O₂) (Zhang *et al.*, 2014).

Logam Cu/Cu₂O/CuO ini berperan penting dalam reaksi katalitik. Selain itu, permukaan nanopartikel Cu atau Cu₂O mudah teroksidasi untuk membentuk lapisan pasivasi CuO, menghasilkan isolasi fasa Cu, fasa Cu₂O dan fasa CuO. Untuk menghambat permukaan oksidasi dan peningkatan dispersi nanokomposit Cu/Cu₂O/CuO ada beberapa pendukung padat seperti zeolit, MOF, karbon aktif atau polimer padat yang dapat digunakan untuk mendukung nanopartikel komposit Cu/Cu₂O/CuO (Alvarenga *et al.*, 2017). Salah satunya, karbon berpori dapat memberikan luas permukaan spesifik yang lebih tinggi dan konduktivitas elektron yang baik untuk nanopartikel berbasis Cu.

Senyawa yang mempunyai rumus molekul yang sama, tetapi berbeda beberapa sifat fisika atau kimianya yaitu disebut isomer dan peristiwa dimana terjadinya perubahan ulang posisi atom karbon dan atom lainnya dalam suatu molekul, disebut isomerisasi. Proses isomerisasi merupakan salah satu proses perubahan konfigurasi molekul, tanpa mengubah jumlah atom yang tersedia. Senyawa hidrokarbon dengan rantai bercabang memiliki angka oktan yang lebih tinggi dibandingkan dengan senyawa dengan rantai lurus. Isomerisasi akan mengubah senyawa dengan rantai lurus menjadi senyawa dengan rantai yang bercabang yang akan memiliki angka oktan yang lebih tinggi.

Penelitian ini dilakukan agar memanfaatkan limbah tempurung kelapa sawit menjadi karbon aktif sebagai katalis menggunakan aktivator asam fosfat (H₃PO₄) 65% dan kemudian dipirolisis pada suhu 800°C selama 3 jam. Selanjutnya logam yang digunakan yaitu logam CuO yang di hidrotermal dalam karbon aktif

digunakan sebagai katalis heterogen dalam reaksi isomerisasi. Karakterisasi karbon aktif logam CuO/Karbon aktif di uji dengan menggunakan instrumen SEM dan FTIR.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka didapatkan sebuah rumusan masalah yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimanakah cara untuk mensintesis dan karakterisasi karbon aktif dari limbah tempurung kelapa sawit?
2. Bagaimanakah cara untuk mensintesis dan karakterisasi katalis Cu/CuO-Cu₂O/Karbon Aktif tempurung kelapa sawit?
3. Bagaimanakah aktivitas katalis Cu/CuO-Cu₂O/Karbon Aktif pada isomerisasi n-heptana?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, dilakukan penelitian yang bertujuan untuk:

1. Mengetahui cara untuk mensintesis dan karakterisasi karbon aktif dari limbah tempurung kelapa sawit.
2. Mengetahui cara untuk mensintesis dan karakterisasi katalis Cu/CuO-Cu₂O/Karbon Aktif tempurung kelapa sawit.
3. Mengetahui aktivitas katalis Cu/CuO-Cu₂O/Karbon Aktif pada isomerisasi n-heptana.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan ilmu cara sintesis komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon Aktif sebagai katalis untuk isomerisasi n-heptana.
2. Mendapatkan ilmu tentang sifat katalitik dan kemampuan Cu/CuO-Cu₂O/Karbon Aktif sebagai katalis pada isomerisasi n-heptana.
3. Mendapatkan hasil dari isomerisasi n-heptana.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tempurung Kelapa Sawit sebagai Karbon Aktif

Menurut penelitian (Yuliusman, 2015) karbon aktif merupakan salah satu adsorben yang paling sering digunakan pada proses adsorpsi. Salah satu bahan baku pembuatan karbon aktif yang sering digunakan adalah tempurung kelapa sawit, dan karbon aktif dari tempurung kelapa sawit menghasilkan luas permukaan sebesar 1100 m²/g. Tempurung kelapa sawit memiliki beberapa alasan untuk digunakan sebagai bahan dasar karbon aktif antara lain karena kandungan karbon yang sangat banyak serta kemudahan bahan baku tersebut untuk didapatkan secara komersial (Mariatul, 2012). Tempurung kelapa sawit merupakan material yang mengandung lignin selulosa yang berkadar karbon cukup tinggi (Lydia, 2012). Tempurung kelapa sawit mengandung selulosa sebesar 26,6% dan hemiselulosa 27,7% yang baik untuk pembuatan karbon aktif. Tempurung kelapa sawit merupakan salah satu limbah dari pengolahan minyak kelapa sawit yang cukup besar, yaitu mencapai sekitar 12% dari bobot buah kelapa sawit. Dengan jumlah ketersediaan limbah tempurung kelapa sawit tersebut, maka diperlukan suatu proses lanjutan untuk mengubah limbah tempurung kelapa sawit menjadi suatu produk yang memiliki nilai ekonomis yang tinggi salah satunya adalah karbon aktif. Penelitian ini mempunyai tujuan untuk membuat karbon aktif dari tempurung kelapa sawit menjadi karbon aktif berbahan baku murah yang memiliki kualitas memenuhi SII No. 0258-79.

Menurut penelitian (Harti & Fitri, 2014) karbon banyak ditemukan di kehidupan sehari-hari dan jumlahnya cukup banyak. Karbon memiliki bentuk amorf dan banyak ditemukan dari berbagai bahan utama, antara lain batubara, tempurung kelapa, limbah industri, kayu, biji aprikot, kulit singkong, dan kulit kemiri. Lalu dengan meningkatnya penggunaan karbon aktif memunculkan kreativitas untuk memaksimalkan fungsi dari karbon yang bukan hanya dari luas permukaan dan pori- porinya saja tetapi pada permukaan karbonnya juga. Berdasarkan hasil penelitian (Kurniawan *et al.*, 2014) karbon aktif tempurung kelapa dengan konsentrasi aktivator H₃PO₄ 3 Molar menghasilkan luas

permukaan sebesar 386,44 m²/g, sedangkan dengan menggunakan bahan baku cangkang kelapa sawit dan konsentrasi aktivator H₃PO₄ 10% menghasilkan luas permukaan sebesar 208,091 m²/g, karena pada proses aktivasi ini larutan asam fosfat yang memiliki unsur-unsur mineral dari persenyawaan kimia yang ditambahkan akan meresap ke dalam karbon aktif dan membuka permukaan yang mula-mula tertutup oleh komponen penyumbat dengan melarutkan beberapa pengotor yang menyumbat sehingga luas permukaan yang aktif bertambah besar dan penyerapan adsorbat oleh karbon aktif tempurung kelapa menjadi lebih maksimal. Selanjutnya pada penelitian (Gultom & Lubis, 2014) yaitu pengaplikasian karbon aktif dari tempurung kelapa sawit dengan menggunakan aktivator H₃PO₄ untuk penyerapan logam Pb(II) dan Cd(II), dan dari penelitian tersebut karbon aktif dari tempurung kelapa sawit dengan aktivator H₃PO₄ mampu menyerap logam Cd dan Pb yaitu masing-masing 80,13% dan 84,61%.

2.2 H₃PO₄ sebagai Aktivator dalam Pembuatan Karbon Aktif

Aktivator H₃PO₄ sudah banyak digunakan dalam pembuatan arang aktif, salah satunya pada penelitian (Wulandari *et al.*, 2014) tujuan penelitiannya adalah untuk mengetahui temperatur pengeringan optimum pada aktivasi arang aktif tempurung kelapa dengan menggunakan asam klorida dan asam fosfat. Arang aktif dapat digunakan untuk proses penjernihan air. Lalu penurunan kadar air erat hubungannya dengan sifat higroskopis dari aktivator HCl dan H₃PO₄. Terikatnya sebuah molekul air yang terdapat pada arang aktif oleh aktivator menyebabkan pori-pori pada arang aktif semakin besar. Semakin besar pori-pori maka luas permukaan arang aktif tersebut semakin bertambah. Lalu bertambahnya luas permukaan ini mengakibatkan semakin meningkatnya kemampuan adsorpsi dari arang aktif. Peningkatan kemampuan adsorpsi arang aktif maka semakin baik kualitas dari arang aktif tersebut. Hasil penelitian tersebut menunjukkan pada hasil penyaringan air tanah yang jernih yaitu dengan menggunakan aktivator H₃PO₄ 100°C dan 150°C, sedangkan aktivator HCl 100°C terlihat air dari hasil penyaringan masih terlihat keruh dan untuk aktivator HCl 150°C air hasil penyaringan terlihat masih tidak terlalu jernih. Hal ini menunjukkan bahwa arang aktif yang mempunyai karakteristik terbaik adalah arang tempurung kelapa yang

diaktivasi dengan asam fosfat dengan kadar air 5.699% pada temperatur 100°C dan 5.322% pada temperatur 150°C.

2.3 Komposit Cu/CuO/Karbon Aktif sebagai Katalis

Menurut penelitian (Li *et al.*, 2019) katalis terner Cu/Cu₂O/CuO yang didukung karbon berpori dibuat dengan pirolisis, dimana komposisi dari modulasi Cu/Cu₂O/CuO berhasil diwujudkan dengan menyesuaikan suasana anil. Pengaruh dari komposisi Cu/Cu₂O/CuO pada aktivitas katalitik pada penelitian ini diselidiki dalam pengurangan katalitik dari p-nitrofenol menjadi p-aminofenol. Hasil percobaannya menunjukkan bahwa aktivitas katalitik katalis terner Cu/Cu₂O/CuO menunjukkan aktivitas katalitik yang lebih tinggi. Diketahui bahwa logam mulia memiliki aktivitas katalitik yang sangat baik dan stabilitas dalam transformasi katalitik p-nitrofenol, tetapi dengan tingginya biaya logam mulia membatasi penerapannya secara luas. Lalu ada salah satu cara yang efektif dengan menggunakan nanopartikel logam transisi. Di antara beberapa nanopartikel logam transisi ini, keadaan valensi tembaga dapat berubah secara termodinamika antara Cu, Cu₂O dan CuO, dan memberikan kemungkinan untuk merakit nanopartikel terner Cu/Cu₂O/CuO, yang memberikan fungsi katalitik serbaguna. Oleh karena itu, dilaporkan bahwa nanopartikel berbasis tembaga memiliki aktivitas katalitik yang lebih tinggi dalam reduksi katalitik dari p-nitrofenol menjadi p-aminofenol. Untuk menghambat permukaan oksidasi dan meningkatkan dispersi nanokomposit Cu/Cu₂O/CuO, beberapa pendukung padat seperti zeolit, MOF, karbon aktif atau polimer padat, dapat digunakan untuk mendukung komposit Cu/Cu₂O/CuO nanopartikel. Di antara beberapa pendukung padat, karbon berpori dapat memberikan luas permukaan spesifik yang lebih tinggi dan konduktivitas elektron yang baik untuk nanopartikel berbasis Cu.

Berdasarkan penelitian (Zubir Dewi Purnama; Pulungan, Ahmad Nasir; Sihombing, Junifa Layla; Selly, Rini *et al.*, 2017) memodifikasi zeolite alam sebagai katalis dengan mengimpregnasikannya oksida logam Cu. Katalis dari CuO/ZAA digunakan sebagai katalis untuk proses konversi minyak biji alpukat menjadi fraksi bahan bakar dengan metode *catalytic cracking* dalam reaktor

sistem *fixe-bed*. Pada penelitian ini dilakukan aktivasi menggunakan HCl 3M untuk meningkatkan rasio Si:Al yaitu terjadinya dealuminasi zeolite. Pengaruh dari pengembanan oksida logam CuO/ZAA menunjukkan peningkatan pada puncak-puncak utama difraktogram. Pada penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa pengembanan oksida logam CuO pada bahan pengemban zeolite sebagai katalis (CuO/ZAA) meningkatkan aktivitas katalitik katalis.

Pada penelitian (Sundari *et al.*, 2018) nanostruktur tembaga oksida (CuO) telah berhasil disintesis menggunakan metode hidrotermal dengan prekursor larutan tembaga sulfat. Hasil yang diperoleh pada pola difraksi X-Ray menunjukkan adanya puncak-puncak utama yang merupakan puncak karakteristik dari nanostruktur CuO yaitu pada sudut 2θ sebesar $35,29^\circ$ dan $38,50^\circ$, puncak-puncak fasa CuO yang muncul sudah sesuai dengan JCPDS No. 41-0254. Puncak dari karakteristik nanostruktur CuO memiliki intensitas tinggi yang menandakan bahwa nanostruktur CuO yang sudah terbentuk memiliki kristalinitas yang cukup baik. Selanjutnya pada hasil SEM diperoleh bentuk partikel CuO yang kurang beraturan, namun ukuran dari partikel CuO yang terbentuk dalam penelitian ini berada pada orde nanometer dengan ukuran partikel sekitar 300-800 nm. Nanostruktur CuO yang dihasilkan memiliki ukuran yang relatif besar yaitu mendekati $1 \mu\text{m}$ yang penyebabnya oleh pengaturan pH larutan precursor yang terlalu tinggi sehingga memicu terbentuknya padatan hidroksida yang cepat pada fasa larutan. Selanjutnya pada karakterisasi menggunakan UV-Vis menunjukkan adanya serapan maksimum cahaya tampak pada panjang gelombang λ_{maks} 416 nm sampai 422 nm, didapatkan nilai perkiraan celah pita energi (band gap) sebesar 2,94 eV sampai 2,98 eV.

Pada penelitian (Zhao *et al.*, 2016) partikel Cu/Cu₂O/CuO@C lebih efisien digunakan dan lebih murah daripada katalis logam mulia untuk aplikasi degradasi polutan organik. Proses sintesis sederhana sudah dikembangkan untuk membuat Cu/Cu₂O/CuO partikel yang menempel pada lapisan karbon untuk membentuk katalis. Suhu reaksi 130°C dengan rasio molar 1:1 asam galat : Cu(NO₃)₂.6H₂O pada hasil morfologi dan struktur yang paling tepat untuk sintesis. Selanjutnya efek katalitik juga sebanding dengan katalis logam mulia, tetapi digunakan bahan

yang kurang beracun. Keunggulan dari penelitian ini adalah (1) dengan menggabungkan keunggulan kerangka organik logam (MOFs) dan bahan yang mengandung Cu, dalam struktur berpori memberikan kontak daerah yang besar dan saluran untuk polusi dan situs aktif. (2) Metode sederhana dan efisien untuk membuat Cu-MOF dengan logam Cu dan asam galat (GA) dengan suhu reaksi 130°C dan rasio molar 1:1 antara asam galat dengan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ mempunyai morfologi dan struktur yang paling sesuai untuk sintesis. (3) Masalah stabilitas yang lemah terhadap MOF dalam air sudah dipecahkan karena karbon Cu/Cu₂O/CuO dapat digunakan dalam air. Katalis efektif untuk degradasi reduktif 4-NP yaitu menunjukkan utilitas umum katalisis untuk degradasi reduktif polutan serupa.

2.4 Isomerisasi N-Heptana

Pada penelitian (Smolikov *et al.*, 2019) dilakukan studi keteraturan pembentukan permukaan aktif dari katalis WO_3/ZrO_2 untuk isomerisasi n-heptana. Perlindungan untuk lingkungan menjadi sangat penting dan persyaratan yang ketat dikenakan untuk bahan bakar motor komersial. Lingkungan komponen bensin beroktan tinggi yang aman diproduksi, khususnya dengan isomerisasi hidrokarbon parafin. Lalu untuk isomerisasi fraksi pentana-heksana merupakan proses penting dalam penyulingan minyak di dunia. Dengan masalah demikian, perluasan bahan baku untuk produksi isomerat dengan melibatkan fraksi heptana dalam prosesnya adalah salah satu pengembangan industri penyulingan minyak. Katalis zirconia tersulfat yang digunakan untuk isomerisasi fraksi pentana-heksana menunjukkan aktivitas perengkahan heptana yang tinggi karena keasaman tinggi (Yang & Weng, 2010).

Aktivitas katalis dari $\text{Pt}/\text{WO}_3/\text{ZrO}_2$ dinyatakan sebagai konversi n-heptana, tergantung pada fraksi fase dari t-ZrO₂ dalam katalis. Diantara sampel yang diuji dengan kandungan WO_3 berbeda (10-35% berat, dan suhu kalsinasi 800°C) yang paling aktif adalah katalis yang mengandung 25% berat WO_3 dan memiliki fraksi t-ZrO₂ sebesar 94%. Untuk sampel tersebut pada 170°C konversi n-heptana adalah 84,06%, rendemen dari jumlah isomer heptana adalah 60,32% berat, dan untuk

hasil isomer tersubstitusi di- dan trimetil adalah 22,67% berat. Selanjutnya hasil isomer heptana pada katalis Pt/WO₃/ZrO₂ (WO₃ dengan berat 25%) meningkat karena menaikkan suhu kalsinasi menjadi 850-900°C dan hasil jumlah isomer meningkat menjadi 64,71-71,00% berat dan hasil DTMS menjadi 24,20-28,32% berat. Katalis dikalsinasi dalam kisaran suhu yang ditunjukkan memiliki aktivitas isomerisasi tinggi dan terdiri dari tiga fase yaitu: zirconia tetragonal (45-70%), zirkonia monoklinik (20- 41%), dan tungsten monoklinik oksida (10-14%).

Pada penelitian (Laura O. Alemán-Vázquez *et al.*, 2010) memberikan hasil berupa eksperimen isomerisasi n-heptana menggunakan katalis Pt/SZ dengan konsentrasi sulfat yang berbeda. Aktivitas katalitik katalis Pt/SZ terhadap isomerisasi n-heptana dievaluasi pada waktu yang berbeda di aliran dari 2-8 jam dan menyatakan sebagai konversi n-heptana dan selektivitas terhadap isomer bercabang yaitu metilheksana, dimetilpentana dan etilpentana. Konversi dan distribusi dari produk yang dicapai selama isomerisasi n-heptana dengan katalis Pt/SZ-3% dan Pt/SZ-24% pada suhu 473 K dan selama 2,4,6,8 jam memberikan sejumlah produk isomerisasi selama tes katalitik dengan metilheksana dan dimetilpentana yang paling banyak dihasilkan isomer bercabang terbentuk. Namun pembentukan produk perengkahan yang tinggi (C1-C6) diamati pada kedua katalis ini menghasilkan selektivitas yang relatif rendah untuk isomerisasi. Pada katalis Pt/SZ-3% menunjukkan konversi maksimum sekitar 53%, sedangkan pada katalis Pt/SZ-24% menunjukkan konversi maksimum sekitar 26%. Katalis Pt/SZ-24% memiliki selektivitas yang lebih rendah pada isomerisasi. Namun kedua katalis ini menunjukkan penonaktifan yang signifikan setelah 8 jam di aliran. Pada hasil percobaan ini menunjukkan bahwa tidak perlu memiliki konsentrasi belerang yang tinggi dalam sistem katalitik untuk mendapatkan katalis dengan aktivitas dan selektivitas yang baik untuk isomerisasi n-heptana.

Pada penelitian (H. D. Setiabudi *et al.*, 2011) menunjukkan bahwa kehadiran spesies iridium menghasilkan peningkatan substansial dalam aktivitas dan selektivitas terhadap iso-heptana untuk isomerisasi n-heptana dengan adanya hidrogen. Isomerisasi n-heptana atas katalis HZSM-5 dan Ir-HZSM-5 pada 623 K menghasilkan outlet yang terdiri dari iso-heptana, produk perengkahan (C1-C6)

dan sisa n-heptana. Iridium digunakan sebagai katalis dalam HZSM-5 meningkat sekitar 4,1%, 33,2% dan 11,8% dalam konversi, selektivitas dan hasil isomerisasi n-heptana. Peningkatan aktivitas mungkin terjadi karena peningkatan jumlah situs asam Lewis yang kuat dan adanya iridium yang memfasilitasi pembentukan situs asam protonat melalui mekanisme tumpahan hidrogen. Pada penelitian ini iridium bertindak sebagai situs aktif spesifik untuk disosiasi-adsorpsi hidrogen molekuler dan situs asam Lewis akan menstabilkan situs asam protonat yang dibentuk dengan menetralkan elektron. Fakta yang dihasilkan hampir tidak adanya isomer yang terbentuk ketika HZSM-5 bebas Ir dikarenakan tidak adanya situs aktif untuk menghasilkan situs asam protonat aktif, meskipun HZSM-5 memiliki situs asam Lewis yang kuat. Pada penelitian ini disimpulkan bahwa kehadiran iridium akan meningkatkan aktivitas dan selektivitas menjadi iso-heptana dalam isomerisasi n-heptana dengan memfasilitasi pembentukan situs asam protonat aktif dari molekul hidrogen.

BAB III

DASAR TEORI

3.1 Tempurung Kelapa Sawit

Kelapa sawit merupakan tumbuhan yang digunakan dalam industri penghasil minyak masak, minyak industri, maupun bahan bakar (biodiesel). Salah satu bagian dari buah kelapa sawit adalah cangkang sawit yaitu bagian berkayu yang ada di dalam buah sawit, mempunyai warna coklat tua sampai kehitaman dengan tekstur yang cukup keras dan mempunyai fungsi sebagai pelindung daging buah biji sawit (endosperm). Cangkang kelapa sawit sebagai salah satu limbah padat hasil pengolahan minyak CPO dan PKO, yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi karena memiliki kandungan karbon terikat sebesar 20,5% maka cangkang kelapa sawit dapat dijadikan sebagai sumber energi alternatif (Husain *et al.*, 2002).



Gambar 1. Tempurung Kelapa Sawit

Tempurung kelapa sawit termasuk bahan yang mengandung lignoselulosa yang mempunyai kadar karbon tinggi dan mempunyai berat jenis yang lebih tinggi daripada kayu yang mencapai $1,4 \text{ g/cm}^3$, dimana semakin besar berat dari jenis bahan bakunya maka daya serap dari arang aktif yang dihasilkan akan semakin besar juga, karakteristik tersebut yang menjadikan bahan tersebut baik untuk dijadikan arang aktif. Kandungan yang terdapat dalam cangkang kelapa sawit yaitu lignin sebesar (29,4%), hemiselulosa sebesar (27,7%), selulosa sebesar (26,6%), air sebesar (8,0%), abu sebesar (0,6%) dan beberapa komponen ekstraktif sebesar (4,2%), seluruh senyawa tersebut termasuk ke dalam senyawa hidrokarbon (Haji, 2013). Cangkang sawit dapat diolah menjadi beberapa produk yang bernilai ekonomis tinggi, yaitu karbon aktif, fenol, asap cair, tepung

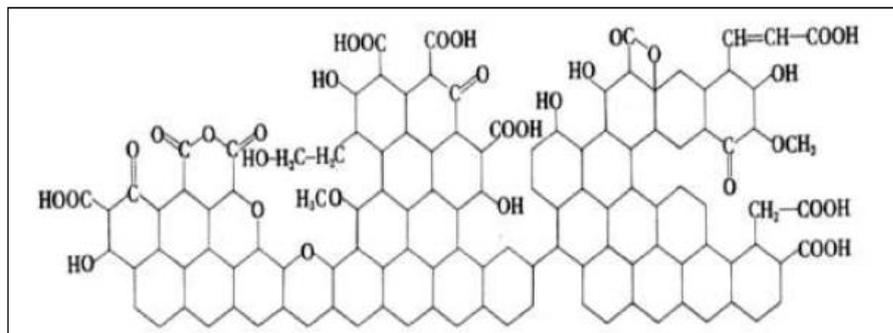
tempurung dan arang. Cangkang sawit memiliki banyak kegunaan serta manfaat bagi industri, usaha dan rumah tangga.

3.2 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan senyawa amorf yang berasal dari bahan-bahan yang mengandung karbon atau arang aktif yang secara khusus diperlukan untuk mendapatkan daya adsorpsi yang tinggi. Bahan baku dari karbon aktif dapat berupa antara lain batu bara, tempurung kelapa, tempurung kelapa sawit, petrol coke, limbah pinus, dan kayu (Pujiyanto, 2010). Bahan yang digunakan dalam pembuatan karbon aktif ini dapat memberikan pengaruh terhadap struktur permukaan besar dari karbon aktif. Diantaranya adalah karbon aktif dari bahan dasar sekam padi menghasilkan luas permukaan 438,9 m²/g, lalu dengan bahan dasar tempurung kelapa sawit menghasilkan luas permukaan 1100 m²/g (Lillo-Ródenas *et al.*, 2003). Karbon aktif yang baik dilihat dari luas permukaannya dan juga ada atau tidaknya senyawa lignin, hemiselulosa, dan selulosa. Selulosa adalah suatu komponen utama dari penyusun dinding sel tanaman. Di alam selulosa jarang ditemukan dalam keadaan murni, tetapi akan selalu berikatan dengan bahan lain seperti lignin dan hemiselulosa. Lignin merupakan komponen kimia utama yang terdapat dalam kayu selain selulosa dan hemiselulosa yang mempunyai fungsi sebagai perekat di dalam dinding sel, dan sebagai unsur structural dari pohon. Kandungan karbon dalam lignin cukup tinggi yaitu sebesar 60-65% untuk kayu daun jarum dan sebesar 56-60% untuk kayu daun lebar (Fengel & Wegener, 1995).

Karbon aktif merupakan suatu karbon yang berbentuk amorf dan dapat dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung unsur senyawa karbon yang diproses untuk menghasilkan permukaan yang lebih luas. Karbon aktif juga merupakan salah satu adsorben yang paling sering digunakan pada proses adsorpsi. Hal demikian disebabkan karena karbon aktif mempunyai daya adsorpsi dan luas permukaan yang lebih baik dibandingkan dengan adsorben lainnya. Karbon aktif yang baik haruslah memiliki luas area permukaan yang besar sehingga daya adsorpsinya juga akan besar. Karbon aktif memiliki luas

permukaan sebesar berkisar diantara $300-2000\text{m}^3/\text{gr}$, dengan luas permukaan tersebut karbon aktif mempunyai sifat sebagai adsorben karena dapat mengadsorpsi gas dan senyawa-senyawa kimia tertentu. Daya serap dari karbon aktif sangat besar, yaitu 25-100% terhadap berat karbon aktif. Karbon aktif juga memiliki total volume pori-porinya sebesar $10,28 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ mg}^{-1}$, dan memiliki diameter pori rata-ratanya sebesar 21,6 Å, sehingga karbon aktif dapat digunakan untuk menyerap suatu adsorbat dengan jumlah yang banyak.



Gambar 2. Struktur Kimia Karbon Aktif

Senyawa-senyawa lain selain karbon yang terkandung di dalam karbon aktif diantaranya adalah sejumlah kecil hidrogen dan oksigen yang secara kimiawi terikat di dalam berbagai gugus fungsi seperti karbonil, karboksil, fenol, *lakton*, *quinon*, dan gugus-gugus eter. Gugus fungsional tersebut dibentuk selama proses aktivasi oleh interaksi radikal bebas pada permukaan karbon dengan atom-atom seperti oksigen dan nitrogen. Gugus fungsional tersebut membuat permukaan karbon aktif reaktif secara kimiawi dan dapat mempengaruhi sifat adsorpsinya.

Proses pembuatan karbon aktif terdiri dari tiga tahapan yaitu:

1. Dehidrasi

Dehidrasi ialah suatu proses penghilangan kandungan air di dalam bahan dasar dengan cara pemanasan dalam oven dengan temperature 170°C . Pada suhu sekitar 275°C terjadi dekomposisi karbon dan terbentuk hasil yaitu seperti tarr, methanol, fenol, dan lain-lain. Selanjutnya hampir 80% unsur karbon yang diperoleh dengan pemanasan pada suhu $400-600^\circ\text{C}$.

2. Karbonisasi

Karbonisasi ialah suatu proses dimana unsur-unsur oksigen dan hidrogen yang terdapat dalam karbon dihilangkan dan menghasilkan rangka karbon yang memiliki struktur tertentu. Dengan temperatur diatas 170°C akan menghasilkan senyawa CO, CO_2 , dan asam asetat. Sedangkan pada temperatur 275°C dekomposisi menghasilkan tar, methanol dan beberapa hasil sampingnya.

3. Aktivasi

Aktivasi merupakan suatu proses perlakuan terhadap karbon aktif yang bertujuan untuk memperbesar pori yaitu dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga karbon aktif mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia, yaitu luas permukaannya bertambah besar dan berpengaruh juga terhadap daya adsorpsinya (Sembiring & Sinaga, 2003).

Dalam pembuatan karbon aktif proses aktivasi merupakan proses yang penting untuk diperhatikan disamping bahan baku yang digunakan. Metode aktivasi yang paling umum digunakan dalam pembuatan karbon aktif adalah aktivasi kimia dan aktivasi fisika. Pengertian dari aktivasi kimia yaitu proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan digunakannya bahan-bahan kimia. Sedangkan aktivasi fisika yaitu proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan bantuan panas, uap dan CO_2 . Untuk metode aktivasi kimia ada beberapa aktivator yang digunakan yaitu seperti hidroksida logam alkali garam-garam karbonat, klorida, sulfat, posfat dari logam alkali tanah dan khususnya ZnCl_2 asam-asam organik seperti H_2SO_4 dan H_3PO_4 . Sedangkan metode aktivasi fisika yaitu dengan terlebih dahulu dibuat arang dan arang digiling, diayak untuk selanjutnya diaktivasi dengan cara pemanasan temperature 1000°C yang disertai pengaliran uap.

Karbon aktif memiliki beberapa bentuk yaitu ada tiga bentuk utama dari karbon aktif diantaranya adalah bentuk serbuk, bentuk granular, dan bentuk pellet. Karbon aktif dengan bentuk serbuk mempunyai ukuran lebih kecil dari 0,18 mm

digunakan pada industri pengolahan air minum dan juga industri farmasi, terutama untuk pemurnian monosodium glutamate, penghilang warna asam furan. Karbon aktif dengan bentuk granular atau tidak beraturan mempunyai ukuran 0,2 – 0,5 mm digunakan untuk pemurnian emas, pengolahan air limbah dan air tanah. Karbon aktif dengan bentuk pellet mempunyai diameter 0,8 – 5 mm digunakan untuk aplikasi fasa gas karena mempunyai tekanan rendah, kekuatan mekanik tinggi dan kadar abu rendah, untuk pemurnian udara, kontrol emisi, penghilang bau kotoran (Saragih & Sehat, 2008).

Tabel 1. Klasifikasi Karbon Aktif berdasarkan bentuknya

Jenis Karbon	Ukuran (mm)	Kegunaan	Bentuk
<i>Powdered Activated Carbon (PAC)</i>	<0,18	Digunakan pada fasa cair	
<i>Granular Activated Carbon (GAC)</i>	0,2-5	Digunakan pada fasa cair dan gas	
<i>Extruded Activated Carbon (EAC)</i>	0,8-5	Digunakan pada fasa gas	

Berikut adalah syarat mutu dari karbon aktif menurut SNI 06-3730-1995

Tabel 2. Syarat Mutu Karbon Aktif SNI (06-3730-1995)

Jenis Persyaratan	Parameter
Kadar Air	Max 15%
Kadar Abu	Max 10%
Kadar Zat Menguap	Max 25%
Kadar Karbon Terikat	Max 65%
Daya serap terhadap iodin	Min 70 mg/gram
Daya serap terhadap benzene	Min 25%

Kegunaan dari karbon aktif dalam bidang industri yaitu dapat berupa pemurnian gas, sebagai katalisator, sebagai penyaring dan penghilang bau pada industri obat dan makanan, untuk penyaringan air, sebagai pelarut yang dapat digunakan kembali, dan penyimpanan energi (*gas adsorptive storage*) (Liou, 2010). Selain itu penggunaan karbon aktif juga dapat untuk menyerap fenol dalam air limbah hingga 99,745% (Pambayun *et al.*, 2013)

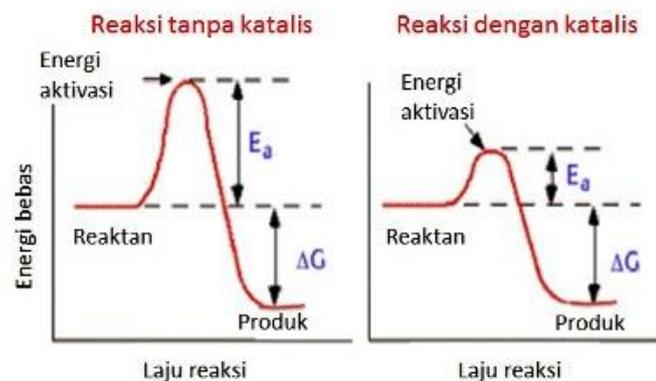
3.3 Katalis

Katalis yaitu suatu senyawa yang dapat meningkatkan laju reaksi tetapi tidak mengalami perubahan selama reaksi berlangsung. Katalis dapat digunakan baik di alam, laboratorium maupun di industri (Shriver & Atkins, 1999). Dalam sebuah reaksi sebenarnya katalis ikut bereaksi, tetapi pada akhir reaksi katalis tersebut terbentuk kembali seperti bentuknya yang semula. Dapat dikatakan, katalis tidak memberikan tambahan berupa energi kepada sistem dan secara termodinamika juga tidak mempengaruhi keseimbangannya. Katalis dapat mempercepat reaksi yaitu dengan cara menurunkan energi aktivasi reaksinya, penurunan energi aktivasi ini terjadi sebagai akibat dari interaksi antara katalis dan reaktan. Selain itu katalis juga dapat berperan meningkatkan selektivitas suatu reaktan agar dapat menghasilkan produk yang sesuai dengan yang diinginkan (Chen *et al.*, 2012)

Katalis dapat digolongkan menjadi tiga jenis berdasarkan fasanya, yaitu katalis enzim atau biokatalis, katalis homogen dan katalis heterogen (Nurhayati, 2008). Katalis enzim yaitu molekul protein ukuran koloid, dan juga katalis diantara homogen dan heterogen. Lalu katalis homogen merupakan katalis yang berada pada fasa yang sama seperti reaktan dan produknya. Kelebihan dari katalis homogen adalah memiliki aktivitas yang tinggi, tetapi kelemahannya yaitu pemisahan antara produk dengan katalisnya sulit karena produk dan katalis berada pada satu fasa, penggunaan katalis homogen hanya dapat sekali saja dan tidak dapat didaur ulang. Sedangkan katalis heterogen yaitu katalis yang berada dalam fasa yang berbeda dengan reaktannya, katalis heterogen biasanya berupa padatan dan berinteraksi pada permukaan padat-gas atau padat-cair. Kelebihan dari katalis heterogen adalah selektivitas produk yang diinginkan dapat ditingkatkan dengan

adanya pori yang terdapat pada katalis heterogen. Pada katalis heterogen komposisi kimia pada permukaannya dapat digunakan untuk meminimalisasi atau untuk meningkatkan adsorpsi komponen tertentu, katalis heterogen juga dapat dipisahkan dari produk dengan penyaringan dan dapat digunakan kembali (Yeti Widyawati, 2007).

Reaksi pembuatan biodiesel diperlukan katalis karena reaksi tersebut cenderung berjalan lambat. Katalis yang digunakan dalam pembuatan biodiesel dapat berupa katalis basa maupun katalis asam. Dengan menggunakan katalis basa reaksi berlangsung pada suhu kamar sedangkan dengan katalis asam reaksi baru berjalan baik pada suhu sekitaran 100°C . Lalu bila tanpa katalis reaksi membutuhkan suhu minimal 250°C (Lam *et al.*, 2010)



Gambar 3. Grafik perbedaan energi aktivasi antara reaksi yang melibatkan katalis dengan reaksi yang tidak melibatkan katalis

3.4 Logam Tembaga (Cu)

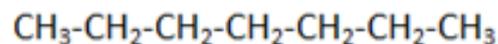
Tembaga mempunyai dua macam oksida yang telah banyak kita ketahui yaitu tenorite (CuO) dan cuprite (Cu_2O). Kedua macam oksida ini termasuk dalam semikonduktor tipe $-p$ (Johan *et al.*, 2011) Tembaga (II) oksida atau CuO yaitu salah satu senyawa oksida logam transisi yang memiliki celah pita energi (band gap) yang sempit, yaitu $1,2 \text{ eV}$ pada fasa ruah (bulk) (Singh & Ali, 2010). Menurut (Wang, 2006), CuO murni adalah sebuah padatan hitam dengan kepadatan sebesar $6,4 \text{ g/cm}^3$ dan mempunyai titik leleh yang tinggi yaitu 1330°C , tidak mudah larut dalam air.

Tembaga (II) oksida merupakan senyawa semikonduktor yang mempunyai struktur monoklinik. CuO juga merupakan anggota paling sederhana senyawa tembaga serta menunjukkan berbagai sifat fisik yang berguna diantaranya seperti superkonduktivitas suhu tinggi, efek korelasi elektron dan dinamika putar. CuO sebagai semikonduktor tipe -p telah banyak digunakan dalam aplikasi seperti gas sensor, katalis, baterai, superkonduktor suhu tinggi, konversi energi surya dan bidang emisi (Ghane *et al.*, 2010).

3.5 N-Heptana

N-heptana merupakan senyawa hidrokarbon alkana rantai lurus dengan rumus kimia $\text{H}_3\text{C}(\text{CH}_2)_5\text{CH}_3$ atau C_7H_{16} . N-Heptana juga merupakan salah satu bahan bakar referensi utama. Campuran dari n-heptana dengan iso-oktana dianggap sebagai komponen utama dari bahan bakar gasoline. Oleh sebab itu referensi utama dari bahan bakar adalah campuran dari n-heptana dan iso-oktana (Suartha, 2017).

Dalam proses isomerisasi, n-heptana diubah dengan adanya gas Hidrogen untuk menekan penonaktifan katalis dan meningkatkan hasil produk bercabang yang diinginkan (Kondo *et al.*, 2007). Isomer yang dihasilkan dari konversi terhadap n- heptana adalah 3-metilheksana (3MH); 2,2-dimetilpentana dan 2,3-dimetilpentana. *Monobranched* isomer merupakan produk utama yang diharapkan ketika n-heptana dikonversi melalui katalis asam padat (Oloye *et al.*, 2018).



Gambar 4. Struktur N-Heptana

Tabel 3. Hasil Isomerisasi N-Heptana

No.	Nama Struktur	Struktur
1.	2-metilheksana	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$
2.	3-metilheksana	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$
3.	2,2-dimetilpentane	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$
4.	2,3-dimetilpentane	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \\ \quad \\ \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \end{array}$
5.	2,4-dimetilpentane	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \quad \text{CH}_3 \\ \quad \quad \\ \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_3 \end{array}$
6.	3-etilpentane	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$
7.	2,2,3-trimetilbutana	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array}$

3.6 Isomerisasi Hidrokarbon

Isomerisasi yaitu sebuah perubahan senyawa hidrokarbon atau senyawa organik lainnya yang memiliki rumus molekul dan struktur tertentu menjadi senyawa dengan rumus molekul yang sama tetapi susunan dari atomnya berbeda. Isomer adalah 2 senyawa atau lebih yang mempunyai rumus molekul yang sama (Fessenden & Fessenden, 1982).

Senyawa hidrokarbon yang dapat dengan mudah direngkah minimal memiliki 7 atom karbon (n-heptana). Hidrokarbon dengan jumlah atom karbon yang semakin banyak akan semakin mudah pula untuk direngkah. Secara termodinamika, reaksi perengkahan membutuhkan energi yang tinggi daripada reaksi isomerisasi. Pada reaksi perengkahan dengan menggunakan bantuan katalis yang memiliki situs asam yang lebih tinggi, temperatur proses relative lebih

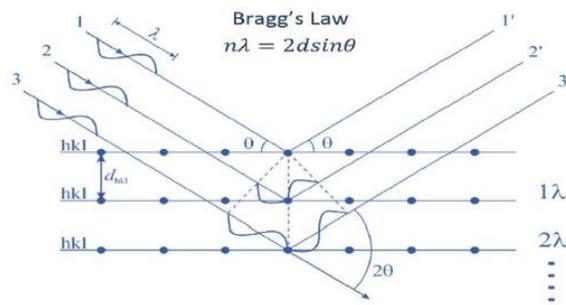
rendah sehingga diperoleh produk isomerisasi yang lebih dominan (Trisunaryanti *et al.*, 2018).

Senyawa keluarga alkana memiliki reaktivitas fotokimia yang jauh lebih rendah daripada aromatik atau olefin, tetapi hanya alkana bercabang tinggi yang memiliki angka oktan yang bagus dan memadai. Alkana yang terdapat dalam fraksi bensin minyak mentah adalah didominasi alkane linier atau bercabang tunggal, dan harus diubah menjadi isomer yang sangat bercabang melalui proses isomerisasi dan reformasi (Laura Olivia Alemán-Vázquez *et al.*, 2011).

Pada proses isomerisasi hidrokarbon semakin tinggi temperature maka gas yang dihasilkan semakin meningkat juga, hal ini disebabkan adanya katalis yang memiliki situs asam di permukaan yang membentuk ion karbonium sehingga mempercepat terjadi reaksi sekunder, dengan demikian senyawa alkana rantai panjang membentuk senyawa hidrokarbon sederhana (gas). Adanya katalis pada proses ini meningkatkan laju produk isomerisasi dan meningkatkan hasil isomer hidrokarbon lebih sederhana sehingga terbentuk hidrokarbon sederhana dalam fase gas (Reskianty Ira Dermawan, 2020).

3.7 X-Ray Diffraction (XRD)

Spektroskopi difraksi sinar-x (*X-Ray Diffraction/XRD*) yaitu salah satu metode untuk karakterisasi material. Teknik XRD digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi, dan untuk mendapatkan ukuran partikel dari nano kristal (Sharma *et al.*, 2012). Tahapan dari proses *x-ray diffraction* (XRD) adalah produksi, difraksi dan interpretasi. XRD dilengkapi komponen-komponen penting seperti tabung sinar-X, monochromator, detector untuk dapat melakukan fungsinya. Pada tahapan produksi elektron yang dihasilkan ketika katoda dipanaskan akan dipercepat akibat dari perbedaan tegangan antara katoda dan logam target (anoda) sehingga terjadi tumbukan dengan anoda. Tumbukan tersebut akan menghasilkan radiasi sinar-X yang akan keluar dari tabung sinar-X dan berinteraksi dengan struktur kristal material yang sedang diuji.

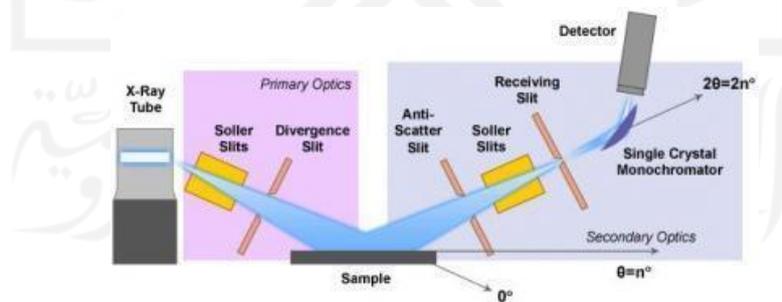


Gambar 5. Skema Kerja XRD (Wu & Wu, 2017)

XRD mempunyai sistem kerja yang didasarkan pada Hukum Bragg. Proses yang terjadi pada saat difraksi sinar X yaitu interaksi antara sinar X dan atom-atom pada setiap bidang kristal sehingga menghasilkan interferensi yang konstruktif berupa puncak-puncak intensitas (Cullity, 1978). Interferensi ini terjadi sesuai hukum Bragg berikut ini:

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

dimana n merupakan urutan difraksi (1,2,3,...), λ merupakan panjang gelombang sinar-X, d merupakan jarak antar bidang kristal dan θ merupakan sudut difraksi. Hukum Bragg menghubungkan antara panjang gelombang radiasi elektromagnetik dengan sudut difraksi dan jarak antar kisi yang terdapat di dalam sampel kristal sinar X. Komponen-komponen yang terdapat pada difraksi yaitu sudut antara kejadian dan sinar yang terdifraksi (Taftazani, 2017).



Gambar 6. Difraksi Sinar-X

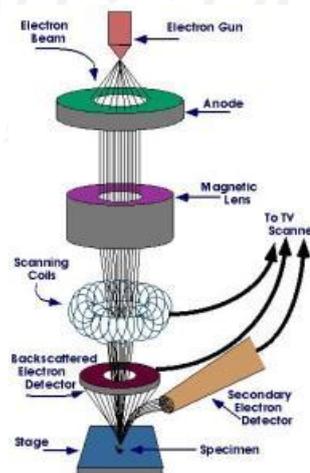
XRD dimanfaatkan untuk membedakan antara material yang bersifat kristal dengan amorf, untuk mengukur macam-macam ke-tidak-teraturan dan penyimpangan kristal, karakterisasi material kristal, serta mengidentifikasi

mineral-mineral yang berbutir halus. Sedangkan XRD pada aplikasinya yaitu untuk menentukan struktur kristal, menganalisis kuantitatif dari mineral.

3.8 Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan sebuah alat yang dapat membentuk bayangan permukaan spesimen secara mikroskopik. Berkas elektron dengan diameter 5-10 nm diarahkan pada spesimen tersebut. Interaksi yang terjadi antara berkas elektron dengan spesimen menghasilkan beberapa fenomena yaitu hamburan balik bekas elektron, sinar X, elektron sekunder dan absorpsi elektron (Sumarjo, 2018). Pengujian SEM pada prinsipnya merupakan pemeriksaan dan analisa morfologi. Data yang diperoleh yaitu data dari bentuk morfologi atau dari lapisan yang mempunyai ketebalan 20μ dari permukaan. Representasi permukaan yang dihasilkan merupakan morfologi dengan segala tonjolan, lekukan dan lubang pada permukaan (Murali *et al.*, 2017).

Prinsip kerja dari SEM adalah menembakkan permukaan benda dengan berkas elektron yang berenergi tinggi. Permukaan benda yang dikenai berkas akan memantulkan kembali berkas tersebut atau akan menghasilkan elektron sekunder ke segala arah. Ada satu arah dimana berkas dipantulkan dengan intensitas tertinggi. Detektor dari SEM akan mendeteksi elektron yang dipantulkan dan menentukan lokasi berkas yang dipantulkan dengan intensitas tertinggi. Arah tersebut memberikan informasi dari profil permukaan benda seperti landai nya benda dan kemana arah kemiringannya (Abdullah & Khairurrijal, 2009).



Gambar 7. Skema Kerja SEM

Pada penelitian ini SEM digunakan untuk mengetahui morfologi dari struktur karbon aktif, untuk mengetahui pori-pori permukaan dari karbon aktif, serta untuk mengetahui interaksi antara komposit atau logam dengan karbon aktif.

3.9 Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (GC-MS)

Kromatografi gas adalah teknik spektroskopi yang menggunakan prinsip pemisahan campuran berdasarkan perbedaan laju pergerakan konstituennya. Kromatografi gas umumnya digunakan untuk mengidentifikasi senyawa yang ada dalam campuran gas dan untuk menentukan konsentrasi senyawa dalam fase gas (A. Setiabudi et al., 2012). Dasar dari pemisahan menggunakan kromatografi gas adalah penyebaran cuplikan pada fase diam sedangkan gas nya sebagai fase gerak mengelusi fase diam.

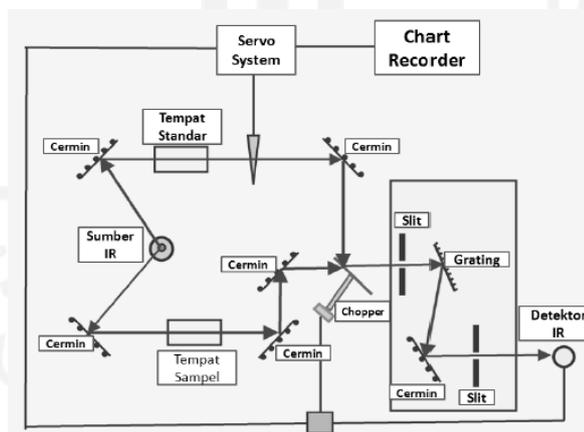
Spektrometer Massa diperlukan untuk mengidentifikasi senyawa sebagai penentu bobot molekul dan penentuan rumus molekulnya. Prinsipnya adalah pengionan senyawa-senyawa kimia untuk menghasilkan molekul yang bermuatan atau berfragmen molekul dan mengukur rasio massa/muatan. Molekul yang telah terionisasi akibat dari penembakan elektron yang berenergi tinggi tersebut akan menghasilkan ion dengan muatan positif kemudian ion tersebut diarahkan menuju medan magnet dengan kecepatan tinggi. Medan magnet tersebut akan membelokkan ion tersebut agar dapat menentukan bobot molekulnya dan bobot molekul semua fragmen yang dihasilkan (Watson, 2015).

Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) merupakan kombinasi antara kromatografi gas dan spektrometri massa. GC digunakan untuk memisahkan senyawa yang bersifat volatile serta untuk senyawa yang bersifat semi volatile dengan resolusi yang baik. MS dapat mengidentifikasi senyawa tersebut dengan informasi yang paling banyak terdapat pada suatu senyawa. Kekurangan dari GC-MS adalah hanya dapat digunakan untuk menganalisis senyawa volatile dengan tekanan tidak lebih dari 10^{-10} Torr. Posisi pemisahan dari gugus aromatik pada umumnya sangat susah untuk dianalisis, dan untuk senyawa yang berisomer tidak sulit untuk dianalisis dengan GC-MS (Nur et al., 2020).

3.10 Fourier Transform Infra Red (FTIR)

Spektroskopi FTIR (*fourier transform infrared*) adalah salah satu teknik analitik yang digunakan dalam proses identifikasi struktur molekul suatu senyawa. Komponen utama dari spektroskopi FTIR adalah interferometer Michelson yang memiliki fungsi menguraikan (mendispersi) radiasi inframerah menjadi komponen-komponen frekuensi. Penggunaan dari interferometer Michelson ini memberikan keunggulan tersendiri dari metode FTIR dibandingkan dengan metode spektroskopi inframerah konvensional maupun metode spektroskopi yang lainnya. Keunggulan dari metode FTIR adalah digunakan untuk mengidentifikasi sampel dalam berbagai fase yaitu gas, padat, atau cair (Sankari *et al.*, 2010).

Prinsip kerja FTIR yaitu interaksi antara energi antara materi. Inframerah yang melewati celah ke sampel, dimana celah tersebut yang berfungsi untuk mengontrol jumlah energy yang disampaikan kepada sampel. Kemudian beberapa inframerah diserap oleh sampel dan yang lainnya ditransmisikan melalui permukaan sampel sehingga sinar inframerah dapat lolos ke detector dan sinyal yang terukur tersebut kemudian dikirim ke komputer dan direkam dalam bentuk puncak-puncaknya (Ganzoury *et al.*, 2015).

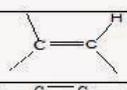
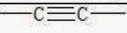


Gambar 8. Komponen dari FTIR

Daerah inframerah pada spektrum gelombang elektromagnetik dimulai dari panjang gelombang 14000 cm^{-1} hingga 10 cm^{-1} . Berdasarkan panjang gelombang tersebut daerah inframerah dibagi menjadi tiga daerah yaitu diantaranya IR dekat ($14000\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$) yang peka terhadap vibrasi *overtone*, IR sedang ($4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$)

¹⁾ yang berkaitan dengan transisi energi vibrasi dari molekul yang memberikan informasi tentang gugus-gugus fungsi dalam molekul tersebut, lalu IR jauh ($400-10\text{ cm}^{-1}$) untuk menganalisis molekul yang mengandung atom-atom berat seperti senyawa anorganik tetapi membutuhkan teknik khusus. Biasanya untuk analisis senyawa dilakukan pada daerah IR sedang (Tanaka *et al.*, 2008).

Tabel 4. Spektrum Inframerah

Ikatan	Tipe Senyawa	Daerah frekuensi (cm^{-1})	Intensitas
C - H	Alkana	2850 - 2970 1340 - 1470	Kuat Kuat
C - H	Alkena 	3010 - 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 Karborsilat, Ester	1050 - 1300	Kuat
C=O	Aldehid, Keton, Asam Karboksilat, Ester	1690 - 1760	Kuat
NO ₂	Senyawa Nitro	1500 - 1570 1300 - 1370	Kuat Kuat

Sumber : *Principle of Instrumental Analysis*, Skoog, Holler, Nieman, 1998.

Pada tabel diatas merupakan tabel spektrum inframerah. Kita dapat mengetahui senyawa yang terkandung di dalam sampel kita melalui tabel diatas. Pada penelitian ini FTIR digunakan untuk menentukan gugus fungsi dari karbon aktif, logam, komposit, dan mengetahui interaksi komposit atau logam dengan karbon aktif.

3.11 Gas Sorption Analyzer (GSA)

Gas Sorption Analyzer (GSA) adalah alat yang berfungsi untuk melakukan pengukuran fisik terhadap material, meliputi luas permukaan, volume pori, jari-

jari pori, distribusi pori, dan lain lain. Pengukuran tersebut bertujuan untuk karakterisasi suatu bahan material. Syarat material yang dapat dikarakterisasi menggunakan GSA yaitu berupa padatan berpori, beberapa contohnya adalah material karbon, pengemban katalis, material organik, zeolit, alumina, lumpur, silica, keramik, semen, serbuk logam, dll (Sudarlin, 2012).

Prinsip kerja dari alat GSA adalah menggunakan mekanisme adsorpsi gas, umumnya gas yang digunakan nitrogen, argon dan helium pada permukaan suatu bahan padat yang akan dikarakterisasi pada suhu konstan yang biasanya suhu didih dari gas tersebut. Pada dasarnya alat ini hanya mengukur jumlah gas yang diserap oleh permukaan padatan pada tekanan dan suhu tertentu, yang diketahui beberapa volume gas spesifik yang dapat diserap oleh suatu permukaan padatan pada suhu dan tekanan tertentu maka akan diketahui secara teoritis pula luas permukaan dari suatu molekul gas yang diserap tersebut, sehingga luas permukaan total dari padatan tersebut dapat dihitung (Rosyid *et al.*, 2012).

Karbon aktif dikarakterisasi dengan alat GSA untuk mengetahui porositas, luas permukaan dari karbon aktif, konstanta BET yang dihasilkan dan jari-jari rerata pori. Menurut (Suyati, 2005) semakin besar luas permukaan dan volume total dari pori, maka jari-jari rata pori akan semakin kecil jadi sangat baik dijadikan sebagai adsorben untuk menyerap gas.

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Alat dan Bahan

4.1.1 Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah diantaranya neraca analitik Sartorius, cawan porselin, gelas beker 100 mL iwaki, kaca arloji, sendok sunggu, pengaduk kaca, gelas beker 250 mL iwaki, gelas beker 1000 mL iwaki, pipet tetes, pipet volume 25 mL, oven Memmert, *plastic wrap*, *aluminium foil*, kompor listrik Maspion, penangas air, *magnetic stirrer* dan *stirrer*, *autoclave*, vial, pH meter, *shaker* SCIOLOGEX, *sieve shaker*, seperangkat saringan mesh 16 dan 25, grinder Formac ZT-300 Herb, FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) (PerkinElmer SpectrumVersion 10.5.1), SEM-EDX (*Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray Analyzer*) (Phenom Pro-X), XRD (*X-Ray Diffraction*) Bruker D2 Phaser, GSA (*Gas Sorption Analyzer*) Quantachrome, GC-MS (*Gas Chromatography – Mass Spectroscopy*) ShimadzuQP2010 SE.

4.1.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah diantaranya tempurung kelapa sawit dari PT.Tunas Borneo, kertas saring, kertas pH. Bahan kimia yang digunakan yaitu asam fosfat (H_3PO_4) 65%, natrium hidroksida (NaOH) 50%, asam nitrat (HNO_3) 1M, logam Cu, $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, n-heptana (C_7H_{16}), gas nitrogen (N_2), buffer pH 4;7;10, akuades dan akuabides.

4.2 Prosedur Penelitian

4.2.1 Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit

Pada penelitian ini menggunakan referensi dari penelitian yang sudah dilakukan oleh (Higai *et al.*, 2021). Ada dua tahapan dalam pembuatan karbon aktif dari tempurung kelapa sawit yaitu proses pirolisis tempurung kelapa sawit dan proses impregnasi karbon aktif.

a. Pirolisis Tempurung Kelapa Sawit

Disiapkan tempurung kelapa sawit dengan kualitas yang baik, lalu dibersihkan tempurung kelapa sawit dari kotoran dan serabut lainnya dan dikeringkan di bawah sinar matahari. Tempurung kelapa sawit yang sudah bersih dan kering selanjutnya dihaluskan dengan menggunakan alat grinder, dan selanjutnya diayak atau disaring menggunakan alat ayakan dengan ukuran 16 mesh untuk mendapatkan ukuran partikel sebesar 0,1-0,5. Selanjutnya tempurung kelapa sawit dengan ukuran 16 mesh dicuci untuk menghilangkan kotoran dan serabut lainnya dan dikeringkan kembali, lalu ditimbang.

b. Proses Aktivasi Karbon Aktif

Disiapkan 400 gram tempurung kelapa sawit yang berukuran 16 mesh, lalu direndam dengan 400 mL H_3PO_4 65% selama 24 jam pada suhu antara 80-85°C. Kemudian dibilas dengan aquades sebanyak 5 kali pembilasan menggunakan aquades, lalu dioven pada suhu 110°C selama satu hari. Selanjutnya hasil sebanyak 200 gram dipirolisis dengan alat reaktor pada suhu 800°C selama 3 jam menggunakan gas N_2 (nitrogen) dan laju alir yang digunakan 3,5 cc/min. Hasilnya berupa karbon aktif, direndam dengan HNO_3 1M 100 mL pada suhu 60-65°C selama 24 jam. Kemudian disaring dan dicuci dengan aquades lalu dioven pada suhu 110°C. Hasil yang sudah dioven kemudian dipirolisis kembali pada suhu 150°C selama 3 jam dengan laju alir 3,5 cc/min.

4.2.2 Preparasi Logam CuO-Cu₂O

CuO-Cu₂O disintesis melalui prosedur yang sudah dilakukan oleh (Thamaraiselvi & Thenmozhi, 2022) dan memakai prekursor Cu(CH₃COO)₂.H₂O yang sama pada penelitian (NAKTIYOK & ÖZER, 2019). Cu(CH₃COO)₂.H₂O (30 gram, 0,15 mol) dilarutkan dalam 50 mL akuabides, lalu diaduk dengan *stirrer* pada suhu 55-60°C hingga larutan tersebut homogen. Selanjutnya ditambahkan dengan larutan NaOH 50% tetes demi tetes hingga pH mencapai 10-11. Hasil tersebut disaring dan dipisahkan endapan yang dihasilkan dari larutan. Kemudian dicuci beberapa kali dengan akuades dan direndam dengan etanol selama 3 jam. Setelah direndam kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 110°C. Hasilnya berupa logam CuO-Cu₂O.

4.2.3 Pembuatan Komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon Aktif

Pada pembuatan komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon Aktif mengikuti prosedur yang sudah dilakukan oleh (SIRISOMBOONCHAI *et al.*, 2017) dengan metode hidrotermal. Komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon aktif dengan perbandingan logam Cu : logam CuO-Cu₂O : karbon aktif sebesar (1:1:2) ditambahkan dengan akuades : etanol (2:1) dan diaduk dengan *stirrer* selama 1 jam. Kemudian dilakukan proses *hydrothermal* dengan waktu selama 2 jam dan suhu yang digunakan 300°C. Hasilnya berupa komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon aktif.

4.2.4 Proses Isomerisasi N-Heptana

Pada proses isomerisasi n-heptana mengikuti referensi penelitian yang sudah dilakukan oleh (Hua & Sommer, 2002) dengan beberapa modifikasi seperti gas yang digunakan. Proses isomerisasi n-heptana dilakukan dengan menggunakan 4 gram komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon Aktif sebagai katalis dan 50 mL n-heptana yang kemudian dimasukkan ke dalam rangkaian alat reaktor isomerisasi dan dipanaskan pada suhu 100-200°C dengan dialiri udara berupa gas nitrogen pada laju alir gas 3,5 cc/min. Kemudian hasil yang teruapkan ditampung di dalam botol kaca.

4.2.5 Karakterisasi Karbon Aktif dan Komposit Cu/CuO/Karbon Aktif dengan FTIR, SEM-EDX, XRD dan GSA

Karakterisasi dengan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) untuk menentukan gugus fungsi pada karbon aktif dan komposit Cu/CuO/KA pada bilangan gelombang 400-4000 cm^{-1} di Laboratorium Terpadu FMIPA UII. Selanjutnya untuk analisis morfologi digunakan *instrument Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) yang dilakukan di Laboratorium Terpadu FMIPA UII. Karakterisasi dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk analisis struktur dan ukuran dari karbon aktif yang dilakukan di Laboratorium Terpadu FMIPA UII. Untuk analisis luas permukaan, volume pori, jari-jari pori, dan distribusi pori digunakan *Gas Sorption Analyzer* (GSA) dan dilakukan di Laboratorium Terpadu FMIPA UII.

4.2.6 Analisis dengan GC-MS

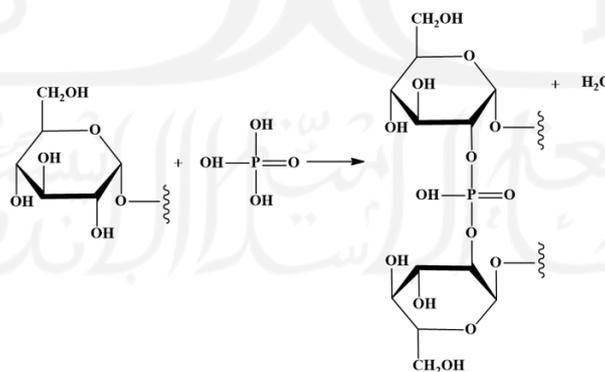
Hasil dari isomerisasi n-heptana dianalisis menggunakan Gas Chromatography – Mass Spectroscopy (GC-MS) untuk mengetahui efektivitas katalis memecah senyawa n-heptana menjadi senyawa lain dan dilakukan di Laboratorium Terpadu FMIPA UII.

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit

Pada tahap awal pembuatan karbon aktif dari tempurung kelapa sawit dilakukan preparasi dari bahan baku yaitu Tempurung Kelapa Sawit (TKS), dicuci bersih dengan air mengalir lalu dikeringkan di bawah sinar matahari untuk menghilangkan kandungan air yang terdapat dalam TKS. Tempurung kelapa sawit yang sudah kering lalu digiling menggunakan grinder dan diayak menggunakan sieve shaker dengan beberapa saringan berukuran 16 mesh. Selanjutnya adalah proses aktivasi dengan merendam TKS berukuran 16 mesh menggunakan aktivator berupa larutan H_3PO_4 65% selama 24 jam sambil dipanaskan dengan suhu $80-85^\circ C$. Proses aktivasi ini bertujuan untuk mengurangi sekaligus menghilangkan kadar lignin yang terkandung di dalam TKS dan membuka pori sehingga akan mengakibatkan daya serap yang semakin baik dan luas permukaan yang bertambah besar. Pemilihan aktivator menggunakan asam kuat berupa H_3PO_4 karena dapat mempengaruhi luas permukaan, dapat diketahui bahwa H_3PO_4 merupakan asam kuat yang mampu menghilangkan senyawa hidrokarbon atau zat pengotor lainnya sehingga akan menyebabkan terjadinya pembentukan pori pada permukaan karbon (Diharyo *et al.*, 2020).



Gambar 9. Reaksi Aktivasi menggunakan H_3PO_4

Menurut (Lillo-Ródenas *et al.*, 2003) aktivasi adalah sebuah metode yang dilakukan untuk memperoleh luas permukaan adsorben yang lebih luas. Beberapa studi tentang karbon aktif banyak menyajikan beberapa keuntungan dari aktivasi kimia

dibandingkan aktivasi fisika, yaitu pada aktivasi kimia akan memungkinkan diperoleh luas permukaan karbon aktif yang sangat besar. Setelah direndam selama 24 jam lalu dibilas menggunakan akuades sebanyak 5 kali pembilasan, lalu dioven pada suhu 110°C selama satu hari untuk mengurangi kadar air yang masih terkandung di dalam tempurung kelapa sawit.

Tahap selanjutnya yaitu dilakukan pirolisis. Tempurung Kelapa Sawit (TKS) yang sudah diaktivasi sebanyak 200 gram dipirolisis dengan alat reaktor selama 3 jam pada suhu 800°C menggunakan gas nitrogen (N_2) hingga terbentuk arang atau karbon aktif. Tujuan penggunaan nitrogen adalah untuk membantu membuka pori-pori karbon dan mempertahankan agar karbon tidak hangus. Proses ini disebut juga proses karbonisasi, yang bertujuan untuk menghilangkan beberapa zat yang mudah menguap, dan menguraikan senyawa organik yang menyusun struktur bahan membentuk air, uap asam asetat, tar-tar, dan hidrokarbon. Selanjutnya hasil berupa karbon aktif tersebut direndam dengan HNO_3 1M 100 mL pada suhu 60-65°C selama 24 jam yang bertujuan untuk menambah gugus fungsi dan menghilangkan senyawa-senyawa organik dan sisa pengotor yang masih terdapat pada pori-pori karbon aktif. Kemudian disaring dan dicuci kembali menggunakan akuades lalu dioven dengan suhu 110°C untuk menghilangkan kadar air pada karbon aktif. Kemudian dilakukan pirolisis kembali pada suhu 150°C selama 3 jam agar mengoptimalkan hilangnya kadar air pada hasil karbon aktif.

5.2 Proses Pembuatan Komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon Aktif

Tahapan proses pembuatan komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon Aktif yang pertama dilakukan adalah preparasi logam CuO-Cu₂O dengan melarutkan Cu(CH₃COO)₂.H₂O sebanyak 0.15 mol atau 30 gram dalam 50mL akuabides kemudian diaduk pada suhu 55-60°C hingga larutan homogen. Cu(CH₃COO)₂.H₂O digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan logam CuO-Cu₂O karena menurut (Hussein *et al.*, 1996) menunjukkan bahwa Cu(CH₃COO)₂.H₂O ketika didehidrasi akan terurai dan menghasilkan CuO disamping dari sebagian kecil Cu₂O. Langkah selanjutnya larutan ditambahkan NaOH 50% tetes demi tetes sehingga mencapai pH 10-11 agar menjadi suasana basa dan untuk membentuk oksida pada logam, hasilnya disaring dan dipisahkan endapan yang dihasilkan dari larutan. Kemudian dicuci beberapa kali dengan akuades dan direndam dengan etanol selama 3 jam, lalu dikeringkan dengan oven pada suhu 110°C yang berfungsi untuk menghilangkan kadar air dan memperoleh logam oksida dalam bentuk bubuk. Tujuan direndam dengan etanol adalah agar mengikat logam. Hasilnya berupa logam CuO-Cu₂O. Reaksi terbentuknya logam CuO-Cu₂O ditunjukkan pada persamaan sebagai berikut:



Konsentrasi OH⁻ rendah: $2\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow 2\text{Cu}(\text{OH})_2 + 2\text{CH}_3\text{COONa}$

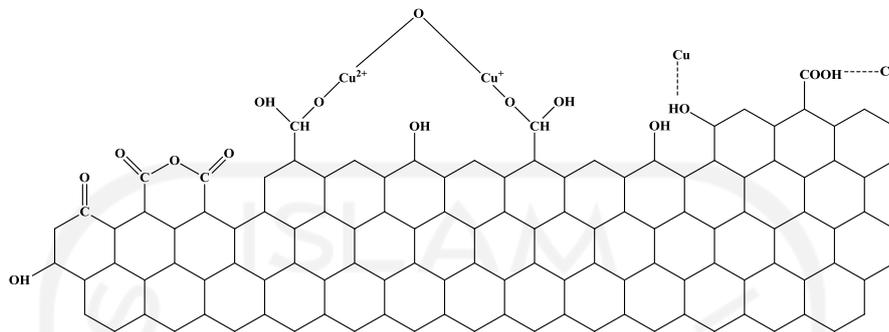


Konsentrasi OH⁻ tinggi: $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2 + \text{CH}_3\text{COONa}$



Tahapan selanjutnya adalah tahapan pembuatan komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon Aktif dengan metode hidrotermal yaitu dengan mencampurkan logam Cu : logam CuO-Cu₂O : karbon aktif dengan perbandingan (1:1:2) lalu ditambahkan dengan akuabides : etanol (2:1) dan diaduk dengan *stirrer* selama 1 jam untuk mengikat logam Cu dan logam CuO-Cu₂O pada karbon aktif sehingga dapat terkomposit dengan baik. Dilakukan penambahan logam Cu pada tahap ini adalah agar memberikan luas permukaan yang besar, konduktivitas elektron yang tinggi serta logam Cu sebagai stabilisator untuk mencegah logam CuO-Cu₂O dari aglomerasi.

Karbon aktif di penelitian ini berperan sebagai material penyangga katalis Cu/CuO-Cu₂O. Berikut adalah skema ilustrasi karbon aktif mengikat logam Cu/CuO-Cu₂O



Gambar 10. Skema ilustrasi karbon aktif mengikat logam Cu/CuO-Cu₂O

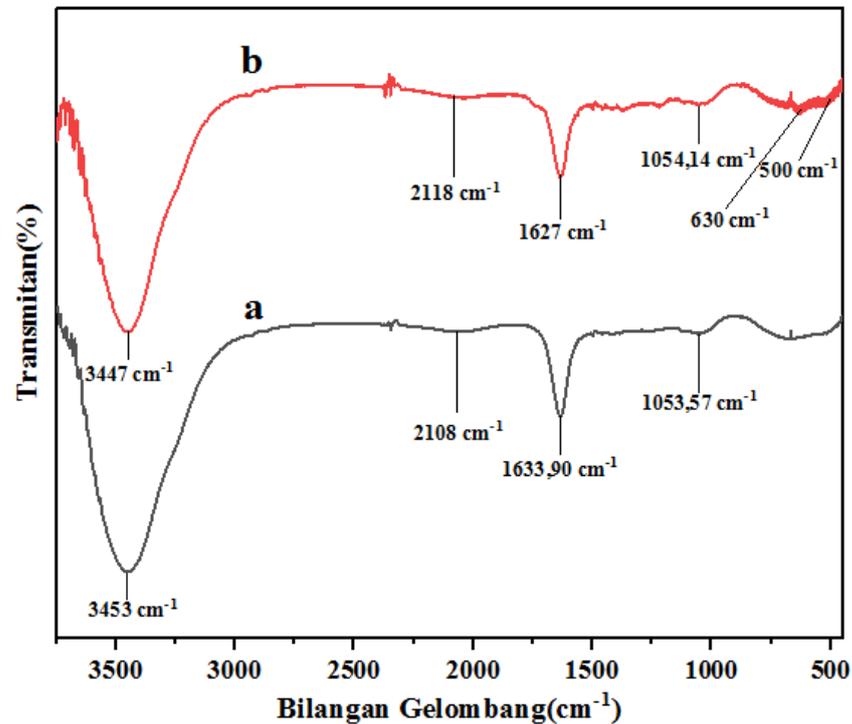
Proses selanjutnya adalah sampel komposit dimasukkan ke dalam reaktor hidrotermal lalu di *furnace* selama 2 jam dengan suhu 300°C. Dilakukan *furnace* hidrotermal ini untuk menghilangkan air yang masih tersisa dan pengotor yang tersisa, lalu untuk meningkatkan luas permukaan pori pada komposit, serta untuk merombak ikatan-ikatan pada karbon aktif dan membantu memecah ikatan karbon sehingga nantinya dapat disisipi oleh logam Cu dan logam CuO-Cu₂O. Metode hidrotermal dilakukan dalam sistem tertutup sehingga bebas polusi. Diamati perubahan yang terjadi setelah proses hidrotermal diperoleh hasil berwarna hitam pekat berbentuk granular. Komposit yang didapat selanjutnya dikarakterisasi menggunakan instrument *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX), dan *Gas Sorption Analyzer* (GSA).

5.3 Karakterisasi Karbon Aktif dan Komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon Aktif

5.3.1 Karakterisasi *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Karakterisasi menggunakan FTIR bersifat kualitatif, untuk mengetahui gugus fungsi sehingga dapat membandingkan gugus fungsi yang terdapat di dalam karbon aktif dan komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA. Karbon Aktif memiliki gugus fungsi berupa O-H alkohol, C-H alifatik, C=O eter, C=C alifatik, C=C aromatis, C-O alkohol, dan C-H aromatis. Lalu berdasarkan hasil analisis, diperoleh spektrum gugus fungsi yang

terkandung di dalam karbon aktif dan komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA yang ditunjukkan pada gambar 11.



Gambar 11. Spektra FTIR (a) Karbon Aktif, (b) Komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA

Tabel 5. Serapan IR pada Material

Ikatan	Serapan Frekuensi (cm ⁻¹)	
	Karbon Aktif	Komposit Cu/CuO/KA
O-H	3453	3447
Alkuna	2108	2118
C=O	1633,90	1627
C-O	1053,57	1054,14
Cu(I)-O	-	630
Cu(II)-O	-	500

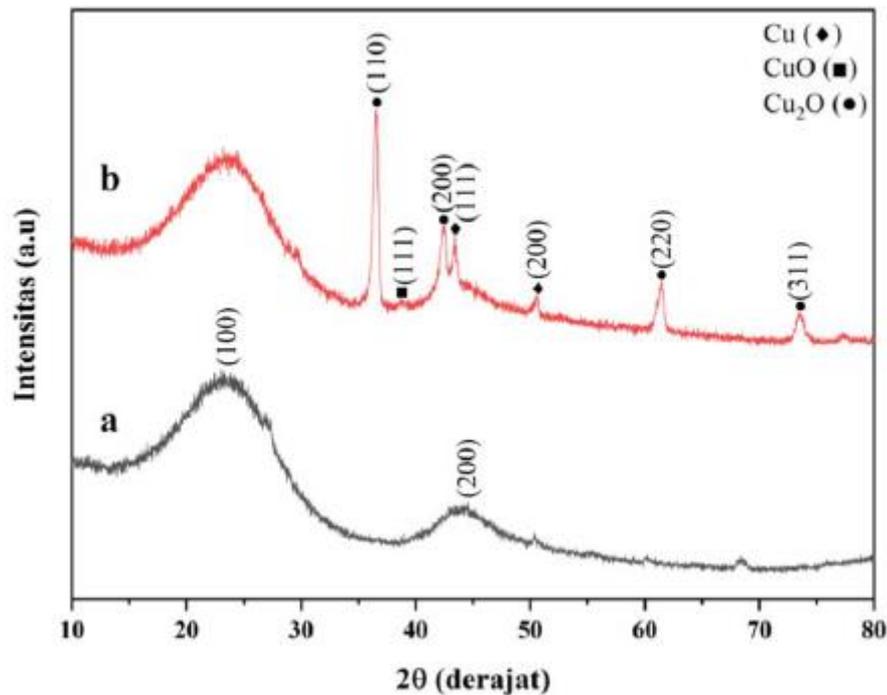
Berdasarkan hasil analisis dengan FTIR karbon aktif dari tempurung kelapa sawit pada Gambar 11 (a) terjadi vibrasi pada pita serapan bilangan gelombang 3436,65 cm⁻¹ merupakan gugus fungsi dari O-H, bilangan gelombang 2108 cm⁻¹ merupakan gugus fungsi dari alkuna, bilangan gelombang 1633,90 cm⁻¹ merupakan

gugus fungsi dari C=O, lalu pada bilangan gelombang 1053,57 cm^{-1} merupakan gugus fungsi dari C-O.

Selanjutnya untuk komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA pada gambar 11 (b) terjadi vibrasi pada pita serapan bilangan gelombang 3431 cm^{-1} yang merupakan gugus fungsi dari O-H alkohol, bilangan gelombang 2118 cm^{-1} merupakan gugus fungsi dari alkuna, bilangan gelombang 1627 cm^{-1} merupakan gugus fungsi dari C=O, lalu pada bilangan gelombang 630 cm^{-1} merupakan gugus fungsi dari Cu(I)-O dan 500 cm^{-1} menunjukkan adanya serapan dari logam Cu(II)-O yang merupakan serapan logam oksida. Daerah serapan finger print pada 500-700 cm^{-1} merupakan daerah serapan logam CuO/Cu₂O menurut (Margaret *et al.*, 2021). Dapat diprediksi bahwa logam yang diembankan membentuk ikatan dengan oksigen pada C=O dari gugus fungsi -COOH pada permukaan karbon aktif. Sintesis komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA telah berhasil dilakukan

5.3.2 Karakterisasi X-Ray Diffraction (XRD)

Karbon aktif dan komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA dikarakterisasi dengan XRD untuk mengetahui jenis struktur dan kristalinitas dalam karbon aktif dan komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA, lalu untuk mengetahui jenis material yang terkandung di dalamnya. Jenis-jenis material yang terkandung di dalam sebuah material dapat ditentukan dengan cara membandingkan nilai 2θ yang muncul dalam difraktogram dengan data JCPDS (*Joint Crystal Powder Diffraction Standards*). Puncak-puncak yang muncul pada karbon aktif dan komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA yang telah dikarakterisasi dibandingkan dengan puncak difraktogram. Selanjutnya ditampilkan difraktogram karbon aktif dan komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA yang diperoleh seperti pada Gambar 12.



Gambar 12 Difraktogram (a) Karbon Aktif, (b) Komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA

Dari Gambar 12 terlihat perbedaan antara difraktogram karbon aktif dan komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA, pada difraktogram komposit memberikan puncak-puncak difraksi yang tajam. Dari Gambar 12 (a) dapat diketahui bahwa karbon aktif yaitu berfase amorf, karena berdasarkan hkl [100] dan [200] pada 2θ yaitu $23,010^\circ$ dan $44,505^\circ$. Amorf merupakan suatu padatan yang partikel penyusunnya tidak memiliki keteraturan yang sempurna (Yolanda et al, 2014). Pada karbon aktif memiliki sudut 2θ yang menjadi struktur karakteristik dari karbon aktif, yaitu $2\theta = 23,010^\circ$ [100] ; $27,346^\circ$ [100] ; $44,505^\circ$ [200] ; $50,405^\circ$ [200] ; dan $68,403^\circ$ [220]. Dari sudut 2θ dan hasil bidang difraksi $h^2+k^2+l^2$ adalah 1,1,4,4,8 menunjukkan karbon aktif memiliki struktur *Simple Cubic* (SC). Selanjutnya kita dapat mengetahui ukuran kristal yang ditentukan dengan data *Full Width Half Maximum* (FWHM) hasil analisis

XRD dengan persamaan *Debye Scherer* yaitu $D = \frac{k \lambda}{B \cos \theta}$ dengan D = ukuran kristal,

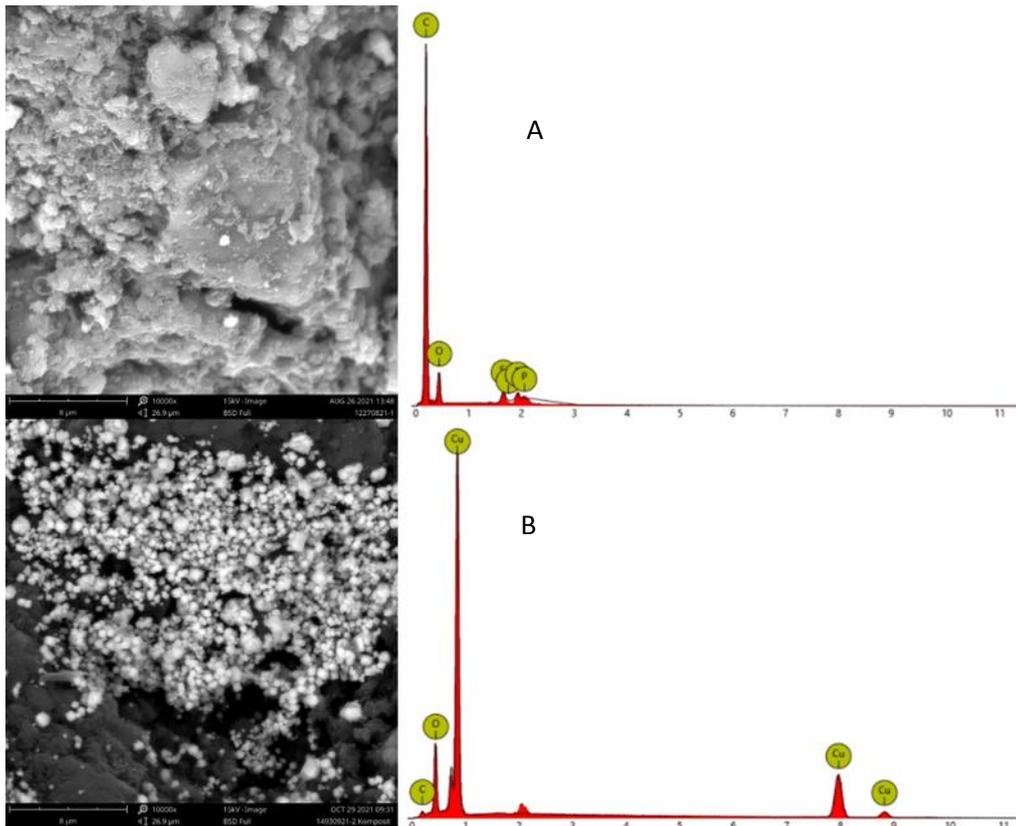
B = nilai FWHM, k = konstanta “*shape factor*” (0,8-1), λ = panjang gelombang cahaya sinar X, $\cos \theta$ = sudut Bragg. Diperoleh ukuran kristal (d) rata-rata karbon aktif sebesar 33,386 nm yang menunjukkan bahwa material tersebut berukuran nanopartikel karena ukuran kristal dibawah 100 nm.

Sedangkan dari Gambar 12 (b) dapat diketahui bahwa komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA yaitu berfase kristal. Pada komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA memiliki sudut 2θ yang menjadi struktur karakteristik dari komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA karena 2θ yang lebih tinggi dengan puncak tajam, yaitu $2\theta = 36,547^\circ$ [110] ; $38,731^\circ$ [111] ; $42,447^\circ$ [200] ; $43,449^\circ$ [111] ; $50,541^\circ$ [200]; $61,345^\circ$ [220] dan $73,545^\circ$ [311]. Dari sudut 2θ dan hasil bidang difraksi $h^2+k^2+l^2$ yaitu 2,3,4,3,4,8,11 menunjukkan komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA memiliki struktur bangun *Simple Cubic* (SC). Selanjutnya kita dapat mengetahui ukuran kristal komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA yang ditentukan dengan data *Full Width Half Maximum* (FWHM) dengan persamaan *Debye Scherer*, dan diperoleh ukuran kristal (d) rata-rata komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA sebesar 18,152 nm yang menunjukkan bahwa material tersebut berukuran nanopartikel karena memiliki ukuran kristal dibawah 100 nm.

Hasil difraktogram XRD dari komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA dilakukan peninjauan terhadap logam Cu, CuO dan Cu₂O. Berdasarkan puncak $2\theta = 43,449^\circ$ dan $50,541^\circ$ dengan hkl [111] dan [200] menunjukkan puncak tersebut milik logam Cu dan sesuai dengan JCPDS No. 04-0836. Puncak 2θ pada $38,731^\circ$ dengan hkl [111] menunjukkan puncak tersebut milik logam CuO dan sesuai dengan JCPDS No. 45-0937. Lalu puncak 2θ pada $36,547^\circ$; $42,447^\circ$; $61,345^\circ$; $73,545^\circ$ dengan hkl [110], [200], [220] dan [311] menunjukkan puncak tersebut milik Cu₂O dan sesuai dengan JCPDS No. 05-0667. Hal ini menunjukkan bahwa terbentuk kristal antara logam dan material penyangga.

5.3.3 Karakterisasi Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)

Karbon aktif dan komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA dikarakterisasi dengan SEM-EDX yang mempunyai tujuan untuk melihat struktur morfologi dari karbon aktif dan komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA yang dihasilkan. Struktur morfologi komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA dibandingkan dengan struktur morfologi karbon aktif sebelum dimodifikasi logam Cu dan logam CuO-Cu₂O. Pencitraan SEM ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Citra SEM-EDX (a) Karbon Aktif, (b) Komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA

Tabel 6. Komposisi Unsur dari EDX

Unsur	Konsentrasi (%)	
	Karbon Aktif	Cu-CuO-Cu ₂ O/KA
Karbon (C)	84,36	9,72
Oksigen (O)	14,89	31,13
Silikon (Si)	0,45	-
Fosfor (P)	0,31	-
Tembaga (Cu)	-	59,15

Gambar 13 (a) adalah citra SEM-EDX dari karbon aktif yang menunjukkan bahwa permukaan berpori pada karbon aktif kurang merata dan tidak terlihat rapi. Struktur dan pori pada karbon aktif terbentuk ketika proses aktivasi. Menurut (Sudrajat dan Soleh, dalam (Karakteristik Briket Arang Dari Campuran Serbuk Gergajian Kayu Afrika, 2006) pori karbon aktif tanpa aktivasi sebagian besar porinya masih tertutup oleh hidrogen, tar, dan senyawa organik lain yang komponennya terdiri dari abu, air, nitrogen, dan sulfur. H₃PO₄ sebagai aktivator asam kuat yang dapat

mengangkat senyawa hidrokarbon atau zat-zat pengotor sehingga menyebabkan terbukanya pori pada permukaan karbon.

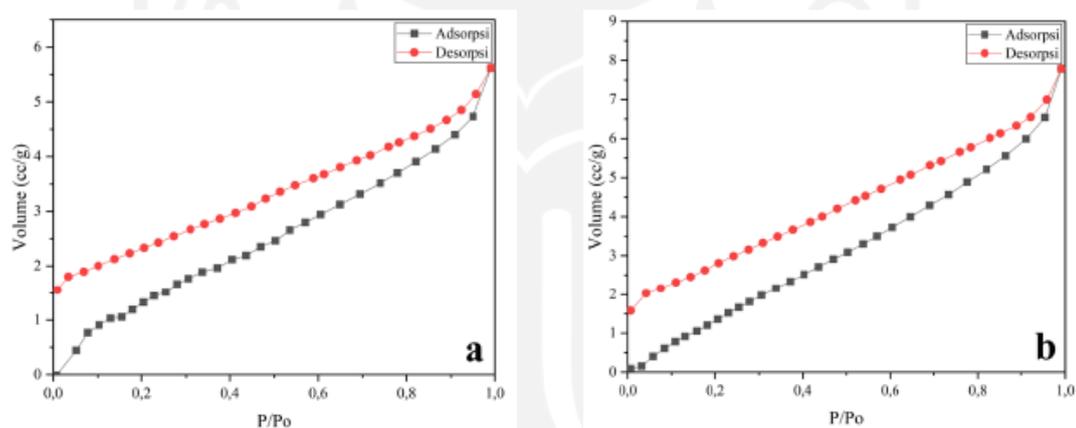
Sedangkan pada Gambar 13 (b) adalah citra SEM-EDX dari komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA yang menunjukkan morfologi yang berbeda dengan karbon aktif. Morfologi yang dihasilkan dari komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA terlihat lebih merata dan cukup rapi dibandingkan dengan morfologi dari karbon aktif pada Gambar 13 (a). Pada hasil tersebut juga terlihat ada material-material berwarna putih, merupakan logam Cu dan CuO-Cu₂O yang telah terembankan, terlihat terikat di permukaan pori pada komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA.

Selanjutnya analisis EDX pada karbon aktif dan komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA yang bertujuan untuk mengetahui komposisi unsur yang terdapat pada permukaan karbon aktif dan komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA. Tujuan pengujian dengan EDX adalah untuk menganalisa secara kuantitatif dari persentase masing-masing unsur pada karbon aktif dan komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA. Pada Gambar 13 (a) menampilkan informasi komponen unsur-unsur yang terdapat pada karbon aktif yang terdiri dari unsur C (karbon) sebesar 84,36%, unsur O (oksigen) sebesar 14,89%, unsur Si (silikon) sebesar 0,45%, dan unsur P (fosfor) sebesar 0,31%. Hasil tersebut sudah sesuai dengan pernyataan (Adinata *et al.*, 2013) yang menyatakan bahwa komponen utamanya adalah karbon menunjukkan bahwa karbon aktif telah terbentuk. Beberapa unsur lain yaitu unsur P merupakan sisa yang berasal dari proses aktivasi karbon aktif, dimana H₃PO₄ sebagai aktivator karbon aktif, sedangkan unsur yang lain merupakan unsur-unsur pengotor yang dimungkinkan berasal dari mineral aditif pada proses karbon aktif. Selanjutnya pada Gambar 13 (b) menampilkan informasi komponen unsur-unsur yang terdapat dalam komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA yang terdiri dari unsur C (karbon) sebesar 9,72%, unsur O (oksigen) sebesar 31,13%, unsur Cu (tembaga) sebesar 59,15%. Terdapat perbedaan yang terlihat pada unsur yang terdapat dalam karbon aktif dan komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA yaitu dari unsur karbon (C) massanya berkurang karena pada permukaan karbon aktif semakin banyak mengikat logam Cu yang telah diembankan pada karbon aktif. Selanjutnya pada unsur oksigen (O) massanya bertambah dikarenakan oksigen yang berasal dari gugus aktif pada karbon aktif dan oksida logamnya. Lalu terdapat unsur Cu yang terkandung dalam komposit

Cu/CuO-Cu₂O/KA artinya logam Cu sudah berhasil tersembankan dengan baik pada karbon aktif.

5.3.4 Karakterisasi *Gas Sorption Analyzer* (GSA)

Karbon aktif dan komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA dikarakterisasi menggunakan instrumen GSA dengan tujuan untuk mengetahui luas permukaan dari karbon aktif dan komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA sehingga dapat diketahui kemampuan adsorpsinya. Luas permukaan tersebut dapat ditentukan oleh metode *Brunauer Emmet Teller* (BET) dan untuk dapat mengetahui ukuran dan volume pori dapat ditentukan oleh metode *Barret Joyner Hallenda* (BJH). Berikut adalah Gambar 14 grafik isoterm dari karbon aktif dan komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA.



Gambar 14. Grafik Isoterm Adsorpsi-Desorpsi (a) Karbon Aktif, (b) Komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA

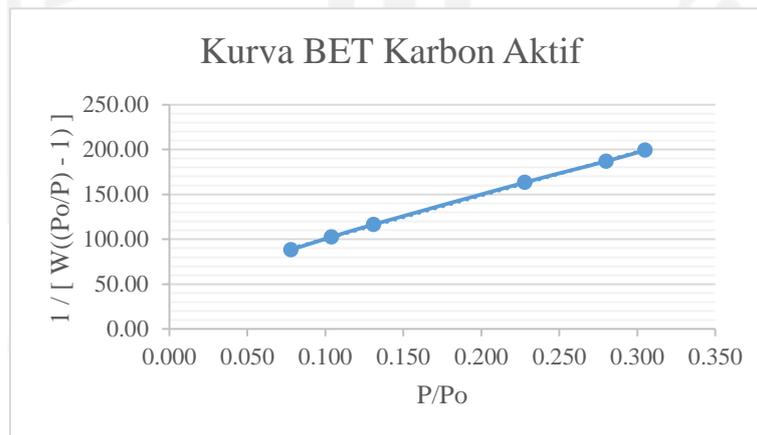
Pada Gambar 14 berdasarkan klasifikasi IUPAC karbon aktif dari tempurung kelapa sawit dan komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA mempunyai kombinasi kurva *isotherm* tipe I dan tipe IV yang adalah karakteristik dari material berpori mikro dengan kontribusi mesopori. Hasil yang ditunjukkan lebih dominan pada tipe mikropori yang menyebutkan bahwa karbon aktif dan komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA mempunyai tipe pori mikropori. Pada kurva *isotherm* sebagian besar nitrogen terjadi pada bagian curam awal sampai tekanan relatif 0,1. Jenis adsorpsi ini disebut isotherm tipe I yang merupakan tipe material mikropori (Salgado *et al.*, 2018). Kenaikan yang cepat dalam

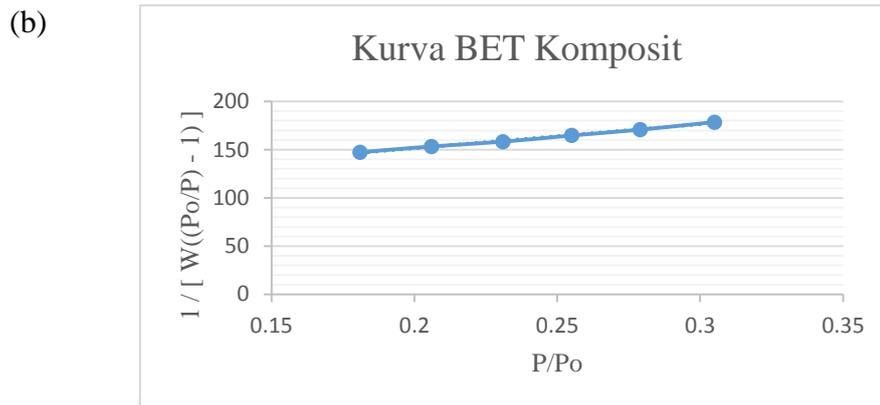
isotherm diamati pada tekanan relatif rendah yang menunjukkan produksi yang lebih banyak dari mikropori, diikuti oleh dataran tinggi horizontal pada tekanan relatif sedang (Maru, 2019).

Penyebab terbentuknya karbon aktif dan komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA dengan tipe pori mikropori pada penelitian (Ulfa, 2017) menjelaskan pembentukan pori dengan bentuk mikropori diperkirakan terjadi karena banyaknya prekursor karbon yang terhalang masuk ke dalam pori dan meluber di pori eksternal SBA-15. Mikropori tersebut terdeteksi dalam plot metode D-R yang linieritasnya semakin meningkat dengan makin banyaknya pembentukan mikropori. Selanjutnya pembentukan mikropori juga dapat disebabkan oleh beberapa faktor yaitu konsentrasi dari aktivator yang digunakan yaitu pada penelitian ini H₃PO₄ 65%. Konsentrasi asam yang lebih tinggi meningkatkan perkembangan porositas dan kerusakan struktur pori dapat terjadi jika impregnasi dilakukan pada konsentrasi yang lebih tinggi (Diao *et al.*, 2002).

Selanjutnya kurva BET dari karbon aktif dan komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA ditunjukkan pada Gambar 15.

(a)





Gambar 15. Kurva BET (a) Karbon Aktif, (b) Komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA

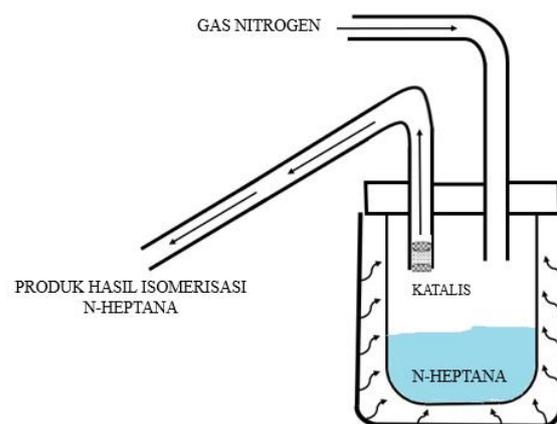
Pada Gambar 15 (a) menampilkan kurva BET dari karbon aktif, dan diperoleh nilai slope sebesar 484,3 dan nilai intersep sebesar 51,907 dengan nilai koefisien relasi sebesar 0,9995 sehingga diperoleh konstanta BET sebesar 10,330 serta massa gas nitrogen yang sudah teradsorb monolayer sebesar 0,00186. Selanjutnya dari hasil tersebut diperoleh luas permukaan spesifik dari karbon aktif sebesar 6,478 m²/g dan 149,690 m²/g².

Pada Gambar 15 (b) menampilkan kurva BET dari komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA, dan diperoleh nilai slope sebesar 249,23 dan nilai intersep sebesar 101,68 dengan nilai koefisien relasi sebesar 0,996 sehingga diperoleh konstanta BET sebesar 3,451 serta massa gas nitrogen yang sudah teradsorb monolayer sebesar 0,00284. Selanjutnya dari hasil tersebut diperoleh luas permukaan spesifik dari komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA sebesar 9,892 m²/g dan 660,792 m²/g².

Berdasarkan penjelasan diatas luas permukaan karbon aktif dengan komposit berbeda, yaitu semakin meningkatnya luas permukaan pada komposit. Perubahan luas permukaan katalis Cu/CuO-Cu₂O/KA ini diakibatkan meningkatnya jumlah situs aktif karena perlakuan penambahan logam Cu/CuO-Cu₂O pada karbon aktif. Dengan meningkatnya luas permukaan tersebut, katalis Cu/CuO-Cu₂O/KA yang terembankan karbon aktif baik digunakan sebagai katalis karena adanya interaksi permukaan dengan reaktan yang semakin banyak sehingga diharapkan akan meningkatkan kualitas produk yang dihasilkan.

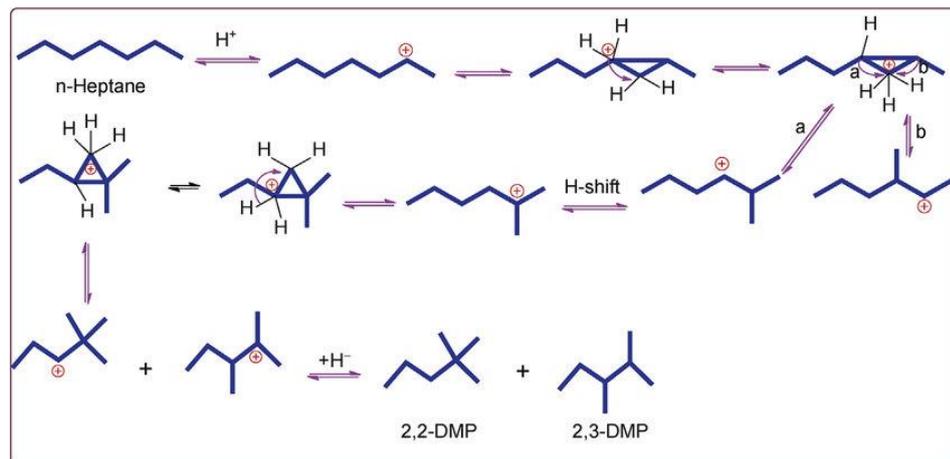
5.4 Aplikasi Komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA sebagai Katalis untuk Proses Isomerisasi N-Heptana

Komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA digunakan sebagai katalis pada isomerisasi n-heptana untuk memecahkan molekul yang berukuran besar menjadi molekul berukuran kecil. Dalam proses ini membutuhkan katalis yang tepat dan ekonomis. Pada Gambar 11 berikut adalah ilustrasi reaktor untuk proses isomerisasi n-heptana



Gambar 16. Skema Ilustrasi Reaktor Isomerisasi N-Heptana

Pada penelitian (Hua & Sommer, 2002) isomerisasi n-heptana dilakukan pada suhu 200°C di dalam reaktor unggun tetap tipe aliran di bawah ambien tekanan. Campuran gas n-heptana, H₂ dan N₂ (1:10:49,4 rasio molar) diberi pada berat n-heptana. Sebelum reaksi, katalis terlebih dahulu diaktifkan in situ pada 400°C dalam N₂ kering selama 3 jam dan kemudian dikurangi dalam H₂ kering pada suhu 200°C selama 1 jam. Fungsi dari gas disini menurut (Yang & Weng, 2009) adalah menghilangkan kokas yang terdeposit pada katalis dengan mereaksikan hidrogen. Selanjutnya pada penelitian ini digunakan hanya gas nitrogen yang harapannya dapat memberikan aktivitas katalitik pada isomerisasi n-heptana.



Gambar 17. Skema Mekanisme Isomerisasi n-heptana (Dhar et al., 2017)

Menurut (Dhar *et al.*, 2017) zat antara ion CPCP (mengandung karbon pentavalent) memainkan peran yang penting dalam semua cara jalur reaksi. CPCP dibentuk oleh penyesuaian proton yang terbentuk pada permukaan katalis dengan disosiasi molekul H_2 , pada reaksi tersebut mengikat dengan ion H untuk membentuk final produk isomerisasi.

Pada n-heptana dilakukan isomerisasi menggunakan komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA dan akan dibandingkan dengan kandungan molekul yang terdapat pada n-heptana standar untuk mengetahui apakah katalis tersebut dapat meningkatkan angka oktan dari n-heptana menjadi molekul lain dengan angka oktan yang lebih tinggi dari n-heptana. Hasil dari isomerisasi kemudian dapat diketahui dari hasil analisis GC-MS (Gas Chromatography – Mass Spectrometry) untuk mengetahui jumlah komponen dan massa molekul relatif masing-masing komponen dari n-heptana.

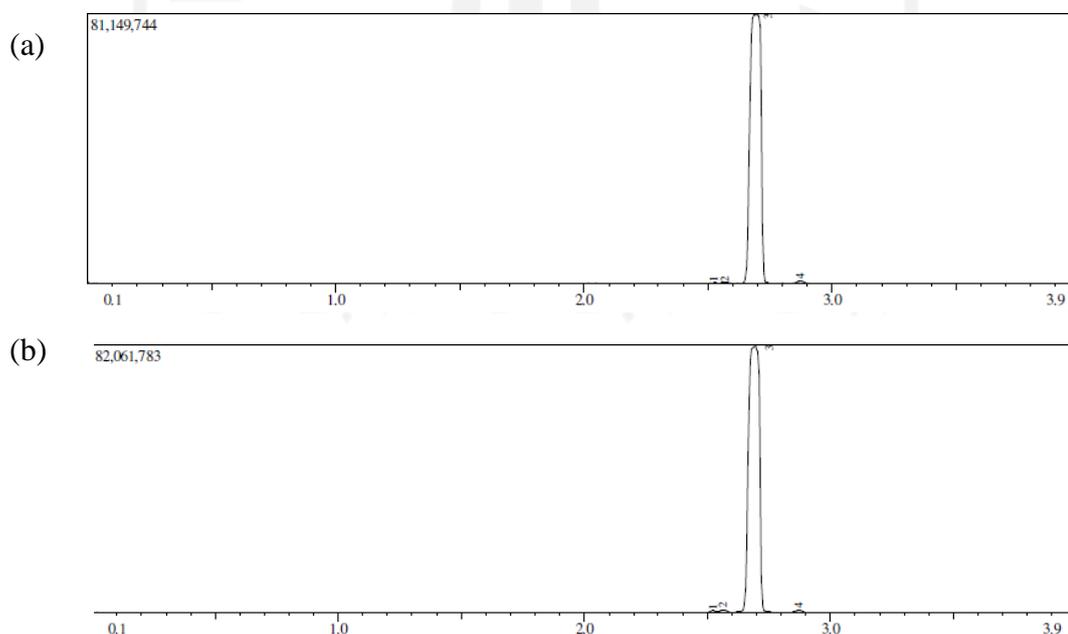
GC-MS (*Gas Chromatography – Mass Spectrometry*) dapat memberikan data berupa identifikasi kualitatif dan pengukuran kuantitatif senyawa yang menjadi komponen n-heptana yang ditunjukkan pada kromatogram. Tahap analisis dengan GC (*Gas Chromatography*) dilakukan untuk mengetahui kemungkinan komponen-komponen yang terdapat di dalam n-heptana, sedangkan analisis dengan MS (*Mass Spectrometry*) dilakukan untuk mengetahui massa molekul relatif masing-masing komponen yang terkandung di dalam n-heptana.

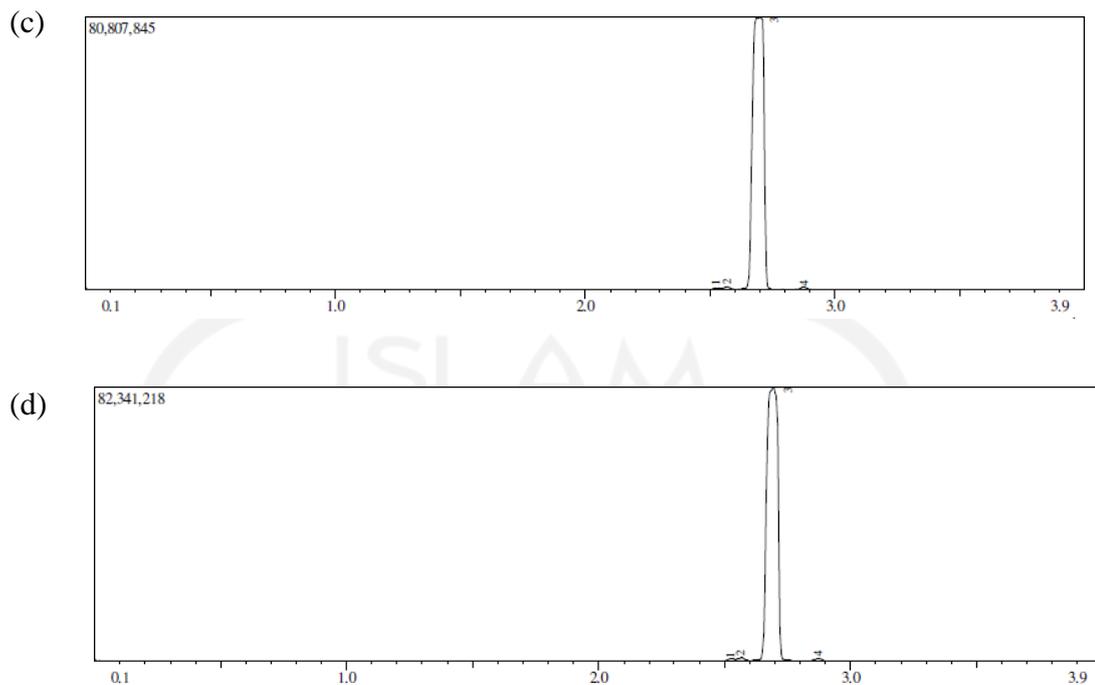
Cara kerja analisis dengan GC-MS adalah sampel yang berupa cairan diinjeksikan ke dalam injektor. Kemudian sampel yang berbentuk uap dibawa oleh gas pembawa untuk masuk ke dalam kolom. Di dalam kolom masing-masing komponen n-heptana akan terpisahkan sehingga dapat dideteksi oleh detektor dan menghasilkan suatu kromatogram.

Analisis kandungan dari isomerisasi n-heptana dilakukan dengan analisis spectra massa yang didasarkan pada *peak* (puncak) dan *Similarity Index* (SI) dengan perbandingan spectra dari *Wiley Library*. Jika nilai SI mendekati nilai 100, maka diperkirakan senyawa yang terdeteksi memiliki tingkat kemiripan dengan data perbandingan.

5.4.1 Isomerisasi N-Heptana

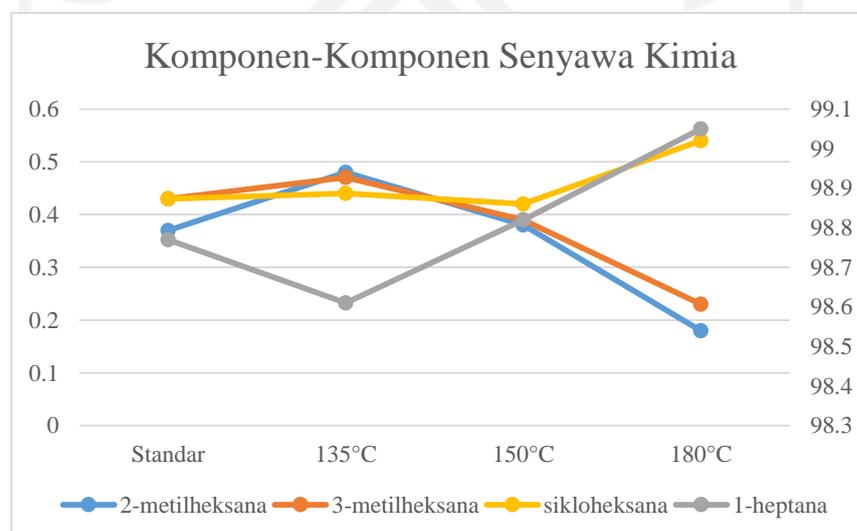
Pada isomerisasi n-heptana dilakukan dengan menggunakan komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA sebagai katalis dengan variasi suhu 135°C ; 150°C ; 180°C selama 2 jam untuk menghasilkan beberapa molekul lain dengan angka oktan tinggi. Identifikasi komponen-komponen senyawa kimia yang terdapat dalam n-heptana standar dan hasil isomerisasi n-heptana menggunakan komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA sebagai katalis menggunakan GC-MS dan hasilnya ditunjukkan oleh kromatogram GC-MS pada Gambar 18.

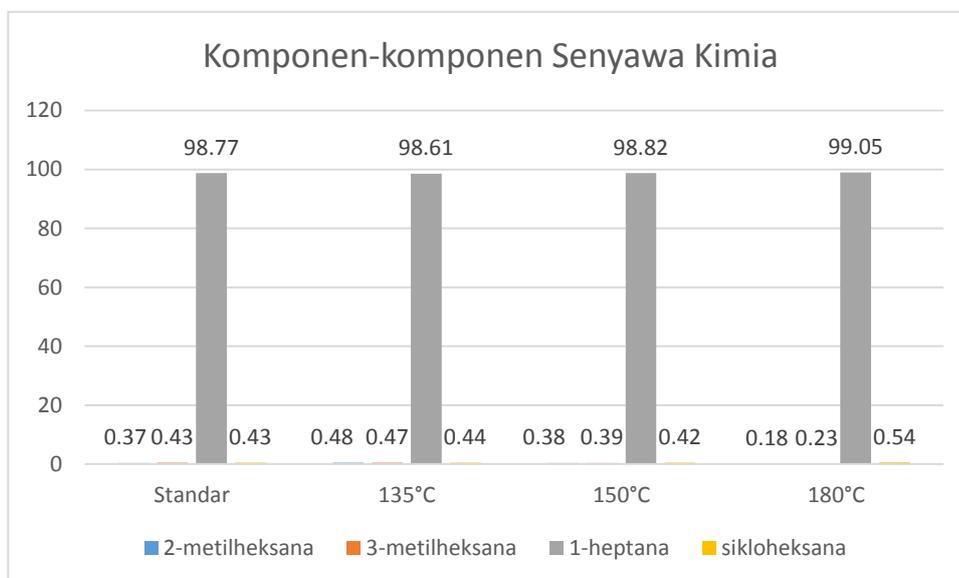




Gambar 18. Kromatogram GC-MS, (a) N-Heptana Standar, (b) Isomerisasi N-Heptana suhu 135°C, (c) Isomerisasi N-Heptana suhu 150°C, (d) Isomerisasi N-Heptana suhu 180°C

Kromatogram yang ditunjukkan pada Gambar 18 (a) hingga 18 (d) sudah dilakukan variasi suhu 135°C, 150°C dan 180°C. Pada kromatogram tersebut masing-masing menghasilkan 4 puncak, untuk melihat komponen-komponen senyawa kimia n-heptana standar dan hasil isomerisasi n-heptana dengan komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA sebagai katalis yang ditunjukkan pada Gambar 19.



Gambar 19. Komponen Senyawa pada N-Heptana**Gambar 20. Diagram Batang Komponen Senyawa pada N-Heptana**

Pada Gambar 19 dan 20 menampilkan komponen senyawa kimia pada n-heptana standar dan hasil isomerisasi n-heptana menggunakan komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA sebagai katalis dengan beberapa variasi suhu 135°C, 150°C dan 180°C yang telah dianalisis dengan GC-MS. Hasil yang didapat pada isomerisasi n-heptana dengan Cu/CuO-Cu₂O/KA menghasilkan molekul yang sama dengan standar n-heptana. Berikut adalah sebaran produk komponen senyawa kimia tersebut yang ditunjukkan pada tabel 7.

Tabel 7. Sebaran Produk N-Heptana Standar dan Hasil Isomerisasi N-Heptana

Standar N-Heptana	
Rumus Molekul	C ₇ H ₁₆
Nama Senyawa	2-metilheksana
Waktu Retensi (menit)	2.525

% Area	0.37	
Rumus Molekul	C_7H_{16}	
Nama Senyawa	3-metilheksana	
Waktu Retensi (menit)	2.569	
% Area	0.43	
Rumus Molekul	C_7H_{14}	
Nama Senyawa	1-Heptana	
Waktu Retensi (menit)	2.699	
% Area	98.77	
Rumus Molekul	C_7H_{14}	
Nama Senyawa	Sikloheksana	
Waktu Retensi (menit)	2.875	
% Area	0.43	
Isomerisasi N-Heptana suhu 135°C		
Rumus Molekul	C_7H_{16}	

Nama Senyawa	2-metilheksana	
Waktu Retensi (menit)	2.520	
% Area	0.48	
Rumus Molekul	C_7H_{16}	
Nama Senyawa	3-metilheksana	
Waktu Retensi (menit)	2.566	
% Area	0.47	
Rumus Molekul	C_7H_{14}	
Nama Senyawa	1-Heptana	
Waktu Retensi (menit)	2.694	
% Area	98.61	
Rumus Molekul	C_7H_{14}	
Nama Senyawa	Sikloheksana	

Waktu Retensi (menit)	2.873	
% Area	0.44	
Isomerisasi N-Heptana suhu 150°C		
Rumus Molekul	C_7H_{16}	
Nama Senyawa	2-metilheksana	
Waktu Retensi (menit)	2.520	
% Area	0.38	
Rumus Molekul	C_7H_{16}	
Nama Senyawa	3-metilheksana	
Waktu Retensi (menit)	2.566	
% Area	0.39	
Rumus Molekul	C_7H_{14}	
Nama Senyawa	1-Heptana	

Waktu Retensi (menit)	2.694	
% Area	98.82	
Rumus Molekul	C_7H_{14}	
Nama Senyawa	Sikloheksana	
Waktu Retensi (menit)	2.872	
% Area	0.42	
Isomerisasi N-Heptana suhu 180°C		
Rumus Molekul	C_7H_{16}	
Nama Senyawa	2-metilheksana	
Waktu Retensi (menit)	2.520	
% Area	0.18	
Isomerisasi N-Heptana suhu 180°C		
Rumus Molekul	C_7H_{16}	
Nama Senyawa	3-metilheksana	

Waktu Retensi (menit)	2.568	
% Area	0.23	
Rumus Molekul	C_7H_{14}	
Nama Senyawa	1-Heptana	
Waktu Retensi (menit)	2.687	
% Area	99.05	
Rumus Molekul	C_7H_{14}	
Nama Senyawa	Sikloheksana	
Waktu Retensi (menit)	2.874	
% Area	0.54	

Pada tabel 7 diatas ditampilkan beberapa sebaran produk yang beraneka ragam, masing-masing terdapat 4 peak. Pada standar n-heptana senyawa yang terdeteksi adalah 2-metilheksana pada waktu retensi 2,525 menit dengan % area 0,37%, 3-metilheksana pada waktu retensi 2,569 menit dengan % area 0,43%, 1-heptana pada waktu retensi 2,699 menit dengan % area sebesar 98,77%, sikloheksana pada waktu retensi 2,875 menit dengan % area 0,43%. Serta telah dilakukan

isomerisasi dengan variasi suhu yaitu suhu 135°C, 150°C dan 180°C. Pada suhu 135°C senyawa yang terdeteksi adalah 2-metilheksana pada waktu retensi 2,520 menit dengan % area sebesar 0,48%, 3-metilheksana pada waktu retensi 2,566 menit dengan % area sebesar 0,47%, 1-heptana pada waktu retensi 2,694 menit dengan % area sebesar 98,61%, sikloheksana pada waktu retensi 2,873 menit dengan % area sebesar 0,44%. Pada suhu 150°C dan 180°C terdeteksi senyawa yang sama dengan standar n-heptana.

Pada penelitian ini dari keseluruhan hasil analisis n-heptana standar dan isomerisasi n-heptana menggunakan komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA sebagai katalis tidak menghasilkan perbedaan yang signifikan. Penyebab utamanya dikarenakan gas yang digunakan yaitu gas nitrogen ternyata menghasilkan hasil n-heptana yang belum terkonversi secara sempurna karena pada beberapa penelitian gas yang digunakan untuk isomerisasi n-heptana menggunakan gas hidrogen, sehingga dalam penelitian ini penulis memodifikasi dengan menggunakan gas nitrogen tetapi hasil yang didapatkan tidak maksimal atau pada GC-MS hasil puncak yang tertinggi bukan merupakan senyawa isomer dari n-heptana tersebut.

Secara keseluruhan dari 4 puncak yang dihasilkan dari analisis GC-MS pada hasil isomerisasi n-heptana memiliki waktu retensi yang lebih cepat dibandingkan dengan waktu retensi yang dihasilkan dari n-heptana standar. Peristiwa ini terjadi karena adanya komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA yang ditambahkan dan telah berhasil digunakan sebagai katalis pada proses isomerisasi n-heptana, sehingga proses isomerisasi n-heptana berlangsung semakin cepat.

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dan telah dibahas, dapat diambil kesimpulan yaitu sebagai berikut:

1. Karbon aktif dari tempurung kelapa sawit telah berhasil disintesis melalui metode aktivasi kimia menggunakan aktivator H_3PO_4 65% dan telah dilakukan pirolisis pada suhu 800°C . Hasil karbon aktif diperoleh memiliki gugus fungsi O-H, C=O, alkuna dan C-O. Karbon aktif yang dihasilkan memiliki struktur kristal amorf dengan luas permukaan sebesar $6,478 \text{ m}^2/\text{g}$. Citra SEM karbon aktif yang dihasilkan memiliki struktur pori yang tidak beraturan tersebar pada permukaannya dan mengandung unsur karbon sebesar 84,36% dan 14,89%.
2. Katalis Cu/CuO-Cu₂O/Karbon Aktif telah berhasil disintesis melalui metode hidrotermal dengan suhu 300°C . Hasil karakterisasi komposit Cu/CuO-Cu₂O/karbon aktif dengan FTIR menunjukkan adanya serapan pada bilangan gelombang 630 cm^{-1} dan 550 cm^{-1} yang menunjukkan adanya serapan logam Cu(I)-O dan logam Cu(II)-O. Struktur dari katalis Cu/CuO-Cu₂O/Karbon Aktif memiliki struktur semi kristal dengan luas permukaan sebesar $9,892 \text{ m}^2/\text{g}$. Citra SEM menunjukkan pori yang tersebar lebih merata dan rapi pada permukaan komposit dan mengandung unsur tembaga sebesar 59,15%, oksigen sebesar 31,13% dan karbon sebesar 9,72%.
3. Katalis Cu/CuO-Cu₂O/Karbon Aktif tidak efektif digunakan sebagai katalis dalam proses isomerisasi n-heptana pada suhu 135°C , 150°C , 180°C selama 2 jam yang menghasilkan senyawa 2-metilheksana dan 1-heptana, karena tidak terjadi perbedaan yang signifikan.

6.2 Saran

Pada penelitian ini diperlukan adanya penelitian lebih lanjut terhadap pembuatan karbon aktif menggunakan tempurung kelapa sawit dengan beberapa bahan logam lainnya dan mengaplikasikan komposit lainnya sebagai katalis isomerisasi untuk senyawa-senyawa kimia lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., & Khairurrijal, K. (2009). Review: Karakterisasi Nanomaterial. *J. Nano Saintek*, 2(1), 1–9.
- Adinata, M. R. (2013). Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang sebagai Karbon Aktif. Skripsi. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran", Jawa Timur.
- Alemán-Vázquez, Laura O., Mariel-Reyes, P. R., & Cano-Domínguez, J. L. (2010). The effect of sulfates concentration in sulfated zirconia (SZ) catalysts n-heptane isomerization. *Petroleum Science and Technology*, 28(4), 374–381.
- Alemán-Vázquez, Laura Olivia, Cano-Domínguez, J. L., Torres-García, E., & Villagómez-Ibarra, J. R. (2011). Industrial application of catalytic systems for n-heptane isomerization. *Molecules*, 16(7), 5916–5927.
- Alvarenga, G. M., Coutinho Gallo, I. B., & Villullas, H. M. (2017). Enhancement of ethanol oxidation on Pd nanoparticles supported on carbon-antimony tin oxide hybrids unveils the relevance of electronic effects. *Journal of Catalysis*, 348, 1–8.
- Chang, R. (2003). *General Chemistry: The Essential Concepts*. McGraw-Hill.
- Chen, C. L., Huang, C. C., Tran, D. T., & Chang, J. S. (2012). Biodiesel synthesis via heterogeneous catalysis using modified strontium oxides as the catalysts. *Bioresource Technology*, 113, 8–13.
- Cullity, B. D. (1978). *Elements of X-ray Diffraction*. Addison-Wesley Publishing Company.
- Dhar, A., Vekariya, R. L., & Sharma, P. (2017). Kinetics and mechanistic study of n-alkane hydroisomerization reaction on Pt-doped γ -alumina catalyst. *Petroleum*, 3(4), 489–495.
- Diao, Y., Walawender, W. P., & Fan, L. T. (2002). *Activated carbons prepared from phosphoric acid activation of grain sorghum*. 81, 2–9.
- Diharyo, Salampak, Damanik, Z., & Gumiri, S. (2020). Pengaruh lama aktifasi dengan

- H₃PO₄ dan ukuran butir arang cangkang kelapa sawit terhadap ukuran pori dan luas permukaan butir arang aktif. *Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah*, 5(1), 48–54.
- Elhajjar, R., Saponara, V. L., & Muliana, A. (2013). *Smart Composites: Mechanics and Design*. CRC Press.
- Fengel, D., & Wegener, G. (1995). Kayu: Kimia, Ultrastruktur dan Reaksi-reaksi. Penerjemah H. Sastrohamidjojo. Yogyakarta: Gadjah Mada University.
- Fessenden, R. J., & Fessenden, J. S. (1982). *Organic Chemistry*. Cengage Learning.
- Ganzoury, M. A., Allam, N. K., Nicolet, T., & All, C. (2015). Introduction to Fourier Transform Infrared Spectrometry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 1–8.
- Ghane, M., Sadeghi, B., Jafari, A. R., & Paknejhad, A. R. (2010). Synthesis and characterization of a Bi-Oxide nanoparticle ZnO/CuO by thermal decomposition of oxalate precursor method. *International Journal of Nano Dimension*, 1(1), 33–40.
- Gultom, E. M., & Lubis, M. T. (2014). APLIKASI KARBON AKTIF DARI CANGKANG KELAPA SAWIT DENGAN AKTIVATOR H₃PO₄ UNTUK PENYERAPAN LOGAM BERAT Cd DAN Pb. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 3(1), 5.
- Haji, A. G. (2013). Komponen Kimia Asap Cair Hasil Pirolisis Limbah Padat Kelapa Sawit. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 9(3), 110.
- Harti, R., & Fitri, N. (2014). *Indonesian Journal of Chemical Research – Inco . J . Chem . Res .* 2(1).
- Helwani, Z., Othman, M. R., Aziz, N., Kim, J., & Fernando, W. J. N. (2009). Solid heterogeneous catalysts for transesterification of triglycerides with methanol: A review. *Applied Catalysis A: General*, 363(1–2), 1–10.
- Higai, D., Huang, Z., & Qian, E. W. (2021). Preparation and surface characteristics of phosphoric acid-activated carbon from coconut shell in air. *Environmental*

Progress and Sustainable Energy, 40(2).

- Hua, W., & Sommer, J. (2002). Alumina-doped Pt/WO_x/ZrO₂ catalysts for n-heptane isomerization. *Applied Catalysis A: General*, 232(1–2), 129–135.
- Husain, Z., Zainac, Z., & Abdullah, Z. (2002). Briquetting-of-palm-fibre-and-shell-from-the-processing-of-palm-nuts-to-palm-oil_2002_Biomass-and-Bioenergy. *Biomass and Bioenergy*, 22, 505–509.
- Hussein, G. A. M., Ismail, H. M., & Mansour, S. A. A. (1996). *Characterization of the decomposition course of Cu (II) salicyfate hydrate and chemical reactivity of the final products - spectrothermal investigation*. 2370(95).
- Johan, M. R., Suan, M. S. M., Hawari, N. L., & Ching, H. A. (2011). Annealing effects on the properties of copper oxide thin films prepared by chemical deposition. *International Journal of Electrochemical Science*, 6(12), 6094–6104.
- Kondo, J. N., Yang, S., Zhu, Q., Inagaki, S., & Domen, K. (2007). In situ infrared study of n-heptane isomerization over Pt/H-beta zeolites. *Journal of Catalysis*, 248(1), 53–59.
- Kurniawan, R., Luthfi, M., & Wahyunanto, A. (2014). Karakterisasi Luas Permukaan Bet (Braunanear , Emmelt dan Teller) Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa dan Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Aktivasi Asam Fosfat. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 2(1), 15–20.
- Lam, M. K., Lee, K. T., & Mohamed, A. R. (2010). Homogeneous, heterogeneous and enzymatic catalysis for transesterification of high free fatty acid oil (waste cooking oil) to biodiesel: A review. *Biotechnology Advances*, 28(4), 500–518.
- Li, J., Liu, W., Ding, Y., Liu, L., Li, F., & Li, Q. (2019). Composition modulation of Cu/Cu₂O/CuO nanoparticles supported on carbon for p-nitrophenol reduction. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 36(6), 851–859.
- Lillo-Ródenas, M. A., Cazorla-Amorós, D., & Linares-Solano, A. (2003). Understanding chemical reactions between carbons and NaOH and KOH: An insight into the chemical activation mechanism. *Carbon*, 41(2), 267–275.

- Margaret, S. M., Paul Winston, A. J. P., Muthupandi, S., Shobha, P., & Sagayaraj, P. (2021). A Comparative Study of Nanostructures of CuO/Cu₂O Fabricated via Potentiostatic and Galvanostatic Anodization. *Journal of Nanomaterials*, 2021, 5533845.
- Mariatul. (2012). *UJI PERFORMA TiO₂ - KARBON AKTIF BERBAHAN DASAR*.
- Murali, B., Ramnath, B. V., & Chandramohan, D. (2017). *Crash Test Analysis on Natural Fiber Composite Materials for Head Gear*. 10(February).
- NAKTIYOK, J., & ÖZER, A. K. (2019). BAKIR ASETAT MONOHİDRATIN (Cu(CH₃COO)₂.H₂O) TERMAL BOZUNMASINDAN BAKIR OKSİT (CuO) SENTEZİ. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(2), 1292–1298.
- Nasibulin, A. G., Ahonen, P. P., Richard, O., Kauppinen, E. I., & Altman, I. S. (2001). Copper and copper oxide nanoparticle formation by chemical vapor nucleation from copper (II) acetylacetonate. *Journal of Nanoparticle Research*, 3(5–6), 385–400.
- Nasikin, M., Susanto, B. H., & Wijanarko, A. (2008). Biogasoline from Palm Oil by Simultaneous Cracking and Hydrogenation Reaction over Nimo/zeolite Catalyst. *World Applied Sciences Journal*, 5, 74–79.
- Nur, Y., Cahyotomo, A., Nanda, & Fistro, N. (2020). Profil GC-MS Senyawa Metabolit Sekunder dari Jahe Merah (*Zingiber officinale*) dengan Metode Ekstraksi Etil Asetat, Etanol dan Destilasi. *Jurnal Sains Dan Kesehatan*, 2(3), 198–204.
- Nurhayati. (2008). Reaksi Katalisis Oksidasi Stirena Menjadi Benzaldehida Menggunakan Katalis TiO₂-Al₂O₃ (1:1)-U Dan TiO₂-Al₂O₃ (1:1)-PEG. *Skripsi Fakultas Matematika & Ilmu Pengetahuan Alam*, 3.
- Oloye, F. F., Aliyev, R., & Anderson, J. A. (2018). Hydroisomerisation of n-heptane over Pt/sulfated zirconia catalyst at atmospheric pressure. *Fuel*, 222(February), 569–573.

- Pambayun, G. S., Yulianto, R. Y. E., Rachimoellah, M., & Putri, E. M. M. (2013). Hidrolisis pentosan menjadi furfural dengan katalisator asam sulfat untuk meningkatkan kualitas bahan bakar mesin diesel. *Teknik Pomits*, 2(1), 116–120.
- Pujiyanto. (2010). Pembuatan karbon aktif super dari batubara dan tempurung kelapa. *Tesis, Depok: Uni*, 20275036.
- Reskianty Ira Dermawan, A. (2020). *Prosiding 4 SENWODIPA*. 253–259.
- Rosyid, M., Nawangsih, E., & Dewita. (2012). Perbaikan surface area analyzer nova-1000 (alat penganalisis luas permukaan serbuk). *Prosiding Seminar Penelitian Dan Pengelolaan Perangkat Nuklir, 1000*(September), 467–471.
- Salgado, M. D. F., Abioye, A. M., Junoh, M. M., Santos, J. A. P., & Ani, F. N. (2018). Preparation of activated carbon from babassu endocarp under microwave radiation by physical activation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 105(1).
- Sankari, G., Krishnamoorthy, E., Jayakumar, S., Gunasekaran, S., Vishnu Priya, V., Subramaniam, S., Subramaniam, S., & Krishna Mohan, S. (2010). G Sankari, E Krishnamoorthy, S Jayakumar, S Gunasekaran, V Vishnu Priya, Shyama Subramaniam, S Subramaniam, Surapaneni Krishna Mohan. Analysis of serum immunoglobulins using Fourier transform infrared spectral measurements. *Biology and Medicine*, 2010; V. *Biology and Medicine*, 2(January 2010).
- Saragih, & Sehat, A. (2008). Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Batubara Riau sebagai Adsorben. *Universitas Indonesia*, 6.
- Sembiring, M. T., & Sinaga, T. S. (2003). Arang aktif (pengenalan dan proses pembuatannya). *Universitas Sumatera Utara, Medan*.
- Setiabudi, A., Hardian, R., & Muzakir, A. (2012). Karakterisasi Material: Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia. In *UPI Press* (Vol. 1).
- Setiabudi, H. D., Triwahyono, S., Jalil, A. A., Kamarudin, N. H. N., & Aziz, M. A. A. (2011). Effect of iridium loading on HZSM-5 for isomerization of n-heptane. *Journal of Natural Gas Chemistry*, 20(5), 477–482.

- Sharma, R., Bisen, D. P., Shukla, U., & Sharma, B. G. (2012). X-ray diffraction: a powerful method of characterizing nanomaterials. *Recent Research in Science and Technology*, 4(8), 77–79.
- Shriver, D. F., & Atkins, P. W. (1999). *Inorganic Chemistry*. Oxford University Press.
- Singh, D. P., & Ali, N. (2010). Synthesis of TiO₂ and CuO nanotubes and nanowires. *Science of Advanced Materials*, 2(3), 295–335.
- SIRISOMBOONCHAI, S., KONGPARAKUL, S., REUBROYCHAROEN, P., GUAN, G., ZHANG, H., & SAMART, C. (2017). Fabrication of a Copper/Carbon Composite Based on Biomass for Electrochemical Application. *Journal of the Japan Institute of Energy*, 96(8), 273–278.
- Smolikov, M. D., Shkurenok, V. A., Kir'yanov, D. I., & Belyi, A. S. (2019). Active surface formation of tungstated zirconia catalysts for n-heptane isomerization. *Catalysis Today*, 329(July 2018), 63–70.
- Sudarlin. (2012). Prinsip dan Teknik Penggunaan Gas Sorption Analyzer (GSA). *Prinsip Dan Teknik Penggunaan Gas Sorption Analyzer (GSA)*, November 2012, 1–9.
- Sumarjo, J. (2018). *Jurnal Riset Sains dan Teknologi Analisis Sifat Mekanik Terhadap Bentuk Morfologi Papan Komposit Sekam Padi sebagai Material Alternatif Pengganti Serat Kaca Analysis of Mechanical Properties on Morphology Form of Composite Boards of Rice Head as Alternati*. 2(1), 21–26.
- Sundari, C. D. D., Rahayu, R. F., & Windayani, N. (2018). Sintesis dan Karakterisasi Nanostruktur Tembaga Oksida dengan Metode Hidrotermal. *Al-Kimiya*, 5(1), 48–51.
- Suyati, L. (2005). Pembuatan dan Karakterisasi Katalis Nikel/Zeolit pada Pirolisis Tir Batubara. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 8(2), 39–42.
- Tanaka, K., Kuba, Y., Sasaki, T., Hiwatashi, F., & Komatsu, K. (2008). Quantitation of curcuminoids in curcuma rhizome by near-infrared spectroscopic analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(19), 8787–8792.

- Thamaraiselvi, S., & Thenmozhi, G. (2022). *Synthesis of CuO Nanoparticles by using Simple Precipitation Method*. May, 2–5.
- Trisunaryanti, W., Press, G. M. U., & Press, U. G. M. (2018). *Konversi Fraksi Aspal Buton Menjadi Fraksi Bahan Bakar*. UGM PRESS.
- Ulfa, M. (2017). Analisis Mikroporositas Pada Karbon Berpori Dari Gelatin (Kpg) Menggunakan Adsorpsi-Desorpsi N 2 Model Dubinin – Radushkevich (D-R). *Jurnal Penelitian Kimia*, 13(1), 103–118.
- Wang, L. (n.d.). *Preparation and characterization of properties of electrodeposited copper oxide films* (Vol. 68, Issue 12). Thesis (PhD)--The University of Texas at Arlington 2006.
- Watson, D. G. (2015). *Pharmaceutical Analysis E-Book: A Textbook for Pharmacy Students and Pharmaceutical Chemists*.
- Wu, C. Y., & Wu, H. S. (2017). Ethylene Formation from Ethanol Dehydration Using ZSM-5 Catalyst. *ACS Omega*, 2(8), 4287–4296.
- Wulandari, F., Erlina, Bintoro, R. A., Budi, E., Umiatin, & Nasbey, H. (2014). ITM-05 Pengaruh Temperatur Pengeringan pada Aktivasi Arang Tempurung Kelapa Dengan Asam Klorida dan Asam Fosfat untuk Penyaringan Air Keruh. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)*, 3, 289–293.
- Yakout, S. M., & Sharaf El-Deen, G. (2016). Characterization of activated carbon prepared by phosphoric acid activation of olive stones. *Arabian Journal of Chemistry*, 9, S1155–S1162.
- Yang, Y. C., & Weng, H. S. (2009). The role of H₂ in n-butane isomerization over Al-promoted sulfated zirconia catalyst. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 304(1–2), 65–70.
- Yang, Y. C., & Weng, H. S. (2010). Al-promoted Pt/SO₄²⁻/ZrO₂ with low sulfate content for n-heptane isomerization. *Applied Catalysis A: General*, 384(1–2), 94–100.
- Yeti Widyawati. (2007). *Disain Proses Dua Tahap Esterifikasi-Transesterifikasi* (

Estrans) Pada Pembuatan Metil Ester (Biodiesel). 19–20.

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

Zhang, Y., Li, D., Zhang, Y., Zhou, X., Guo, S., & Yang, L. (2014). Graphene-wrapped Bi₂O₂CO₃ core-shell structures with enhanced quantum efficiency profit from an ultrafast electron transfer process. *Journal of Materials Chemistry A*, 2(22), 8273–8280.

Zhao, X., Tan, Y., Wu, F., Niu, H., Tang, Z., Cai, Y., & Giesy, J. P. (2016). Cu/Cu₂O/CuO loaded on the carbon layer derived from novel precursors with amazing catalytic performance. *Science of the Total Environment*, 571, 380–387.

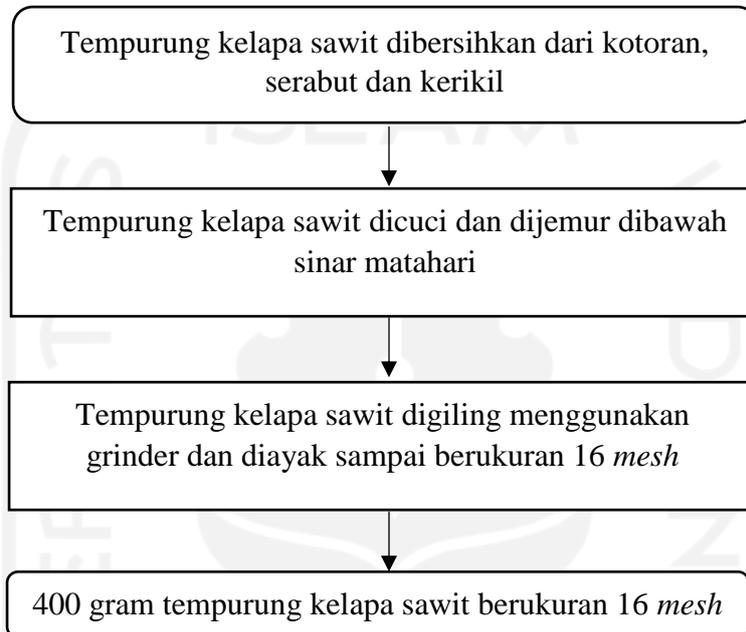
Zubir Dewi Purnama; Pulungan, Ahmad Nasir; Sihombing, Junifa Layla; Selly, Rini, M. S., Sihombing Ahmad Nasir; Sari, Dewi Purnama; Zubir, Moondra; Selly, Rini, J. L. P., & Zubir Dewi Purnama; Pulungan, Ahmad Nasir; Sihombing, Junifa Layla; Selly, Rini, M. S. (2017). Conversion of avocado seed oil into liquid fuel fraction through catalytic cracking process using CuO/ZAA catalyst. *Jurnal Pendidikan Kimia (JPKim)*, 9(Vol 9, No 2 (2017): Agustus 2017), 304–310.

LAMPIRAN

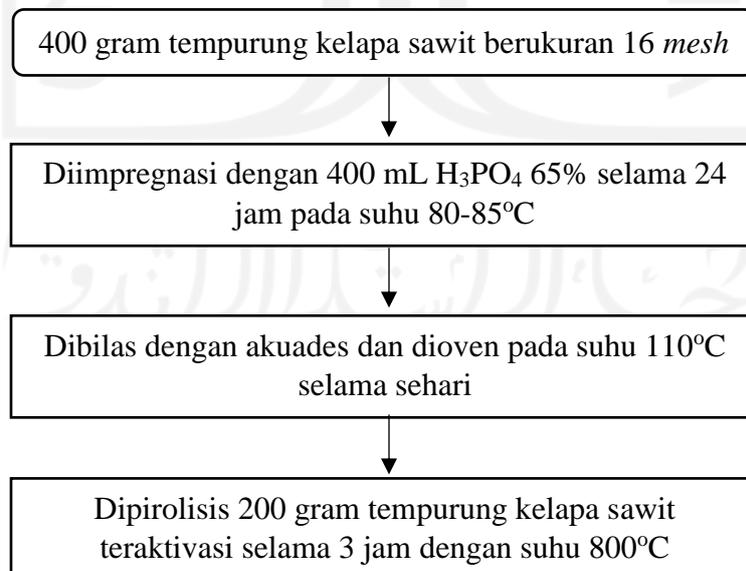
Lampiran 1. Diagram Alir Penelitian

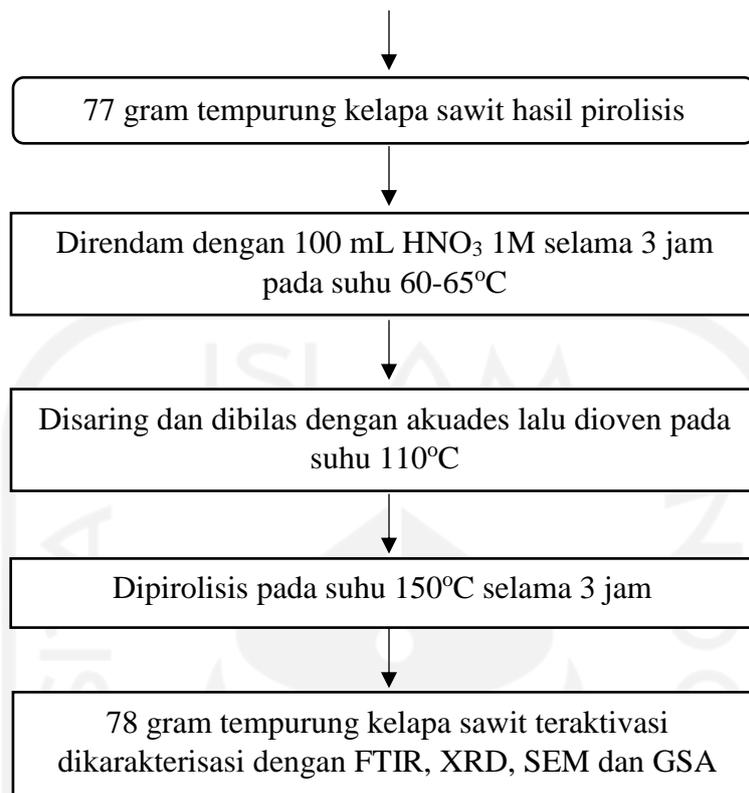
1. Pembuatan Karbon Aktif

a. Preparasi Tempurung Kelapa Sawit

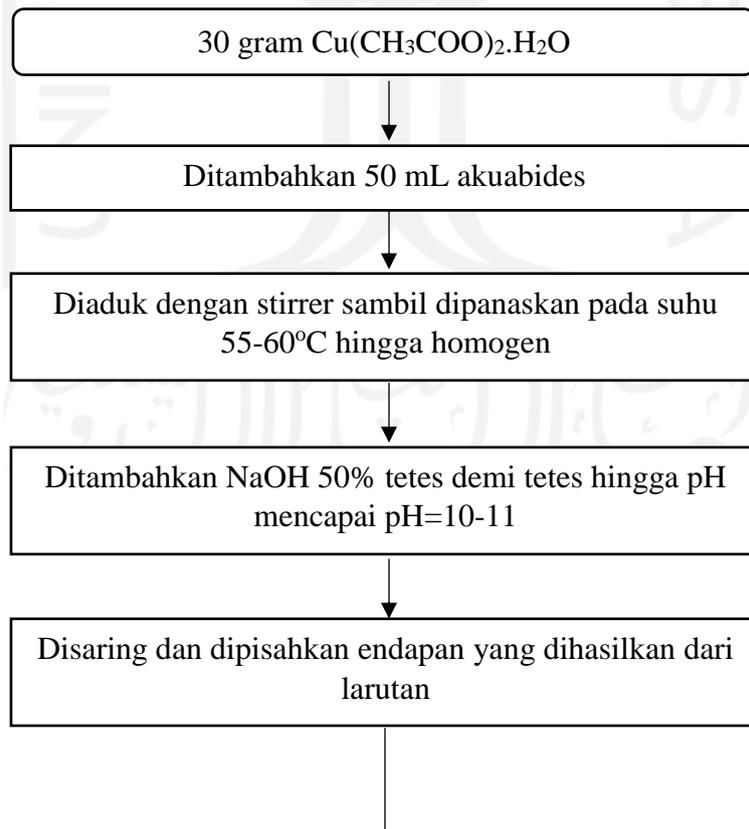


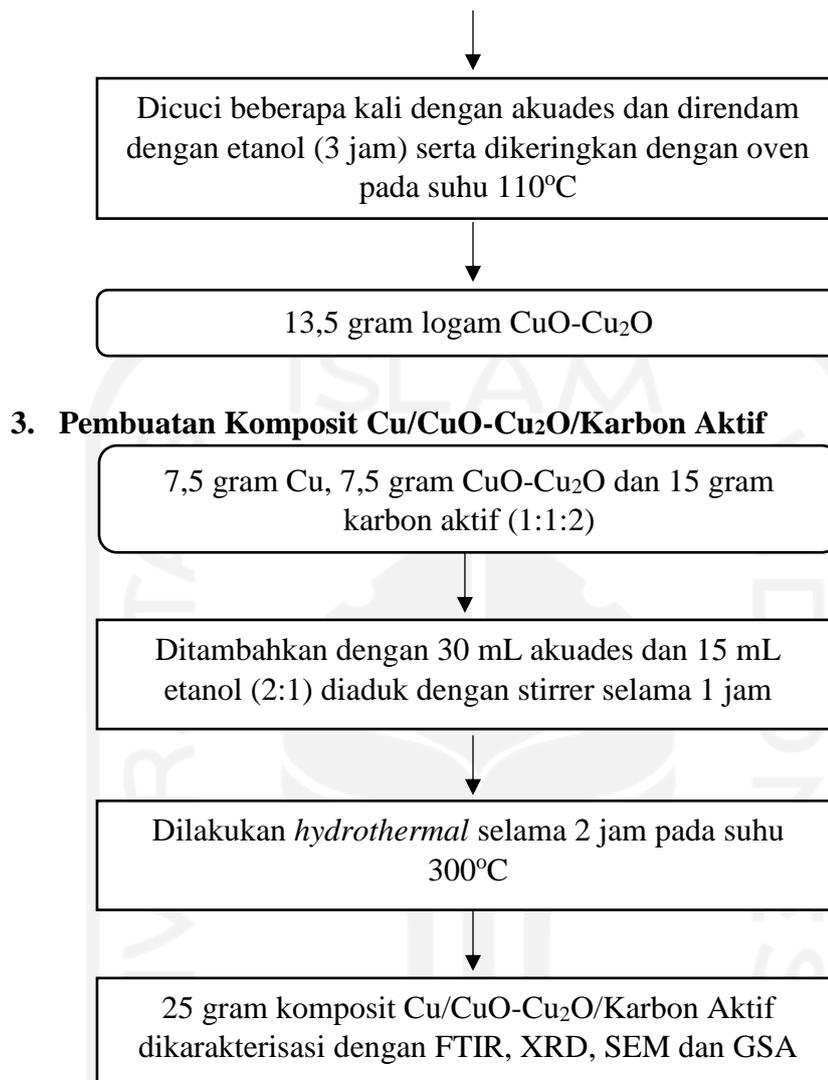
b. Aktivasi Tempurung Kelapa Sawit



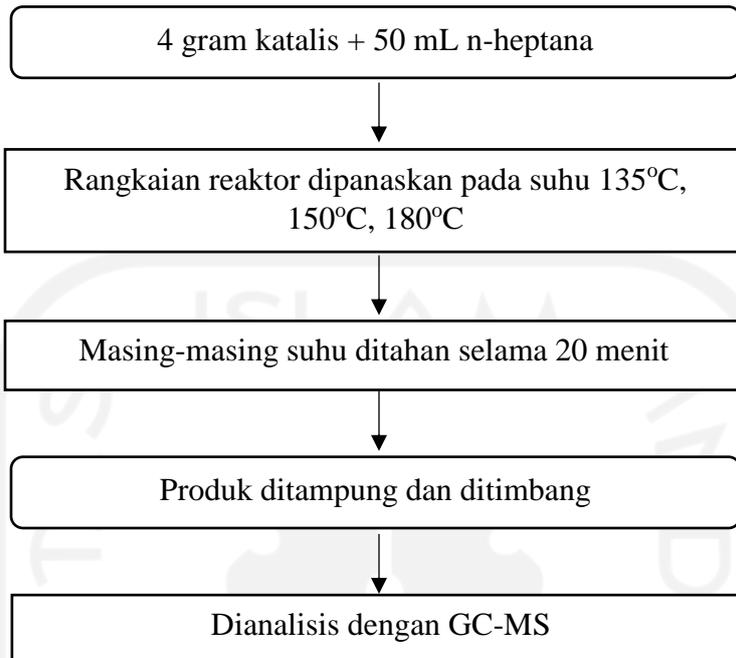


2. Preparasi Logam CuO-Cu₂O





4. Isomerisasi N-Heptana



Lampiran 2. Dokumentasi Penelitian



Tempurung kelapa sawit



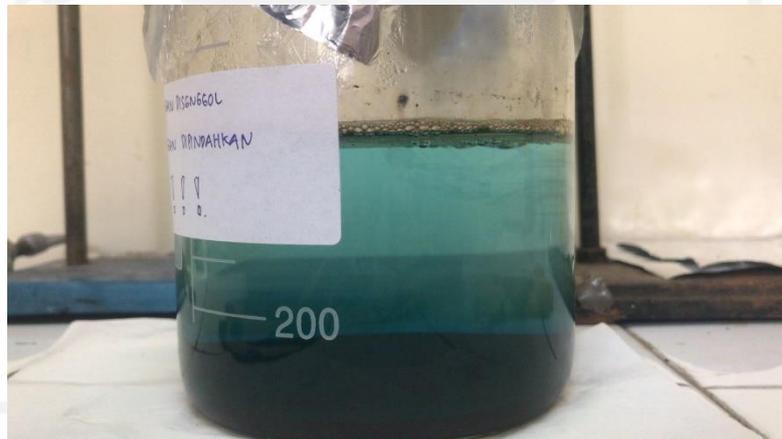
Tempurung kelapa sawit diayak dengan ayakan



Alat ayakan (*shieve shaker*)



Proses aktivasi tempurung kelapa sawit dengan H_3PO_4



Proses pembuatan logam tembaga oksida



Proses pirolisis tempurung kelapa sawit dengan suhu 800°C



Proses modifikasi KA dengan HNO_3 1M



Hasil isomerisasi n-heptana

Lampiran 3. Perhitungan dalam Penelitian

1. Larutan H₃PO₄ 65% dari H₃PO₄ 85%

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

$$85\% \times V_1 = 65\% \times 500 \text{ mL}$$

$$V_1 = 382 \text{ mL}$$

2. Larutan HNO₃ 1M dari HNO₃ 65%

$$M = \frac{\text{massa jenis} \times 10 \times \text{presentase}}{M_r}$$

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

$$M = \frac{1,4 \text{ g/mL} \times 10 \times 65\%}{63 \text{ g/mol}}$$

$$14,444 \times V_1 = 1M \times 100 \text{ mL}$$

$$M = 14,444 \text{ M}$$

$$V_1 = 6,932 \text{ mL}$$

3. Larutan NaOH 50%

$$\% \text{ W/V NaOH} = \frac{\text{gram zat terlarut}}{\text{mL larutan}} \times 100$$

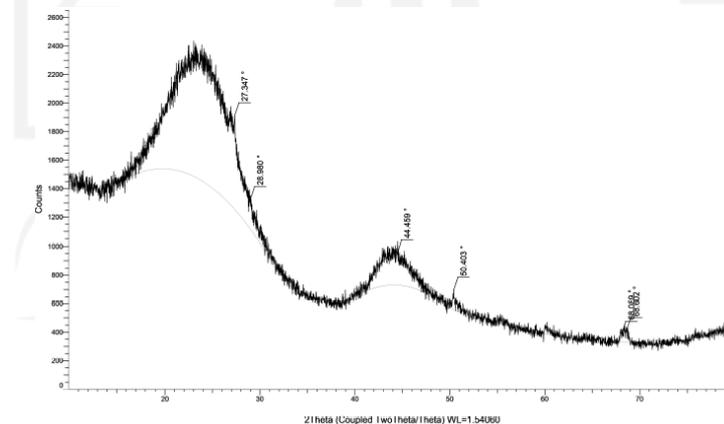
$$50\% = \frac{x}{100 \text{ mL}} \times 100$$

$$X = 50 \text{ gram}$$

Lampiran 4. Perhitungan Karakterisasi

1. Karakterisasi dengan XRD

a. Karbon Aktif

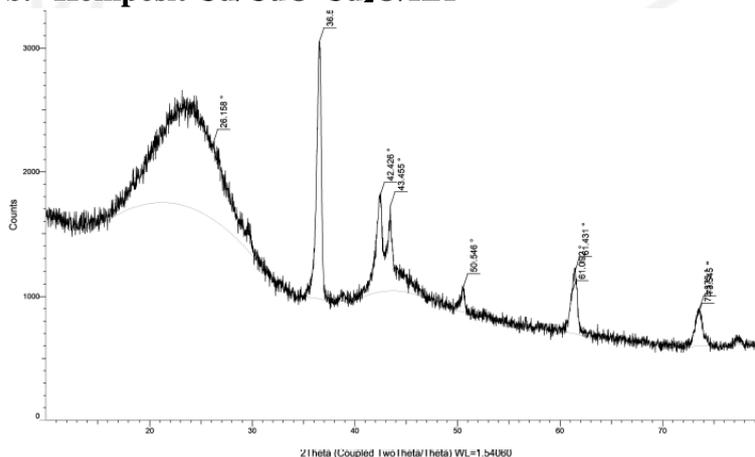


12270821-2.raw, 8/30/2021 11:44:51 AM

Peak List #1

Visible	Icon	Color	Index	Name	Parent	Caption (display)	Scan	Angle
Yes			1	Peak #1	Peak List #1	27.347 °	12270821-2.raw #1	27.347 °
Yes			2	Peak #2	Peak List #1	28.980 °	12270821-2.raw #1	28.980 °
Yes			3	Peak #3	Peak List #1	44.459 °	12270821-2.raw #1	44.459 °
Yes			4	Peak #4	Peak List #1	50.403 °	12270821-2.raw #1	50.403 °
Yes			5	Peak #5	Peak List #1	58.089 °	12270821-2.raw #1	58.089 °
Yes			6	Peak #6	Peak List #1	68.602 °	12270821-2.raw #1	68.602 °

d Value	Net Intensity	Gross Intensity	Rel. Intensity	h,k,l	Match
3.25850 Å	659	1912	100.0%	n.a.	No
3.07956 Å	205	1323	31.2%	n.a.	No
2.03612 Å	222	951	33.7%	n.a.	No
1.80903 Å	135	694	20.5%	n.a.	No
1.37503 Å	55.0	386	8.4%	n.a.	No
1.36689 Å	80.4	410	12.2%	n.a.	No

b. Komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA

14930921-1 Komposit.raw, 10/21/2021 11:16:08 AM

Peak List #1

Visible	Icon	Color	Index	Name	Parent	Caption (display)	Scan	Angle
Yes			1	Peak #1	Peak List #1	26.158 °	14930921-1 Komposit.raw #1	26.158 °
Yes			2	Peak #2	Peak List #1	36.523 °	14930921-1 Komposit.raw #1	36.523 °
Yes			3	Peak #3	Peak List #1	42.426 °	14930921-1 Komposit.raw #1	42.426 °
Yes			4	Peak #4	Peak List #1	43.455 °	14930921-1 Komposit.raw #1	43.455 °
Yes			5	Peak #5	Peak List #1	50.546 °	14930921-1 Komposit.raw #1	50.546 °
Yes			6	Peak #6	Peak List #1	51.092 °	14930921-1 Komposit.raw #1	51.092 °
Yes			7	Peak #7	Peak List #1	51.431 °	14930921-1 Komposit.raw #1	51.431 °
Yes			8	Peak #8	Peak List #1	73.373 °	14930921-1 Komposit.raw #1	73.373 °
Yes			9	Peak #9	Peak List #1	73.545 °	14930921-1 Komposit.raw #1	73.545 °

d Value	Net Intensity	Gross Intensity	Rel. Intensity	h,k,l	Match
3.40392 Å	614	2228	29.7%	n.a.	No
2.45826 Å	2070	3049	100.0%	n.a.	No
2.12886 Å	767	1802	37.0%	n.a.	No
2.08081 Å	680	1723	32.8%	n.a.	No
1.80426 Å	193	1058	9.3%	n.a.	No
1.51564 Å	309	1015	15.0%	n.a.	No
1.50809 Å	489	1199	24.1%	n.a.	No
1.28934 Å	232	831	11.2%	n.a.	No
1.28675 Å	291	891	14.0%	n.a.	No

c. Analisis Data

PERHITUNGAN UKURAN KRISTAL PADA KARBON AKTIF									
2 θ (°)	θ (°)	FWHM	θ (rad)	cos θ (rad)	β	d (Å)	D (nm)	d rata-rata (Å)	D rata-rata (nm)
23.010	11.505	4.968	0.201	0.980	0.0867	17.053	1.705	333.858	33.386
27.346	13.673	0	0.239	0.972	0.0000	0.000	0.000		
44.505	22.253	3.405	0.388	0.926	0.0594	26.342	2.634		
50.405	25.203	0.063	0.440	0.905	0.0011	1456.342	145.634		
68.403	34.202	0.592	0.597	0.827	0.0103	169.550	16.955		

PERHITUNGAN UKURAN KRISTAL PADA KOMPOSIT									
2 θ (°)	θ (°)	FWHM	cos θ (rad)	β	θ (rad)	d (Å)	D (nm)	d rata-rata (Å)	D rata-rata (nm)
23.145	11.573	7.128	0.9797	0.124	0.2020	11.888	1.189	181.518	18.152
36.547	18.274	0.483	0.9496	0.008	0.3189	181.003	18.100		
42.447	21.224	0.528	0.9322	0.009	0.3704	168.667	16.867		
43.449	21.725	0.252	0.9290	0.004	0.3792	354.614	35.461		
50.541	25.271	0.367	0.9043	0.006	0.4411	250.139	25.014		
61.422	30.711	0.609	0.8598	0.011	0.5360	158.551	15.855		
73.545	36.773	0.711	0.8010	0.012	0.6418	145.763	14.576		

2. Karakterisasi dengan GSA

a. Karbon Aktif

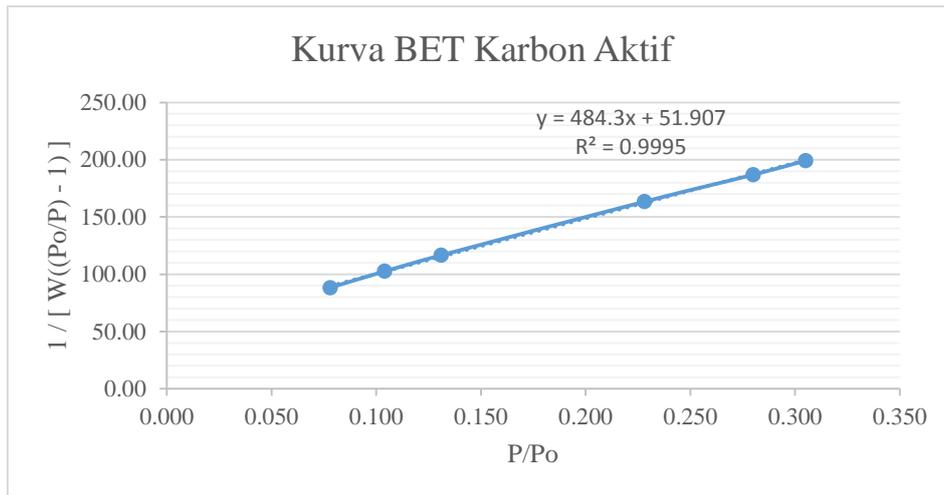
Diketahui :

Csa : $0,162 \times 10^{-18} \text{ m}^2$

Massa Sampel: 0,04328 g

BM Gas : 28,013 g/mol

Tekanan Relatif (P/Po)	Volume Adsorbat (cc/g)	$1 / [W((Po/P) - 1)]$
0,078	0,7650	88,72
0,104	0,9057	102,52
0,131	1,0313	116,55
0,228	1,4480	163,35
0,280	1,6645	186,88
0,305	1,7662	199,20



Berdasarkan grafik BET diatas maka diperoleh:

a. Konstanta BET (C)

$$C = \frac{\text{Slope}}{\text{Intersep}} + 1$$

$$C = \frac{484,3}{51,907} + 1$$

$$C = 10,330$$

b. Berat gas yang teradsorpsi

$$W_m = \frac{1}{\text{Slope} + \text{Intersep}}$$

$$W_m = \frac{1}{484,3 + 51,907}$$

$$W_m = 0,00186$$

c. Luas Permukaan Total

$$SA = \frac{W_m \times N \times C_{sa}}{BM \text{ Gas}}$$

$$SA = \frac{0,00186 \times (6,023 \times 10^{23} \text{ partikel/mol}) \times (0,162 \times 10^{-18} \text{ m}^2)}{28,013 \text{ g/mol}}$$

$$SA = 6,478 \text{ m}^2/\text{g}$$

d. Luas Permukaan Spesifik

$$SS = \frac{SA}{\text{Massa Sampel}}$$

$$SS = \frac{6,478 \text{ m}^2/\text{g}}{0,04328 \text{ g}}$$

$$SS = 149,690 \text{ m}^2/\text{g}^2$$

b. Komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon Aktif

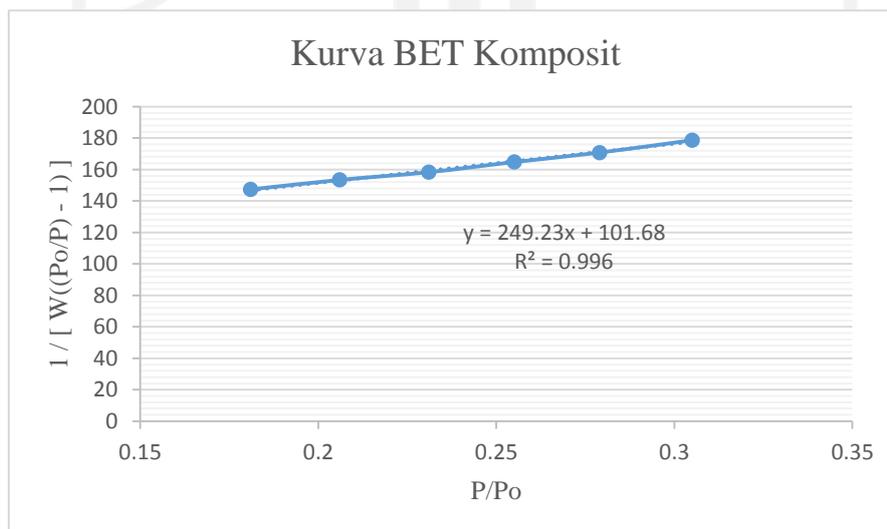
Diketahui :

Csa : $0,162 \times 10^{-18} \text{ m}^2$

Massa Sampel : 0,01497 g

BM Gas : 28,013 g/mol

Tekanan Relatif (P/Po)	Volume Adsorbat (cc/g)	$1 / [W((Po/P) - 1)]$
0,181	1,2023	147,36
0,206	1,3581	153,38
0,231	1,5176	158,31
0,255	1,6598	164,76
0,279	1,8113	170,78
0,305	1,9700	178,64



Berdasarkan grafik BET diatas maka diperoleh:

a. Konstanta BET (C)

$$C = \frac{\text{Slope}}{\text{Intersep}} + 1$$

$$C = \frac{249,23}{101,68} + 1$$

$$C = 3,451$$

b. Berat gas yang teradsorpsi

$$W_m = \frac{1}{\text{Slope} + \text{Intersep}}$$

$$W_m = \frac{1}{249,23 + 101,68}$$

$$W_m = 0,00284$$

c. Luas Permukaan Total

$$SA = \frac{W_m \times N \times C_{sa}}{BM \text{ Gas}}$$

$$SA = \frac{0,00284 \times (6,023 \times 10^{23} \text{ partikel/mol}) \times (0,162 \times 10^{-18} \text{ m}^2)}{28,013 \text{ g/mol}}$$

$$SA = 9,892 \text{ m}^2/\text{g}$$

d. Luas Permukaan Spesifik

$$SS = \frac{SA}{\text{Massa Sampel}}$$

$$SS = \frac{9,892 \text{ m}^2}{0,01497 \text{ g}}$$

$$SS = 660,792 \text{ m}^2/\text{g}^2$$