

**SINTESIS KOMPOSIT Cu/CuO-Cu₂O/KARBON AKTIF DARI
TEMPURUNG KELAPA SAWIT SEBAGAI KATALIS
KONVERSI ISOPROPANOL**

SKRIPSI

**Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Mencapai
Gelar Sarjana Sains (S.Si) pada Program Studi Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta**



Diajukan oleh:

Erina Fransiska

No Mahasiswa: 18612044

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

2022

**SINTESIS KOMPOSIT Cu/CuO-Cu₂O/KARBON AKTIF DARI
TEMPURUNG KELAPA SAWIT SEBAGAI KATALIS
KONVERSI ISOPROPANOL**

SKRIPSI

Yang diajukan oleh:

Erina Fransiska

No Mhs: 18612044

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

21 Februari 2022

Dewan Penguji

Tanda Tangan

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



2. M. Miqdam Musawwa, M.Sc.

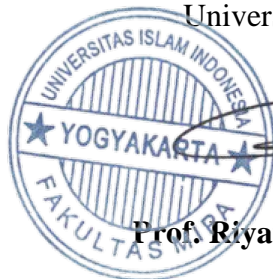


3. Argo Khoirul Anas, M.Sc.



Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Indonesia



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

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Erina Fransiska
NIM : 18612044
Program Studi : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya dengan judul Sintesis Komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit sebagai Katalis Konversi Isopropanol bersifat asli dan tidak berisi material yang diterbitkan sebelumnya kecuali referensi yang disebutkan didalam skripsi ini. Apabila terdapat kontribusi dari penulisan lain, maka penulis tersebut secara eksplisit telah disebutkan dalam skripsi ini.

Apabila dikemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan penuh tanggung jawab.

Yogyakarta, 16 Februari 2022



Erina Fransiska

SINTESIS KOMPOSIT Cu/CuO-Cu₂O/KARBON AKTIF DARI TEMPURUNG KELAPA SAWIT SEBAGAI KATALIS KONVERSI ISOPROPANOL

ERINA FRANSISKA

NIM: 18612044

INTISARI

Tempurung kelapa sawit memiliki kadar karbon dan lignoselulosa yang tinggi. Pada penelitian ini tempurung kelapa sawit disintesis menjadi karbon aktif dengan proses aktivasi menggunakan H₃PO₄ 65% dan pirolisis pada suhu 800 °C. Logam Cu/CuO-Cu₂O diimbangkan pada karbon aktif sebagai material penyangga menjadi komposit dengan metode hidrotermal, yang digunakan sebagai katalis konversi isopropanol. Komposit dikarakterisasi dengan FTIR, XRD, GSA dan SEM. Hasil karakterisasi menunjukkan komposit memiliki gugus fungsi O-H alkohol, alkuna, C=O, C-O, Cu(I)-O dan Cu(II)-O. Komposit memiliki struktur semi kristal dengan luas permukaan spesifik 660,792 m²/g. Citra SEM menunjukkan persebaran pori merata dan rapi pada permukaan komposit, dengan komposisi tembaga 59,15%, oksigen 31,13% dan karbon 9,72%. Komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon aktif telah berhasil mengkonversi isopropanol melalui reaksi dehidrasi menghasilkan propilena dan diisopropil eter.

Kata kunci: tempurung kelapa sawit, Cu/CuO-Cu₂O/Karbon aktif, katalis, konversi isopropanol

SYNTHESIS OF COMPOSITE Cu/CuO-Cu₂O/ACTIVATED CARBON FROM PALM SHELLS AS ISOPROPANOL CONVERSION CATALYST

ERINA FRANSISKA

NIM: 18612044

ABSTRACT

Oil palm shell have high levels of carbon and lignocellulose. In this research, oil palm shell were synthesized into activated carbon by an activation process using H₃PO₄ 65% and pyrolysis at 800 °C. Metal Cu-CuO-Cu₂O was impregnation on activated carbon as a supported material into composite using the hydrothermal method, which was used as a catalyst for isopropanol conversion. The composite were characterized by FTIR, XRD, GSA and SEM. The characterization result, composite had functional groups O-H alcohol, C=O, -COOH, C-O, Cu(I)-O and Cu(II)-O. The composite has a semi-crystalline structure with a spesific surface area 660,792 m²/g. The SEM image shows an even and neat distribution of pores on the surface of composite, with a compositions of copper 59,15%, oxygen 31,13% and carbon 9,72%. The composite Cu/CuO-Cu₂O/Activated carbon has succeeded in converting isopropanol trough a dehydration reaction to produce propylene and diisopropyl ether.

Keywords: oil palm shell, Cu/CuO-Cu₂O/activated carbon, catalyst, isopropanol conversion

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum, Warahmatullahi 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 KOMPOSIT Cu/CuO-Cu₂O/KARBON AKTIF DARI TEMPURUNG KELAPA SAWIT SEBAGAI KATALIS KONVERSI ISOPROPANOL”**. Skripsi ini disusun 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 karena berkat-Nya penulis diberi kemudahan untuk menyelesaikan proposal ini dengan tepat waktu.
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 Prodi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia.
4. Drs. Allwar, M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, pengarahan serta berbagai masukan dalam penyusunan proposal skripsi.
5. Dosen-dosen Program Studi Kimia yang telah memberikan ilmu.
6. Keluarga penulis, terutama kedua orang tua (Erheldi dan Maryati) serta adek (Nadia Franella) dan keluarga penulis lainnya yang telah memberikan dukungan baik secara moral maupun materil.
7. Teguh Santoso yang telah memberikan semangat dan dorongan dalam menyelesaikan skripsi ini.

8. Melly, Agil, Prisil, Desinta, Amal, Ofi dan Rizqi yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian.

9. Berbagai pihak lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Terlepas dari itu, penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih ada kekurangan baik dari segi susunan kalimat maupun tata bahasanya. Oleh karena itu, dengan tangan terbuka penulis menerima segala saran dan kritik dari pembaca agar penulis dapat memperbaiki skripsi ini.

Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis khususnya dan pembaca umumnya.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 08 Februari 2022



Erina Fransiska

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	iii
INTISARI.....	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II.....	4
2.1. Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit.....	4
2.2. Asam Fosfat sebagai Aktivator Pembuatan Karbon Aktif	5
2.3. Pembuatan Karbon Aktif	6
2.4. Pembuatan Komposit dengan Metode Hidrotermal	7
2.5. Komposit Cu/CuO-Cu ₂ O/Karbon Aktif sebagai Katalis	9
2.6. Konversi Isopropanol.....	9
2.7. Hipotesis Penelitian	11
BAB III	12
3.1 Tumbuhan Kelapa Sawit.....	12
3.1.1 Tempurung Kelapa Sawit.....	12
3.2 Karbon Aktif.....	14
3.3 Katalis.....	20
3.4 Komposit	23
3.5 Hidrotermal.....	24
3.6 Tembaga (Cu)	24
3.7 Logam Oksida CuO-Cu ₂ O.....	26
3.8 Karbon Aktif Sebagai Penyangga Katalis	26
3.9 Karakterisasi KA dan Komposit Cu/CuO-Cu ₂ O/KA.....	27

3.8.1	<i>Fourier Transform Infra-Red (FTIR)</i>	27
3.8.2	<i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	28
3.8.3	<i>Gas Sorption Analyzer (GSA)</i>	30
3.8.4	<i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	32
3.10	Konversi Alkohol.....	33
3.11	Isopropanol	34
3.12	Karakterisasi Produk dan Konversi	35
3.12.1	<i>Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS)</i>	35
BAB IV		37
4.1	Alat	37
4.2	Bahan	37
4.3	Cara Kerja Penelitian.....	37
4.3.1	Pembuatan karbon aktif.....	37
4.3.2	Preparasi logam CuO-Cu ₂ O	38
4.3.3	Pembuatan komposit Cu/CuO-Cu ₂ O/Karbon aktif	38
4.3.4	Konversi isopropanol	38
BAB V.....		40
5.1	Aktivasi Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit.....	40
5.2	Sintesis Logam Oksida (CuO-Cu ₂ O).....	41
5.3	Sintesis Komposit Cu/CuO-Cu ₂ O/Karbon Aktif	42
5.4	Karakterisasi Karbon Aktif dan Komposit	42
5.4.1	Karakterisasi <i>Fourier Transform Infra-Red (FTIR)</i>	42
5.4.2	Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	44
5.4.3	Karakterisasi <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	46
5.4.4	Karakterisasi <i>Gas Sorption Analyzer (GSA)</i>	48
5.5	Aplikasi Katalis Cu/CuO-Cu ₂ O/KA pada Konversi Isopropanol.....	51
DAFTAR PUSTAKA		58
LAMPIRAN.....		72

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Analisis Proksimat dan Elemen Katalis	16
Tabel 2. Hasil Perbandingan Aktivator Lain dengan H_3PO_4	18
Tabel 3. Gugus Fungsi Karbon Aktif dan Komposit	43
Tabel 4. Komposisi Unsur dari EDX	46
Tabel 5. Persebaran Senyawa pada Standar dan Produk Konversi Isopropanol...	53



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Struktur Kimia Asam Fosfat	5
Gambar 2. Mekanisme Konversi Isopropanol	10
Gambar 3. Tempurung Kelapa Sawit.....	13
Gambar 4. Klasifikasi KA (a)bubuk, (b)butiran (granular), (c)pellet	15
Gambar 5. Struktur Fisika Karbon Aktif.....	15
Gambar 6. Struktur Kimia Karbon Aktif	16
Gambar 7. Mekanisme Aktivasi Kimia dengan H_3PO_4	19
Gambar 8. Grafik Hubungan E_a dan Katalis	20
Gambar 9. Ilustrasi Komposit	23
Gambar 10. Tembaga (Cu).....	25
Gambar 11. Struktur Logam Oksida CuO dan Cu_2O	26
Gambar 12. Skema Prinsip Kerja FTIR	27
Gambar 13. Diagram Skematik dari Sistem X-Ray Difraktometer	28
Gambar 14. Difraksi Sinar-X Pada Jarak Antar Atom dan Sinar Datang	29
Gambar 15. Bidang dengan Indeks Miller [111]	30
Gambar 16. Klasifikasi Tipe Pori menurut IUPAC	32
Gambar 17. Bagian Instrumen SEM	33
Gambar 18. Struktur Kimia Isopropanol.....	34
Gambar 19. Struktur (a)Diisopropil Eter dan (b)Propilena.....	35
Gambar 20. Struktur Aseton	35
Gambar 21. Skema GC-MS	36
Gambar 23. Reaksi Aktivasi menggunakan H_3PO_4	40
Gambar 24. Serapan IR (a)Karbon Aktif dan (b)Komposit.....	43
Gambar 25. Difraktogram (a)Karbon Aktif dan (b)Komposit.....	44
Gambar 26. Citra SEM-EDX (a)Karbon Aktif (b)Komposit.....	46
Gambar 27. Grafik Isoterm Adsorpsi-Desorpsi (a)Karbon Aktif (b)Komposit....	48
Gambar 28. Kurva BET Karbon Aktif dan Komposit	49
Gambar 29. Ilustrasi Karbon Aktif yang Mengikat Cu/CuO- Cu_2O	51
Gambar 30. Reaktor Konversi Isopropanol	51

Gambar 31. Skema Reaksi Dehidrasi Isopropanol 52
Gambar 32. (a)Standar (b)Konversi Isopropanol 130 °C (c)180 °C (d)230 °C..... 53
Gambar 33. Senyawa Kimia pada Standar dan Hasil Konversi Isopropanol..... 55



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Karbon aktif merupakan material karbon berstruktur amorf dengan luas permukaan yang besar dan tingkat porositas tinggi. Penggunaan karbon aktif semakin meluas seiring dengan kebutuhan karbon aktif di berbagai aplikasi. Karbon aktif memiliki sifat yang sangat baik seperti stabilitas termal yang baik, kinerja tinggi dalam konduktivitas listrik dan reaktivitas permukaan yang menjadi alasan penggunaan karbon aktif akhir-akhir ini ([Yahya et al., 2018](#)).

Karbon aktif dapat disintesis dari berbagai limbah pertanian karena ketersediaannya yang melimpah, biaya rendah, ramah lingkungan dari segi penggunaannya dan terbarukan. Karakteristik limbah pertanian yaitu berpori, ringan serta memiliki kandungan senyawa organik seperti lignoselulosa. Semakin tinggi kandungan lignoselulosa pada bahan baku karbon aktif maka semakin baik karbon aktif yang dihasilkan. Salah satu limbah pertanian yang paling banyak mengandung lignoselulosa adalah tempurung kelapa sawit ([Nurdiansah & Susanti, 2013](#)).

Tembaga (Cu) merupakan material yang paling banyak digunakan pada industri katalis terutama dalam mengkatalisis reaksi anorganik. Hal ini dikarenakan tembaga memiliki aktivitas katalitik sangat baik dan konduktivitas tinggi ([Lan et al., 2019](#)). Logam ini juga selektif untuk reaksi dehidrogenasi alkohol tetapi memiliki aktivitas yang rendah ([De Waele et al., 2020](#)). Dengan demikian adanya penambahan logam kedua mungkin bisa meningkatkan aktivitas katalitik dan masa pakai katalis serta tetap mempertahankan selektivitas.

Tembaga (II) oksida (CuO) dan tembaga (I) oksida (Cu₂O) merupakan golongan tembaga dengan aktivitas katalitik unggul dikarenakan energi celah pita yang sempit masing-masing 1,2-1,8 eV dan 1,8-2,2 eV ([Khataee et al., 2019](#)). Tembaga oksida ini memiliki sifat non-toksik, stabilitas kimia yang tinggi, biaya rendah dan dapat disintesis dengan metode sederhana (Mosleh et al., 2018). CuO dan Cu₂O merupakan logam oksida yang banyak digunakan sebagai katalisator dan efektif dalam proses degradasi ([Barakat et al., 2020](#)).

Perkembangan produksi biofuel sebagai energi terbarukan semakin meningkat menyebabkan berkurangnya ketersediaan bahan bakar fosil serta masalah lingkungan. Diisopropil eter merupakan aditif pada bensin yang dapat meningkatkan pembakaran dan mengurangi emisi CO dan hidrokarbon. Diisopropil eter digunakan sebagai pengganti dari metil tert-butyl eter yang dianggap tidak ramah lingkungan dan bersifat karsinogenik ([K. F. Chen et al., 2010](#)). Selain itu, propilena merupakan bahan baku kedua yang digunakan untuk pembuatan plastik dan tekstil. Propilena juga digunakan dalam produksi berbagai bahan kimia seperti polipropilena, fenol dan aldehida ([Murat et al., 2020](#)). Propilena diproduksi dari bahan bakar fosil seperti bensin dan gas alam. Berdasarkan hal tersebut, penting dilakukan pendekatan untuk memproduksi bahan bakar yang ramah lingkungan dan hemat biaya. Salah satu cara yaitu dengan konversi isopropanol. Isopropanol merupakan golongan pelarut VOC yang dianggap lebih berbahaya dibandingkan etanol ([Kökdemir & Acaralı, 2021](#)).

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon aktif menggunakan metode hidrotermal. Karbon aktif sebagai penyangga katalis disintesis dari tempurung kelapa sawit yang diaktivasi dengan H₃PO₄ 65% kemudian dipirolisis pada suhu 800 °C selama 3 jam. Karbon aktif dan komposit dikarakterisasi menggunakan instrumen FTIR, XRD, GSA dan SEM. Komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon aktif digunakan sebagai katalis dalam proses konversi isopropanol. Hasil dari proses aktivitas katalitik diuji menggunakan instrumen GC-MS.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan maka rumusan masalah penelitian ini adalah :

1. Bagaimanakah sintesis dan karakterisasi karbon aktif dari limbah tempurung kelapa sawit?
2. Bagaimanakah sintesis dan karakterisasi katalis Cu/CuO-Cu₂O/Karbon aktif tempurung kelapa sawit?
3. Bagaimanakah selektivitas katalis Cu/CuO-Cu₂O/Karbon aktif pada proses konversi isopropanol?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian berdasarkan rumusan masalah yang telah disebutkan adalah:

1. Mengetahui cara sintesis dan karakterisasi karbon aktif dari limbah tempurung kelapa sawit.
2. Mengetahui cara sintesis dan karakterisasi katalis Cu/CuO-Cu₂O/Karbon aktif tempurung kelapa sawit.
3. Mengetahui selektivitas katalis Cu/CuO-Cu₂O/Karbon aktif pada proses konversi isopropanol.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian berdasarkan tujuan penelitian yang telah disebutkan adalah:

1. Dapat mengetahui cara sintesis dan karakterisasi karbon aktif dari limbah tempurung kelapa sawit.
2. Dapat mengetahui cara sintesis dan karakterisasi katalis Cu/CuO-Cu₂O/Karbon aktif tempurung kelapa sawit.
3. Dapat mengetahui selektivitas katalis Cu/CuO-Cu₂O/Karbon aktif pada proses konversi isopropanol.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit

Menurut [Maulinda et al., \(2017\)](#) karbon aktif merupakan padatan amorf yang didominasi oleh atom karbon bebas dan memiliki pori cukup luas sehingga memiliki kemampuan adsorpsi yang baik. Sifat adsorpsi dari karbon aktif sangat selektif bergantung pada struktur pori dan luas permukaannya. Struktur pori berhubungan dengan daya serap yang dimiliki oleh karbon, semakin banyak pori maka memiliki daya adsorpsi yang tinggi. Dengan demikian kecepatan adsorpsinya akan meningkat. Karbon aktif dapat diproduksi dari limbah pertanian. Karakteristik limbah pertanian yaitu berpori, ringan serta memiliki kandungan senyawa organik seperti lignoselulosa. Lignoselulosa merupakan komponen polisakarida yang tersusun dari tiga jenis polimer yaitu lignin, selulosa dan hemiselulosa. Semakin tinggi kandungan lignoselulosa pada bahan baku karbon aktif maka semakin baik karbon aktif yang dihasilkan. Salah satu limbah pertanian yang paling banyak mengandung lignoselulosa adalah tempurung kelapa sawit ([Nurdiansah & Susanti, 2013](#))

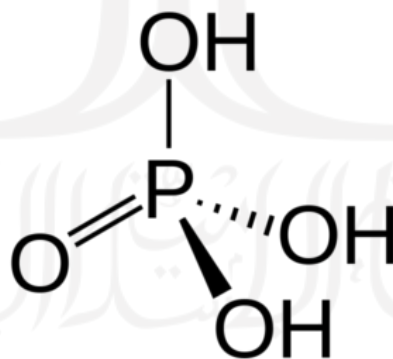
Penelitian ([Fu et al., 2016](#)) menyebutkan karbon aktif dapat diproduksi dari beberapa bahan baku. Bahan baku yang dapat dijadikan karbon aktif antara lain kayu, batu bara, bambu dan tempurung kelapa. Dalam menentukan bahan baku karbon aktif terdapat beberapa kriteria seperti ketersediaannya berlimpah sehingga meminimalisir biaya, kandungan karbon tinggi dan kandungan abu rendah, memiliki kemungkinan %hasil yang tinggi dan tidak mudah terdegradasi sehingga memudahkan penyimpanan ([Yahya et al., 2018](#)).

Karbon aktif yang baik dapat dibuat dari material yang mengandung lignoselulosa yang tinggi. Tempurung kelapa sawit memiliki kandungan lignin sebesar 44 w/w%, selulosa sebesar 27,7 w/w % dan hemiselulosa sebesar 21,6 w/w % ([Rugayah et al., 2014](#)). Menurut [Izhab et al., \(2017\)](#) tempurung kelapa sawit merupakan material yang baik sebagai penyangga katalis karena luas permukaan yang tinggi, kaya akan pori dan memiliki kandungan karbon yang tinggi.

2.2. Asam Fosfat sebagai Aktivator Pembuatan Karbon Aktif

Aktivasi karbon aktif dapat dilakukan dengan dua cara yaitu secara fisika dan secara kimia. Aktivasi secara fisika dilakukan dengan dua tahap yaitu karbonisasi prekursor (dibawah suhu 700 °C) diikuti oleh gasifikasi parsial arang yang dihasilkan oleh gas pengoksidasi (suhu tinggi 700-1100 °C). Sedangkan secara kimia terdiri dari proses satu tahap dan dua tahap. Aktivasi kimia satu tahap dilakukan dengan impregnasi prekursor dengan bahan kimia diikuti dengan pirolisis pada suhu 400-800 °C di bawah aliran nitrogen ([Nahil & Williams, 2012](#)). Sedangkan aktivasi kimia dua tahap prekursor dikarbonisasi lalu diimpregnasi dengan bahan kimia, kemudian diaktifkan pada suhu yang berbeda ([Shuahua et al., 2017](#)).

Aktivasi secara kimia berfungsi untuk memutuskan rantai hidrokarbon senyawa organik menggunakan bahan kimia. Aktivasi secara fisika berfungsi mengembangkan struktur rongga yang ada pada bahan baku karbon, menghilangkan komponen yang mudah menguap serta membuang produksi tar. Metode aktivasi secara kimia memiliki keuntungan yaitu porositas dapat disesuaikan dengan mudah, prosesnya sederhana dan hasil akhir memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi ([Bergna et al., 2018](#)).



Gambar 1. Struktur Kimia Asam Fosfat
(Sumber: [NCBI, 2022](#))

Bahan kimia yang dapat digunakan sebagai agen aktivasi antara lain asam sulfat (H_2SO_4), asam klorida (HCl), asam fosfat (H_3PO_4), seng klorida (ZnCl_2), kalium hidroksida (KOH) dan lain-lain ([Indihani et al., 2017](#)). Menurut

[Heidarinejad et al., \(2020\)](#) masing-masing aktivator memberikan pengaruh yang berbeda terhadap volume pori dan luas permukaan karbon aktif yang dihasilkan. Asam fosfat (H_3PO_4) merupakan aktivator yang baik untuk bahan baku karbon aktif dengan kandungan lignoselulosa yang tinggi. Selain itu, asam fosfat (H_3PO_4) juga bersifat ramah lingkungan serta dapat membentuk lapisan penghubung seperti fosfat dan ester polifosfat yang dapat melindungi struktur pori internal sehingga mencegah pembakaran berlebih dalam [\(J. Xu et al., 2014\)](#).

Asam fosfat dipilih sebagai aktivator karena memiliki karakter kovalen dan stabilitas termalnya yang tinggi. Selain itu H_3PO_4 juga dapat menghasilkan pori-pori permukaan arang lebih banyak dan teratur disebabkan oleh sifat H_3PO_4 yang reaktif dengan air sehingga lebih mudah menguraikan senyawa hidrokarbon [\(Aritonang & Hestina, 2018\)](#). Keunggulan lainnya adalah mudah dalam proses pencucian yaitu menggunakan akuades untuk menghilangkan pengotor dan senyawa kimia lainnya yang masih melekat pada pori-pori [\(Saragih et al., 2020\)](#).

Pada penelitian [Higai et al., \(2021\)](#) semakin meningkat konsentrasi H_3PO_4 yang digunakan akan menyebabkan %rendemen hasil, luas permukaan, volume pori total, volume pori dan rata-rata diameter pori semakin meningkat. Waktu aktivasi yang semakin lama (1-4 jam) dapat meningkatkan diameter pori rata-rata yaitu 0,7-0,8 nm. Hal ini berarti dengan rasio impregnasi asam fosfat yang lebih tinggi terhadap tempurung kelapa dan waktu aktivasi yang lebih lama menjadi kondisi favorit untuk pertumbuhan mesopori.

2.3. Pembuatan Karbon Aktif

Pada dasarnya pembuatan karbon menjadi karbon aktif merupakan proses untuk membuka pori-pori agar menjadi lebih luas. Karbon aktif dapat diproduksi menggunakan berbagai bahan baku yang biasanya mengandung karbon. Pembuatan karbon aktif berbahan dasar ampas tebu dilakukan dengan karbonisasi yang bertujuan untuk menghasilkan arang dari ampas tebu. Selanjutnya arang diaktivasi menggunakan H_3PO_4 selama 90 menit dan dipanaskan pada suhu $400\text{ }^\circ\text{C}$ sebagai proses pengaktifan. Proses terakhir karbon aktif dicuci dengan akuades hingga pH netral dan dikeringkan dalam oven selama 2 jam pada suhu $200\text{ }^\circ\text{C}$. Hasil senyawa

pembentuk biodiesel dengan GC didapatkan komposisi FAME oleat, linoleat dan palmitat yaitu 43,4181%, 10,5952% dan 38,6358% ([Sari & Kembaren, 2019](#)).

Pada pembuatan karbon aktif dengan tandan kelapa sawit dilakukan dengan aktivasi fisika. Tandan kelapa sawit dikeringkan dan dihaluskan hingga berukuran 0,5-1 mm lalu disimpan pada desikator untuk menjaga kadar air tetap berada di bawah 10%. Selanjutnya dilakukan tahap karbonisasi dengan variasi suhu dibawah aliran nitrogen, diperoleh hasil berupa *biochar*. Biochar ini kemudian diaktivasi menggunakan tungku tabung pirolisis *biochar* dengan suhu 600, 700 dan 800 °C dengan kehadiran 15%, 60% dan 100% CO₂ dan waktu penahanan 30, 60 dan 120 menit. %rendemen karbon aktif dan kandungan karbon yang dihasilkan menunjukkan sedikit perbedaan dari tiap temperatur. Hasil terbaik yaitu dari prekursor yang diaktivasi pada suhu aktivasi 700°C, 60% CO₂ dan waktu penahanan terpendek ([Osman et al., 2016](#)).

Karbon aktif juga dapat dibuat dari tempurung kelapa, dimana tempurung kelapa dikarbonisasi terlebih dahulu pada suhu 500 °C selama 4 jam. Selanjutnya diaktivasi dengan KOH konsentrasi 1-5 N selama 18, 21 dan 24 jam. Karbon aktif terbaik diperoleh dari proses aktivasi menggunakan KOH 5 N dengan waktu impregnasi 21 jam. Karbon aktif ini digunakan sebagai katalis untuk sintesis biodiesel dengan variasi katalis 1, 3 dan 5% temperatur reaksi 45, 55, 65 dan 75 °C dan minyak goreng:metanol (1:6). Biodiesel terbaik diperoleh dari variasi katalis 3% pada suhu 55 °C yaitu dengan rendemen 87,72% ([Zamhari et al., 2021](#)).

Tangkai kapas dijadikan karbon aktif dengan aktivasi kimia satu tahap dan dua tahap. Karbon aktif dari tangkai kapas yang diaktivasi secara satu tahap dengan impregnasi menggunakan asam fosfat dan dilanjutkan pirolisis di bawah aliran nitrogen pada suhu 600 °C memberikan luas permukaan yang sangat baik. Luas permukaan yang diperoleh sebesar 1342,93 m²/g yang disertai dengan proporsi volume mesopori yang tinggi (97%) ([Cheng et al., 2021](#)).

2.4. Pembuatan Komposit dengan Metode Hidrotermal

Komposit dapat disintesis dengan berbagai metode seperti sol-gel, pirolisis dan hidrotermal ([Cahyono, 2013](#)). Diantara metode tersebut sol-gel memiliki popularitas didalam industri dibanding yang lain. Karena metode sol-gel mampu

menghasilkan komposit dengan kualitas tinggi dan sangat homogen. Namun metode ini sangat sensitif dalam proses pembuatannya. Kelemahan lain dari metode sol-gel yaitu proses sintesis memakan waktu cukup lama dan harga prekursor yang tinggi ([Bokov et al., 2021](#)). Pirolisis merupakan metode dengan proses pemanasan tanpa adanya oksigen, sehingga terjadi dekomposisi senyawa organik pada suhu dan tekanan yang tinggi. Metode ini memerlukan reaktor khusus dan energi yang besar ([Rahman et al., 2015](#)).

Hidrotermal merupakan metode sintesis kristal tunggal dari larutan berair melalui proses pemanasan dalam *autoclave*. Penggunaan air ini bertujuan untuk merubah struktur kristal dan membentuk material berpori. Kelebihan dari metode hidrotermal yaitu dilakukan pada sistem tertutup sehingga bebas polusi, proses sintesis sederhana dan menghasilkan produk kristal yang homogen pada temperatur rendah. Hidrotermal juga merupakan metode sintesis yang baik untuk mengontrol porositas ([Dahiya et al., 2018](#)).

Menurut [Cano-Cassanova et al \(2018\)](#), katalis TiO_2 yang disintesis menggunakan metode hidrotermal lebih aktif dibandingkan dengan metode sol-gel. TiO_2 yang dihasilkan digunakan sebagai katalis dalam aplikasi fotodegradasi. Katalis yang sukses dalam proses degradasi yaitu TiO_2 yang disintesis dengan metode hidrotermal. Karena katalis hasil sintesis hidrotermal memiliki luas permukaan yang tinggi dan kandungan anatase yang tinggi.

Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CuO-KA}$ disintesis menggunakan metode yang murah dan sederhana dengan metode hidrotermal. Proses dilakukan dengan mencampurkan Fe_3O_4 dan karbon aktif hasil sintesis kedalam air suling. Ditambahkan tembaga asetat dalam larutan yang sama sambil diaduk dan diteteskan NaOH hingga pH= 10-11. Pindahkan larutan ke *autoclave* hidrotermal dan dipanaskan pada suhu 200 °C selama 5 jam. Komposit yang digunakan untuk menghilangkan *bromophenol blue* dalam air limbah. Berdasarkan hasil penelitian, komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CuO-KA}$ dianggap sebagai adsorben potensial untuk menghilangkan BPB dalam air limbah dan membantu mengendalikan pencemaran air ([Alorabi et al., 2020](#)).

2.5. Komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon Aktif sebagai Katalis

Katalis heterogen paling banyak dikembangkan pada saat ini karena penggunaannya yang lebih efektif dan efisien. Katalis heterogen banyak disintesis dengan cara impregnasi logam transisi atau logam oksida pada material penyangga yang bertujuan untuk menghasilkan persebaran material katalis yang optimum dan luas permukaan yang lebih besar. Katalis heterogen merupakan katalis padat dengan sifat heterogen yang terdiri dari logam sebagai material aktif dan bahan penyangga. Katalis heterogen lebih stabil dan ramah lingkungan dibanding katalis homogen. Katalis ini juga mudah dipisahkan dari campuran reaksi dengan cara filtrasi dan lebih ekonomis karena dapat digunakan berkali-kali ([Zuhra et al., 2015](#)).

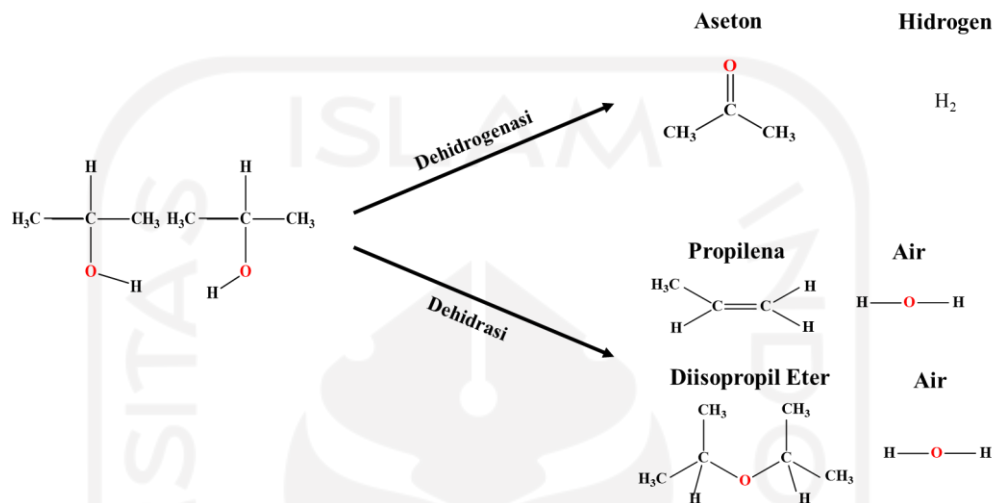
Pada penelitian [Tran et al., \(2020\)](#) komposit Cu/Cu₂O/CuO@C berhasil disintesis dari Cu₃(benzena-1,3,5-trikarboksilat) *hybrid* dengan cara pirolisis. Hasil karakterisasi menunjukkan komposit Cu/Cu₂O/CuO@C memiliki struktur berpori dengan banyak ikatan kimia (C=O, OCO, COH dan lain-lain) yang ada dipermukaan. Komposit Cu/Cu₂O/CuO@C memberikan kapasitas serapan maksimum yang tinggi untuk siprofloksasin dan tetrasiklin yaitu 67,5-112,5 mg/g. Komposit Cu/Cu₂O/CuO@C sebagai katalis dapat digunakan kembali hingga 4 kali.

Pada penelitian [Permana et al., \(2020\)](#) mengenai preparasi dan karakterisasi katalis Cu/ZnO dengan material *support* karbon aktif dari tempurung sawit. Katalis Cu/ZnO dengan material *support* karbon aktif teraktivasi H₃PO₄ dan ZnCl₂ disintesis menggunakan metode impregnasi. Hasil karakterisasi menunjukkan katalis dengan material *support* teraktivasi ZnCl₂ memiliki kristalinitas dan kadar unsur kimia tertinggi yaitu CuO pada sudut $2\theta = 35,3^\circ$ dan kadar Cu 45,8%.

2.6. Konversi Isopropanol

Penggunaan pelarut telah terjadi peralihan menjadi pelarut bebas *Volatile Organic Compound* (VOC) karena dianggap lebih ramah lingkungan dan aman untuk kesehatan. Isopropanol atau isopropil alkohol (C₃H₈O) merupakan alkohol yang sering digunakan sebagai pelarut dan reaktan di industri kimia. Isopropanol termasuk pelarut VOC (*Volatile Organic Compound*) yang dikenal lebih beracun dibandingkan dengan etanol ([Kökdemir & Acaralı, 2021](#)). Konversi alkohol

merupakan proses perubahan alkohol menjadi suatu produk dengan adanya katalis. Produk dari proses dehidrasi alkohol adalah olefin dan eter ([Kostetsky & Mpourmpakis, 2015](#)), sedangkan dari proses dehidrogenasi alkohol yaitu aldehid dan keton ([Speight, 2017](#)).



Gambar 2. Mekanisme Konversi Isopropanol
(Sumber: [Balaz & Palkova, 1984](#))

Konversi isopropanol menjadi diisopropil eter dan propilena terjadi melalui reaksi dehidrasi isopropanol. Sedangkan konversi menjadi aseton terjadi melalui reaksi dehidrogenasi isopropanol. Pada penelitian ini efek keasaman impregnasi katalis mempengaruhi produk konversi isopropanol. Hasil uji katalitik menunjukkan katalis memiliki selektivitas dominan mengikuti jalur dehidrasi. Katalis yang diimpregnasi pada pH basa memberikan selektivitas 100% terhadap propilena. Katalis yang diimpregnasi pH asam ($\text{Fe}_3\text{O}_4/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) memberikan selektivitas 55% terhadap diisopropil eter. Dengan diembankan tembaga pada katalis ($\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CuO}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$), konversi mengalami peningkatan dengan selektivitas terhadap diisopropil eter menurun. Sedangkan katalis yang diimpregnasi pada pH 6 memberikan selektivitas pada kedua produk, dengan propilena yang mendominasi ([Armenta et al., 2019](#)).

Penelitian [Abdelhamid et al., \(2020\)](#) dilakukan konversi isopropanol dengan katalis $\text{CuO}@C$ yang disintesis dari kerangka logam-organik tembaga tereftalat melalui proses karbonisasi. Uji katalitik dilakukan pada reaktor aliran tetap yang dilengkapi kontrol suhu. Kondisi reaksi yaitu 100 mg katalis, reaktan IPA 4,5% dan

nitrogen dengan laju alir total 50 mL/menit pada suhu 275 °C. Katalis CuO@C memberikan selektivitas lebih tinggi (100%) pada reaksi dehidrogenasi dibandingkan dehidrasi dan peningkatan konversi (100%) isopropanol menjadi aseton dan hidrogen.

Pada penelitian [Ali et al., \(2014\)](#) dilakukan sintesis dan karakterisasi Co, Ni dan Cu yang di *support* HZSM-5 untuk konversi katalitik selektif isopropanol menjadi aseton dan atau propilena. Katalis HZSM-5 yang mengandung Co(II), Ni(II) dan Cu(II) disintesis dengan metode impregnasi basah. Proses katalitik dilakukan pada reaktor dengan kondisi reaksi yaitu 50 mg katalis, nitrogen dengan laju alir total 40 mL/menit dan variasi suhu 150-275 °C (interval 25 °C). Hasil proses katalitik yaitu Cu/HZSM-5 merupakan katalis paling aktif dalam konversi isopropanol yang memberikan selektivitas sebesar 58% menjadi aseton dan 42% menjadi propilena pada suhu 150 °C sementara Co/HZMS-5 paling tidak aktif. HZMS-5 hanya bertindak sebagai katalis dehidrasi aktif mengubah isopropanol menjadi propilena. Cu/ dan Ni/HZSM-5 bertindak sebagai dehidrasi dan katalis dehidrogenasi yang menghasilkan propilena serta aseton, meskipun pada konversi isopropanol tinggi hanya propilena yang diperoleh.

2.7. Hipotesis Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon aktif menggunakan metode hidrotermal. Karbon aktif yang berperan sebagai penyangga katalis disintesis dari tempurung kelapa sawit yang diaktivasi dengan H₃PO₄ 65% dan dipirolisis pada suhu 800 °C selama 3 jam. Komposit hasil modifikasi ini dapat meningkatkan kualitas sebagai katalis heterogen dalam proses konversi isopropanol. Konversi isopropanol dengan katalis Cu/CuO-Cu₂O/Karbon aktif diharapkan diperoleh senyawa propilena, diisopropil eter dan aseton.

BAB III DASAR TEORI

3.1 Tumbuhan Kelapa Sawit

Kelapa sawit merupakan komoditas utama dalam perkembangan perekonomian Indonesia. Negara penghasil kelapa sawit terbesar di dunia adalah Indonesia. Penyebarannya di daerah Aceh, Kalimantan, Sumatera, Sulawesi, Jawa dan Irian Jaya ([Suryani et al., 2018](#)). Kelapa sawit terdiri dari beberapa spesies yaitu *E.guineensis* Jacq ([Febrianto et al., 2019](#)), *E.oleifera* dan *E.odora* ([Hani et al., 2019](#)). Klasifikasi kelapa sawit menurut ([Corley & Tinker, 2007](#)) sebagai berikut:

Divisi : *Spermatophyta*
Sub divisi : *Angiospermae*
Kelas : *Dicotyledonae*
Keluarga : *Palmaceae*
Sub keluarga : *Cocoideae*
Genus : *Elaeis*
Spesies : *Elaeis guineensis* Jacq

Industri pengolahan minyak kelapa sawit terus mengalami peningkatan, hal ini disebabkan minyak kelapa sawit merupakan industri induk yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam industri lainnya seperti industri makanan, kosmetik, cat dan sabun. Bahkan belakangan ini minyak kelapa sawit dimanfaatkan sebagai bahan utama produksi bahan bakar alternatif.

Meningkatnya industri pengolahan minyak kelapa sawit juga menghasilkan limbah dari proses industri yang lebih banyak. Limbah yang dihasilkan berupa limbah padat, cair dan gas. Limbah padat dari pengolahan minyak kelapa sawit yaitu tandan kosong, tempurung, tandan, lumpur sawit, serat dan lain-lain ([Susanto et al., 2017](#)).

3.1.1 Tempurung Kelapa Sawit

Tempurung kelapa sawit merupakan limbah yang paling banyak diperoleh dari proses pengolahan minyak kelapa sawit, yaitu mencapai 60% dari produksi minyak. Tempurung kelapa sawit merupakan bagian paling keras diantara komponen pada

kelapa sawit dengan ketebalan 2-8 mm. Sifat keras ini disebabkan oleh adanya kandungan silika (SiO_2) yang tinggi pada tempurung kelapa sawit ([Purwanti & Artiningsih, 2019](#)).

Sebagai limbah, tempurung kelapa sawit mempunyai nilai ekonomis yang rendah. Tempurung kelapa sawit memiliki sifat *non-toksik*, tetapi jika diabaikan akan mencemari lingkungan dan jika dibakar secara bebas dapat mencemari udara ([Askaputra & Yuliansyah, 2020](#)). Kalori pada tempurung kelapa sawit mencapai 20,093 Kkal/Kg. Hingga saat ini tempurung kelapa sawit pada berbagai industri pengolahan minyak kelapa sawit belum dimanfaatkan secara maksimal ([Abdullah et al., 2019](#)).



Gambar 3. Tempurung Kelapa Sawit
(Sumber: [Mo et al., 2016](#))

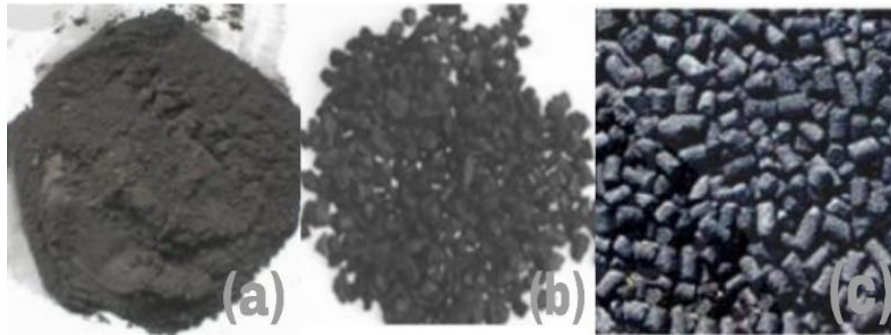
Tempurung kelapa sawit memiliki kandungan lignoselulosa yang tinggi. Lignoselulosa merupakan komponen polisakarida yang terdiri dari tiga tipe polimer yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin ([Nurdiansah & Susanti, 2013](#)). Kandungan lignoselulosa dalam kelapa sawit yaitu terdiri dari lignin sebesar 44 w/w%, selulosa sebesar 27,7 w/w% dan hemiselulosa sebesar 21,6 w/w% ([Rugayah et al., 2014](#)). Tempurung kelapa sawit merupakan material yang baik sebagai penyangga katalis karena luas permukaan yang tinggi, kaya akan pori dan memiliki kandungan karbon yang tinggi serta kandungan abu yang rendah ([Izhab et al., 2017](#)).

3.2 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan padatan amorf yang didominasi oleh atom karbon bebas yang diaktivasi dengan aktivator sehingga menjadi karbon aktif ([Maulinda et al., 2017](#)). Karbon aktif memiliki luas permukaan yang sangat besar, pori-pori yang lebar, sifat fisika kimia yang baik, gugus fungsi yang unik, stabilitas kimia dan termal yang baik ([Wang et al., 2015](#)). Karbon aktif umumnya memiliki luas permukaan berkisar antara 300-3500 m²/g ([Kurniawan et al., 2014](#)). Luas permukaan dari karbon aktif ini disebabkan oleh struktur pori-pori yang terdapat pada karbon aktif sehingga dapat digunakan sebagai penyangga (*support*) katalis ([Ali Sabit, 2012](#)).

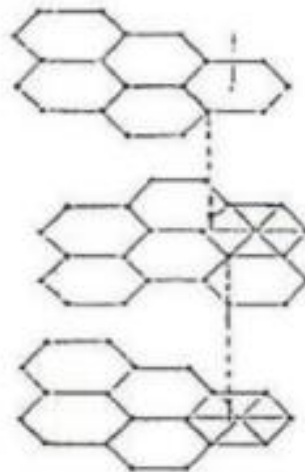
Penggunaan karbon aktif semakin meluas seiring dengan kebutuhan karbon aktif pada berbagai aplikasi. Struktur berpori yang melimpah dan kemampuan adsorpsi yang tinggi menjadikan karbon aktif digunakan sebagai adsorben dalam industri pemurnian air, pengolahan limbah dan menghilangkan sejumlah pengotor. Karbon aktif juga dapat digunakan sebagai bahan pembuatan keramik berpori ([Amin et al., 2016](#)). Selain itu, karbon aktif juga digunakan sebagai penyangga (*support*) katalis pada reaksi sintesis glukosa ([Huang & Fu, 2013](#)) dan biodiesel. Sebagai penyangga (*support*) katalis, karbon aktif sangat aktif pada fasa cair dan gas ([Dhawane et al., 2016](#)).

Karbon aktif berdasarkan bentuknya dapat dibedakan menjadi tiga yaitu bubuk, butiran (granular) dan pellet. Karbon aktif berbentuk serbuk memiliki ukuran <0,18 mm digunakan dalam aplikasi fasa gas dan cair. Contoh aplikasi karbon aktif bentuk bubuk yaitu dalam industri pengolahan air minum dan industri farmasi. Karbon aktif berbentuk granular, memiliki ukuran 0,2-5 mm dengan bentuk tidak teratur. Jenis ini digunakan dalam aplikasi fasa gas dan cair seperti untuk pengolahan air limbah dan air tanah, pemurnian emas dan pemurnian pelarut. Karbon aktif berbentuk pellet memiliki diameter 0,8-5 mm yang digunakan dalam aplikasi fasa gas, karena karakteristik dari jenis ini yaitu tekanan dan kadar abu rendah serta kekuatan mekanik yang tinggi. Jenis karbon aktif yang paling sering digunakan adalah bubuk dan butiran (granular) ([Toczko, 2012](#)).



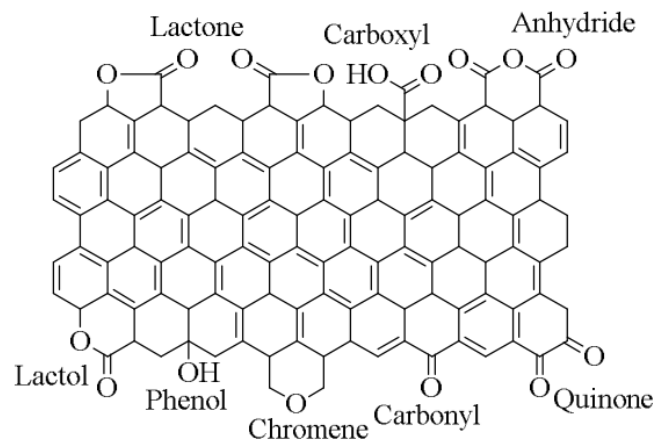
Gambar 4. Klasifikasi KA (a)bubuk, (b)butiran (granular), (c)pellet
(Sumber: [Marsh & Rodríguez-Reinoso, 2006](#))

Gambar 5, merupakan struktur fisika dari karbon aktif. Karbon aktif merupakan material amorf tersusun atas atom karbon yang terikat secara kovalen dalam kisi heksagonal. Pada umumnya ukuran kristalin 0,7-1,1 nm yang menunjukkan adanya 20-30 heksagon ditiap 3 sampai 4 lapisan atom karbon. Diantara kristal karbon terdapat rongga yang diisi oleh karbon amorf yang berikatan 3 dimensi dengan 8 atom lain termasuk oksigen. Susunan karbon yang acak diselingi oleh reaktan atau celah berupa pori ([Tadda et al., 2016](#)).



Gambar 5. Struktur Fisika Karbon Aktif
(Sumber: [Marsh & Rodríguez-Reinoso, 2006](#))

Pada karbon aktif, selain mengandung unsur karbon juga mengandung gugus lain seperti hidrogen dan oksigen yang terikat pada berbagai gugus lain seperti karboksil, fenol, karbonil, lakton dan gugus eter seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Gugus fungsional ini terbentuk saat proses aktivasi ([Feng et al., 2015](#)).



Gambar 6. Struktur Kimia Karbon Aktif
(Sumber: [Feng et al., 2015](#))

Karbon aktif dapat disintesis dari berbagai limbah pertanian karena ketersediaannya yang melimpah, biaya rendah, ramah lingkungan dari segi penggunaannya dan terbarukan. Karakteristik limbah pertanian yaitu berpori, ringan serta memiliki kandungan senyawa organik seperti selulosa, hemiselulosa dan lignin ([Ukanwa et al., 2019](#)). Adapun limbah pertanian yang dapat dijadikan karbon aktif antara lain kayu, batu bara, bambu dan tempurung kelapa ([Fu et al., 2016](#)), secara lengkap ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Analisis Proksimat dan Elemen Katalis

Sampel	Analisis Proksimat				Analisis Elemen				
	Mad	Aad	Vad	Fcad	Cad	Had	Nad	Sad	Oad
KA-Kayu	17,59	15,80	6,41	60,20	61,99	0,65	0,33	0,59	3,05
KA-Batu Bara	4,80	12,15	4,60	78,45	79,53	0,81	0,37	0,46	1,88
KA-Bambu	11,36	3,38	8,44	76,82	78,78	0,79	0,43	-	5,26
KA-Tempurung Kelapa	11,20	1,71	5,20	81,89	83,31	0,74	0,18	0,04	2,82

ad: dasar udara kering; M: kelembaban; A: abu; V: materi yang mudah menguap; FC: karbon tetap

Dalam menentukan bahan baku karbon aktif terdapat beberapa kriteria seperti ketersediaannya berlimpah sehingga meminimalisir biaya, kandungan karbon tinggi dan kandungan abu rendah, memiliki kemungkinan %hasil yang tinggi dan

tidak mudah terdegradasi sehingga memudahkan penyimpanan ([Yahya et al., 2018](#)).

Pembuatan karbon aktif merupakan proses untuk membuka pori-pori agar menjadi lebih luas yang terdiri dari dua tahap yaitu karbonisasi dan aktivasi. Karbonisasi merupakan tahapan memperkaya kandungan atom karbon dengan mengkonversi spesies non-karbon secara termal. Bahan organik dikarbonisasi menggunakan suhu tinggi sehingga melepaskan sebagian besar komponen volatil yang merupakan hasil konversi selulosa, hemiselulosa dan lignin. Rendemen produk hasil karbonisasi dalam kisaran 25-50% tergantung bahan baku dan parameter produksi yang digunakan ([Mohamad Nor et al., 2013](#)).

Aktivasi merupakan tahapan yang berfungsi untuk memperbesar diameter pori, meningkatkan porositas karbon aktif dan volume pori. Terdapat dua cara yaitu secara fisika dan secara kimia. Aktivasi secara fisika dilakukan dengan dua tahap yaitu karbonisasi prekursor (dibawah suhu 700 °C) diikuti oleh gasifikasi parsial arang yang dihasilkan oleh gas pengoksidasi (suhu tinggi 700-1100 °C). Sedangkan secara kimia terdiri dari proses satu tahap dan dua tahap. Aktivasi kimia satu tahap dilakukan dengan impregnasi prekursor dengan bahan kimia diikuti dengan pirolisis pada suhu 400-800 °C di bawah aliran nitrogen ([Nahil & Williams, 2012](#)). Sedangkan aktivasi kimia dua tahap prekursor dikarbonisasi lalu diimpregnasi dengan bahan kimia, kemudian diaktifkan pada suhu yang berbeda ([Shuahua et al., 2017](#)).

Aktivasi secara kimia berfungsi untuk memutuskan rantai hidrokarbon senyawa organik menggunakan bahan kimia. Aktivasi secara fisika berfungsi mengembangkan struktur rongga yang ada pada bahan baku karbon, menghilangkan komponen yang mudah menguap serta membuang produksi tar. Metode aktivasi secara kimia memiliki keuntungan yaitu porositas dapat disesuaikan dengan mudah, prosesnya sederhana dan hasil akhir memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi ([Bergna et al., 2018](#)).

Agen pengaktivasi atau bahan kimia yang sering digunakan antara lain asam fosfat (H_3PO_4), asam klorida (HCl), asam sulfat (H_2SO_4), seng klorida ($ZnCl_2$), kalium hidroksida (KOH) dan lain-lain. Menurut [Heidarinejad et al., \(2020\)](#)

masing-masing aktivator memberikan pengaruh yang berbeda terhadap volume pori dan luas permukaan karbon aktif yang dihasilkan.

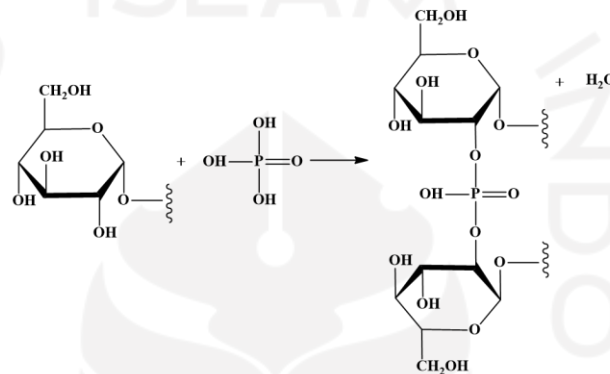
Tabel 2. Hasil Perbandingan Aktivator Lain dengan H_3PO_4

Aktivator	Hasil	Referensi
HNO_3 20%	Karbon aktif yang teraktivasi dengan H_3PO_4 memiliki morfologi permukaan dengan pori-pori yang dihasilkan lebih banyak dan rongga-rongga pori dengan kedalaman yang lebih besar dibandingkan dengan karbon aktif teraktivasi HNO_3 .	(Mentari et al., 2018)
HCl 3N	Analisa dengan XRF menunjukkan arang tempurung kelapa teraktivasi H_3PO_4 mengandung senyawa oksida dengan presentase terbesar dibandingkan teraktivasi HCL. Dan hasil uji adsorpsi arang tempurung kelapa teraktivasi H_3PO_4 sebesar 92,926% sedangkan teraktivasi HCL sebesar 77,813%.	(Verayana et al., 2018)
KOH dan $ZnCl_2$ (5;10;15%)	Hasil karakterisasi arang aktif eceng gondok menunjukkan hasil terbaik yaitu dengan aktivator H_3PO_4 15%. Yaitu kadar air ($6,41 \pm 0,21\%$), abu ($8,23 \pm 0,12\%$), zat volatil ($15,36 \pm 0,03\%$), dan karbon terikat ($78,28\%$).	(Yunus et al., 2021)
H_2SO_4 , NaOH dan NaCl	Hasil uji menunjukkan keadaan optimal pada karbon aktif serbuk gergaji kayu jati yang teraktivasi H_3PO_4 . Yaitu rendemen arang sebesar 89,63%, kadar air 1,55%, kandungan abu 3,83%, materi volatil 3,46%, kandungan karbon tetap sebesar 92,71%, kapasitas penyerapan yodium 837,74 mg/g, dan kapasitas penyerapan benzena 38,85%.	(Erawati & Afifah, 2019)

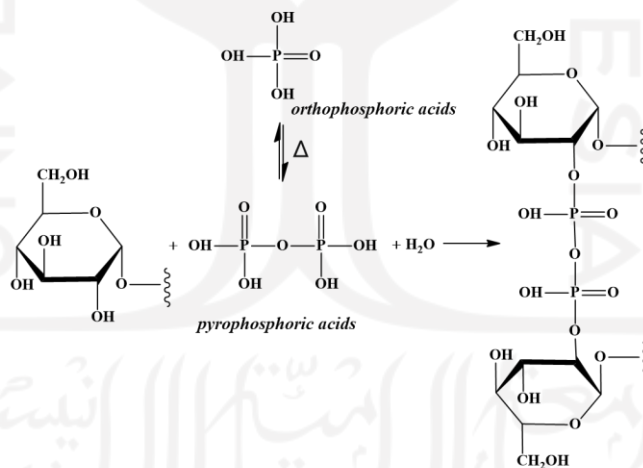
Asam fosfat (H_3PO_4) merupakan aktivator yang baik untuk bahan baku karbon aktif dengan kandungan lignoselulosa (lignin, selulosa dan hemiselulosa) yang tinggi. Selain itu, asam fosfat (H_3PO_4) juga bersifat ramah lingkungan serta dapat membentuk lapisan penghubung seperti fosfat dan ester polifosfat yang dapat melindungi struktur pori internal sehingga mencegah pembakaran berlebih dalam (J. Xu et al., 2014). Asam fosfat dapat merusak kompleks oksigen lignoselulosa sehingga pori dapat terbuka dan kadar air juga berkurang.

Dengan demikian H_3PO_4 berperan dalam dua interaksi, yaitu sebagai katalis asam yang menyebabkan pemutusan ikatan dan beraksi dengan spesies organik dalam prekursor untuk pembentukan ikatan silang berupa gugus fungsi fosfat dan ester polifosfat. Gugus fungsi fosfat dan ester fosfat/polifosfat berperan dalam proses pelebaran pori dengan cara meninggalkan pori setelah proses penghilangan asam ([Jagtoyen & Derbyshire, 1998](#)).

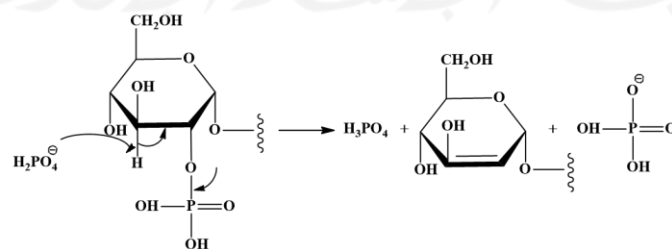
$T < 450\text{ }^\circ\text{C}$: Formation of phosphate esters on cellulose side chains and crosslinking



Esters can be derivatives of ortho-, pyro- and meta-phosphoric acids:



$T > 450\text{ }^\circ\text{C}$: Elimination of H_3PO_4



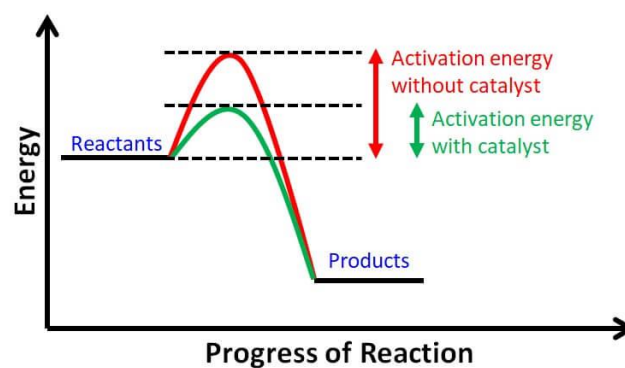
Gambar 7. Mekanisme Aktivasi Kimia dengan H_3PO_4
(Sumber: [Jagtoyen & Derbyshire, 1998](#))

Langkah kerjanya sederhana, bahan baku direndam dengan agen aktivasi, dikeringkan dalam oven dan kemudian diaktifkan selama 1-4 jam. Metode aktivasi secara kimia memiliki keuntungan yaitu porositas dapat disesuaikan dengan mudah, prosesnya sederhana dan hasil akhir memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi ([Lubis et al., 2020](#)).

Pada karbon aktif terbentuk gugus fungsi dari proses aktivasi yang disebabkan oleh interaksi radikal bebas di permukaan karbon dengan atom-atom seperti oksigen dan nitrogen dari atmosfer atau proses pengolahan. Terbentuknya gugus fungsi ini menyebabkan permukaan karbon aktif menjadi reaktif. Gugus hidroksi, karboksilat dan karbonil dihasilkan dari oksidasi permukaan dalam proses pembuatan karbon aktif yang memberikan sifat amfoter pada karbon dan karbon aktif dapat bersifat asam atau basa ([Handika et al., 2017](#)).

3.3 Katalis

Katalis merupakan zat yang dapat meningkatkan laju suatu reaksi kimia agar reaksi tersebut dapat berjalan dengan cepat. Katalis menyediakan jalur baru dengan energi aktivasi yang lebih rendah. Rendahnya energi aktivasi ini terjadi akibat interaksi antara katalis dan reaktan. Katalis sebenarnya ikut terlibat dalam suatu reaksi, tetapi di akhir reaksi katalis terbentuk kembali seperti awal reaksi. Katalis telah memainkan peran penting dalam mengembangkan teknologi untuk mengubah tidak hanya bahan baku karbon konvensional, tetapi juga bahan baku terbarukan menjadi produk bernilai tambah seperti bahan bakar dan bahan kimia ([Lee et al., 2017](#)).



Gambar 8. Grafik Hubungan Ea dan Katalis
(Sumber: [Rusman, 2020](#))

Katalis dibedakan menjadi dua golongan utama, yaitu katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis homogen adalah katalis yang memiliki fase yang sama dengan pereaksi dalam sistem yang dikatalisisnya. Sedangkan katalis heterogen adalah katalis yang memiliki fase berbeda dengan pereaksi dalam sistem yang dikatalisisnya ([Widi, 2018](#)).

Katalis homogen biasanya berfungsi sebagai zat perantara dimana reaktan dan katalis terdispersi dalam fase yang sama (*liquid*). Kelebihan dari katalis ini reaksi lebih spesifik dengan rendemen produk yang tinggi. Katalis homogen ini memiliki kelemahan yaitu sulit dipisahkan karena berada dalam fasa yang sama dengan reaktan sehingga pemisahan tidak cukup dengan dekantasi atau penyaringan. Contoh reaksi yang menggunakan katalis homogen yaitu hidrolisis ester dengan asam (cair-cair), oksidasi sulfur dioksida dengan nitrogen oksida (gas-gas) dan konversi kalium klorat dengan mangan dioksida (padat-padat) ([Widi, 2018](#)).

Katalis heterogen paling banyak dikembangkan pada saat ini karena penggunaannya yang lebih efektif dan efisien. Katalis heterogen banyak disintesis dengan cara impregnasi logam transisi atau logam oksida pada material penyangga yang bertujuan untuk menghasilkan persebaran material katalis yang optimum dan luas permukaan yang lebih besar. Katalis heterogen merupakan katalis padat dengan sifat heterogen yang terdiri dari logam sebagai material aktif dan bahan penyangga. Katalis heterogen lebih stabil dan ramah lingkungan dibanding katalis homogen. Katalis ini juga mudah dipisahkan dari campuran reaksi dengan cara filtrasi dan lebih ekonomis karena dapat digunakan berkali-kali ([Zuhra et al., 2015](#)). Beberapa contoh reaksi dengan katalis heterogen yaitu polimerisasi alkena yang dikatalisis dengan asam fosfat (gas-cair), konversi H_2O_2 dikatalisis dengan emas (cair-padat) dan sintesis amonia dengan besi (gas-padat) ([Widi, 2018](#)).

Kemampuan katalis biasanya diukur dari sifatnya yaitu aktivitas, selektivitas dan masa pakai (*lifetime*) ([Widi, 2018](#)).

a. Aktivitas

Aktivitas merupakan kemampuan katalis untuk mengubah bahan baku menjadi berbagai variasi produk. Definisi lain yaitu persentase konversi bahan baku menjadi

produk dalam waktu tertentu. Aktivitas pada katalis sangat bergantung pada sifat kimia yang dimiliki oleh katalis.

b. Selektivitas

Selektivitas merupakan kemampuan reaksi untuk mengarahkan konversi reaktan menjadi produk tertentu melalui satu jalur tertentu. Katalis yang baik yang memiliki aktivitas tinggi dengan stabilitas jangka panjang, dimana tetap mengedepankan selektivitasnya. Selektivitas juga dapat didefinisikan sebagai kemampuan katalis untuk menghasilkan produk yang diinginkan dari reaktan yang dikonversi. Selektivitas dibedakan menjadi tiga yaitu selektivitas reaktan, selektivitas keadaan transisi dan selektivitas produk.

c. Masa pakai (*lifetime*)

Aktivitas dan selektivitas dari katalis dapat mengalami perubahan selama reaksi berlangsung. Masa pakai (*lifetime*) merupakan rentang waktu saat katalis mempertahankan aktivitas dan selektivitas yang cukup. Masa pakai katalis merupakan salah satu aspek penting karena berkaitan dengan alasan ekonomi. Masa pakai katalis dapat bervariasi dari proses ke proses, mulai dari menit hingga tahun. Faktor yang mempengaruhi masa pakai katalis yaitu terjadinya *poisoning* (keracunan katalis), *fouling* (pengotoran pada permukaan katalis) dan *sintering* (penggumpalan).

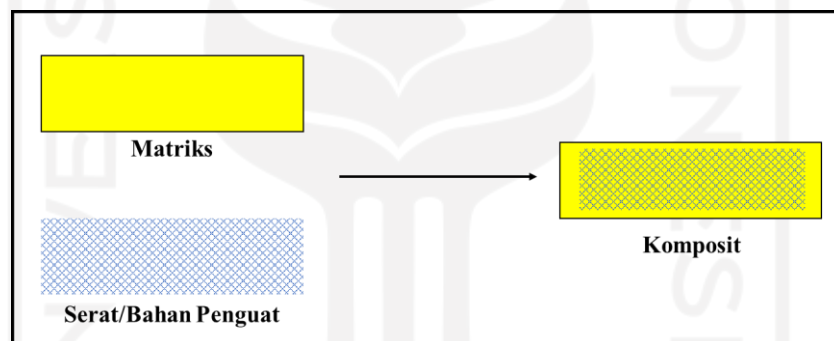
Pada umumnya metode yang digunakan untuk sintesis katalis yaitu impregnasi dan pertukaran ion. Impregnasi merupakan metode preparasi katalis dengan cara mengadsorpsi garam prekursor yang mengandung komponen aktif logam di dalam larutan pada padatan pengemban. Prinsip dasar metode ini yaitu memasukkan katalis logam secara paksa ke dalam pori-pori material penyangga (*support*). Pertukaran ion merupakan metode sintesis katalis yaitu terjadinya pertukaran ion-ion pada situs aktif material penyangga (*support*) dengan katalis logam. Metode sintesis yang sering digunakan yaitu impregnasi ([Munnik et al., 2015](#)).

Metode impregnasi terbagi menjadi dua macam yaitu impregnasi basah dan impregnasi kering ([Munnik et al., 2015](#)). Impregnasi basah melibatkan prekursor/pelarut yang nantinya mengisi pori-pori dari material penyangga. Penggunaan pelarut pada metode ini lebih banyak dibandingkan impregnasi kering

sehingga memudahkan garam bermigrasi dari prekursor ke pori material penyangga. Sedangkan pada impregnasi kering volume prekursor/pelarut sebanding dengan volume pori material penyangga. Hal ini bertujuan agar jumlah antara larutan prekursor dengan pori pada material penyangga adalah sama. Maka dalam impregnasi kering perlu diketahui volume pori material penyangga sebelum dilakukan impregnasi ([Mehrabadi et al., 2017](#)).

3.4 Komposit

Komposit merupakan material yang terdiri dari gabungan dua atau lebih material sehingga memberikan sifat baru yang lebih baik dari material asli. Material komposit dibuat bertujuan agar meningkatkan sifat individu bahan seperti stabilitas sifat kimia dan fisika, struktur, kekuatan dan sifat mekanisnya. Biasanya komposit tersusun dari dua fase yaitu matriks dan bahan penguat ([Carr & Crawford, 2016](#)).



Gambar 9. Ilustrasi Komposit
(Sumber: [Mawardi & Lubis, 2019](#))

Matriks merupakan fase kontinu yang bahannya harus mempunyai sifat *adhesive* yang bagus agar mampu mempertahankan keselarasan, mentransfer tegangan yang diadsorb ke serat, melindungi dan memisahkan serat serta tetap stabil setelah proses manufaktur. Bahan penguat merupakan fase terdispersi yang bahannya terdiri dari serat, serpihan (partikel) atau lembaran. Bahan penguat ini tertanam pada material penyusun lain yaitu matriks. Kombinasi dari matriks dan bahan penguat memungkinkan berat komposit lebih ringan dibandingkan bahan monolitik dengan kinerja serupa atau lebih baik ([AL-Oqla & Salit, 2017](#)).

Komposit dapat digunakan sebagai katalis, ini dikarenakan komposit memiliki beberapa kelebihan yaitu dari segi sifat fisik dan mekanik. Komposit sebagai katalis juga memiliki luas permukaan kontak yang lebih luas dan meningkatkan kekuatan

struktur katalis dibandingkan dengan logam saja ([Doni & Suprihanto, 2012](#)). Selain itu, komposit juga memiliki kelebihan dari segi biaya.

Komposit oksida logam merupakan material yang bahan campurannya adalah oksida logam. Komposit terdiri dari komponen penguat seperti fiber atau partikel yang ditanam dalam matriks. Matriks akan menahan *reinforcement* untuk membentuk material yang diinginkan. *Reinforcement* dapat meningkatkan sifat mekanis keseluruhan dari matriks dan kombinasi dari rancangan material ini akan memiliki kekuatan yang lebih baik dibandingkan hanya memiliki satu material penyusun ([Navagally, 2017](#)).

3.5 Hidrotermal

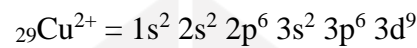
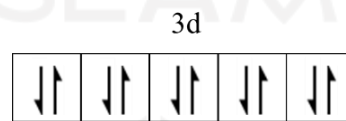
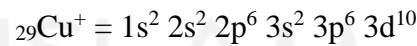
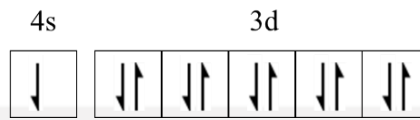
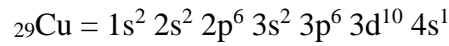
Proses hidrotermal didefinisikan sebagai reaksi heterogen dengan adanya pelarut pada temperatur dan tekanan tertentu untuk merubah struktur kristal dan membentuk pori material. Definisi lain dari hidrotermal yaitu reaksi kimia heterogen dengan adanya pelarut dalam sistem tertutup. Metode ini dianggap paling baik untuk pembentukan komposit karena prosesnya yang sederhana ([Byrappa & Yoshimura, 2001](#)).

Prinsip hidrotermal yaitu menurunkan nilai tegangan pada material dengan cara memecahkan ikatan-ikatan senyawa amorf pada material. Kelebihan dari metode hidrotermal yaitu prosesnya sederhana, dilakukan pada sistem tertutup sehingga bebas polusi dan menghasilkan produk berupa kristal homogen pada temperatur rendah. Hidrotermal juga merupakan metode yang baik untuk mengontrol porositas ([Dahiya et al., 2018](#)).

3.6 Tembaga (Cu)

Tembaga (Cu) merupakan logam transisi golongan I B periode 4 dengan konfigurasi elektron $[Ar]3d^{10}4s^1$ yang memiliki sifat fisik yang menarik. Terdapat dua jenis senyawa tembaga, yaitu tembaga(I) dan tembaga(II). Tembaga(I) berasal dari tembaga(I)oksida (Cu_2O) dan mengandung ion Cu^+ . Sebagian besar garam tembaga(I) tidak larut dalam air dan mengalami oksidasi secara cepat membentuk tembaga(II) yang berasal dari CuO dengan kandungan ion Cu^{2+} . Dengan ini

diketahui keadaan valensi tembaga secara umum adalah 0, +1 dan +2 ([Vogel, 1979](#)), berikut konfigurasinya:



Penambahan logam kedua dapat meningkatkan aktivitas katalitik dan masa pakai katalis serta tetap mempertahankan selektivitas. Logam ini merupakan material yang paling banyak digunakan pada industri katalis terutama dalam mengkatalisis reaksi anorganik. Hal ini dikarenakan tembaga memiliki aktivitas katalitik sangat baik dan konduktivitas tinggi ([Lan et al., 2019](#)).



(Sumber Wikipedia)

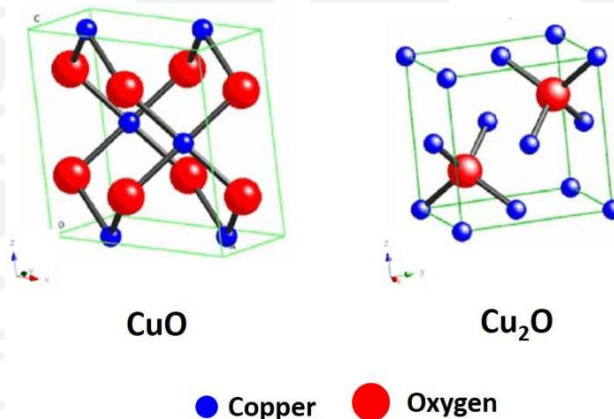
Gambar 10. Tembaga (Cu)

Tembaga merupakan logam berwarna merah muda, lunak dan ulet. Logam ini melebur pada suhu 1038 °C dengan potensial elektroda standar positif untuk Cu/Cu²⁺ yaitu +0,34 V yang tidak larut dalam asam sulfat dan asam klorida encer,

dapat larut sedikit dengan adanya oksigen ([Vogel, 1979](#)). Tembaga pada katalis berperan sebagai promotor yang dapat menahan reduksibilitas, meningkatkan performa katalis dan menekan aktivitas interaksi antar logam ([Arul Jayan et al., 2021](#)).

3.7 Logam Oksida CuO-Cu₂O

Tembaga (II) oksida (CuO) dan tembaga (I) oksida (Cu₂O) merupakan logam oksida semikonduktor yang memiliki aktivitas katalitik unggul dikarenakan energi celah pita yang sempit masing-masing 1,2-1,8 eV dan 1,8-2,2 eV. Oksida logam ini dimanfaatkan dalam perangkat optoelektronik, katalis, sensor dan baterai ([Khataee et al., 2019](#)). Oksida logam CuO/Cu₂O memberikan aktivitas yang jauh lebih tinggi dibandingkan fasa tunggal CuO dan Cu₂O ([Jiang et al., 2017](#)).



Gambar 11. Struktur Logam Oksida CuO dan Cu₂O
(Sumber: [Shankar & Rayappan, 2015](#))

Tembaga oksida ini memiliki sifat non-toksik, stabilitas kimia yang tinggi, biaya rendah dan dapat disintesis dengan metode sederhana ([Mosleh et al., 2018](#)). CuO dan Cu₂O merupakan oksida logam yang berperan efektif dalam proses degradasi ([Barakat et al., 2020](#)). Oksida logam CuO-Cu₂O dapat disintesis dengan metode hidrotermal, oksidasi termal, anodisasi, presipitasi dan *electrospinning* ([Kr Singh et al., 2021](#)).

3.8 Karbon Aktif Sebagai Penyangga Katalis

Karbon aktif dapat digunakan sebagai material penyangga katalis. Karbon aktif sebagai material penyangga (*support*) katalis memberikan beberapa keuntungan

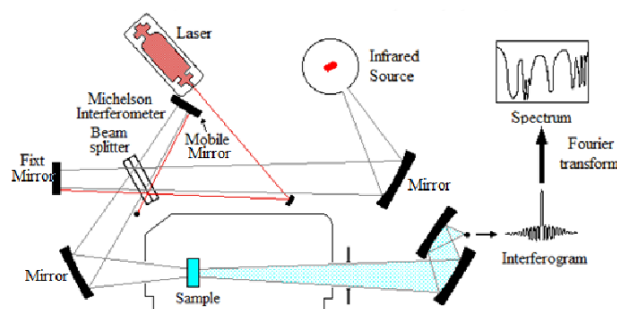
dibandingkan dengan bahan pendukung lainnya. Permukaan karbon inert, terutama dalam kondisi sangat asam dan basa, distribusi ukuran pori dan sifat kimia pada permukaan dapat disesuaikan (polaritas dan hidrofobik) untuk aplikasi yang akan dilakukan ([Iwanow et al., 2020](#)).

Karbon aktif digunakan sebagai penyangga sangat reaktif pada fasa cair dan fasa gas ([Dhawane et al., 2016](#)). Mikropori pada karbon aktif memudahkan asam atau basa untuk terserap pada permukaan karbon aktif. Karbon aktif memiliki kandungan abu yang rendah sehingga dapat mempercepat laju reaksi. Selain itu, karbon aktif juga memiliki karakteristik dimana tidak berubah pada suhu dan tekanan tinggi ([Halimah Batubara & Maulina, 2018](#)).

3.9 Karakterisasi KA dan Komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA

3.8.1 *Fourier Transform Infra-Red (FTIR)*

Fourier Transform Infra-Red (FTIR) merupakan metode spektroskopi yang dilengkapi dengan transformasi *fourier* untuk mendeteksi dan menganalisis hasil spektrum. Metode spektroskopi inframerah ini digunakan untuk mengidentifikasi adanya gugus fungsi secara kualitatif dalam suatu senyawa organik karena spektrumnya sangat kompleks dan memiliki banyak puncak. Prinsip dasar metode ini yaitu interaksi antara energi berupa sinar inframerah dan ikatan kovalen pada senyawa organik. Jika senyawa organik dikenai sinar ($400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$) maka senyawa tersebut menyerap beberapa frekuensi. Jumlah frekuensi yang melewati senyawa disebut transmisi ([Frestika et al., 2017](#)).



Gambar 12. Skema Prinsip Kerja FTIR
(Sumber: [Theophanides, 2014](#))

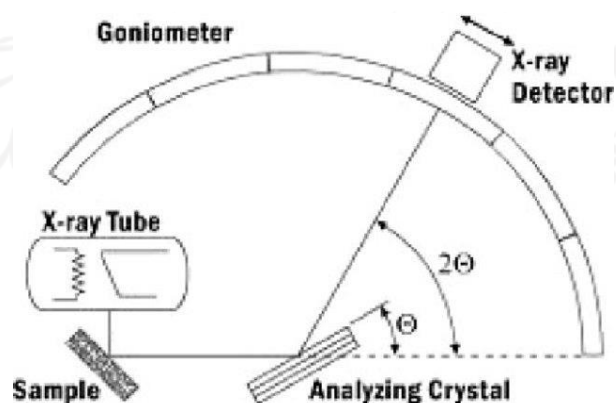
Prinsip kerja dari FTIR yaitu menggunakan sinar inframerah yang dilewati pada sebuah celah menuju ke sampel. Celah ini berfungsi untuk mengontrol

banyaknya energi yang disampaikan ke sampel. Radiasi inframerah tersebut sebagian diserap oleh sampel dan sebagian lagi ditransmisikan melalui permukaan sampel sehingga dapat dideteksi oleh detektor dan terbaca pada komputer dalam bentuk spektra ([Thermo, 2001](#)).

Setiap senyawa organik memiliki karakteristik tertentu yang dapat diidentifikasi dengan berbagai gugus fungsi yang terdapat dalam senyawa tersebut. Masing-masing gugus fungsi memiliki serapan spesifik pada bilangan gelombang yang berbeda-beda. Sebagai contoh ikatan C=C, C=N dan C=O memiliki serapan pada bilangan gelombang 1500-1900 cm^{-1} , sedangkan ikatan C-O dan C-N memiliki serapan pada bilangan gelombang 800-1300 cm^{-1} . Bilangan gelombang antara 1400-4000 cm^{-1} merupakan daerah inframerah. Bilangan gelombang 1400 cm^{-1} kekanan merupakan daerah *fingerprint* yang terjadi akibat uluran dan tekukan sehingga gugus fungsional sulit diamati ([Fessenden & Fessenden, 1982](#)).

3.8.2 X-Ray Diffraction (XRD)

X-Ray Diffraction (XRD) merupakan metode non-destruktif yang kuat untuk mengkarakterisasi bahan kristal. Metode ini memberikan informasi tentang struktur, tekstur dan parameter struktural lainnya seperti kristalinitas, regangan dan cacat kristal. Puncak difraksi sinar-X dihasilkan oleh gangguan konstruktif sinar-X monokromatis yang tersebar pada sudut tertentu dari setiap bidang kisi dalam sampel. Sedangkan intensitas puncak ditentukan oleh distribusi atom dalam kisi ([Bunaciu et al., 2015](#)).

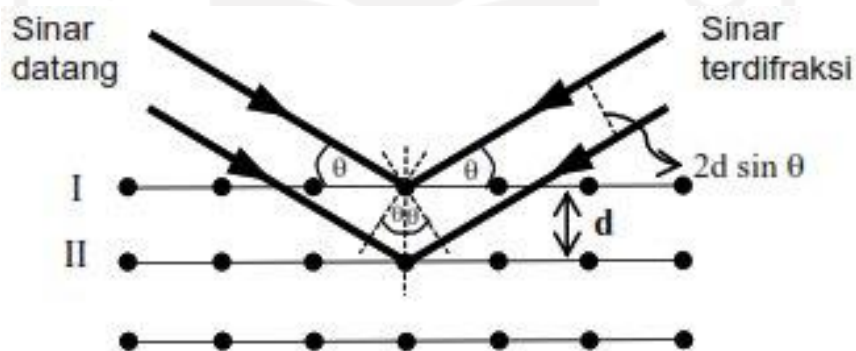


Gambar 13. Diagram Skematik dari Sistem X-Ray Difraktometer
(Sumber: [Bunaciu et al., 2015](#))

Prinsip dari XRD adalah yaitu didasarkan pada difraksi sinar-X, hamburan cahaya dengan panjang gelombang (λ) saat melewati kisi kristal dengan sudut datang (θ) dan jarak antar bidang kristal (d). Interpretasi dari fenomena XRD (interferensi konstruktif) telah diberikan oleh W. L. Bragg (Gambar 14) ([Bragg, 1913](#)), yang memberikan rincian mengenai kondisi geometris untuk difraksi dan penentuan hukum Bragg. Hubungan antara jarak antar bidang dalam kristal dengan sudut difraksi dalam kristal dijelaskan dengan hukum Bragg dengan persamaan:

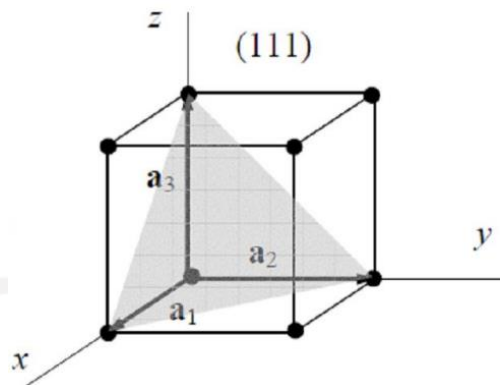
$$n\lambda = 2d \sin \theta \dots \dots \dots (1)$$

Hukum ini menghubungkan panjang gelombang radiasi elektromagnetik menggunakan sudut difraksi dan jarak kisi pada sampel. Pola difraksi yang dihasilkan mempresentasikan struktur kristal. Dengan membandingkan hasil XRD dengan katalog hasil difraksi berbagai macam material dapat diketahui jenis material yang dianalisis ([Alfarisa et al., 2018](#)).



Gambar 14. Difraksi Sinar-X Pada Jarak Antar Atom dan Sinar Datang
(Sumber: [Alfarisa et al., 2018](#))

Ketika setiap atom dalam kristal dihubungkan dengan garis dihasilkan kisi yang dapan dibagi menjadi sebuah sel unit dan diperoleh satu set sumbu kristalografi yaitu tepi dari perpotongan salah satu sel unit. Indeks Miller merupakan kelompok tiga angka yang menunjukkan orientasi bidang dalam kristal. Indeks Miller dapat ditentukan oleh persimpangan bidang dengan sumbu kristalografi. Dihitung timbal balik dari perpotongan dan hasil yang diperoleh merupakan tiga indeks Miller (hkl). Sebagai contoh bidang memotong ketiga sumbu dengan ukuran sama dengan satu tepi sel unit sehingga memiliki indeks Miller [111] ([Britannica, 2018](#)), ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Bidang dengan Indeks Miller [111]
(Sumber: [Epp, 2016](#))

3.8.3 Gas Sorption Analyzer (GSA)

Gas Sorption Analyzer (GSA) adalah instrumen yang digunakan untuk mengkarakterisasi sifat fisik material, meliputi distribusi pori, jari-jari pori, volume pori, luas permukaan dan lain-lain. Syarat material yang dapat dikarakterisasi dengan GSA adalah padatan berpori seperti karbon, material organik, alumina, zeolit, serbuk logam, pengemban katalis, tulang dan lain-lain. Hasil karakterisasi dari GSA dapat digunakan untuk berbagai keperluan industri, penelitian dan sebagainya ([Setiabudi, 2012](#)).

Prinsip kerja GSA menggunakan mekanisme adsorpsi gas pada permukaan suatu material padat pada berbagai tekanan dan suhu konstan yang disebut keadaan *isotherm*. Gas yang digunakan yang digunakan yaitu helium untuk mikropori ($<20 \text{ \AA}$), nitrogen untuk mesopori ($20\text{-}500 \text{ \AA}$) dan argon untuk makropori ($>500 \text{ \AA}$). Saat analisis, yang diukur hanya volume gas yang diserap pori atau permukaan padatan pada keadaan *isotherm* tersebut. Kemudian dibuat grafik volume gas (V) vs tekanan relatif (P/P_0). Data yang diperoleh selanjutnya diolah menggunakan pilihan berbagai teori dan model perhitungan seperti teori BET, teori Langmuir, metode t-plot dan lain sebagainya. Yang digunakan untuk diubah menjadi data luas permukaan, volume pori, jari-jari pori dan sebagainya ([Sudarlin, 2012](#)).

Metode BET digunakan untuk menentukan luas permukaan spesifik, volume total dan rerata jari-jari pori berdasarkan isotherm adsorpsi. Metode ini dikembangkan oleh Brunauer, Emmet dan Teller. Tujuan metode BET yaitu menjelaskan adsorpsi fisik molekul gas pada permukaan padatan atau distribusi dari

padatan dan berfungsi sebagai dasar untuk suatu teknik analisis luas permukaan spesifik suatu material. Persamaan metode BET dituliskan sebagai berikut (Skoog, 1998):

$$\frac{1}{W\left(\frac{P_0}{P}\right)} = \frac{1}{WmC} + \left(\frac{C-1}{WmC}\right) \frac{P}{P_0} \dots\dots\dots(2)$$

Membuat kurva regresi linear berdasarkan data BET yang diperoleh dari percobaan, dengan sumbu x (tekanan relatif (P/P₀) dan sumbu y (1/W(P₀/P)-1) diperoleh persamaan garis y=bx+a.

a. Menghitung konstanta BET

$$C = \frac{s}{i} + 1 \dots\dots\dots(3)$$

b. Berat gas yang teradsorpsi atau koefisien monolayer material (W_m)

$$Wm = \frac{1}{s+i} \dots\dots\dots(4)$$

c. Luas permukaan total (SA)

$$SA = \frac{Wm \times N \times Csa}{BM \text{ gas}} \dots\dots\dots(5)$$

d. Luas permukaan spesifik (SS)

$$SS = \frac{SA}{M} \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan:

C : Konstanta BET

s : slope

i : intersep

W : berat total gas yang terserap pada tekanan relatif

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

P/P₀ : tekanan relatif

N : bilangan Avogadro (6,023 × 10²³ partikel/mol)

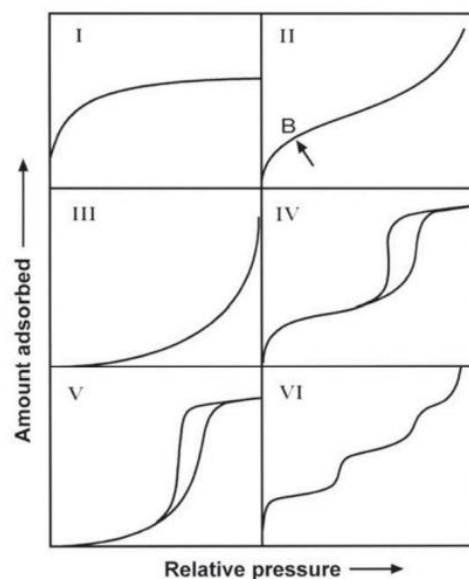
BM gas : berat molekul gas adsorbat

Csa : *cross section area* (0,162 × 10⁻¹⁸ m²)

M : massa sampel

Material berpori sekilas memiliki porositas yang tampak sama, tetapi memiliki ukuran dan geometri yang berbeda. Dengan adanya hal ini tipe pori penting untuk

dibahas. Terdapat berbagai klasifikasi pori menurut literatur seperti IUPAC, Dubinin, Cheremskoj dan Kodikara. Klasifikasi pori yang umum menjadi rujukan yaitu IUPAC. IUPAC mengklasifikasikan pori menjadi 3 tipe yaitu makro-, meso- dan mikropori. Dimana makropori memiliki diameter pori > 50 nm, mesopori memiliki diameter pori pada rentang 2-50 nm dan mikropori memiliki diameter pori < 2 nm ([Zdravkov et al., 2007](#)). Pada Gambar 16, ditunjukkan enam tipe pori yang mencerminkan antara struktur pori dan jenis adsorpsinya. Tipe I menggambarkan adsorpsi yang terjadi pada tekanan relatif rendah menunjukkan jenis mikropori, tipe II ditemukan pada adsorpsi dengan jenis padatan mesopori, tipe III jarang sekali ditemukan dalam penelitian yaitu adsorpsi pada padatan makropori, tipe IV menunjukkan adsorpsi pada permukaan mesopori dengan *loop* histerisis (desorpsi), tipe V yaitu interaksi pada permukaan dengan pori meso yang lemah dan tipe VI menunjukkan interaksi pada permukaan yang terlalu homogen ([Correa & Kruse, 2018](#)).



Gambar 16. Klasifikasi Tipe Pori menurut IUPAC
(Sumber: [Correa & Kruse, 2018](#))

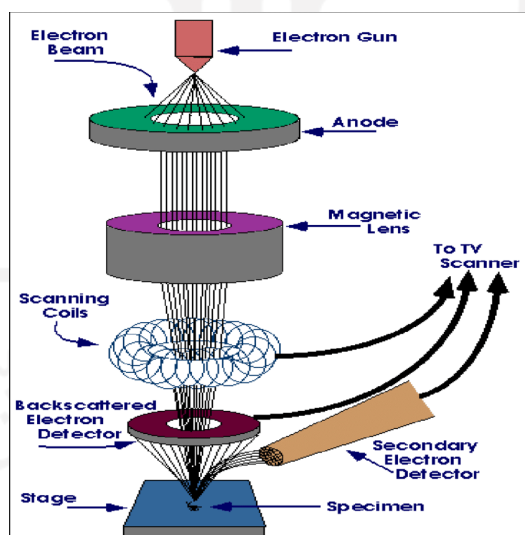
3.8.4 Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) Energy Dispersive X-Ray (EDX) merupakan mikroskopi elektron yang menampilkan citra permukaan sampel dengan cara pemindaian dengan pancaran tinggi elektron ([Rajaratnam, 2007](#)).

SEM digunakan untuk mempelajari tekstur, topografi dan sifat permukaan material. Karakterisasi material dengan SEM menghasilkan gambar dengan kualitas tiga dimensi yang pasti ([West, 1999](#)).

Prinsip kerja SEM yaitu sinar elektron berenergi tinggi (1-20 keV) ditembak melewati sampel dan mendeteksi *Secondary Electron* (SE) dan *Backscattered Electron* (BSE) yang dihasilkan. *Secondary Electron* berasal dari 5-15 nm dari permukaan sampel dan memberikan informasi mengenai topografi. *Backscattered Electron* terlepas dari daerah sampel yang lebih dalam dan memberikan informasi terutama pada jumlah atom rata-rata dari sampel ([Halik et al., 2015](#)).

Scanning Electron Microscope (SEM) mempunyai *Electron Gun* yang memancarkan elektron yang diteruskan ke anoda. Fungsi dari anoda adalah membatasi pancaran elektron dengan sudut hambur yang besar. Elektron selanjutnya diteruskan ke lensa magnetik yang memiliki lensa kondensor untuk memfokuskan sinar elektron kemudian berkas elektron akan menghasilkan BSE dan SE yang terhubung dengan amplifier untuk menghasilkan gambar pada monitor ([Voutou & Stefanaki, 2008](#)). Komponen pada SEM diilustrasikan pada Gambar 17.



Gambar 17. Bagian Instrumen SEM
(Sumber: [Singh, 2014](#))

3.10 Konversi Alkohol

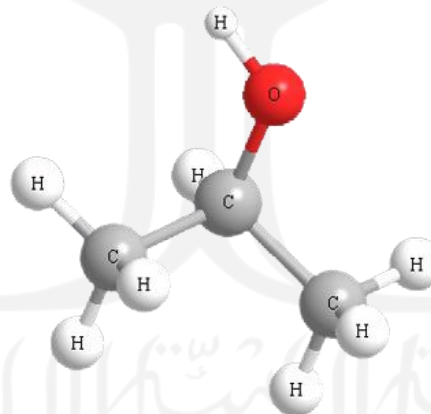
Konversi alkohol merupakan proses konversi alkohol menjadi suatu produk dengan adanya katalis. Penggunaan katalis dimodifikasi dengan adanya logam yang

bertujuan agar proses konversi lebih maksimal. Terdapat dua proses konversi alkohol yaitu dehidrasi dan dehidrogenasi.

Dehidrasi merupakan proses eliminasi yaitu pengurangan molekul air yang terdapat dalam suatu senyawa alkohol menjadi alkena ([Marzuki, 2021](#)). Produk dari dehidrasi alkohol yaitu olefin dan eter ([Kostetsky & Mpourmpakis, 2015](#)). Sedangkan dehidrogenasi merupakan proses penghilangan satu atau lebih atom hidrogen dari molekul organik untuk membentuk senyawa kimia baru. Dehidrogenasi juga dikenal sebagai reaksi oksidasi pembentukan keton dari alkohol sekunder atau aldehida dari alkohol primer ([Speight, 2017](#)).

3.11 Isopropanol

Isopropanol (C_3H_8O) merupakan alkohol yang sering digunakan sebagai pelarut dan reaktan di industri kimia. Isopropanol dikenal juga dengan 2-propanol atau isopropil alkohol. Senyawa ini memiliki wujud cair, tidak berwarna dan berbau seperti etil alkohol. Berat molekul dari isopropanol yaitu 60,10 g/mol dengan titik didih sebesar $82,5\text{ }^\circ\text{C}$ ([Cheremisinoff, 2000](#)).

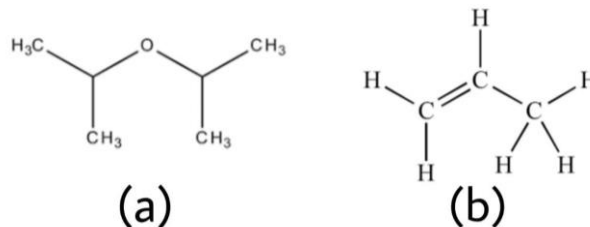


(Sumber: Pubchem)

Gambar 18. Struktur Kimia Isopropanol

Isopropanol termasuk kedalam salah satu jenis pelarut VOC (*Volatile Organic Compound*) yang dikenal lebih beracun dibandingkan dengan etanol ([Kökdemir & Acaralı, 2021](#)). Proses dehidrasi isopropanol menghasilkan diisopropil eter dan propilena. Diisopropil eter ($C_6H_{14}O$) merupakan aditif pada bensin yang dapat meningkatkan pembakaran dan mengurangi emisi CO dan hidrokarbon ([Armenta et al., 2019](#)). Sedangkan propilena (C_3H_6) merupakan bahan

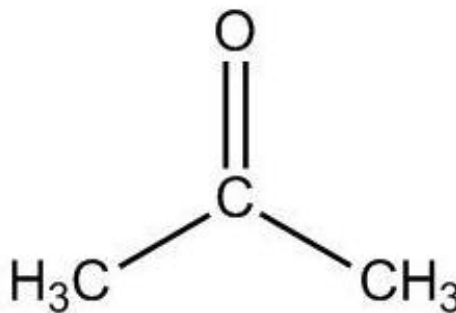
baku kedua yang digunakan untuk pembuatan plastik. Selain itu, propilena juga digunakan dalam produksi berbagai bahan kimia seperti polipropilena, fenol dan aldehid ([Murat et al., 2020](#)).



(Sumber: Wikipedia)

Gambar 19. Struktur (a)Diisopropil Eter dan (b)Propilena

Sedangkan proses dehidrogenasi isopropanol menghasilkan produk berupa aseton. Aseton (C_3H_6O) merupakan reagen kimia yang ramah lingkungan untuk aplikasi laboratorium dan industri. Dapat digunakan sebagai pelarut atau reaktan untuk proses sintesis obat-obatan, sumber energi, kosmetik, cat dan lain-lain ([Abdelhamid et al., 2020](#)).



(Sumber: Wikipedia)

Gambar 20. Struktur Aseton

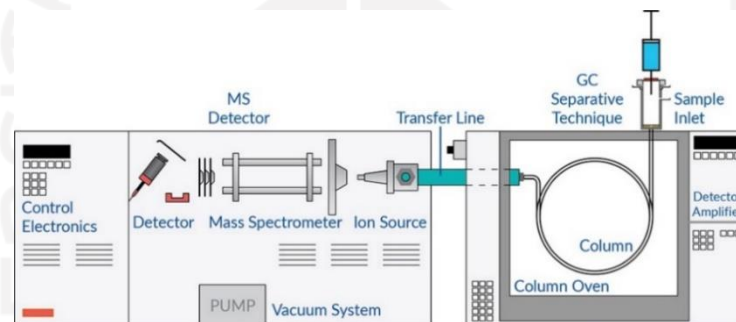
3.12 Karakterisasi Produk dan Konversi

3.12.1 Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS)

GCMS merupakan gabungan dari instrumen *Gas Chromatography* (GC) dengan detektor *Mass Spectrometry* (MS). Instrumen paduan ini dapat menghasilkan data karakterisasi untuk mengidentifikasi senyawa lebih akurat yaitu dilengkapi dengan struktur molekulnya. *Gas Chromatography* (GC) merupakan metode dinamis yang digunakan untuk memisahkan senyawa dan mendeteksinya

dalam suatu campuran ([Gandjar & Rochman, 2007](#)). Sedangkan *Mass Spectrometry* (MS) merupakan suatu metode mendapatkan berat molekul melalui perbandingan massa terhadap muatan dari ion yang muatannya diketahui dengan mengukur jari-jari orbit melingkarnya dalam medan magnet seragam ([Van Bramer, 1998](#)).

Prinsip dari *Gas Chromatography* yaitu penguapan sampel dalam inlet injektor yang diinjeksikan kedalam bagian atas dari kolom. Sampel yang telah berubah fase menjadi gas dibawa melalui kolom oleh gas pembawa yang bersifat *inert*. Gas pembawa ini disebut juga sebagai fasa gerak, adapun gas pembawa yang sering digunakan adalah helium atau nitrogen. Sedangkan fasa diamnya berupa padatan seperti alumina, silika atau bahan polimer berpori ([Setiabudi, 2012](#)).



Gambar 21. Skema GC-MS
(Sumber: [Setiabudi, 2012](#))

Fasa diam pada kolom berfungsi untuk memisahkan komponen senyawa yang berbeda yang menyebabkan tiap komponen keluar dari kolom dalam waktu berbeda-beda (waktu retensi). Pemisahan ini didasarkan pada kuat interaksi yang berbeda antara senyawa dengan fasa diamnya. Semakin kuat interaksinya maka semakin lama senyawa berinteraksi dengan fase diam dan membutuhkan waktu lebih lama untuk bermigrasi melalui kolom, sehingga waktu retensi yang dihasilkan lebih lama ([Vandenheuvel & Horning, 1962](#)).

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Alat

Seperangkat alat gelas iwaki, termometer, pengaduk kaca, sendok sungsu, kompor listrik Maspion, penangas air, klem dan statif, oven Memmert, vial, *autoclave*, neraca analitik Sartorius, grinder Formac ZT-300 Herb, *shaker* SCIOLOGEX, *sieve shaker*, seperangkat saringan mesh 16 dan 25, *plastic warp*, *aluminium foil*, *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) Perkin Elmer Spectrum Version 10.5.1, *Gas Sorption Analyzer* (GSA) Quantachrome, *X-Ray Diffraction* (XRD) Bruker D2 Phaser, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) Phenom Pro-X, dan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) ShimadzuQP2010 SE.

4.2 Bahan

Tempurung kelapa sawit milik PT.Tunas Borneo, asam fosfat (H_3PO_4) 65%, asam nitrat (HNO_3) 1 M, tembaga (II) asetat $Cu(CH_3COO)_2 \cdot H_2O$, tembaga (Cu), natrium hidroksida (NaOH) 50%, etanol pa Merck, akuades, akuabides, gas nitrogen, gas hidrogen, kertas saring dan isopropil alkohol (C_3H_8O).

4.3 Cara Kerja Penelitian

4.3.1 Pembuatan karbon aktif

a. Preparasi karbon tempurung kelapa sawit

Tempurung kelapa sawit milik PT.Tunas Borneo dibersihkan dari serabut dan kerikil. Dicuci tempurung kelapa sawit dengan air lalu dikeringkan dengan cara menjemur tempurung kelapa sawit dibawah sinar matahari. Tempurung kelapa sawit yang sudah kering digiling membentuk granular menggunakan grinder dan diayak menjadi ukuran 16 mesh dengan bantuan *sieve shaker*. Tempurung kelapa sawit ditimbang untuk mengetahui berat yang diperoleh.

b. Proses aktivasi tempurung kelapa sawit

Tempurung kelapa sawit berukuran 16 mesh sebanyak 400 gram diimpregnasi dengan H_3PO_4 65% dan dipanaskan pada suhu 80-85 °C selama 24 jam yang merupakan proses aktivasi. Hasil dari proses aktivasi dibilas menggunakan akuades

dan sebanyak 200 gram dipirolisis pada suhu 800 °C menggunakan gas nitrogen (N₂) selama 3 jam. Hasil pirolisis ditimbang untuk mengetahui berat hasil.

Dilakukan perendaman 77 gram karbon aktif dengan HNO₃ 1 M dan dipanaskan pada suhu 60-65 °C selama 3 jam. Karbon aktif dicuci dengan akuades serta dioven pada suhu 110 °C dan ditimbang. Karbon aktif yang telah direndam dengan HNO₃ 1 M dipirolisis kembali pada suhu 150 °C menggunakan gas nitrogen (N₂) selama 3 jam. Dilakukan penimbangan kembali untuk mengetahui berat hasil kemudian dikarakterisasi menggunakan FTIR, XRD, GSA dan SEM.

4.3.2 Preparasi logam CuO-Cu₂O

Preparasi logam CuO-Cu₂O dilakukan dengan metode presipitasi. Sebanyak 30 gram tembaga (II) asetat Cu(CH₃COO)₂.H₂O dilarutkan dalam 50 mL akuabides. Campuran diaduk dengan stirer dan dipanaskan pada suhu 55-60 °C hingga homogen. Ditambahkan NaOH 50% tetes demi tetes hingga mencapai pH 10-11 lalu disaring dan dipisahkan endapan dengan filtrat. Endapan yang diperoleh dicuci dengan akuades dan direndam etanol selama 3 jam. Kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 110 °C. Ditimbang logam CuO-Cu₂O untuk mendapatkan berat hasil.

4.3.3 Pembuatan komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon aktif

Proses pembuatan komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon aktif menggunakan metode hidrotermal. Tembaga (Cu), tembaga -oksida (CuO-Cu₂O) dan karbon aktif disintesis menggunakan reaktor *autoclave*. 7,5 gram tembaga (Cu), 7,5 gram tembaga -oksida (CuO-Cu₂O) dan 15 gram karbon aktif (1:1:2) ditambahkan dengan 30 mL akuades dan 15 mL etanol (2:1) dan diaduk menggunakan stirer selama 1 jam. Larutan dipindahkan kedalam *autoclave* dan dilakukan pemanasan hidrotermal pada suhu 300 °C selama 2 jam pada *furnace*. Komposit yang diperoleh ditimbang untuk mendapatkan berat hasil kemudian dikarakterisasi menggunakan FTIR, XRD, GSA dan SEM.

4.3.4 Konversi isopropanol

Konversi isopropanol dilakukan menggunakan 3 gram katalis yang dimasukkan ke dalam reaktor. Dipanaskan reaktor pada temperatur 130-230 °C

dengan laju alir nitrogen 2 mL/menit. Injeksikan 25 mL isopropil alkohol dan ditahan pada suhu 130 °C selama 20 menit. Dilakukan injeksi 25 mL isopropanol dan ditahan pada suhu 180 °C selama 20 menit. Terakhir diinjeksikan 25 mL isopropanol dan ditahan pada suhu 230 °C selama 20 menit. Standar dan hasil konversi dikarakterisasi dengan GC untuk mendeteksi jumlah senyawa yang terkandung dan MS untuk mengetahui jenis senyawanya.



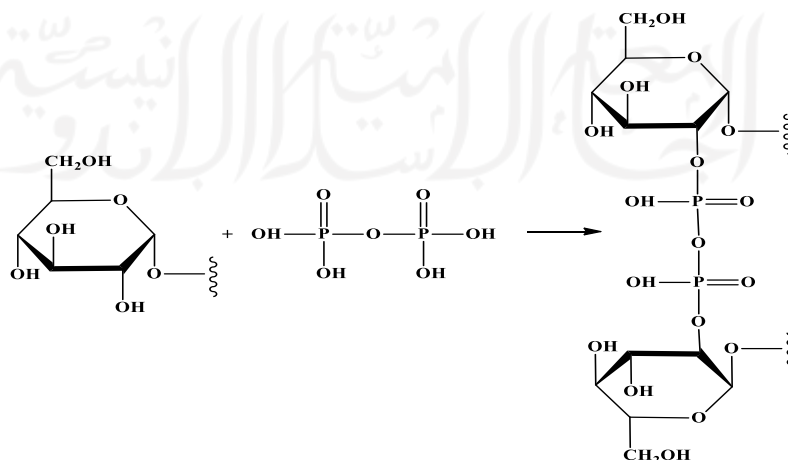
BAB V

PEMBAHASAN

5.1 Aktivasi Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit

Pada tahap awal, preparasi tempurung kelapa sawit (TKS) dibersihkan dari serabut dan kerikil. Selanjutnya tempurung kelapa sawit dicuci menggunakan air, tempurung kelapa sawit yang mengambang dibuang. Kemudian dilakukan penjemuran dibawah sinar matahari untuk mengurangi kadar air. Tempurung kelapa sawit yang telah kering digiling menggunakan grinder Formac ZT-300 Herb dan diayak menggunakan *sieve shaker* dengan seperangkat saringan ukuran 16 mesh.

Tahap selanjutnya yaitu aktivasi menggunakan asam fosfat (H_3PO_4) 65% dengan cara mengimpregnasikan 400 gram tempurung kelapa berukuran 16 mesh selama 24 jam sambil dipanaskan pada suhu 80-85 °C. Proses ini bertujuan untuk mendegradasi kandungan lignoselulosa dalam TKS sehingga dapat membuka atau mengembangkan pori dan menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan yang bertambah besar dan volume pori yang meningkat (J. Xu et al., 2014), sedangkan pemanasan berfungsi untuk mempercepat proses aktivasi. Pemilihan asam sebagai aktivator dikarenakan asam memiliki sifat *dehydrating agent* yang kuat sehingga mampu memperbaiki pengembangan pori dan membuka pori baru. Asam fosfat (H_3PO_4) juga merupakan aktivator yang cocok untuk proses aktivasi material dengan kandungan lignoselulosa tinggi (Wijaya et al., 2019).



Gambar 22. Reaksi Aktivasi menggunakan H_3PO_4
(Sumber: Higai et al., 2021)

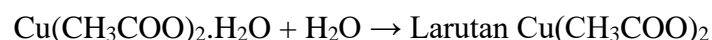
Kemudian TKS yang telah diaktivasi dibilas menggunakan akuades dan dioven pada suhu 110 °C selama sehari untuk menghilangkan kadar air. Dilakukan pirolisis pada 200 gram TKS hasil aktivasi yang telah kering selama 3 jam pada suhu 800 °C dibawah aliran nitrogen. Nitrogen berfungsi untuk membantu membuka pori-pori karbon dan menjaga agar karbon tidak hangus. Diperoleh 77 gram karbon aktif TKS hasil pirolisis.

Karbon aktif direndam dengan asam nitrat (HNO₃) yang memiliki tujuan untuk menambah gugus fungsi dan menghilangkan logam-logam yang terdapat pada karbon aktif sehingga tidak bercampur dengan logam yang akan diimbangkan pada karbon aktif ([Ternero-Hidalgo et al., 2016](#)). Setelah itu, dibilas dengan akuades dan dikeringkan pada oven dengan suhu 110 °C untuk menghilangkan kadar air. Terakhir dipirolisis kembali pada suhu 150 °C selama 3 jam yang berfungsi untuk menghilangkan gugus fungsi yang tidak berkontribusi, yang dihasilkan dari proses *treatment* HNO₃. Massa karbon aktif TKS yang telah dimodifikasi dengan HNO₃ yaitu sebesar 78 gram.

5.2 Sintesis Logam Oksida (CuO-Cu₂O)

CuO-Cu₂O disintesis dengan cara melarutkan 30 gram Cu(CH₃COO)₂.H₂O kedalam 50 mL akuabides dan diaduk menggunakan stirer sambil dipanaskan pada suhu 55-60 °C. Selanjutnya ditambahkan NaOH 50% tetes demi tetes hingga mencapai pH 10-11, untuk membentuk oksida pada logam. Endapan yang dihasilkan selanjutnya disaring dan dibilas menggunakan akuades.

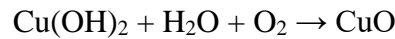
Kemudian endapan direndam menggunakan etanol selama 3 jam. Dikeringkan menggunakan oven pada suhu 110 °C untuk menghilangkan kadar air dan mendapatkan logam oksida dalam bentuk bubuk sebanyak 13,5 gram. Pada konsentrasi OH⁻ yang rendah logam oksida yang dihasilkan berupa Cu₂O, sedangkan pada konsentrasi OH⁻ yang tinggi dihasilkan CuO ([Nikam et al., 2014](#)). Reaksi terbentuknya CuO-Cu₂O dapat ditunjukkan pada persamaan 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: $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2 + 2\text{CH}_3\text{COONa}$



5.3 Sintesis Komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon Aktif

Sintesis komposit dilakukan dengan metode hidrotermal yaitu dengan mencampurkan Cu, CuO-Cu₂O, karbon aktif yang dimasukkan dalam reaktor hidrotermal yang disebut *autoclave*. Karbon aktif berperan sebagai material penyangga katalis Cu/CuO-Cu₂O. Tujuan impregnasi logam pada permukaan komposit (katalis termodifikasi) yaitu untuk meningkatkan sisi aktif dari katalis ([Tran et al., 2020](#)). Sebelum dipanaskan menggunakan metode hidrotermal, sebanyak 7,5 gram Cu, 7,5 gram CuO-Cu₂O dan 15 gram karbon aktif (1:1:2) dilarutkan pada 30 mL akuabides dan 15 mL etanol (2:1) dan diaduk menggunakan stirer selama 1 jam. Proses ini bertujuan untuk mengikat logam Cu dan CuO-Cu₂O pada karbon aktif agar terkomposit dengan baik.

Tahap selanjutnya, dimasukkan kedalam reaktor hidrotermal dan di *furnace* pada suhu 300 °C selama 2 jam untuk menguapkan sisa air dan membuka pori-pori karbon aktif sehingga dapat disisipi logam dengan cara mengikat gugus aktif. Kelebihan dari metode hidrotermal yaitu dilakukan pada sistem tertutup sehingga bebas polusi, proses sintesis satu tahap dan menghasilkan produk kristal yang homogen pada temperatur rendah. Hidrotermal juga merupakan metode sintesis yang baik untuk mengontrol komposisi dan porositas ([Dahiya et al., 2018](#)).

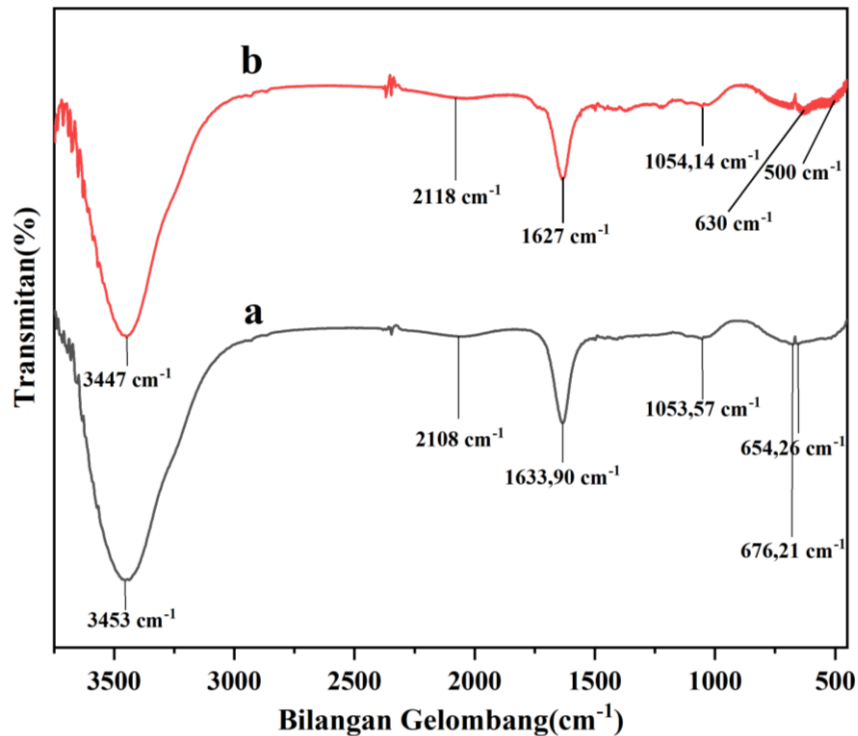
Kemudian diamati perubahan warna yang terjadi, diperoleh hasil berwarna hitam pekat berbentuk granular dengan berat 25 gram. Komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon aktif dikarakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Gas Sorption Analyzer* (GSA).

5.4 Karakterisasi Karbon Aktif dan Komposit

5.4.1 Karakterisasi *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR)

Fourier Transform Infra-Red (FTIR) merupakan karakterisasi awal dari sebuah material, yang bersifat kualitatif. Karakterisasi ini dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada karbon aktif dan komposit. Hasil

karakterisasi karbon aktif dan komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon aktif dapat dilihat pada Gambar 23.



Gambar 23. Serapan IR (a)Karbon Aktif dan (b)Komposit

Tabel 3. Gugus Fungsi Karbon Aktif dan Komposit

Ikatan	Frekuensi Serapan (cm ⁻¹)	
	Karbon Aktif	Cu/CuO-Cu ₂ O/Karbon Aktif
O-H	3436,65	3431
Alkuna	2108	2118
C=O	1633,90	1627
C-O	1053,57	1054,14
Cu(I)-O	-	630
Cu(II)-O	-	500

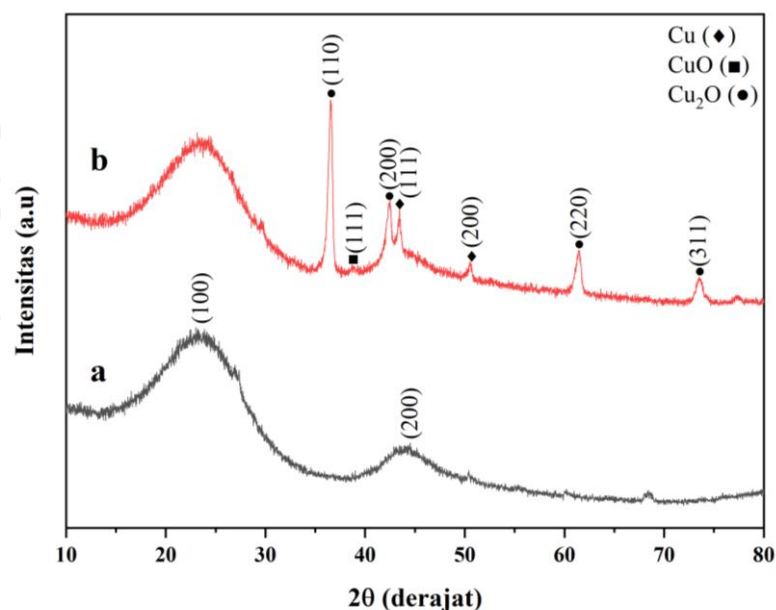
Hasil karakterisasi karbon aktif dari tempurung kelapa sawit menggunakan FTIR Tabel 3, menunjukkan serapan 3436,65 cm⁻¹ merupakan karakteristik vibrasi gugus hidroksi dari molekul air, alkohol dan karboksilat yang terdapat pada permukaan karbon aktif maupun komposit (Fisli et al., 2018). Serapan pada

bilangan gelombang $1633,90\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan serapan C=O yang merupakan gugus khas dari karbon aktif (Reknosari et al., 2020).

Hasil FTIR komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA memiliki perbedaan dengan karbon aktif tempurung kelapa sawit pada daerah *finger print* $500-700\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan daerah serapan logam CuO/Cu₂O (Margaret et al., 2021). Hal ini terjadi karena karbon aktif telah diimbangkan dengan logam. Terdapat serapan pada biangan gelombang 630 dan 500 cm^{-1} yang merupakan serapan dari Cu(I)-O dan Cu(II)-O (Tran et al., 2020). Serapan tersebut diprediksi bahwa logam yang diimbangkan membentuk ikatan dengan atom O pada C=O dari gugus fungsi -COOH pada permukaan karbon aktif. Sehingga dapat disimpulkan sintesis karbon aktif dari tempurung kelapa sawit dan sintesis komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon aktif berhasil dilakukan.

5.4.2 Karakterisasi X-Ray Diffraction (XRD)

Penentuan struktur kristal pada karbon aktif dari tempurung kelapa sawit dan komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA dianalisa menggunakan *x-ray diffraction* (XRD). Sekilas difraktogram antara keduanya terlihat berbeda, dimana pada komposit memberikan puncak-puncak difraksi yang tajam. Difraktogram karbon aktif dan komposit hasil sintesis ditunjukkan pada Gambar 25.



Gambar 24. Difraktogram (a)Karbon Aktif dan (b)Komposit

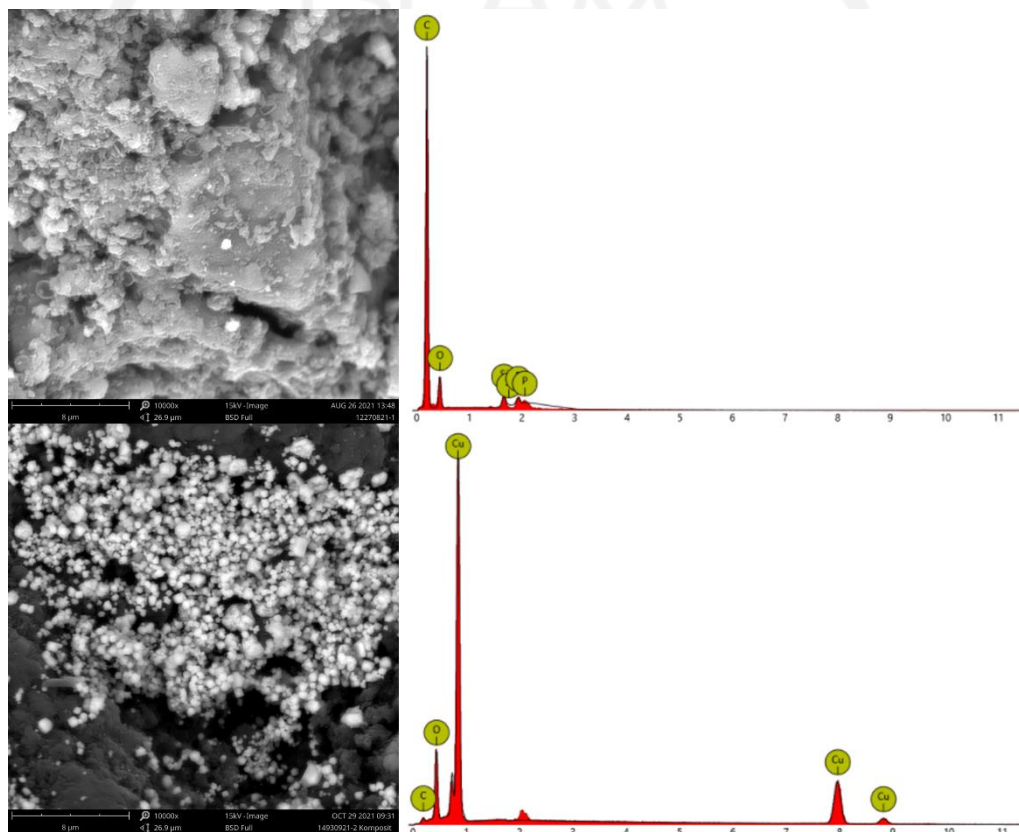
Gambar 25, karbon aktif menunjukkan distribusikan pada $2\theta = 23,020-68,403^\circ$, dengan beberapa puncak pada $23,010^\circ$ [100], $27,346^\circ$ [100], $44,505^\circ$ [200], $50,405^\circ$ [200] dan $68,403^\circ$ [220]. Berdasarkan nilai hkl tersebut, karbon aktif memiliki struktur *single cubic* (SC). Dua puncak dengan hkl [100] dan [200] pada $2\theta = 23,010^\circ$ dan $44,050^\circ$ merupakan bidang dari karbon amorf ([H. Chen et al., 2017](#)). Struktur amorf juga ditunjukkan dengan tidak adanya puncak yang tajam. Struktur ini terbentuk oleh rusaknya struktur kristal dari selulosa akibat proses aktivasi. Amorf merupakan padatan yang partikel penyusunnya tersusun secara acak ([Wei et al., 2019](#)). Ukuran kristal ditentukan dengan persamaan *Debye Scherer* dan didapatkan ukuran kristal (d) rata-rata karbon aktif sebesar 33,386 nm yang berarti material berukuran nanopartikel, karena ukuran kristal dibawah 100 nm.

Sedangkan komposit menunjukkan distribusi pada 2θ yang lebih tinggi yaitu $36,547-73,545^\circ$ dengan puncak tajam yang menunjukkan fase kristal. Pada Gambar 21, ditunjukkan komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon aktif memiliki fase semikristalin. Diperoleh ukuran kristal (d) rata-rata yaitu 18,152 nm, dimana ukuran kristal tersebut berada dibawah 100 nm yang merupakan nanopartikel. Puncak-puncak pada komposit yaitu berada pada $2\theta = 36,547^\circ$ [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]. Berdasarkan nilai hkl tersebut komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon aktif memiliki struktur *single cubic* (SC).

Dari difraktogram komposit yang dihasilkan dilakukan pengamatan terhadap adanya Cu, CuO dan Cu₂O. Puncak pada $2\theta = 43,449^\circ$ dan $50,541^\circ$ dengan bidang hkl [111] dan [200] merupakan puncak milik Cu sesuai dengan JCPDS No. 04-0836. Puncak pada $2\theta = 38,731^\circ$ dengan bidang hkl [111] merupakan puncak CuO sesuai dengan JCPDS No. 45-0937. Sedangkan puncak pada $2\theta = 36,547^\circ$; $42,447^\circ$, $61,345^\circ$ dan $73,545^\circ$ dengan bidang hkl [110], [200], [220] dan [311] merupakan puncak Cu₂O sesuai dengan JCPDS No. 05-0667. Rasio logam yang terembankan yaitu Cu₂O kemudian diikuti oleh Cu dan CuO. Hal ini dapat diprediksi bahwa terbentuk kristal antara logam dan material penyangga.

5.4.3 Karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Karbon aktif dan komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon aktif dikarakterisasi menggunakan SEM-EDX. Karakterisasi menggunakan SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan material, sedangkan dengan EDX untuk mengetahui komposisi unsur yang terdapat pada permukaan material. Pencitraan SEM ditunjukkan pada Gambar 26.



Gambar 25. Citra SEM-EDX (a)Karbon Aktif (b)Komposit

Tabel 4. 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

Karbon aktif memiliki kandungan unsur karbon (C) dan oksigen (O), apabila karbon aktif diimbangkan dengan logam maka akan terdapat unsur logam tersebut. Pada Gambar 26 (a), hasil citra SEM memberikan morfologi khas karbon aktif yang dihasilkan melalui proses aktivasi dan pirolisis. Sehingga terbentuk struktur pori tak beraturan yang tersebar pada permukaan karbon. Hal ini terjadi karena proses aktivasi, dimana asam fosfat berinteraksi dengan oksigen pada lignin dalam tempurung kelapa sawit dan merusak struktur lignin tersebut ([Jagtoyen & Derbyshire, 1998](#)). Pemanasan yang tinggi juga membantu pembentukan struktur berpori. Struktur berpori menunjukkan potensi sebagai bahan pendukung yang sangat baik untuk imobilisasi logam ([Khataee et al., 2019](#)).

Pada komposit yang disintesis secara hidrotermal (Gambar 26 (b)), dihasilkan morfologi yang berbeda dari citra SEM karbon aktif. Dimana citra SEM komposit menunjukkan pori yang tersebar lebih merata dan rapi. Pada hasil tersebut juga terlihat warna putih pada permukaan karbon aktif yang merupakan Cu/CuO-Cu₂O yang terdistribusi merata pada permukaan karbon aktif, mengubah sifat permukaan sehingga memiliki kapasitas adsorpsi lebih tinggi ([Shu et al., 2017](#)).

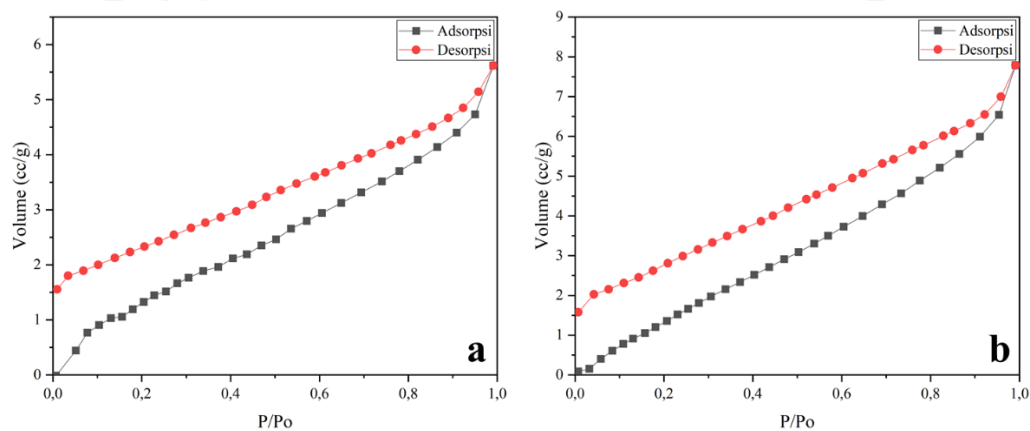
Hasil EDX Gambar 26 (a), menunjukkan komponen unsur pada karbon aktif terdiri dari karbon (C) 84,36%, oksigen (O) 14,89%, silikon (Si) 0,45% dan fosfor (P) 0,31%. Tingginya unsur karbon pada hasil tersebut sesuai dengan pernyataan [Chand et al \(2015\)](#) yang menyebutkan bahwa bahan baku karbon aktif memiliki kandungan karbon lebih dari 80%. Adanya unsur silikon (Si) dan fosfor (P) dengan presentase kecil menunjukkan bahwa pemanasan dengan adanya nitrogen mampu mendorong sisa aktivator dan pengotor bersamaan dengan tar dan senyawa volatil lainnya. Fosfor (P) sebagai unsur minor dengan konsentrasi 0,31%, merupakan unsur dari sisa proses aktivasi yang menggunakan asam fosfat (H₃PO₄).

Sedangkan pada hasil EDX komposit (Gambar 26 (b)), terdiri dari komponen unsur yaitu karbon (C) sebesar 9,72%, oksigen (O) sebesar 31,13% dan tembaga (Cu) sebesar 59,15%. Menurunnya presentase unsur karbon pada permukaan komposit membuktikan bahwa situs aktif pada karbon aktif semakin banyak mengikat logam yang diimbangkan. Presentase tembaga (Cu) dan oksigen (O) yang

besar menunjukkan bahwa logam Cu/CuO-Cu₂O berhasil diimbangkan pada karbon aktif ([Khataee et al., 2019](#)).

5.4.4 Karakterisasi *Gas Sorption Analyzer* (GSA)

Karakterisasi menggunakan *Gas Sorption Analyzer* (GSA) digunakan untuk mengetahui luas permukaan material dengan metode *Brunauer Ellmet Teller* (BET) dan untuk mengetahui ukuran serta volume pori dengan metode *Barret Joyner Hallenda* (BJH). Kurva isoterm karbon aktif dapat dilihat pada Gambar 27.



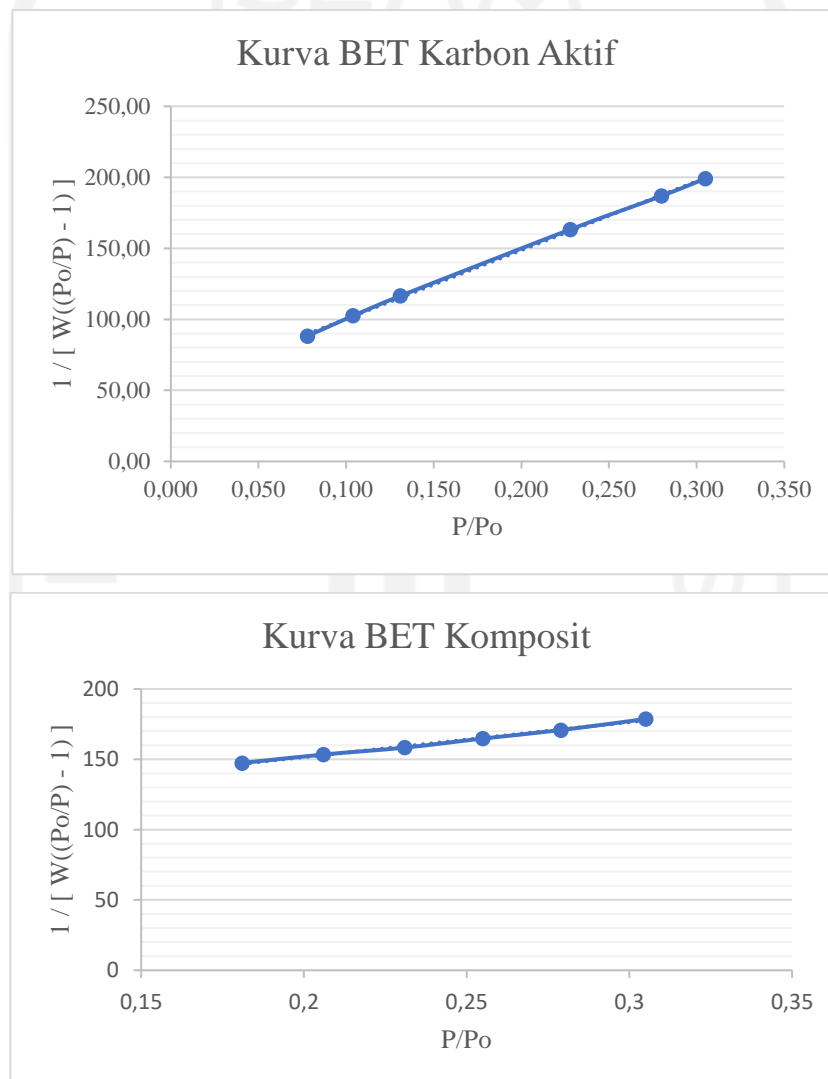
Gambar 26. Grafik Isoterm Adsorpsi-Desorpsi (a)Karbon Aktif (b)Komposit

Menurut klasifikasi IUPAC Gambar 27 menunjukkan karbon aktif yang disintesis dari tempurung kelapa sawit dan komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon aktif memiliki kombinasi kurva isoterm tipe I dan IV yang merupakan karakteristik material berpori mikro dengan kontribusi mesoporisitas ([Abdessemed et al., 2019](#)). Hasil ini lebih dominan pada tipe mikropori yang mengungkapkan karbon aktif dan komposit memiliki tipe pori mikro ([Salgado et al., 2018](#)), didukung dengan diperolehnya ukuran pori sebesar 1,8 nm dan volume total pori sebesar 0,008 cc/g. Penyisipan logam nampaknya tidak memberikan pengaruh pada mikroporositas, mungkin ukuran ion tembaga (0,26 nm) memungkinkan logam ini mengakses struktur mesopori dan sangat mikropori tetapi bukan diameter mikropori yang sempit ([Abdedayem et al., 2015](#)).

Terbentuknya karbon aktif dengan tipe mikropori ini dapat disebabkan oleh konsentrasi dari aktivator yaitu H₃PO₄ 65%. Konsentrasi asam yang tinggi akan meningkatkan perkembangan porositas dan jika dilakukan impregnasi dengan konsentrasi yang lebih tinggi dapat terjadi kerusakan struktur pori ([Diao et al.,](#)

2002). Dijelaskan pada penelitian [Jagtoyen & Derbyshire \(1998\)](#), impregnasi dengan H_3PO_4 tidak hanya mendorong dekomposisi pirolitik bahan mentah tetapi juga mengarah pada pembentukan struktur ikatan silang. Selain konsentrasi aktivator, suhu pemanasan saat proses pirolisis juga menjadi faktor dihasilkan karbon aktif dengan tipe pori mikro ([Diao et al., 2002](#)).

Kurva BET karbon aktif dan komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon aktif dapat dilihat pada Gambar 28.



Gambar 27. Kurva BET Karbon Aktif dan Komposit

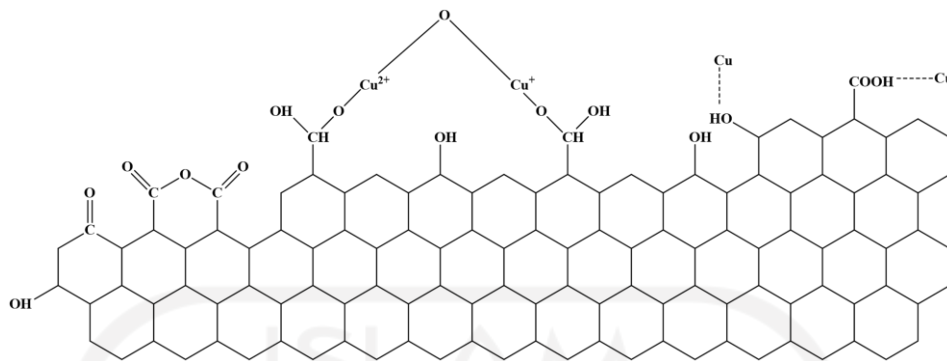
Berdasarkan kurva BET karbon aktif, diperoleh nilai slope sebesar 484,3 dan nilai intersep sebesar 51,907 dengan nilai koefisien relasi yaitu 0,9995. Diperoleh konstanta BET sebesar 10,330 dan massa gas nitrogen yang teradsorb monolayer

yaitu 0,00186. Berdasarkan perhitungan dengan metode BET diperoleh luas permukaan dan luas permukaan spesifik karbon aktif yaitu 6,478 m²/g dan 149,690 m²/g.

Sedangkan kurva BET untuk komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon aktif diperoleh nilai slope dan intersep yaitu 249,23 dan 101,68 dengan nilai koefisien relasi yaitu 0,996. Konstanta BET komposit sebesar 3,451 dan massa gas nitrogen yang teradsorb monolayer yaitu 0,00284. Dengan menggunakan metode BET diperoleh luas permukaan dan luas permukaan spesifik komposit yaitu 9,892 m²/g dan 660,792 m²/g.

Karbon aktif dan komposit memiliki luas permukaan yang berbeda, dimana komposit merupakan gabungan logam dan karbon aktif sebagai material pendukung memiliki luas permukaan yang lebih besar. Peningkatan luas permukaan ini erat kaitannya dengan bertambahnya sisi aktif pada katalis akibat adanya logam ([Munnik et al., 2015](#)). Peningkatan luas permukaan pada komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon aktif, menunjukkan komposit baik digunakan sebagai katalis karena interaksi antara permukaan dan reaktan semakin besar sehingga diprediksi memberikan kualitas produk yang baik.

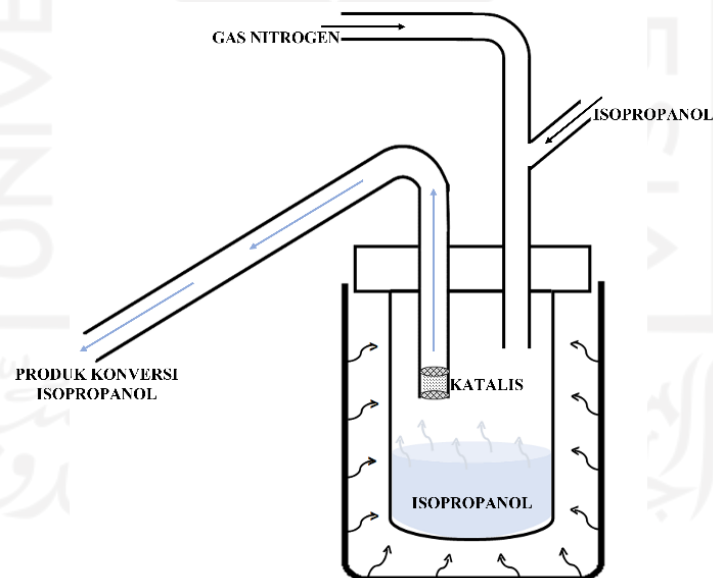
Berdasarkan karakterisasi karbon aktif dan komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon aktif yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa sintesis karbon aktif dan komposit berhasil dilakukan. Hal ini dapat ditunjukkan dengan hasil FTIR yaitu adanya ikatan Cu-O pada karbon aktif dengan mengikat gugus karbonil (-OH) dan karboksil (-COOH) melalui interaksi elektrostatis ([Z. Xu et al., 2021](#)). Berdasarkan data SEM-EDX dihasilkan citra morfologi dengan persebaran logam pada permukaan karbon aktif yang ditunjukkan dengan warna putih. Gambar 29, menunjukkan ilustrasi logam Cu/CuO-Cu₂O yang diembankan pada karbon aktif.



Gambar 28. Ilustrasi Karbon Aktif yang Mengikat Cu/CuO-Cu₂O

5.5 Aplikasi Katalis Cu/CuO-Cu₂O/KA pada Konversi Isopropanol

Proses konversi isopropanol dilakukan pada sebuah reaktor dengan komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon aktif sebagai katalis. Pada uji ini reaktan diposisikan terpisah dengan katalis. Konversi isopropanol dilakukan pada suhu 130, 180 dan 230 °C ([Díaz de Leon et al., 2020](#)). Dilakukan penahanan selama 20 menit pada masing-masing variasi suhu untuk memastikan seluruh reaktan telah habis terkonversi.

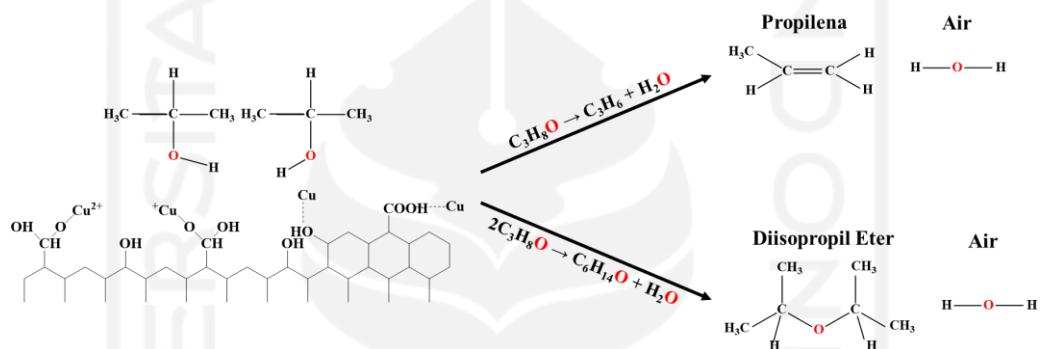


Gambar 29. Reaktor Konversi Isopropanol

Dehidrasi dan dehidrogenasi merupakan reaksi konversi alkohol, menurut [Armenta et al \(2019\)](#) dehidrasi isopropanol menghasilkan propilena dan diisopropil eter atau keduanya. Sedangkan dehidrogenasi isopropanol menghasilkan aseton. Katalis asam memberikan reaksi signifikan untuk produksi alkena bernilai tambah

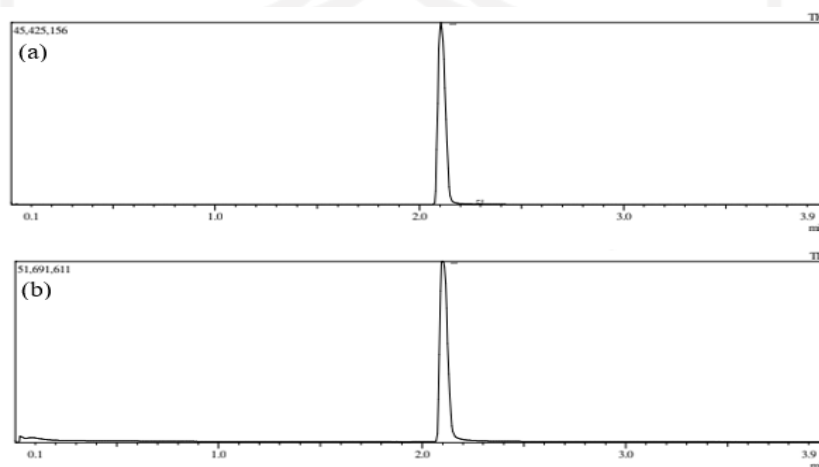
(propilena dan etilena) dan eter ([Larmier et al., 2015](#)). Dehidrasi alkohol merupakan reaksi endotermik, dimana dengan meningkatnya suhu maka kesetimbangan akan bergeser kearah pembentukan produk ([Ghosh et al., 2019](#)).

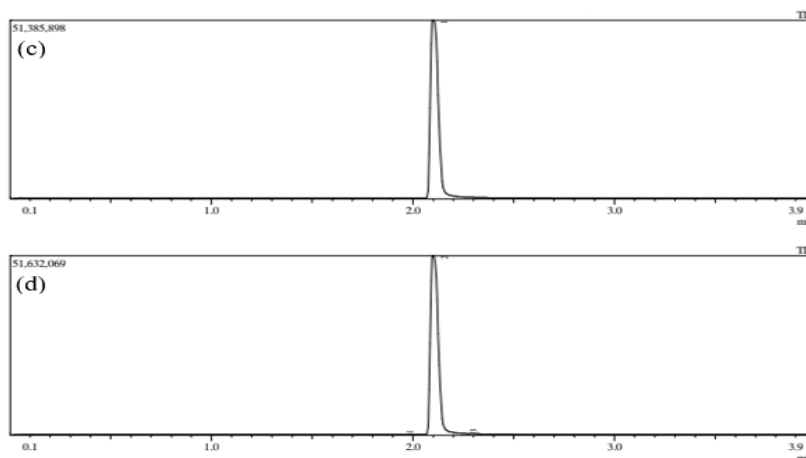
Gambar 31 menunjukkan skema reaksi dehidrasi isopropanol pada karbon aktif yang diimbangkan dengan Cu dan CuO-Cu₂O. Kehadiran Cu dan Cu -oksida mungkin meningkatkan sifat asam katalis ([Armenta et al., 2019](#)). Tembaga memiliki kemampuan untuk memutuskan ikatan utama C-O alkohol, hal ini menjadikan tembaga -oksida bertindak sebagai situs asam lewis ([Chimentão et al., 2021](#)).



Gambar 30. Skema Reaksi Dehidrasi Isopropanol
(Sumber: [Armenta et al., 2019](#))

Identifikasi komponen yang terkandung didalam isopropanol standar dan hasil konversi isopropanol menggunakan GCMS, yang menghasilkan kromatogram seperti Gambar 32.





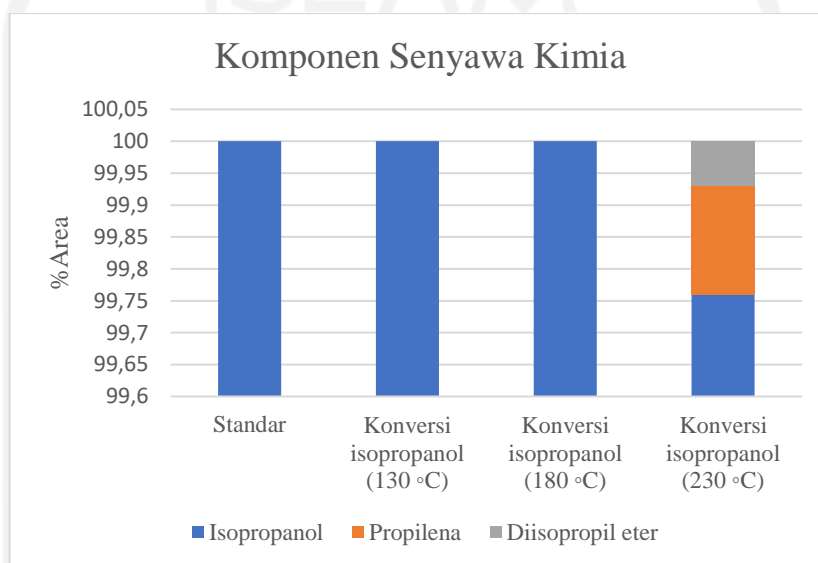
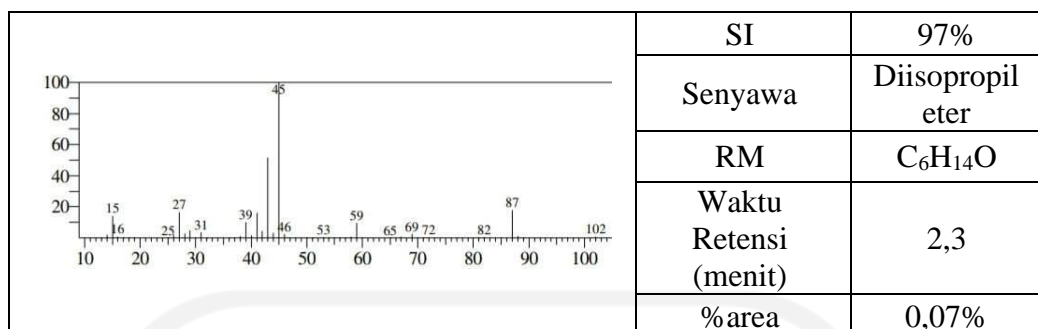
Gambar 31. (a)Standar (b)Konversi Isopropanol 130 °C (c)180 °C (d)230 °C

Dari kromatogram yang ditunjukkan pada Gambar 32, isopropanol standar menghasilkan satu puncak. Hasil konversi isopropanol menggunakan katalis Cu/CuO-Cu₂O/Karbon aktif dengan gas nitrogen pada variasi suhu 130 °C dan 180 °C menghasilkan satu puncak sedangkan 230 °C tiga puncak. Komponen komponen senyawa kimia tersebut memiliki persebaran yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Persebaran Senyawa pada Standar dan Produk Konversi Isopropanol

Standar Isopropanol		
	SI	84%
	Senyawa	Isopropanol
	RM	C ₃ H ₈ O
	Waktu Retensi (menit)	2,105
	%area	100%

Produk Konversi Isopropanol (130 °C)		
	SI	83%
	Senyawa	Isopropanol
	RM	C ₃ H ₈ O
	Waktu Retensi (menit)	2,099
	%area	100%
Produk Konversi Isopropanol (180 °C)		
	SI	83%
	Senyawa	Isopropanol
	RM	C ₃ H ₈ O
	Waktu Retensi (menit)	2,098
	%area	100%
Produk Konversi Isopropanol (230 °C)		
	SI	98%
	Senyawa	Propilena
	RM	C ₃ H ₆
	Waktu Retensi (menit)	1,985
	%area	0,17%
	SI	83%
	Senyawa	Isopropanol
	RM	C ₃ H ₈ O
	Waktu Retensi (menit)	2,098
	%area	99,76%



Gambar 32. Senyawa Kimia pada Standar dan Hasil Konversi Isopropanol

Pada Gambar 33, ditunjukkan persebaran senyawa yang beragam. Pada isopropanol standar dihasilkan puncak pada waktu retensi 2,105 menit dengan %area sebesar 100% dan memiliki indeks kemiripan/*similarity index* (SI)= 84% yang merupakan senyawa isopropanol dengan rumus molekul C₃H₈O. Dengan adanya puncak tersebut menunjukkan dalam larutan isopropanol standar terbukti mengandung isopropanol.

Konversi isopropanol menggunakan komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon aktif sebagai katalis pada variasi suhu 130 dan 180 °C menunjukkan belum terjadi proses konversi. Hal ini karena puncak yang dihasilkan pada masing-masing suhu merupakan senyawa isopropanol. Sedangkan pada variasi suhu 230 °C diperoleh dua produk yang merupakan senyawa propilena dan diisopropil eter sesuai dengan hipotesis penelitian, yaitu pada puncak pertama dan ketiga. Puncak pertama

memiliki waktu retensi 1,985 menit dengan %area 0,17% dan memiliki indeks kemiripan/*similarity index* (SI)=98% yang merupakan senyawa propilena dengan rumus molekul C_3H_6 . Puncak ketiga memiliki waktu retensi 2,300 menit dengan %area 0,07% dan memiliki indeks kemiripan/*similarity index* (SI)=97% yang merupakan senyawa diisopropil eter dengan rumus molekul $C_6H_{14}O$. Hasil ini menunjukkan konversi terjadi melalui reaksi dehidrasi, sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menyebutkan konversi isopropanol dengan katalis yang diimbangkan dengan Cu- oksida mengarahkan pada reaksi dehidrasi yang menghasilkan diisopropil eter dan propilena ([Armenta et al., 2019](#)).

Pada penelitian ini, hasil dari konversi isopropanol diperoleh dengan %area yang kecil. Salah satu faktor yang mempengaruhi hal ini yaitu laju alir gas nitrogen pada proses konversi. Dengan laju alir gas nitrogen yang terlalu cepat menyebabkan katalis bekerja dalam waktu yang singkat sehingga kurang maksimal dalam mengkonversi uap isopropanol.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dan hasil dibahas, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Karbon aktif tempurung kelapa sawit dapat disintesis melalui metode aktivasi secara kimia menggunakan H_3PO_4 65% dan pirolisis pada suhu $800\text{ }^\circ\text{C}$ dibawah aliran nitrogen. Diperoleh karbon aktif yang memiliki gugus fungsi O-H alkohol, C=O, alkuna dan C-O. Memiliki struktur kristal amorf dengan luas permukaan spesifik sebesar $149,690\text{ m}^2/\text{g}$. Citra SEM menunjukkan karbon aktif memiliki struktur pori tak beraturan yang tersebar pada permukaannya, mengandung unsur karbon dan oksigen sebesar 84,36% dan 14,89%.
2. Katalis Cu/CuO-Cu₂O/Karbon aktif dapat disintesis melalui metode hidrotermal pada suhu $300\text{ }^\circ\text{C}$. Diperoleh katalis dengan gugus fungsi O-H alkohol, C=O, alkuna, C-O, Cu(I)-O dan Cu(II)-O. Memiliki struktur semi kristal dengan luas permukaan spesifik sebesar $660,792\text{ m}^2/\text{g}$. Citra SEM menunjukkan persebaran pori yang lebih merata dan rapi pada permukaan komposit, dengan kandungan unsur tembaga 59,15%, oksigen 31,13% dan karbon 9,72%.
3. Katalis Cu/CuO-Cu₂O/Karbon aktif pada konversi isopropanol, lebih selektif pada reaksi dehidrasi. Dihasilkan senyawa propilena dan diisopropil eter pada suhu $230\text{ }^\circ\text{C}$.

6.2 Saran

Pada penelitian ini masih perlu dilakukan pengkajian kembali terhadap sintesis komposit dari karbon aktif dan logam oksida terutama dalam rasio massa masing-masing komponen. Agar diperoleh komposit yang dapat digunakan sebagai katalis dengan kualitas yang lebih baik untuk konversi senyawa yang diinginkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdedayem, A., Guiza, M., & Ouederni, A. 2015. Copper Supported on Porous Activated Carbon obtained by Wetness Impregnation: Effects of Preparation Conditions on the Ozonation Catalyst's Characteristics. *Comptes Rendus Chimie*, 18, 100-109.
- Abdelhamid, H. N., Goda, M. N., & Said, A. E. A. A. (2020). Selective Dehydrogenation of Isopropanol on Carbonized Metal–Organic Frameworks. *Nano-Structures and Nano-Objects*, 24.
- Abdessemed, A., Rasalingam, S., Abdessemed, S., Djebbar, K. E. Z., & Koodali, R. (2019). Impregnation of ZnO onto a Vegetal Activated Carbon from Algerian Olive Waste: A Sustainable Photocatalyst for Degradation of Ethyl Violet Dye. *International Journal of Photoenergy*.
- Abdullah, I., Manik, Y. N., Barita, Jufrizal, Supriatno, Zainuddin, & Eswanto. (2019). Desain Insinerator Menggunakan Bahan Bakar Cangkang Kelapa Sawit. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 2(1), 34–43.
- AL-Oqla, F. M., & Salit, M. S. (2017). Material Selection of Natural Fiber Composites. In *Advanced Fibrous Composite Materials for Ballistic Protection* (pp. 107–168).
- Alfarisa, S., Rifai, D. A., & Toruan, P. L. (2018). Studi Difraksi Sinar-X Struktur Nano Seng Oksida (ZnO). *Risalah Fisika*, 2(2), 53–57.
- Ali, I. O., El-Molla, S. A., Ibraheem, I. A., & Salama, T. M. (2014). Synthesis and Characterization of Metal Oxides Loaded-HZSM-5 and Their Implication for Selective Conversion of Isopropanol. *Microporous and Mesoporous Materials*, 197, 48–57.
- Ali Sabit, M. T. (2012). Efek Suhu Pada Proses Pengarangan terhadap Nilai Kalor Arang Tempurung Kelapa (Coconut Shell Charcoal). *Jurnal Neutrino*, 3(2), 143–152.
- Alorabi, A. Q., Hassan, M. S., & Azizi, M., 2020, Fe₃O₄-CuO-Activated Carbon Composite as an Efficient Adsorben for Bromophenol Blue Dye Removal from Aqueous Solutions. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(11).
- Amin, M., Subri, M., & Jamasri. (2016). Karakterisasi Penggunaan Bahan

- Absorben dan Katalis dalam Pembuatan Material CMC untuk Filter Gas Buang Kendaraan Bermotor. *Mekanika*, 15(2).
- Aritonang, & Hestina. (2018). Daya Adsorpsi Karbon Aktif dari Cangkang Kemiri terhadap Kadar Bilangan Peroksida pada Minyak Goreng Bekas. *Jurnal Kimia Saintek Dan Pendidikan*, 2(1), 21–30.
- Armenta, M. A., Valdez, R., Silva-Rodrigo, R., & Olivas, A. (2019). Diisopropyl Ether Production Via 2-Propanol Dehydration using Supported Iron Oxides Catalysts. *Fuel*, 934–941.
- Arul Jayan, M., Dawn, S. S., & Vinoth Kumar, G. G. (2021). Facile Preparation of Highly Dispersed Copper Promoted Cobalt Catalyst Supported on Alumina Nanospheres. *Materials Letters*, 286, 129221.
- Askaputra, A., & Yuliansyah, A. T. (2020). Pengaruh Variasi Suhu Hidrotermal dan Aktivator Kalium Hidroksida (KOH) terhadap Kemampuan Hydrochar sebagai Adsorben pada Proses Adsorpsi Limbah Cair Metilen Biru. *Jurnal Rekayasa Proses*, 14(2), 160.
- Balaz, P., & Palkova, G. (1984). *Decomposition of Isopropyl Alcohol on Sulfidic Catalysts L Dehydrogenation and Dehydration of Isopropyl Alcohol on Natural Chalcopyrite*. 39(1), 35–40.
- Barakat, M. A., Kumar, R., Rashid, J., Seliem, M. K., Al-Mur, B., & El-Shishtawy, R. M. (2020). A Novel CuO–Cu₂O/Ag–Ag₃PO₄ Nanocomposite: Synthesis, Characterization, and its Application for 2-Chlorophenol Decontamination Under Visible Light. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 115, 208–217.
- Bergna, D., Varila, T., Romar, H., & Lassi, U. (2018). Comparison of the Properties of Activated Carbons Produced in One-Stage and Two-Stage Processes. *C*, 4(3), 41.
- Bokov, D., Turki Jalil, A., Chupradit, S., Suksatan, W., Javed Ansari, M., Shewael, I. H., Gabdrakhman, H., Valiev, & Kianfar, E., 2021, Nanomaterial by Sol-Gel Method: Synthesis and Application. *Advance in Material Science and Engineering*.
- Bragg, W. L. (1913). The Structure of Some Crystals as Indicated by Their

- Diffraction of X-rays. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, 248–277.
- Britanica, T. Editors of Encyclopedia., 2018, *Miller Indices. Encyclopedia Britannica*.
- Bunaciu, A. A., Udriștioiu, E. gabriela, & Aboul-Enein, H. Y. (2015). X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 45(4), 289–299.
- Byrappa, K., Yoshimura, M., 2001, *Handbook of Hydrothermal Technology*, Noyes Publication, New Jersey, USA.
- Cahyono, M. S., 2013, Pengaruh Jenis Bahan pada Proses Pirolisis Sampah Organik menjadi Bio-oil sebagai Sumber Energi Terbarukan, *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 5(2), 67-76.
- Cano-Casanova, Laura, Ana, A. P., Maria, A. L., & Maria, D. C. R., 2018, Effect of the Preparation Method (Sol-Gel or Hydrothermal) and Conditions on the TiO₂ Properties and Activity for Propene Oxidation. *Materials (Basel)*, 11(11), 2227.
- Carr, D. J., & Crawford, C. M. (2016). Fabrics and Composites for Ballistic Protection. In *Advanced Fibrous Composite Materials for Ballistic Protection*. Elsevier Ltd.
- Chand, Bansal, Roop, Meenakshi Goyal, 2005, *Activated Carbon Adsorption*, United States of America (USA): Lewis Publisher.
- Chen, H., Guo, Y. C., Wang, F., Wang, G., Qi, P. R., Guo, X. H., Dai, B., & Yu, F. (2017). An Activated Carbon Derived from Tobacco Waste for Use as A Supercapacitor Electrode Material. *Xinxing Tan Cailiao/New Carbon Materials*, 32(6), 592–599.
- Chen, K. F., Kao, C. M., Chen, C. W., Surampalli, R. Y., & Lee, M. S. (2010). Control of Petroleum-Hydrocarbon Contaminated Groundwater by Intrinsic and Enhanced Bioremediation. *Journal of Environmental Sciences*, 22(6), 864–871.
- Cheng, J., Hu, S. C., Sun, G. T., Kang, K., Zhu, M. Q., & Geng, Z. C. (2021). Comparison of activated carbons prepared by one-step and two-step chemical

- activation process based on cotton stalk for supercapacitors application. *Energy*, 215, 119144. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119144>
- Cheremisinoff, N. P. (2000). *Handbook of Hazardous Chemical Properties*. Butterworth-Heinemann.
- Chimentão, R. J., Hirunsit, P., Torres, C. S., Ordoño, M. B., Urakawa, A., Fierro, J. L. G., & Ruiz, D. (2021). Selective Dehydration of Glycerol on Copper based Catalysts. *Catalysis Today*, 367, 58–70.
- Corley, R. H. V, & Tinker, P. B. (2007). The Classification and Morphology of the Oil Palm. In *The Oil Palm* (Fourth, pp. 27–51).
- Correa, C. R., & Kruse, A. (2018). Biobased Functional Carbon Materials: Production, Characterization, and Applications-A Review. *Materials*, 11(9).
- Dahiya, M. S., Tomer, V. K., & Duhan, S. (2018). Metal-Ferrite Nanocomposites for Targeted Drug Delivery. In *Applications of Nanocomposite Materials in Drug Delivery* (pp. 737–760). Elsevier Inc.
- De Waele, J., Galvita, V. V., Poelman, H., Gabrovská, M., Nikolova, D., Damyanova, S., & Thybaut, J. W. (2020). Ethanol Dehydrogenation Over Cu Catalysts Promoted with Ni: Stability Control. *Applied Catalysis A: General*.
- Dhawane, S. H., Kumar, T., & Halder, G. (2016). Biodiesel Synthesis from Hevea Brasiliensis Oil Employing Carbon Supported Heterogeneous Catalyst: Optimization by Taguchi Method. *Renewable Energy*, 89, 506–514.
- Diao, Y., Walawender, W. P., & Fan, L. T. (2002). Activated Carbons Prepared from Phosphoric Acid Activation of Grain Sorghum. *Bioresource Technology*, 81, 45–52.
- Díaz de Leon, J. N., Cruz-Taboada, A., Esqueda-Barron, Y., Alonso-Nuñez, G., Loera-Serna, S., Venezia, A. M., Poisot, M. E., & Fuentes-Moyado, S. (2020). Catalytic Dehydration of 2-Propanol Over Al₂O₃-Ga₂O₃ and Pd/Al₂O₃-Ga₂O₃ Catalysts. *Catalysis Today*, 356(January), 339–348.
- Doni, S., & Suprihanto, N. (2012). Penggunaan Katalis Komposit Terimmobilisasi Berbasis Nanofiber TiO₂ dalam Pengolahan Fotokatalitik Limbah Cair Bewarna Tekstil. *Arena Tekstil*, 27(2), 55–62.
- Epp, J. (2016). X-Ray Diffraction (XRD) Techniques for Materials

- Characterization. In *Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods*. Elsevier Ltd.
- Erawati, E., & Afifah, E. F. N. (2019). Pembuatan Karbon Aktif Dari Gergaji Kayu Jati (*Tectona grandis* L, f) (Ukuran Partikel dan Jenis Aktivator). *Proceeding of The URECOL*, 97–104.
- Febrianto, E. B., Gunawan, H., & Sirait, N. V. (2019). Karakteristik Morfologi Kelapa Sawit (*Elaeis guineensi* Jacq.) Varietas DyxP Dumpy dengan Pemberian Asam Humat pada Media Tanah Salin di Main Nursery. *BERNAS Agricultural Research Journal*, 15(2), 103–120.
- Feng, X., Ma, X., Li, N., Shang, C., Yang, X., & Chen, X. D. (2015). Adsorption of Quinoline from Liquid Hydrocarbons on Graphite Oxide and Activated Carbons. *RSC Advances*.
- Fessenden, R. J., & Fessenden, J. S. (1982). Organic Chemistry. In S. Edition (Ed.), *Nanochemistry: Second Edition*. Williard Grant Press.
- Fisli, A., Safitri, R. D., Nurhasni, N., & Deswita, D. (2018). Analisis Struktur dan Porositas Komposit Fe₃O₄-Karbon Aktif dari Limbah Kertas sebagai Adsorben Magnetik. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 19(4), 179.
- Frestika, M. Y., Mayasari, R. D., Masmui, Agustanhakri, Purawiardi, R. I., Yuliasari, Muslimin, A. N., Dani, M., Budi, A. S., & Nuryadi, R. (2017). Investigasi Pembentukan Ikatan Zn-O Rods di Atas Permukaan Mikrokantilever dengan Uji Karakterisasi FTIR. *Spektra: Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 2(2).
- Fu, G., Wang, Z., Zhang, Y., Huang, Z., Liu, J., Zhou, J., & Cen, K. (2016). Effect of Raw Material Sources on Activated Carbon Catalytic Activity for HI Decomposition in the Sulfur-Iodine Thermochemical Cycle for Hydrogen Production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(19), 7854–7860.
- Gandjar, I. G., & Rochman, A., 2007, *Kimia Farmasi Analis*, Pustaka Pelajar, Yogyakarta.
- Ghosh, A., Bhaduri, K., Shah, S., Auroux, A., Pandey, J. K., & Chowdhury, B. (2019). Dehydration of Isopropanol to Propylene Over Fullerene[C₆₀] Containing Niobium Phosphate Catalyst: Study on Catalyst Recyclability.

Molecular Catalysis, 475(June), 110470.

- Halik, M., Annisa, N., Sudirman, & Subaer. (2015). Sintesis Dan Karakterisasi Hidroksiapatit dari Nanopartikel Kalsium Oksida (CaO) Cangkang Telur Untuk Aplikasi Dental Implan. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXIX HFI Jateng & DIY*, 3, 124–127.
- Halimah Batubara, D., & Maulina, S. (2018). Hidrolisis Selulosa Menggunakan Katalis Karbon Tersulfonasi Berbasis Cangkang Kemiri. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 7(2), 23–27.
- Handika, G., Maulina, S., & Mentari, V. A. (2017). Karakteristik Karbon Aktif dari Pemanfaatan Limbah Tanaman Kelapa Sawit dengan Penambahan Aktivator Natrium Karbonat (Na₂CO₃) dan Natrium Klorida (NaCl). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 6(4), 41–44.
- Hani, N., Bayu, E. S., & Damanik, R. I. (2019). Analisis Keragaman Genetik Klon Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) Berdasarkan Primer SSR (Simple Sequence Repeats). *Jurnal Online Agroteknologi*.
- Heidarinejad, Z., Dehghani, M. H., Heidari, M., Javedan, G., Ali, I., & Sillanpää, M. (2020). Methods for Preparation and Activation of Activated Carbon: A Review. *Environmental Chemistry Letters*, 18(2), 393–415.
- 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).
- Huang, Y. B., & Fu, Y. (2013). Hydrolysis of Cellulose to Glucose by Solid Acid Catalysts. *Green Chemistry*, 15.
- Indihani, R. R., Nugroho, W. A., & Lutfi, M. (2017). Pengaruh Konsentrasi Aktivator Arang Aktif Dan Waktu Kontak Limbah Terhadap Kandungan TDS Dan Zat Warna Limbah Cair Batik. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 5(3), 281–288.
- Iwanow, M., Gärtner, T., Sieber, V., & König, B. (2020). Activated Carbon as Catalyst Support: Precursors, Preparation, Modification and Characterization. *Beilstein Journal of Organic Chemistry*, 16.
- Izhab, I., Amin, N. A. S., & Asmadi, M. (2017). Dry Reforming of Methane Over

- Oil Palm Shell Activated Carbon and ZSM-5 Supported Cobalt Catalysts. *International Journal of Green Energy*, 14(10), 831–838.
- Jagtoyen, M., & Derbyshire, F. (1998). Activated Carbons from Yellow Poplar and White Oak by H₃PO₄ Activation. *Carbon*, 36(7–8), 1085–1097. [https://doi.org/10.1016/S0008-6223\(98\)00082-7](https://doi.org/10.1016/S0008-6223(98)00082-7)
- Jiang, D., Xue, J., Wu, L., Zhou, W., Zhang, Y., & Li, X. (2017). Photocatalytic Performance Enhancement of CuO/Cu₂O Heterostructures for Photodegradation of Organic Dyes: Effects of CuO Morphology. *Applied Catalysis B: Environmental*, 211, 199–204.
- Khataee, A., Kalderis, D., Gholami, P., Fazli, A., Moschogiannaki, M., Binas, V., Lykaki, M., & Konsolakis, M. (2019). Cu₂O-CuO@Biochar Composite: Synthesis, Characterization and Its Efficient Photocatalytic Performance. *Applied Surface Science*.
- Kökdemir, B., & Acaralı, N. (2021). A Novel Study on CHEMCAD Simulation of Isopropyl Alcohol Dehydrogenation Process Development. *Journal of the Indian Chemical Society*, 98(3).
- Kostetskyy, P., & Mpourmpakis, G. (2015). Structure-Activity Relationships in the Production of Olefins from Alcohols and Ethers: A First-Principles Theoretical Study. *Catalysis Science and Technology*, 5(9), 4547–4555.
- Kr Singh, B., Dusane, R. O., & Parida, S. (2021). Possibility of Large-Scale Patterning of a Printed Circuit Board to Produce Copper Oxide Nanowire All-Solid-State Micro-Supercapacitors Array with High Specific Capacity. *Materials Science and Engineering B: Solid-State Materials for Advanced Technology*.
- Kurniawan, R., Luthfi, M., & Wahyunanto, A. (2014). Karakterisasi Luas Permukaan Bet (Braunear , 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.
- Lan, X., Duan, Z., Wang, Y., & Xu, J. (2019). Advance in Synthesizing Cu-based Catalysts Applying to Dehydrogenation Process: Review. *Petroleum Chemistry*, 59(11), 1169–1176.

- Larmier, K., Chizallet, C., Cadran, N., Maury, S., Abboud, J., Lamic-Humblot, A. F., Marceau, E., & Lauron-Pernot, H. (2015). Mechanistic Investigation of Isopropanol Conversion on Alumina Catalysts: Location of Active Sites for Alkene/Ether Production. *ACS Catalysis*, 5(7), 4423–4437. <https://doi.org/10.1021/acscatal.5b00723>
- Lee, J., Kim, K. H., & Kwon, E. E. (2017). Biochar as a Catalyst. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Lubis, R. A. F., Nasution, H. I., & Zubir, M. (2020). Production of Activated Carbon from Natural Sources for Water Purification. *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology (IJCST)*, 3(2), 67.
- 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.
- Marsh, H., & Rodríguez-Reinoso, F. (2006). Activated Carbon (Origins). In *Activated Carbon* (pp. 13–86).
- Marzuki, I. (2021). *Pengantar Kimia Organik Fisis*. CV Tohar Media.
- Mawardi, I., & Lubis, H., 2019, *Proses Manufaktur Plastik dan Komposit*, Penerbit Andi.
- Maulinda, L., ZA, N., & Sari, D. N. (2017). Pemanfaatan Kulit Singkong sebagai Bahan Baku Karbon Aktif. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 4(2), 11.
- Mehrabadi, B. A. T., Eskandari, S., Khan, U., White, R. D., & Regalbuto, J. R. (2017). A Review of Preparation Methods for Supported Metal Catalysts. In *Advances in Catalysis* (1st ed., Vol. 61). Elsevier Inc.
- Mentari, A. V., Handika, G., & Maulina, S. (2018). Perbandingan Gugus Fungsi dan Morfologi Permukaan Karbon Aktif dari Pelepah Kelapa Sawit menggunakan Asam Fosfat (H₃PO₄) dan Asam Nitrat (HNO₃). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 7(1), 16–20.
- Mo, K. H., Chin, T. S., Alengaram, U. J., & Jumaat, M. Z. (2016). Material and Structural Properties of Waste-Oil Palm Shell Concrete Incorporating Ground Granulated Blast-Furnace Slag Reinforced with Low-Volume Steel Fibres.

- Journal of Cleaner Production*, 133, 414–426.
- Mohamad Nor, N., Lau, L. C., Lee, K. T., & Mohamed, A. R. (2013). Synthesis of Activated Carbon from Lignocellulosic Biomass and its Applications in Air Pollution Control - A Review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1(4), 658–666.
- Mosleh, S., Rahimi, M. R., Ghaedi, M., Dashtian, K., & Hajati, S. (2018). Sonochemical-Assisted Synthesis of CuO/Cu₂O/Cu Nanoparticles as Efficient Photocatalyst for Simultaneous Degradation of Pollutant Dyes in Rotating Packed Bed Reactor: LED Illumination and Central Composite Design Optimization. *Ultrasonics Sonochemistry*, 40, 601–610.
- Munnik, P., De Jongh, P. E., & De Jong, K. P. (2015). Recent Developments in the Synthesis of Supported Catalysts. *Chemical Reviews*, 115, 6687–6718.
- Murat, M., Tišler, Z., Šimek, J., & Hidalgo-Herrador, J. M. (2020). Highly Active Catalysts for the Dehydration of Isopropanol. *Catalysts*, 10(6).
- Nahil, M. A., & Williams, P. T. (2012). Pore characteristics of activated carbons from the phosphoric acid chemical activation of cotton stalks. *Biomass and Bioenergy*, 37, 142–149. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.12.019>
- National Center for Biotechnology Information (NCBI), 2022, PubChem Compound Summary for CID 1004, *Phosphoric Acid*.
- Navagally, R. R. (2017). Composite Materials - History, Types, Fabrication Techniques, Advantages, and Applications. *International Journal of Mechanical And Production Engineering*, 5(9), 82–87.
- Nikam, A. V., Arulkashmir, A., Krishnamoorthy, K., Kulkarni, A. A., & Prasad, B. L. V. (2014). pH-Dependent Single-Step Rapid Synthesis of CuO and Cu₂O Nanoparticles from The Same precursor. *Crystal Growth and Design*, 14(9), 4329–4334.
- Nurdiansah, H., & Susanti, D. (2013). Pengaruh Variasi Temperatur Karbonisasi dan Karbon Aktif Tempurung Kelapa dan Kapasitansi Electric Double Layer Capacitor. *Jurnal Teknik Pomits*, 2(1), 13–18.
- Osman, N. B., Shamsuddin, N., & Uemura, Y. (2016). Activated Carbon of Oil Palm Empty Fruit Bunch (EFB); Core and Shaggy. *Procedia Engineering*,

148, 758–764.

- Permana, E., Cristine, I., Murti, S. D. S., & Yanti, F. M. (2020). Preparasi dan Karakterisasi Katalis Cu / ZnO dengan Support Karbon Aktif menggunakan Aktivator H₃PO₄ dan ZnCl₂. *Jurnal Teknologi*, 13(1), 6–15.
- Purwanti, H., & Artiningsih, T. P. (2019). Palm Kernel Shell As an Alternative Aggregate on High Performance Concrete Concrete. *Journal of Science Innovare*, 1(02), 68–75.
- Rahman, T., Fadhlulloh, M. A., Nandiyanto, A. B. D., & Mudzakir, A., 2015, Sintesis Karbon Nanopartikel, *Jurnal Integrasi Proses*, 5(3).
- Rajaratnam, D. (2007). *Instrumental Chemical Analysis: Basic Principles and Techniques*. National University of Singapore.
- Reknosari, E., Wirawan, T., & Koesnarpadi, S. (2020). Adsorpsi Fenol menggunakan Adsorben Komposit Fe₃O₄-Karbon Aktif Ampas Kopi. *Jurnal Kimia Mulawarman*, 18(1).
- Rugayah, A. F., Astimar, A. A., & Norzita, N. (2014). Preparation and Characterization of Activated Carbon from Palm Kernel Shell by Physical Activation with Steam. *Journal of Oil Palm Research*, 26(3), 251–264.
- Rusman, 2020, *Kinetika Kimia*, Syiah Kuala University Press.
- 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*.
- Saragih, A., Dwidiani, N. M., & Santhiarsa, I. N. (2020). Karakterisasi Karbon Aktif Tempurung Kelapa dengan Variasi Konsentrasi Aktivator Terhadap Adsorpsi Timbal. *Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika*, 9(3), 993–997.
- Sari, R. M., & Kembaren, A. (2019). Pemanfaatan Karbon Aktif Ampas Tebu dalam Mereduksi Asam Lemak Bebas (Free Fatty Acid) untuk Pemurnian Minyak Jelantah sebagai Biodiesel. *Talenta Conference Series: Science and Technology (ST)*, 2(1), 293–296.
- Setiabudi, A. R. H. A. M. (2012). Karakterisasi Material: Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia. In *UPI Press* (Vol. 1).

- Shankar, P., & Rayappan, J. (2015). Gas Sensing Mechanism of Metal Oxides: The Role of Ambient Atmosphere, Type of Semiconductor and Gases-A Review. *ScienceJet*, 4(126), 1–18.
- Shu, J., Cheng, S., Xia, H., Zhang, L., Peng, J., Li, C., & Zhang, S. (2017). Copper loaded on activated carbon as an efficient adsorbent for removal of methylene blue. *RSC Advances*, 7(24), 14395–14405.
- Shuahua, H. W. W., Meixia, W., Qiaoli, X., & Mei, N. (2017). The comparison of different activation techniques to prepare activated carbon materials from waste cotton fabric. *Autex Research Journal*, 17(3), 287–294.
- Singh, N. K. (2014). *Investigation on Transport Properties and Structural Characterization of Some Nanomaterials for Fabrication of Hybrid Supercapacitor*. Chhattisgarh Swami Vivekanand Technical University.
- Skoog, D. A., Holler, F. J., Nieman, T. A., 1997, *Principle of Instrumental Analysis*, Fifth Edition, Saunders College Pub.
- Speight, J. G. (2017). Industrial Organic Chemistry. In *Environmental Organic Chemistry for Engineers* (pp. 87–151).
- Sudarlin. (2012). Prinsip dan Teknik Penggunaan Gas Sorption Analyzer (GSA). *Prinsip Dan Teknik Penggunaan Gas Sorption Analyzer (GSA)*, November 2012, 1–9.
- Suryani, D. A., Hamzah, F., & Johan, V. S. (2018). Variasi Waktu Aktivasi terhadap Kualitas Karbon Aktif Tempurung Kelapa. *Jom Faperta Ur*, 5(1), 1–10.
- Susanto, J. P., Santoso, A. D., & Suwedi, N. (2017). Perhitungan Potensi Limbah Padat Kelapa Sawit untuk Sumber Energi Terbaharukan dengan Metode LCA. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 18(2), 165.
- Tadda, M. ., Ahsan, A., Shifu, A., ElSergany, M., Arunkumar, T., Jose, B., Razzaque, Abdur, M., & Daud, Nik, N. . (2016). A Review on Activated Carbon from Biowaste : Process , Application and Prospects. *Journal of Advanced Civil Engineering Practice and Research*, 5(3), 82–83.
- Ternero-Hidalgo, J. J., Rosas, J. M., Palomo, J., Valero-Romero, M. J., Rodríguez-Mirasol, J., & Cordero, T. (2016). Functionalization of Activated Carbons by

- HNO₃ Treatment: Influence of Phosphorus Surface Groups. *Carbon*, 101, 409–419.
- Theophanides, T. (2014). Introduction to Infrared Spectroscopy. In *Infrared Spectroscopy: Materials Science, Engineering and Technology*. BoD–Books on Demand.
- Thermo, N. (2001). *Introduction to Fourier Transform Infrared Spectrometry*. Thermo Nicolet Inc.
- Toczko, J. F. (2012). Catalyst Recovery and Recycle: Metal Removal Techniques. In *Comprehensive Chirality*. Elsevier Ltd.
- Tran, T. Van, Nguyen, D. T. C., Nguyen, T. T., Le, H. T. N., Nguyen, C. Van, & Nguyen, T. D. (2020). Metal-Organic Framework HKUST-1-Based Cu/Cu₂O/CuO@C Porous Composite: Rapid Synthesis and Uptake Application in Antibiotics Remediation. *Journal of Water Process Engineering*.
- Ukanwa, K. S., Patchigolla, K., Sakrabani, R., Anthony, E., & Mandavgane, S. (2019). A Review of Chemicals to Produce Activated Carbon from Agricultural Waste Biomass. *Sustainability*, 11.
- Van Bramer, S. E. (1998). *An Introduction to Mass Spectrometry*. Department of Chemistry, Widener University.
- Vandenheuvel, W. J. A., & Horning, E. C. (1962). A Study of Retention-Time Relationship in Gas Chromatography in Terms of the Structure of Steroids. 64, 416–429.
- Verayana, Paputungan, M., & Iyabu, H. (2018). Pengaruh Aktivator HCl dan H₃PO₄ terhadap Karakteristik (Morfologi Pori) Arang Aktif Tempurung Kelapa serta Uji Adsorpsi pada Logam Timbal (Pb). *Jurnal Entropi*, 13(1), 67–75.
- Vogel, A. I. (1979). *Vogel's Textbook of Macro and Semimicro Qualitative Inorganic Analysis*. Longman Publishing Group.
- Voutou, B., & Stefanaki, E. (2008). *Electron Microscopy: The Basics*. Physics of Advanced Materials Winter School.
- Wang, T., Dong, Z., Fu, T., Zhao, Y., Wang, T., Wang, Y., Chen, Y., Han, B., &

- Ding, W. (2015). Nickel Embedded in N-Doped Porous Carbon for the Hydrogenation of Nitrobenzene to p-aminophenol in Sulphuric Acid. *Chemical Communications*, 51(100), 17712–17715.
- Wei, D., Yang, J., Jiang, M. Q., Dai, L. H., Wang, Y. J., Dyre, J. C., Douglass, I., & Harrowell, P. (2019). Assessing the Utility of Structure in Amorphous Materials. *Journal of Chemical Physics*, 150(11).
- West, A. R., 1999, *Basic Solid State Chemistry*, Second Edition, Jhon Wiley & Sons, Inc.
- Widi, R. K. (2018). *Pemanfaatan Material Anorganik: Pengenalan dan Beberapa Inovasi di Bidang Penelitian*. Deepublish.
- Wijaya, D. R. P., Martono, Y., & Riyanto, C. A. (2019). Synthesis and Characterization of Nano Activated Carbon Tea Waste (*Camellia sinensis* L.) Viewed from the Content and Ratio of Orthophosphoric Acid. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 3(2), 49–58.
- Xu, J., Chen, L., Qu, H., Jiao, Y., Xie, J., & Xing, G. (2014). Preparation and Characterization of Activated Carbon from Reedy Grass Leaves by Chemical Activation with H₃PO₄. *Applied Surface Science*, 320, 674–680.
- Xu, Z., Li, Y., Lin, Y., Wang, Y., Wang, Q., & Zhu, T. (2021). Loading Mechanism and Double-Site Reaction Mechanism of Cu on Activated Carbon for Enhanced Oxidation of CO from Flue Gas. *Chemical Engineering Journal*, 419(February), 129994.
- Yahya, M. A., Mansor, M. H., Zolkarnaini, W. A. A. W., Rusli, N. S., Aminuddin, A., Mohamad, K., Sabhan, F. A. M., Atik, A. A. A., & Ozair, L. N. (2018). A Brief Review on Activated Carbon Derived From Agriculture By-Product. *AIP Conference Preseedings*, 1–8.
- Yunus, R., Mikrianto, E., Abdurrahman, H., & Jaya, A. K. (2021). Karakteristik Arang Aktif Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) dengan Aktivator H₃PO₄, ZnCl₂, dan KOH. *Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah*, 6(3).
- Zamhari, M., Junaidi, R., Rachmatika, N., & Oktarina, A. (2021). Pembuatan Katalis Berbasis Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa (*Cocos Nucifera*)

Diimpregnasi KOH Pada Reaksi Transesterifikasi Sintesis Biodiesel. *Kinetika*, 12(01), 23–31.

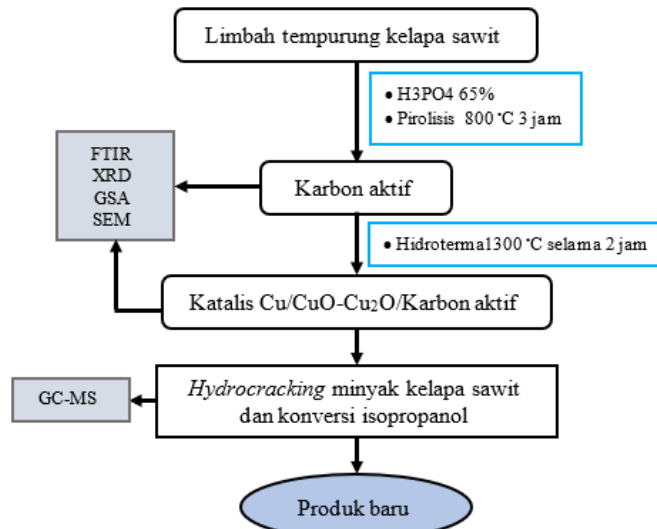
Zdravkov, B. D., Čermák, J. J., Šefara, M., & Janků, J. (2007). Pore Classification in the Characterization of Porous Materials: A Perspective. *Central European Journal of Chemistry*, 5(2), 385–395.

Zuhra, Husin, H., Hasfita, F., & Rinaldi, W. (2015). Preparasi Katalis Abu Kulit Kerang Untuk Transesterifikasi Minyak Nyamplung Menjadi Biodiesel. *Agritech*, 35(1), 69–77.



LAMPIRAN

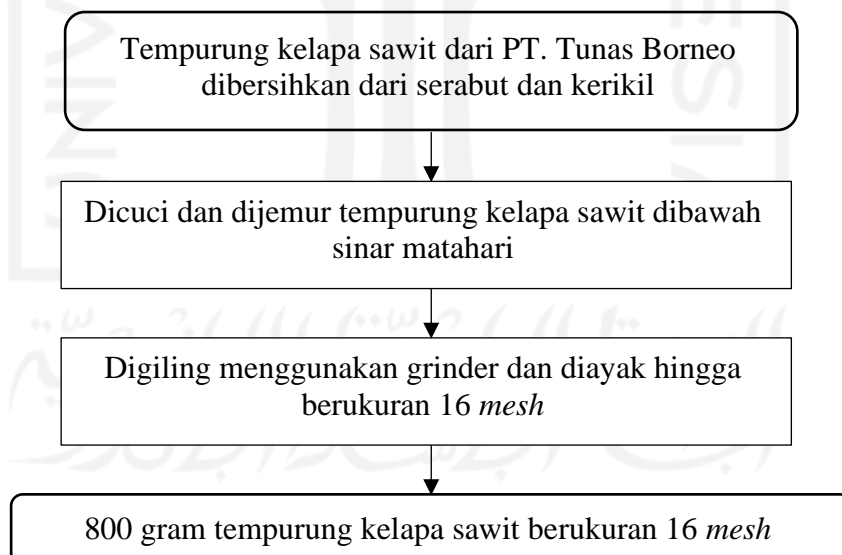
Lampiran 1. Skema Penelitian

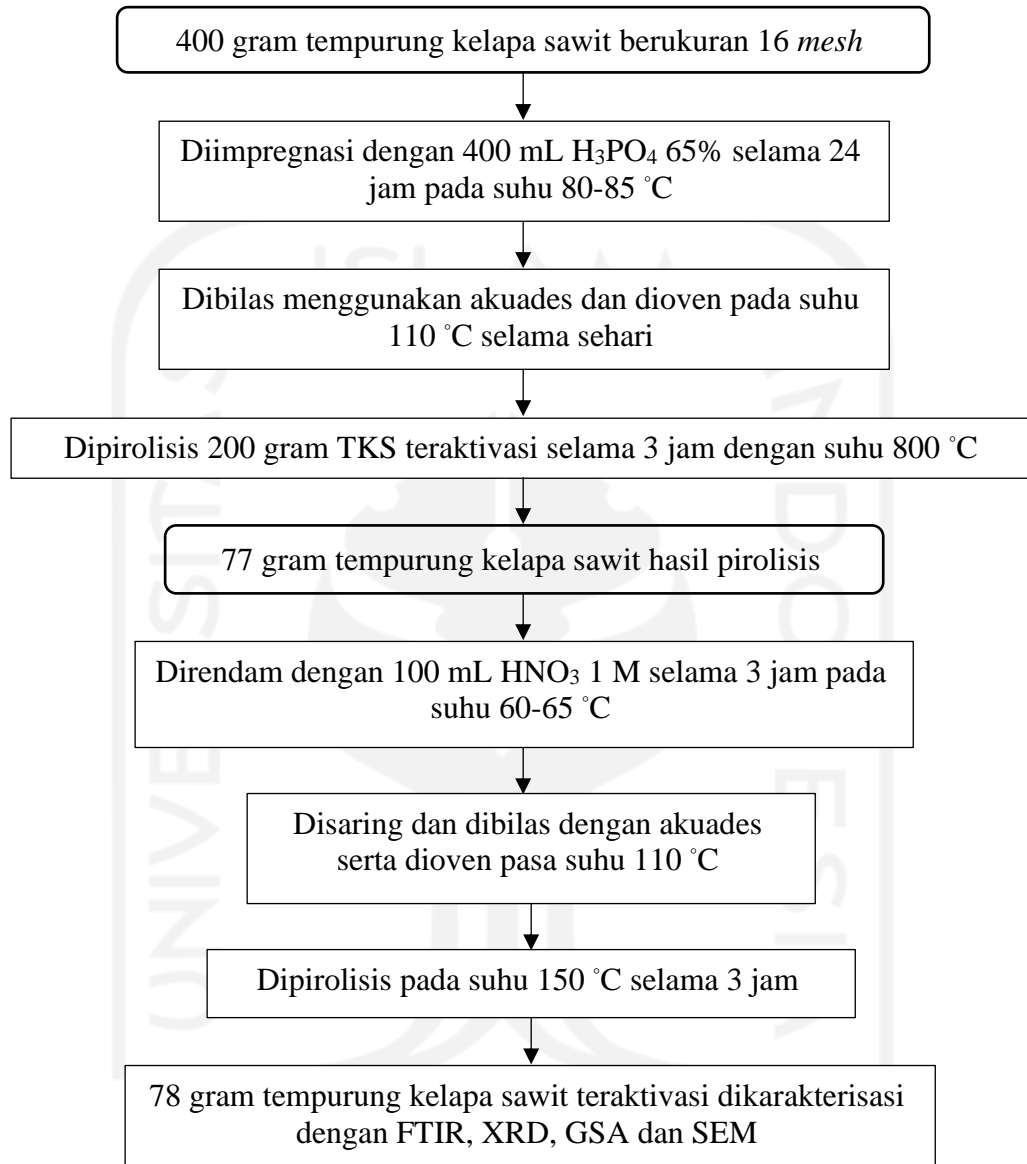


Lampiran 2. Diagram Alir Penelitian

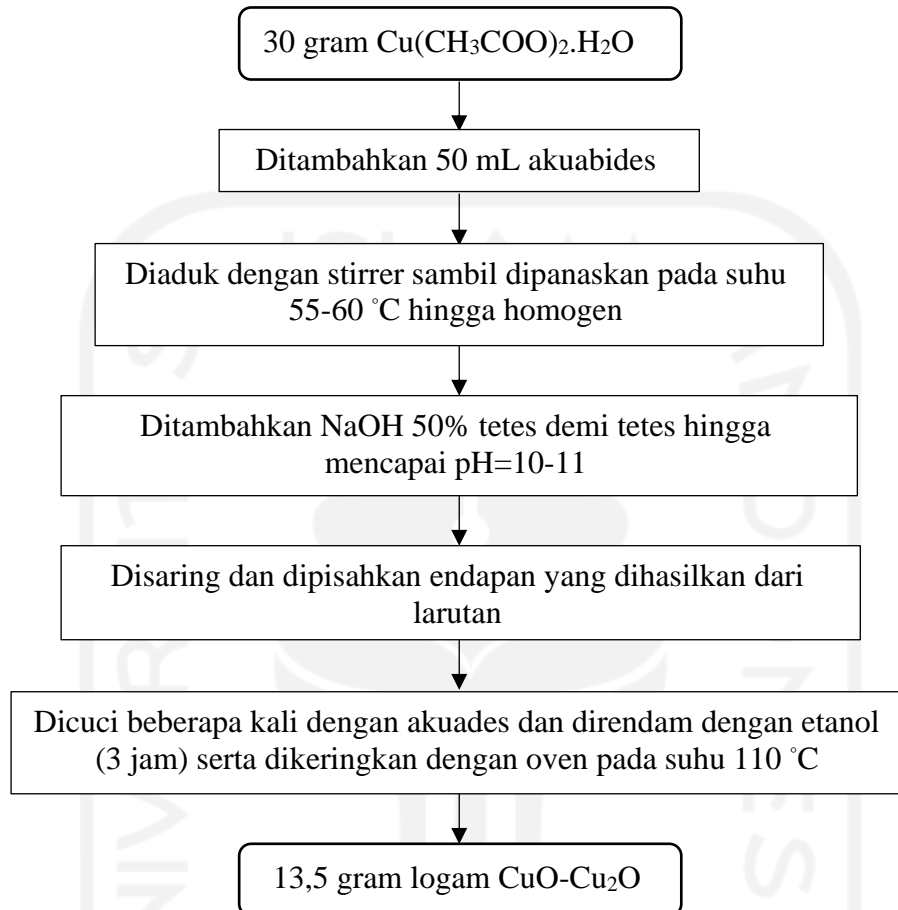
1. Pembuatan karbon aktif

a. Preparasi tempurung kelapa sawit

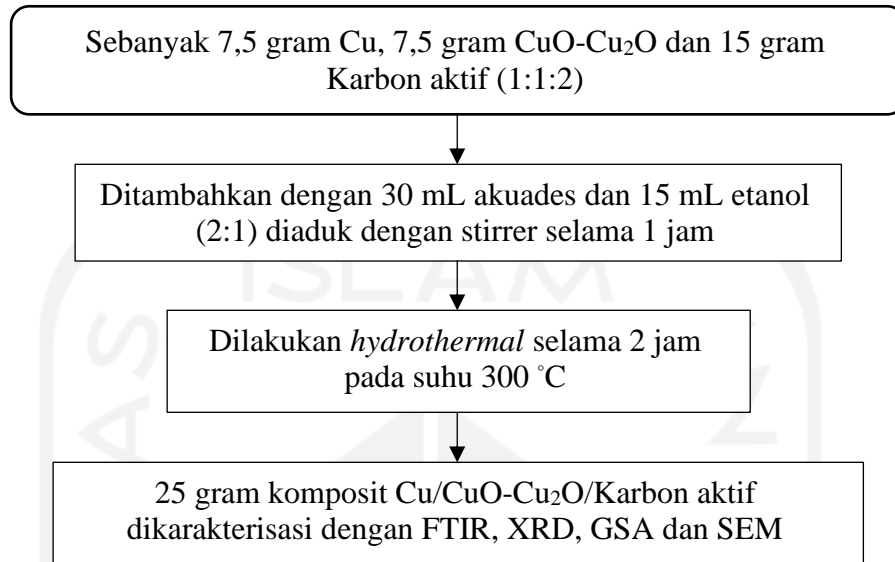


b. Aktivasi tempurung kelapa sawit

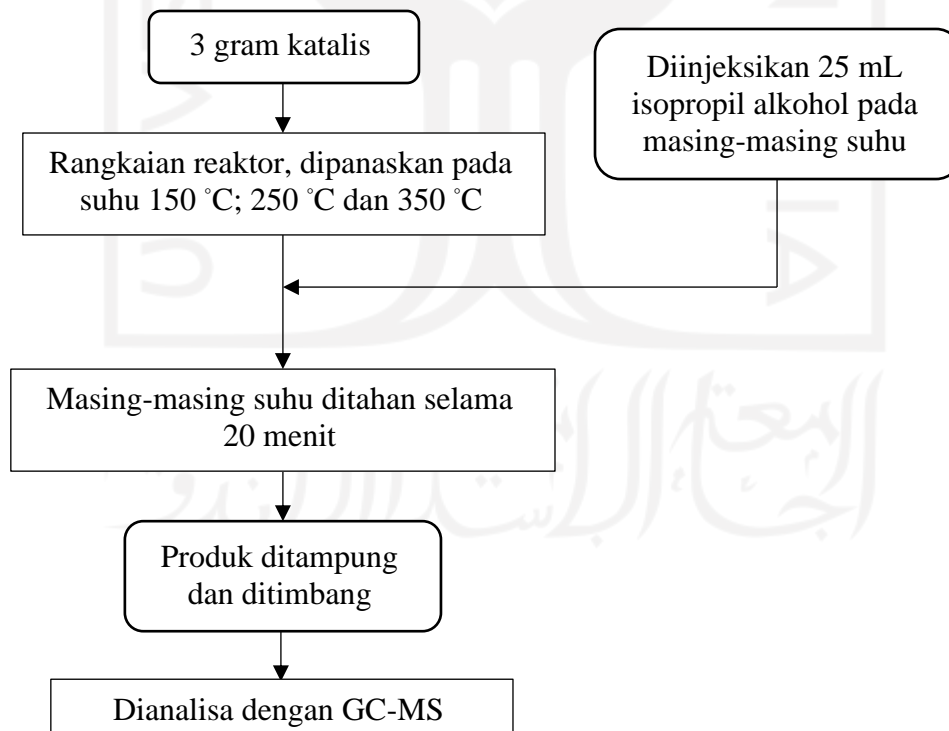
2. Preparasi logam CuO-Cu₂O



3. Pembuatan komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon aktif



4. Konversi Isopropanol



Lampiran 3. Dokumentasi Selama Penelitian



Tempurung kelapa sawit PT Tunas
Borneo Kalimantan Timur



Melakukan grinder tempurung kelapa
sawit dengan ZT-300 Herb



Melakukan pengayakan dengan
bantuan *sieve shaker*



Hasil tempurung kelapa sawit yang
telah digrinder dan diayak



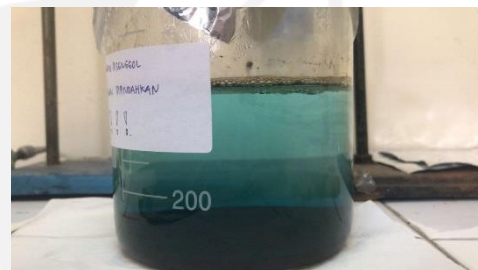
Proses impregnasi dengan larutan
 H_3PO_4 65%



Proses pirolisis tempurung kelapa
sawit hasil impregnasi disuhu $800\text{ }^\circ\text{C}$



Proses modifikasi KA dengan HNO_3
1M



Proses pembuatan logam tembaga
oksida ($\text{CuO-Cu}_2\text{O}$)



Proses pembuatan komposit



Proses konversi isopropanol



Hasil konversi isopropanol

الجمهورية العربية السورية
الجامعة اللبنانية
الكلية الهندسية
الهندسة الكيميائية

Lampiran 4. 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 1 M dari HNO₃ 65%

$$M = \frac{\text{massa jenis} \times 10 \times \text{presentase}}{M_r} \quad M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$M = \frac{1,4 \text{ g/mL} \times 10 \times 65\%}{63 \text{ g/mol}} \quad 14,444 \text{ M} \times V_1 = 1 \text{ M} \times 100 \text{ mL}$$

$$M = 14,444 \text{ M} \quad V_1 = 6,923 \text{ mL}$$

3. Larutan NaOH 50%

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

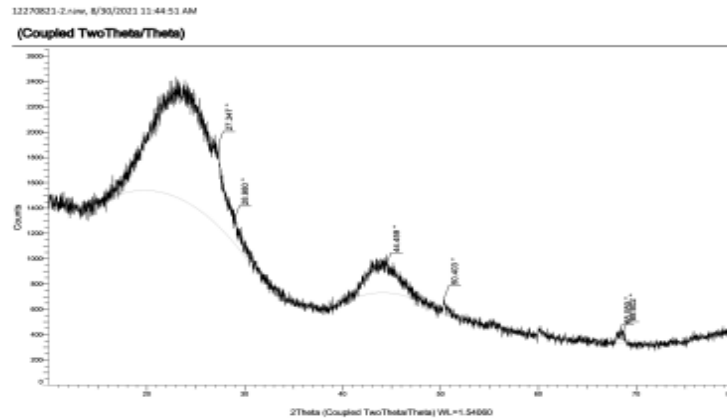
$$50\% = \frac{x}{100 \text{ ml}} \times 100$$

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

Lampiran 5. Perhitungan Karakterisasi

1. Karakterisasi dengan XRD

a. Karbon aktif



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

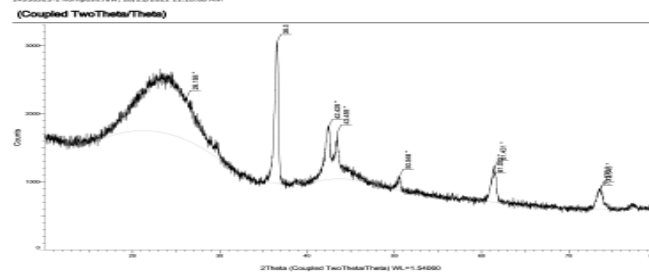
Peak List #1

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	28.580 °	12270821-2.raw #1	28.580 °
Yes			3	Peak #3	Peak List #1	44.459 °	12270821-2.raw #1	44.459 °
Yes			4	Peak #4	Peak List #1	55.403 °	12270821-2.raw #1	55.403 °
Yes			5	Peak #5	Peak List #1	68.080 °	12270821-2.raw #1	68.080 °
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
3.25899 Å	559	1912	100.0%	n.a.	No
3.07859 Å	205	1323	31.2%	n.a.	No
2.63672 Å	222	851	33.7%	n.a.	No
1.80993 Å	138	894	20.5%	n.a.	No
1.57923 Å	55.0	388	8.4%	n.a.	No
1.56689 Å	92.4	410	12.2%	n.a.	No

b. Komposit Cu/CuO-Cu₂O/KA

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



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	36.522 °	14930921-1 Komposit.raw #1	36.522 °
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	61.092 °	14930921-1 Komposit.raw #1	61.092 °
Yes			7	Peak #7	Peak List #1	61.431 °	14930921-1 Komposit.raw #1	61.431 °
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
3.40952 Å	815	2228	29.7%	n.a.	No
2.45526 Å	2020	3269	100.0%	n.a.	No
2.12889 Å	767	1802	37.0%	n.a.	No
2.08817 Å	690	1723	34.8%	n.a.	No
1.85425 Å	193	1958	9.3%	n.a.	No
1.51869 Å	309	1010	30.6%	n.a.	No
1.50699 Å	499	1199	24.5%	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		

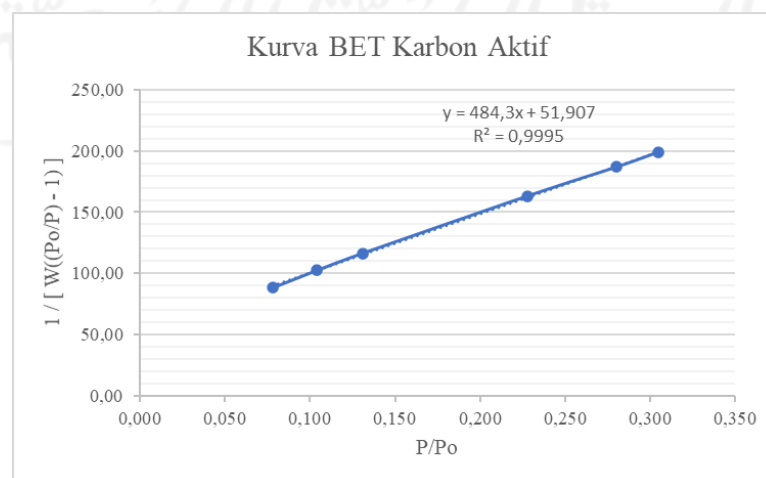
PERHITUNGAN UKURAN KRISTAL PADA KOMPOSIT									
2 θ (°)	θ (°)	FWHM	cos θ (rad)	β	θ (rad)	d (Å)	D (nm)	d rata-rata (Å)	D rata-rata (nm)
23,145	11,573	7,128	0,9797	0,124	0,2020	11,888	1,189	181,518	18,152
36,547	18,274	0,483	0,9496	0,008	0,3189	181,003	18,100		
42,447	21,224	0,528	0,9322	0,009	0,3704	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	88,27
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

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

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

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

b. Komposit Cu/CuO-Cu₂O/Karbon Aktif

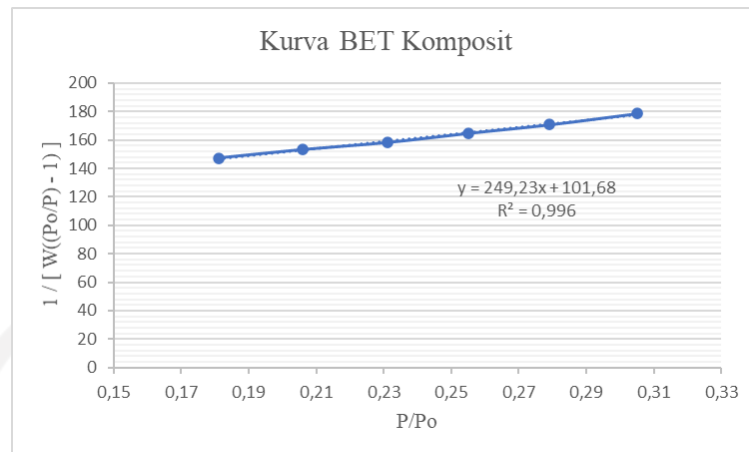
Diketahui :

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

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

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

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

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