

PENGARUH JENIS SULFUR PADA SINTESIS *S-DOPED* KARBON AKTIF DARI KULIT KAKAO DENGAN METODE KARBONISASI HIDROTERMAL DAN AKTIVASI KIMIA

Laporan Penelitian

Disusun untuk memenuhi tugas akhir guna mencapai gelar
sarjana di bidang ilmu Teknik Kimia

oleh :

Gilberth

(6141801068)

Pembimbing :

Ratna Frida Susanti, Ph.D.

Kevin Cleary Wanta, S.T., M.Eng.



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**

2023



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**

LEMBAR PENGESAHAN

Nama : Gilberth

NPM : 6141801068

**JUDUL: PENGARUH JENIS SULFUR PADA SINTESIS *S-DOPED* KARBON
AKTIF DARI KULIT KAKAO DENGAN METODE KARBONISASI
HIDROTERMAL DAN AKTIVASI KIMIA**

CATATAN:

Telah diperiksa dan disetujui

Bandung, 9 Februari 2023

Dosen Pembimbing,

Dosen Pembimbing,

Ratna Frida Susanti, Ph.D.

Kevin Cleary Wanta, S.T., M.Eng.



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**

LEMBAR REVISI

Nama : Gilberth

NPM : 6141801068

**JUDUL: PENGARUH JENIS SULFUR PADA SINTESIS *S-DOPED* KARBON
AKTIF DARI KULIT KAKAO DENGAN METODE KARBONISASI
HIDROTERMAL DAN AKTIVASI KIMIA**

CATATAN:

Telah diperiksa dan disetujui

Bandung, 9 Februari 2023

Dosen Penguji,

Dosen Penguji ,


Dr. Angela J. Kumal Putri S.T, M.T.


Yansen Hartanto S.T., M.T.



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Gilberth

NPM : 6141801068

dengan ini menyatakan bahwa penelitian dengan judul :

**PENGARUH JENIS SULFUR PADA SINTESIS *S-DOPED* KARBON AKTIF DARI
KULIT KAKAO DENGAN METODE KARBONISASI HIDROTERMAL DAN
AKTIVASI KIMIA**

adalah hasil pekerjaan saya dan seluruh ide, pendapat atau materi dari sumber lain telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan, maka saya bersedia menanggung sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Bandung, 9 Februari 2023

Gilberth

(6141801068)

INTISARI

Energi menjadi salah satu pilar penting dalam kehidupan berkelanjutan, oleh karena itu diperlukan pengembangan perangkat penyimpanan yang memiliki densitas energi dan tenaga yang besar. Salah satu perangkat yang memenuhi kriteria tersebut adalah *Lithium Ion Capacitor* (LIC). LIC memerlukan elektroda dengan luas permukaan yang luas, salah satunya adalah karbon aktif. Prekursor pembuatan karbon aktif dapat menggunakan limbah biomassa. Di Indonesia sendiri salah satu limbah biomassa yang dihasilkan sangat banyak adalah limbah kulit kakao, oleh karena itu pada penelitian ini dipilih limbah kulit kakao sebagai prekursor pembuatan karbon aktif. Selain ketersediaan limbah kulit kakao yang banyak, limbah kulit kakao memiliki kandungan lignoselulosa yang cocok untuk dijadikan prekursor pembuatan karbon aktif. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh *doping* sulfur terhadap karakteristik karbon aktif.

Pembuatan karbon aktif pada penelitian ini diawali dengan tahap *pre-treatment* kulit kakao, dimana kulit kakao akan dikeringkan pada oven temperatur 105 °C selama 24 jam. Lalu kulit kakao yang sudah kering diimpregnasi dengan sulfur (sulfur murni, Na₂SO₃, dan Na₂S₂O₃) dan dikarbonisasi pada temperatur 200 °C. Variasi penelitian ini dilakukan dengan rasio massa kulit kakao : sulfur (sulfur murni, Na₂SO₃, dan Na₂S₂O₃) sebesar 1:0,1, 1:0,4, dan 1:0,2. *Hydrochar* yang diperoleh akan diaktivasi menggunakan ZnCl₂ dengan rasio massa *hydrochar* : ZnCl₂ pada temperatur 600 °C. Analisa yang dilakukan adalah *Fourier transform infrared spectroscopy* (FTIR) untuk menganalisis gugus fungsi yang ada di permukaan karbon aktif, *Brunauer-Emmett-Teller* (BET) untuk menganalisis luas permukaan, distribusi pori dan volume pori, serta *Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX) untuk menganalisis morfologi permukaan karbon aktif dan unsur yang terkandung pada karbon aktif.

Penambahan sulfur sebagai *doping* pada limbah kulit kakao menyebabkan penurunan pada *yield hydrochar* namun pada *yield* karbon aktif terjadi peningkatan. Penambahan sulfur juga menurunkan luas permukaan karbon aktif, dimana pada analisis BET diketahui luas permukaan terkecil adalah sebesar 720,09 m²/g dengan variasi *doping* sulfur murni. Dari analisis FTIR, diperoleh bahwa sampel *hydrochar* menunjukkan terbentuknya gugus C-S, S=O, serta S-S. Berdasarkan analisis SEM-EDX diperoleh permukaan karbon aktif yang berpori serta karbon aktif yang mengandung sulfur dengan kadar sulfur terbesar bernilai 11,94 %.

Kata Kunci: Kulit kakao, karbon aktif, karbonisasi hidrotermal, ZnCl₂, *S-doping*, aktivasi kimia

ABSTRACT

Energy is one of the important pillars in sustainability, therefore it is necessary to develop storage devices that have high power and energy density. One device that meets these criteria is the Lithium Ion Capacitor (LIC). LIC requires electrodes with a large surface area, one of which is activated carbon. The precursor for making activated carbon is biomass waste. In Indonesia, one of the many biomass wastes that is produced is cocoa husk waste, therefore in this study cocoa husk waste was chosen as a precursor for making activated carbon. In addition to the availability of a lot of cocoa husk waste, cocoa husk waste contains lignocellulosic which is suitable to be used as a precursor for making activated carbon. The purpose of this study was to determine the effect of sulfur doping on the characteristics of activated carbon.

The production of activated carbon in this study began with the pre-treatment of cocoa husk, where the snapper skins were dried in an oven at 105 °C for 24 hours. Then the dried cocoa husk are impregnated with sulfur (sulfur, Na_2SO_3 and $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) and carbonized at 200 °C. Variations in this study were carried out with a mass ratio of cocoa husk : sulfur (sulfur, Na_2SO_3 and $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) of 1:0.1, 1:0.4 and 1:0.2. Hydrochar obtained will be activated using ZnCl_2 with a mass ratio of hydrochar: ZnCl_2 at a temperature of 600 °C. The analyzes performed were Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) to analyze functional groups on the surface of activated carbon, Brunauer-Emmett-Teller (BET) to analyze surface area, pore distribution and pore volume, and Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X- ray (SEM-EDX) to analyze the surface morphology of activated carbon and the elements contained in activated carbon.

The addition of sulfur as doping to cocoa shell waste causes a decrease in hydrochar yield but an increase in activated carbon yield. The addition of sulfur also reduces the surface area of activated carbon, where in the BET analysis it is known that the smallest surface area is 720.09 m^2/g with variations of pure sulfur doping. From the FTIR analysis, it was found that the hydrochar samples showed the formation of C-S, S=O, and S-S groups. Based on the SEM-EDX analysis, it was obtained that the surface of the activated carbon is dominated by pores and the activated carbon containing sulfur with the highest sulfur content was 11.94%.

Keywords: Cocoa husk, activated carbon, hydrothermal carbonization, ZnCl_2 , S-doping, chemical activation

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul “Pengaruh Jenis Sulfur Pada Sintesis *S-doped* Karbon Aktif Dari Kulit Kakao dengan Metode Karbonisasi Hidrotermal dan Aktivasi Kimia”. Laporan penelitian ini disusun sebagai tugas akhir guna mencapai gelar sarjana dalam bidang ilmu Teknik Kimia di Universitas Katolik Parahyangan, Bandung. Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sedalam-dalamnya, khususnya kepada:

1. Ratna Frida Susanti, Ph.D. dan Bapak Kevin Cleary Wanta, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang dengan sabar meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, membantu, mengarahkan, memberikan dorongan serta saran-saran yang sangat berarti bagi penulis dalam penulisan laporan penelitian ini.
2. Arenst Andreas Arie, S.T., M.T,M., Ph.D., Dr. Angela Justina Kumalaputri, S.T., M.T. dan Yansen Hartanto S.T., M.T. yang berkenan menjadi penguji penelitian ini.
3. Orang tua dan keluarga yang selalu memberi doa, dukungan, dan semangat bagi penulis selama penyusunan laporan penelitian ini.
4. Seluruh dosen Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan, yang senantiasa memberikan pengarahan dan ilmu kepada penulis.
5. Teman-teman Prodi Sarjana Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan, serta semua pihak yang turut membantu baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, sehingga akhirnya laporan penelitian ini dapat selesai tepat waktu.

Penulis menyadari bahwa adanya keterbatasan waktu, kemampuan, dan pengetahuan dalam penyusunan laporan penelitian ini, masih terdapat beberapa kekurangan sehingga proposal ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun yang mengarahkan penulis kepada penyusunan laporan penelitian yang lebih baik lagi. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih dan semoga proposal penelitian ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
SURAT PERNYATAAN.....	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
INTISARI.....	x
<i>ABSTRACT</i>	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tema Sentral Masalah.....	3
1.3 Identifikasi Masalah.....	3
1.4 Premis.....	3
1.5 Hipotesis.....	4
1.6 Tujuan Penelitian.....	4
1.7 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Kakao.....	7
2.2 Karbon Aktif.....	8
2.3 Struktur Karbon Aktif.....	8
2.3.1 Struktur Pori Karbon Aktif.....	8
2.3.2 Struktur Kristalin Karbon Aktif.....	9
2.3.3 Struktur Kimia Karbon Aktif.....	10
2.4 Proses Pembuatan Karbon Aktif.....	11
2.4.1 Pirolisis.....	11
2.4.2 <i>Hydrothermal Carbonization (HTC)</i>	12
2.4.2.1 Air Subkritik.....	15
2.4.3 Aktivasi.....	17
2.4.3.1 Aktivasi Fisika.....	17
2.4.3.2 Aktivasi Kimia.....	18
2.4.3.2.1 Aktivasi Kimia dengan ZnCl ₂	18

2.4.3.2.2 Aktivasi Kimia dengan KOH	19
2.4.3.2.3 Aktivasi Kimia dengan H ₃ PO ₄	19
2.5 Superkapasitor.....	20
2.6 Karakterisasi Karbon Aktif.....	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	28
3.1 Tahap Penelitian.....	28
3.2 Bahan dan Alat.....	28
3.3 Skema Penelitian.....	30
3.4 Variabel Percobaan.....	30
3.5 Prosedur Percobaan.....	32
3.5.1 <i>Pre-treatment</i> Kulit Kakao.....	32
3.5.2 Sintesis Karbon Aktif.....	32
3.5.2.1 Karbonisasi Hidrotermal.....	32
3.5.2.2 Aktivasi Kimia dengan ZnCl ₂	34
3.5.3 Karakterisasi Karbon Aktif.....	34
3.5.3.1 Analisis % <i>yield Hydrochar</i>	35
3.5.3.2 Analisis % <i>yield</i> Karbon Aktif.....	35
3.6 Lokasi dan Jadwal Kerja Penelitian.....	35
BAB IV PEMBAHASAN.....	37
4.1 Variasi Variabel Penelitian.....	34
4.2 Sintesis <i>Hydrochar</i> dengan Karbonisasi Hidrotermal.....	35
4.2.1 <i>Yield Hydrochar</i>	35
4.2.2 Sintesis Karbon Aktif dengan Metode Aktivasi Kimia.....	35
4.3 Hasil Analisis.....	36
4.3.1 Analisis <i>Brunauer-Emmet Teller</i> (BET).....	36
4.3.2 Analisis <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR).....	39
4.3.3 Analisis SEM-EDX Karbon Aktif	40
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	43
5.1 Kesimpulan.....	43
5.2 Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA.....	44
LAMPIRAN A.....	48
LAMPIRAN B.....	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Distribusi limbah kakao dalam perkebunan.....	7
Gambar 2.2 Struktur pori karbon aktif.....	9
Gambar 2.3 (a) <i>Graphitized carbon</i> , (b) <i>Non-graphitized carbon</i>	10
Gambar 2.4 Struktur kimia pada permukaan karbon aktif.....	11
Gambar 2.5 Mekanisme pembentukan <i>hydrochar</i> dari selulosa.....	13
Gambar 2.6 Mekanisme pembentukan <i>hydrochar</i> dari hemiselulosa.....	14
Gambar 2.7 Mekanisme pembentukan <i>hydrochar</i> dari lignin.....	15
Gambar 2.8 Diagram fasa air yang menunjukkan area subkritiknya.....	16
Gambar 2.9 Properti fisik air terhadap temperatur.....	17
Gambar 2.10 Plot <i>ragone</i> dari berbagai teknologi penyimpanan energi.....	22
Gambar 2.11 Gugus fungsi sulfur di dalam material karbon.....	24
Gambar 2.12 Mekanisme kerja SEM.....	25
Gambar 2.13 Mekanisme kerja FTIR.....	26
Gambar 2.14 Klasifikasi 6 jenis kurva isoterm berdasarkan IUPAC	27
Gambar 3.1 Skema penelitian.....	28
Gambar 3.2 Diagram alir proses <i>pre-treatment</i> kulit kakao.....	30
Gambar 3.3 Diagram alir proses karbonisasi hidrotermal.....	31
Gambar 3.4 Diagram alir proses aktivasi kimia dengan $ZnCl_2$	32
Gambar 4.1 Kurva XRD AC-S1-600.....	41
Gambar 4.2 Kurva Dekonvolusi puncak 002	42
Gambar 4.3 Hasil BET karbon aktif (a) kurva adsorpsi isoterm (b) kurva distribusi pori	43
Gambar 4.4 Hasil FTIR <i>hydrochar</i>	46
Gambar 4.5 Hasil FTIR karbon aktif.....	48
Gambar 4.6 Hasil analisis SEM morfologi karbon aktif tanpa <i>doping</i> (a) perbesaran 500x (b) perbesaran 2000x	48
Gambar 4.7 Hasil Analisis SEM karbon aktif dengan <i>doping</i> sulfur (a) AC-S1-600 perbesaran 500x (b) AC-S1-600 perbesaran 2000x (c) AC-S2-600 perbesaran 500x (d) AC-S2-600 perbesaran 2000x (e) AC-S3-600 perbesaran 500x (f) AC-S3-600 perbesaran 2000x.....	49

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Tabel premis.....	5
Tabel 2.1 Kandungan lignoselulosa pada <i>cocoa pod husk</i>	8
Tabel 2.2 Klasifikasi ukuran pori karbon aktif.....	9
Tabel 3.1 Variasi variabel percobaan.....	30
Tabel 3.2 Jadwal kerja penelitian.....	36
Tabel 4.1 Variasi variabel penelitian.....	37
Tabel 4.2 <i>Yield hydrochar</i>	38
Tabel 4.3 Hasil <i>yield</i> karbon aktif.....	39
Tabel 4.4 Hasil analisis BET karbon aktif.....	45
Tabel 4.5 Hasil analisis EDX karbon aktif.....	50

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi adalah salah satu pilar yang penting dalam keberlanjutan pembangunan suatu negara. Ketersediaan energi di suatu negara dapat dibagi menjadi dua, yaitu *unrenewable resources* dan *renewable resources*. Di Indonesia sendiri pemanfaatan energi masih terfokus pada penggunaan bahan bakar fosil yang termasuk dalam *unrenewable resources* (Elinur dkk., 2010). Penggunaan bahan bakar fosil memberikan dampak negatif yang besar terhadap lingkungan, salah satunya adalah polusi gas CO₂ yang dapat mengancam kehidupan makhluk hidup di bumi melalui pemanasan global (Lubis, 2017). Salah satu bahan bakar fosil yang sering digunakan di Indonesia adalah batu bara. Batu bara dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan listrik di Indonesia karena kemampuannya dalam menyimpan energi listrik yang baik. Menurut Ketenagalistrikan (2019) Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dari batu bara menyumbang energi listrik terbesar di Indonesia dengan presentase 43,64 %.

Batu bara yang tersedia saat ini tidak dapat memenuhi kebutuhan masyarakat Indonesia, karena pertumbuhan masyarakat yang pesat tanpa diimbangi ketersediaan batu bara. Oleh karena itu, penggunaan batu bara sebagai penyimpanan energi listrik dapat dialihkan ke baterai dan superkapasitor. Baterai merupakan perangkat penyimpanan energi listrik dengan mengubah energi kimia menjadi energi listrik, densitas energi yang dimiliki baterai lebih besar jika dibandingkan dengan superkapasitor. Superkapasitor merupakan perangkat penyimpanan energi yang memiliki kemiripan dengan kapasitor konvensional. Namun superkapasitor memanfaatkan elektroda dengan *specific surface area* yang lebih besar, dimana hal ini menyebabkan superkapasitor memiliki densitas energi yang lebih besar dari kapasitor konvensional serta densitas tenaga yang lebih besar dari baterai (Chukwuka dan Folly, 2012).

Untuk memperoleh perangkat penyimpanan energi yang memiliki densitas energi dan tenaga yang besar dikembangkan *Lithium-Ion Capacitor* (LIC). LIC menggabungkan kelebihan dua penyimpan energi yaitu *Lithium-Ion Batteries* (LIB) sebagai elektroda negatif dan superkapasitor sebagai elektroda positif. Untuk memaksimalkan kapasitas LIC, dibutuhkan elektroda dengan *specific surface area* yang besar dan distribusi ukuran pori

yang rata. Material yang dapat memenuhi syarat elektroda tersebut adalah karbon aktif (Li dkk., 2018; Zou dkk., 2020). Karbon aktif merupakan material adsorpsi dengan pori dan area permukaan yang luas (Bansal dan Goyal, 2005) cocok digunakan sebagai elektroda untuk LIC. Karbon aktif juga dapat ditingkatkan kapasitansi dan konduktivitasnya melalui *doping* dengan prinsip reaksi redoks (Ahmed dkk., 2018). *Doping* dengan sulfur merupakan salah satu metode untuk meningkatkan kemampuan suatu karbon aktif kapasitansi spesifiknya (Chen dkk., 2019). Karbon aktif sendiri umumnya diproduksi dengan bahan baku batu bara, namun karbon aktif yang diproduksi dengan biomassa lebih menjanjikan karena dapat menjadi energi yang terbarukan (Gan, 2021). Salah satu biomassa yang dapat dijadikan sebagai bahan baku karbon aktif adalah limbah kulit kakao. Selain karena lebih mudah diperoleh, CPH lebih terbarukan jika dibandingkan dengan batu bara.

Indonesia sendiri merupakan negara penghasil kakao terbesar ketiga di dunia, namun kakao yang diekspor dan dimanfaatkan hanya bagian bijinya (Perindustrian, 2007). Biji buah kakao yang digunakan biasanya hanya berjumlah 33 % dari satu buah kakao utuh, sedangkan 67 % lagi terdiri atas kulit buah atau yang biasa disebut sebagai CPH (*Cocoa Pod Husk*) dan *pulp* yang akan menjadi limbah (Oddoye dkk., 2013). Sebagai penghasil kakao terbesar ketiga di dunia tentu limbah kulit kakao di Indonesia juga besar. Limbah CPH yang dihasilkan oleh pabrik produksi kakao sangat besar yaitu 47.440.000 ton pada rentang tahun 2016 – 2017 dan 46.520.000 ton pada rentang tahun 2017 – 2018 (Susanti dkk., 2020). CPH juga mengandung lignoselulosa, dimana CPH dapat digunakan sebagai biomassa untuk menghasilkan karbon aktif.

Pembuatan karbon aktif terdiri dari dua tahap, yaitu proses karbonisasi dan aktivasi. Tujuan dilakukannya proses karbonisasi adalah untuk mengubah biomassa menjadi *char* yang mengandung banyak karbon (Bansal dan Goyal, 2005). Karbonisasi sendiri memiliki dua metode dalam perlakuannya, yaitu karbonisasi hidrotermal (*Hydrothermal Carbonization*) dan pirolisis. Metode HTC dilakukan dengan memanaskan biomassa di dalam reaktor tertutup dengan rentang temperatur 180-250 °C (Wang, 2018). Untuk metode pirolisis biomassa akan dipanaskan dalam keadaan temperatur tinggi yang berkisar antara 300 – 800 °C (Ghosh dkk., 2020). Aktivasi juga memiliki dua metode berdasarkan pengaktifannya, yaitu aktivasi fisika dan kimia. Aktivasi fisika merupakan proses pemutusan ikatan karbon suatu senyawa organik dengan bantuan panas, *steam*, dan CO₂. Pada aktivasi fisika karbon akan dipanaskan di furnace dengan temperatur 800 – 900 °C

(Saputro dkk., 2020). Sedangkan aktivasi kimia merupakan proses pemutusan ikatan karbon suatu senyawa organik dengan bantuan senyawa kimia. Senyawa kimia yang paling sering digunakan sebagai aktivator adalah ZnCl_2 , KOH , dan H_3PO_4 . (Saputro dkk., 2020; Ma dkk., 2014).

Sintesis karbon aktif dengan biomassa CPH umumnya sudah sering dilakukan, namun umumnya karbon aktif disintesis dengan metode pirolisis dan aktivasi kimia. Selain itu, penggunaan *doping* sulfur pada sintesis karbon aktif dengan biomassa CPH dengan metode HTC dan aktivasi kimia juga belum pernah diterbitkan secara resmi. Dengan landasan latar belakang ini, penelitian baru akan dilakukan dengan menerapkan *doping* sulfur ke dalam karbon aktif dengan biomassa CPH. Variasi temperatur HTC yang digunakan adalah $225\text{ }^\circ\text{C}$ dengan aktivator kimia ZnCl_2 . Lalu karbon aktif akan dilakukan *doping* dengan variasi jenis sulfur berupa sulfur murni, Na_2SO_3 , dan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Tujuan penggunaan *doping* sulfur adalah untuk meningkatkan konduktivitas elektrik dan kapasitansi dalam karbon aktif.

1.2 Tema Sentral Masalah

Doping dengan sulfur adalah salah satu cara modifikasi karbon aktif yang berguna untuk meningkatkan konduktivitas elektrik dan kapasitansinya. Namun, penelitian menggunakan variasi jenis impregnasi sulfur pada biomassa CPH belum dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan harapan dapat melihat pengaruh *doping* sulfur terhadap sintesis karbon aktif.

1.3 Identifikasi Masalah

Berdasarkan tema sentral masalah yang telah dirumuskan, dapat diidentifikasi beberapa masalah yang akan dikaji pada penelitian ini, yaitu :

1. Bagaimana pengaruh jenis *doping* sulfur terhadap karakteristik karbon aktif (gugus fungsi, struktur, luas permukaan, volume pori, dan distribusi pori) yang dihasilkan dengan metode karbonisasi hidrotermal dan aktivasi secara kimia?
2. Bagaimana perbandingan unsur sulfur di dalam karbon aktif yang dihasilkan dengan variasi jenis *doping* sulfur yang berbeda?
3. Bagaimana *yield hydrochar* dan karbon aktif yang dihasilkan setelah dilakukan *doping* sulfur?

1.4 Premis

Berdasarkan studi pustaka tentang pembuatan karbon aktif, diperoleh premis-premis penelitian yang tersaji pada Tabel 1.1

1.5 Hipotesis

Hipotesis yang dapat dibuat berdasarkan premis-premis yang berhasil disusun dan studi Pustaka yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Penambahan *doping* sulfur dengan jenis yang berbeda menyebabkan karbon aktif memiliki kandungan unsur sulfur yang berbeda.
2. Penambahan doping sulfur membuat luas permukaan karbon aktif berkurang.

1.6 Tujuan Penelitian

1. Mempelajari pengaruh penambahan jenis *doping* sulfur terhadap karakteristik (gugus fungsi, struktur, luas permukaan, volume pori, dan distribusi pori) karbon aktif yang dihasilkan.

1.7 Manfaat Penelitian

1. Bagi industri, memberikan informasi mengenai pengolahan kulit kakao menjadi karbon aktif yang dapat dijadikan elektroda untuk *lithium-ion capacitor* (LIC).
2. Bagi pemerintah, memberikan ide untuk mengurangi jumlah limbah kulit kakao di Indonesia dengan mengolah kulit kakao menjadi karbon aktif yang dapat dipasok ke sektor industri.
3. Bagi peneliti, memberikan informasi ilmiah mengenai metode yang digunakan dalam pembuatan karbon aktif dari kulit kakao, pengaruh variasi metode karbonisasi dan aktivasi secara kimia dengan aktivator $ZnCl_2$ serta penambahan *doping* sulfur, terhadap karakteristik seperti luas permukaan dan volume pori dari *hydrochar* dan karbon aktif yang dihasilkan.
4. Bagi masyarakat, memberikan informasi mengenai pemanfaatan limbah kulit kakao dan membantu menurunkan pencemaran lingkungan akibat limbah kulit kakao.

Tabel 1.1 Tabel premis

Sumber karbon	Karbonisasi	Aktivator	Hasil Terbaik (S_{BET} (m ² /g))	Pustaka
CPH	Pirolisis (500, 650, 800 °C)	K ₂ CO ₃ , ZnCl ₂ , KOH (rasio CPH : aktivator = 1:1)	780 (ZnCl ₂ (650 °C))	Cruz dkk., 2012
	Pirolisis (400, 500, 600, 700, 800 °C)	KOH (rasio CPH : KOH = 2:1)	1783 (KOH (800 °C))	Tsai dkk., 2019
	Pirolisis (500 °C)	ZnCl ₂ , H ₃ PO ₄ (rasio CPH : ZnCl ₂ = 2:1) (rasio CPH : H ₃ PO ₄ = 1:1)	642 (ZnCl ₂) 1077 (H ₃ PO ₄)	Pereira dkk., 2014
	Pirolisis dengan bantuan <i>microwave</i>	H ₃ PO ₄ , KOH (variasi rasio CPH : aktivator = 1:0,5 1:1 1:1,5 1:2)	1237,47 (H ₃ PO ₄ (1:2))	Villota dkk., 2019
	HTC (200, 225 °C)	ZnCl ₂ (rasio CPH : ZnCl ₂ = 1:4)	1694,91 (ZnCl ₂ (225 °C))	Susanti dkk., 2022
	HTC (225 °C)	ZnCl ₂ (rasio CPH : ZnCl ₂ = 1:2 1:3 1:4)	Rasio 1:4 memberikan <i>surface area</i> paling besar	Kristianto dkk., 2020

Tabel 1.1 Tabel premis (lanjutan)

Sumber karbon	Karbonisasi	Sumber sulfur	Aktivator	S _{BET} (m ² /g)	Pustaka
Kulit Pisang	400 °C (0,5 jam) lalu 800 °C (1 jam)	Sulfur (rasio BP:Sulfur = 10:1)	BP:KOH (rasio BP:KOH = 1:3)	2224.9	Chen dkk., 2019
Kulit Durian	500, 600, 700, 800, 900 °C	Na ₂ SO ₃ (rasio DP: Na ₂ SO ₃ = 1:1)	-	852	Desa dkk., 2021
Waste tea	450 °C	Na ₂ S ₂ O ₃ (rasio WT:Dopant = 1:1) (305 °C (1 jam) lalu 800 (1 jam) °C)	H ₃ PO ₄ (450 °C) (rasio WT: H ₃ PO ₄ = 1:2)	771	Yaglikci dkk., 2019
Gelatin	800/900 °C	Na ₂ S ₂ O ₃ (1:1,1:3) (rasio G:Na ₂ S ₂ O ₃ = 1:1 1:3)	-	2720	Fuertes dkk., 2018
Ginkgo leaves	700 °C	45 mL H ₂ SO ₄	KOH (rasio GL:KOH = 1:1)	1132	Hao dkk., 2016
Glukosa	HTC (550 °C)	Sulfur (variasi 2, 4, 6 g)	KOH (rasio prekursor:KOH = 1:3)	3357	Liu dkk., 2017
Activated Carbon	400 °C	Sulfur (rasio AC:Sulfur = 10:1)	-	987	Huang dkk., 2014