

**PENGARUH KONSENTRASI KATALIS CeCl_3
TERHADAP KARAKTERISTIK KARBON AKTIF DARI
KULIT KAKAO DAN KULIT SALAK DENGAN METODE
CATALYTIC HYDROTHERMAL CARBONIZATION DAN
AKTIVASI KIMIA**

Laporan Penelitian

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

Oleh:

Michael Limnanta

(6141801114)

Pembimbing:

Ratna Frida Susanti, Ph.D.

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



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN

2022

**EFFECT OF CeCl_3 CONCENTRATION AS CATALYST
ON ACTIVATED CARBON CHARACTERISTICS FROM
COCOA POD HUSK AND SALACCA PEEL USING
CATALYTIC HYDROTHERMAL CARBONIZATION
AND CHEMICAL ACTIVATION**

Research Report

Compiled to fulfill the final task to achieve
Bachelor's degree in Chemical Engineering

By:

Michael Limnanta

(6141801114)

Academic Consultant:

Ratna Frida Susanti, Ph.D.

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



**DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY**

2022

LEMBAR PENGESAHAN

JUDUL : PENGARUH KONSENTRASI KATALIS CeCl_3 TERHADAP KARAKTERISTIK KARBON AKTIF DARI KULIT KAKAO DAN KULIT SALAK DENGAN METODE *CATALYTIC HYDROTHERMAL CARBONIZATION* DAN AKTIVASI KIMIA

CATATAN :



Telah diperiksa dan disetujui,


Bandung, 26 Agustus 2022

Pembimbing 1,



Ratna Frida Susanti, Ph.D.

Pembimbing 2,



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



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

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Michael Limnanta

NPM : 6141801114

dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian dengan judul :

**PENGARUH KONSENTRASI KATALIS CeCl_3 TERHADAP KARAKTERISTIK
KARBON AKTIF DARI KULIT KAKAO DAN KULIT SALAK DENGAN
METODE *CATALYTIC HYDROTHERMAL CARBONIZATION* 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, 25 Agustus 2022



Michael Limnanta

(6141801114)

LEMBAR REVISI

JUDUL : PENGARUH KONSENTRASI KATALIS CeCl_3 TERHADAP KARAKTERISTIK KARBON AKTIF DARI KULIT KAKAO DAN KULIT SALAK DENGAN METODE *CATALYTIC HYDROTHERMAL CARBONIZATION* DAN AKTIVASI KIMIA

CATATAN :

Telah diperiksa dan disetujui,

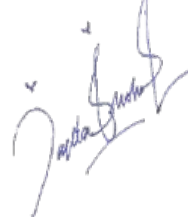
Bandung, 26 Agustus 2022

Penguji 1,



Dr. Ir. Budi Husodo Bisowarno,
M.Eng.

Penguji 2,



Dr. Angela Justina Kumalaputri,
S.T., M.T.

INTISARI

Kakao dan salak merupakan dua tanaman budidaya di Indonesia. Produksi kakao dan salak yang melimpah di Indonesia meninggalkan limbah yang masih belum optimal pengolahannya sehingga memunculkan banyak kesempatan untuk dimanfaatkan. Limbah dari kedua hasil budidaya tersebut adalah kulitnya yang mengandung lignoselulosa yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber biomassa pada pembuatan karbon aktif. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh penambahan konsentrasi katalis CeCl_3 pada luas permukaan karbon aktif yang terbentuk.

Penelitian ini dilakukan menggunakan proses karbonisasi hidrotermal dengan katalis CeCl_3 dan aktivasi *hydrochar* secara kimia dengan menggunakan aktivator berbeda berupa ZnCl_2 untuk kulit kakao serta KOH untuk kulit salak. Pada proses karbonisasi hidrotermal (HTC), biomassa kulit kakao ataupun kulit salak digunakan sebanyak 4 gram dan katalis CeCl_3 dengan variasi sebesar 8, 80, dan 400 mg untuk kulit kakao serta 8 dan 400 mg untuk kulit salak. Pada proses HTC dengan katalis dilakukan pada reaktor teflon autoklaf serta dipanaskan dalam oven selama 18 jam pada temperatur 225 °C. Proses HTC dengan katalis CeCl_3 bertujuan untuk mempelajari pengaruhnya terhadap porositas yang terbentuk. Proses aktivasi kimia yang berbeda juga dilakukan setelah HTC dengan menggunakan aktivator ZnCl_2 untuk kulit kakao dan KOH untuk kulit salak dengan perbandingan massa 1:4 (*hydrochar* : aktivator). Proses aktivasi dilakukan dengan *furnace tubular* pada temperatur 600 °C untuk kulit kakao dan 800 °C untuk kulit salak. Kemudian, pada karbon aktif dan *hydrochar* yang dihasilkan akan dilakukan karakterisasi dengan analisis BET, FTIR, XRD, Raman, dan SEM.

Penggunaan katalis CeCl_3 pada proses karbonisasi hidrotermal untuk kulit kakao dan kulit salak akan mempengaruhi *yield*, gugus fungsi, dan karakteristik permukaan yang diperoleh. Penggunaan katalis CeCl_3 serta penambahan konsentrasinya akan meningkatkan *yield hydrochar* yang diperoleh. Serta *yield* karbon aktif dari kulit salak lebih kecil dibandingkan karbon aktif dari kulit kakao akibat penggunaan aktivator KOH pada kulit salak dan ZnCl_2 pada kulit kakao. Kemudian, penggunaan konsentrasi katalis CeCl_3 yang semakin tinggi akan membuat luas permukaan *hydrochar* yang diperoleh berkurang akibat penyumbatan pori. Namun, penggunaan konsentrasi katalis yang lebih tinggi pada karbon aktif dari kulit kakao tidak berpengaruh secara signifikan pada luas permukaan yang diperoleh. Sedangkan penggunaan konsentrasi katalis yang lebih tinggi pada karbon aktif dari kulit salak akan meningkatkan luas permukaan yang diperoleh secara signifikan. Dengan hasil terbaik pada konsentrasi katalis CeCl_3 sebesar 400 mg yang memiliki luas area sebesar 1508,49 m²/g. Penggunaan katalis CeCl_3 pada karbon aktif dari kulit salak juga menunjukkan penurunan nilai L_a , L_c , dan peningkatan nilai I_{D1}/I_G yang menunjukkan struktur yang lebih *defect* atau tidak teratur akibat peningkatan luas permukaan. Hal tersebut juga ditunjukkan pada hasil SEM yang memiliki struktur tidak teratur pada penambahan katalis dibandingkan karbon aktif tanpa katalis.

Kata Kunci: Kulit kakao, kulit salak, katalis, karbonisasi hidrotermal, CeCl_3

ABSTRACT

Cocoa and salacca are two cultivated plants in Indonesia. The abundant production of cocoa and salacca in Indonesia leaves waste that is still not optimal in processing to bring up many opportunities to be utilized. Waste from the two cultivation products is the skin containing lignocellulose, which can be used as a source of biomass in making activated carbon. This study aims to study the effect of increasing the concentration of CeCl_3 catalysts on the surface area of activated carbon formed.

This research was conducted using a hydrothermal carbonization process with a CeCl_3 catalyst and hydrochar chemically activated using ZnCl_2 activator for cocoa pod husk and KOH for salacca peels. In the hydrothermal carbonization process, 4 g of cocoa pod husk or salacca peels biomass was used and CeCl_3 catalyst with variations of 8, 80, and 400 mg for cocoa pod husk or 8 and 400 for salacca peels. The HTC process with a catalyst was carried out on the autoclave Teflon reactor and heated in the oven for 18 hours at a temperature of 225 ° C. The HTC process with the CeCl_3 catalyst aims to study its effect on the porosity formed. The chemical activation process is also carried out after HTC using ZnCl_2 activators for cocoa pod husk and KOH skin for salacca peels with a mass ratio of 1: 4 (hydrochar: activator). The activation process is carried out with a tubular furnace at 600 ° C for cocoa pod husk and 800 ° C for salacca peels. Then, activated carbon and the resulting hydrochar will be characterized by the analysis of BET, FTIR, XRD, Raman, and SEM.

The use of CeCl_3 catalyst in the hydrothermal carbonization process for cocoa pod husk and salacca peels affected the yield, functional groups, and surface characteristics obtained. The use of CeCl_3 catalyst and the addition of its concentration will increase the yield of hydrochar obtained. And the yield of activated carbon from salacca peels is smaller than activated carbon from cocoa husk due to the use of KOH activator on salacca peels and ZnCl_2 on cocoa pod husk. Then, the use of a higher concentration of CeCl_3 catalyst will reduce the surface area of hydrochar obtained due to pore blocking. However, the use of a higher concentration of catalyst on activated carbon from cocoa pod husk did not significantly affect the surface area obtained. Meanwhile, the use of a higher concentration of catalyst on activated carbon from salacca peels significantly increases the surface area obtained. With the best result at a CeCl_3 catalyst concentration of 400 mg which has an area of 1508,49 m^2/g . The use of CeCl_3 catalyst on activated carbon from salacca peels also showed a decrease in the value of I_a , I_c , and an increase in the value of I_{D1}/I_G which indicated a more defect or irregular structure due to an increase in surface area. This is also shown in the SEM results which have an irregular structure on the addition of a catalyst compared to activated carbon without a catalyst.

Keywords: Cocoa Pod Husk, Salacca Peels, Catalyst, Hydrothermal Carbonization, CeCl_3

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan anugerah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian dan seminar dengan judul “Pengaruh Konsentrasi Katalis CeCl_3 Terhadap Karakteristik Karbon Aktif dari Kulit Kakao dan Kulit Salak dengan Metode *Catalytic Hydrothermal Carbonization* dan Aktivasi Kimia” dengan baik dan tepat waktu. 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. Ibu Ratna Frida Susanti, Ph.D. dan Bapak Kevin Cleary Wanta, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, mengarahkan, membantu, memberikan saran-saran, dan memberikan dorongan yang sangat berarti untuk penulis dalam penyusunan laporan penelitian ini.
2. Ibu Dr. Angela Justina Kumalaputri, S.T., M.T. dan Bapak Dr. Ir. Budi Husodo Bisowarno, M.Eng. yang berkenan menjadi penguji laporan penelitian ini.
3. Orang tua dan keluarga yang selalu memberikan dukungan, doa dan semangat untuk penulis.
4. Seluruh dosen Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan, yang senantiasa memberikan pengajaran 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 ataupun tidak langsung sehingga laporan penelitian ini dapat diselesaikan tepat waktu.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kesempurnaan akibat adanya keterbatasan waktu, kemampuan, dan pengetahuan dalam menyusun laporan penelitian ini. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar penulis dapat Menyusun laporan penelitian yang lebih baik lagi di lain hari. Penulis juga meminta maaf apabila terdapat kesalahan ataupun kata-kata yang kurang berkenan dalam laporan penelitian ini. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih dan penulis juga berharap agar laporan ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	xii
INTISARI.....	xiii
<i>ABSTRACT</i>	xiv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tema Sentral Masalah.....	3
1.3 Identifikasi Masalah.....	4
1.4 Premis	4
1.5 Hipotesis	4
1.6 Tujuan Penelitian	5
1.7 Manfaat Penelitian	5
BAB II	11
TINJAUAN PUSTAKA.....	11
2.1 Biomassa.....	11
2.1.1 CPH (<i>Cocoa Pod Husk</i>).....	12
2.1.2 Kulit Salak (<i>Salacca Peel</i>).....	13
2.2 Karbon Aktif.....	14
2.2.1 Penerapan Karbon Aktif dalam Kehidupan Manusia	15
2.3 Struktur Karbon Aktif.....	15

2.3.1	Struktur Porositas Karbon Aktif.....	16
2.3.2	Struktur Kristalin Karbon Aktif.....	17
2.3.3	Struktur Kimia Karbon Aktif.....	19
2.4	Tahapan Pembuatan Karbon Aktif.....	21
2.4.1	Karbonisasi	21
2.4.1.1	HTC (<i>Hydrothermal Carbonization</i>).....	21
2.4.1.2	Air Subkritis	22
2.4.1.3	Mekanisme Pembentukan <i>Hydrochar</i>	25
2.4.1.4	Faktor yang Mempengaruhi <i>Hydrothermal Carbonization</i>	29
2.4.1.5	Katalis pada HTC.....	30
2.4.1.6	Pirolisis	33
2.4.1.7	Faktor yang Mempengaruhi Proses Pirolisis	35
2.4.1.8	Perbandingan Proses Pirolisis dan HTC	36
2.4.2	Aktivasi.....	38
2.4.2.1	Aktivasi Secara Fisika.....	38
2.4.2.2	Aktivasi Secara Kimia	38
2.4.2.3	Mekanisme Aktivasi Karbon Aktif.....	39
2.4.2.4	Faktor-faktor yang Mempengaruhi Aktivasi Kimia Karbon Aktif.....	43
2.5	Superkapasitor	44
2.5.1	EDLC.....	45
2.5.2	<i>Pseudo-capacitor</i>	46
2.5.3	<i>Hybrid Capacitor</i>	47
2.5.4	<i>Lithium Ion Capacitor (LIC)</i>	48
2.5.5	Mekanisme Kerja LIC	49
2.6	Instumen Analisis	51
2.6.1	XRD.....	51
2.6.2	BET.....	52

2.6.3	FTIR	55
2.6.4	SEM.....	57
2.6.5	CV.....	58
2.6.6	<i>Raman Spectroscopy</i>	59
2.7	<i>State of the Art</i>	60
BAB III		62
METODE PENELITIAN.....		62
3.1	Tahap Penelitian.....	62
3.2	Bahan dan Alat.....	62
3.3	Variabel Penelitian.....	63
3.4	Prosedur Penelitian	64
3.4.1	<i>Pre-treatment</i> Limbah CPH dan Kulit Salak.....	64
3.4.2	Sintesis Karbon Aktif	65
3.4.2.1	Proses Karbonisasi Hidrotermal dengan Air Subkritik.....	65
3.4.2.2	Aktivasi Kimia dengan ZnCl ₂ dan KOH	67
3.5	Karakterisasi Karbon Aktif.....	69
3.6	Analisis Data.....	69
3.6.1	Analisis Persentase <i>Yield Hydrochar</i>	69
3.6.2	Analisis Persentase <i>Yield</i> Karbon Aktif	70
3.7	Lokasi dan Rencana Kerja Penelitian	70
BAB IV		71
PEMBAHASAN.....		71
4.1	Analisis <i>Yield</i> dan pH Kulit Salak dan Kulit Kakao	71
4.2	Analisis Luas Permukaan dan Distribusi Pori	75
4.3	Analisis FTIR (Fourier Transform Infrared).....	82
4.4	Analisis XRD.....	87
4.5	Analisis Raman	89

4.6 Analisis SEM	92
4.7 Karbon Aktif Sebagai Superkapasitor	95
BAB V	96
KESIMPULAN DAN SARAN	96
5.1 Kesimpulan	96
5.2 Saran	97
DAFTAR PUSTAKA	98
LAMPIRAN A.....	111
<i>MATERIAL SAFETY DATA SHEET</i>	111
A.1 HCl (0,1 M).....	111
A.2 ZnCl ₂	112
A.3 Etanol 70 %.....	113
A.4 CeCl ₃	115
A.5 KOH	116
LAMPIRAN B.....	118
D.1 Perhitungan Persentase <i>Yield Hydrochar</i> dan Karbon Aktif	118
D.1.1 Persentase <i>Yield Hydrochar</i>	118
D.1.2 Persentase <i>Yield Karbon Aktif</i>	118

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Data produksi kakao dan salak.....	1
Gambar 2. 1	Kandungan lignoselulosa pada biomassa.....	11
Gambar 2. 2	Bagian porositas karbon aktif.....	16
Gambar 2. 3	(a) Susunan grafit (b) Susunan <i>turbostratic</i>	18
Gambar 2. 4	(a) <i>Graphitizable carbon</i> (b) <i>Non-Graphitizable carbon</i>	19
Gambar 2. 5	Struktur kimia karbon aktif.....	20
Gambar 2. 6	Diagram fasa air sebagai fungsi dari tekanan dan temperatur	22
Gambar 2. 7	<i>Dielectric constant</i> berbagai pelarut organik pada tekanan 1 atm	24
Gambar 2. 8	Karakteristik air sebagai fungsi dari temperatur pada tekanan 25 MPa.....	25
Gambar 2. 9	Proses pembentukan <i>hydrochar</i> dari selulosa.....	26
Gambar 2. 10	Proses pembentukan <i>hydrochar</i> dari lignin	28
Gambar 2. 11	Proses pembentukan <i>hydrochar</i> dari hemiselulosa (<i>xylan</i>).....	29
Gambar 2. 12	Proses mekanisme degradasi selulosa menjadi glukosa dengan katalis $ZnCl_2$	32
Gambar 2. 13	Proses mekanisme dehidrasi menggunakan katalis asam lewis.....	33
Gambar 2. 14	Mekanisme dekomposisi selulosa menjadi karbon	34
Gambar 2. 15	Skema EDLC (<i>Electric Double Layer Capacitor</i>).....	45
Gambar 2. 16	Skema <i>pseudo-capacitor</i>	46
Gambar 2. 17	Proses pada <i>pseudo-capacitor</i>	47
Gambar 2. 18	Plot Ragon dari beberapa alat penyimpan energi.....	49
Gambar 2. 19	Skema rangkaian LIC dengan mekanisme <i>electrolyte-consumption</i>	50
Gambar 2. 20	Ilustrasi difraksi sinar-x pada suatu permukaan kristal.....	52
Gambar 2. 21	Ilustrasi FTIR untuk menganalisis sampel.....	56
Gambar 2. 22	Ilustrasi SEM (Scanning Electron Microscope) proses analisis sampel	58
Gambar 2. 23	Hasil <i>signal cyclic voltammetry</i>	59
Gambar 3. 1	Diagram alir pre-treatment limbah kulit salak atau CPH.....	64
Gambar 3. 2	Diagram alir proses HTC (<i>Hydrothermal Carbonization</i>).....	66
Gambar 3. 3	Ilustrasi proses karbonisasi hidrotermal.....	67
Gambar 3. 4	Diagram alir proses aktivasi kimia dengan $ZnCl_2$	68
Gambar 3. 5	Ilustrasi proses aktivasi menggunakan <i>furnace tubular</i>	69
Gambar 3. 6	Jadwal kerja penelitian.....	70
Gambar 4. 1	Dua jalur pembentukan <i>hydrochar</i> dari selulosa	73

Gambar 4. 2 Grafik isothermal (a) <i>hydrochar</i> (b) karbon aktif kulit kakao (c) karbon aktif kulit salak.....	75
Gambar 4. 3 Distribusi pori karbon aktif (a) kulit kakao (b) kulit salak	78
Gambar 4. 4 Hasil analisis FTIR dari <i>hydrochar</i> (a) kulit kakao dan (b) kulit salak	83
Gambar 4. 5 Hasil analisis FTIR dari karbon aktif kulit salak pada variasi tanpa katalis dan dengan katalis $CeCl_3$ sebesar 400 mg	86
Gambar 4. 6 Hasil analisis XRD dari beberapa variasi (a) <i>hydrochar</i> dan (b) karbon aktif	87
Gambar 4. 7 Kurva XRD hasil dekonvolusi puncak 002.....	88s
Gambar 4. 8 Hasil dekonvolusi puncak raman (a) karbon aktif kulit salak tanpa katalis (b) karbon aktif kulit salak dengan katalis $CeCl_3$ sebanyak 400 mg.....	90
Gambar 4. 9 Analisis SEM raw kulit salak pada perbesaran (a) 500x (b) 2000.....	92
Gambar 4. 10 Analisis SEM <i>hydrochar</i> tanpa katalis dengan perbesaran (a) 500x (b) 2000x dan dengan katalis $CeCl_3$ sebesar 400 mg dengan perbesaran (c) 500x (d) 2000x ..	93
Gambar 4. 11 Analisis SEM karbon aktif tanpa katalis dengan perbesaran (a) 500x (b) 2000x dan dengan katalis $CeCl_3$ sebesar 400 mg dengan perbesaran (c) 500x (d) 2000x ..	94

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Premis	6
Tabel 2. 1 Klasifikasi taksonomi tumbuhan kakao	12
Tabel 2. 2 Kandungan yang terdapat pada kulit kakao	13
Tabel 2. 3 Klasifikasi taksonomi tumbuhan salak	13
Tabel 2. 4 Kandungan yang terdapat pada kulit salak	14
Tabel 2. 5 Penerapan karbon aktif	15
Tabel 2. 6 Perbedaan proses hidrolisis dan HTC	36
Tabel 3. 1 Variabel penelitian	63
Tabel 4. 1 Hasil percobaan karbonisasi hidrotermal biomassa kulit kakao	71
Tabel 4. 2 Hasil yield karbon aktif dari biomassa kulit kakao dan kulit salak	74
Tabel 4. 3 Hasil data analisis BET hydrochar kulit kakao dan kulit salak	78
Tabel 4. 4 Hasil data analisis BET karbon aktif kulit kakao dan kulit salak	79
Tabel 4. 5 Hasil analisis XRD yang dibagi berdasarkan jenis struktur karbonnya	89
Tabel 4. 6 Rangkuman jenis <i>peak</i> raman	90
Tabel 4. 7 Nilai I_{D1}/I_G pada karbon aktif dari kulit salak	91

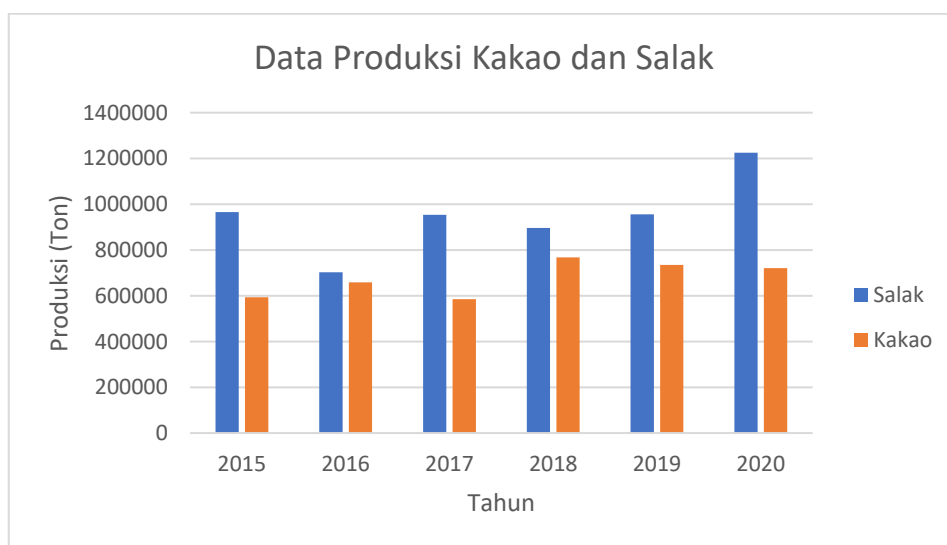
BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Karbon aktif merupakan material berpori serta dikelilingi oleh atom karbon yang memiliki manfaat bagi kehidupan sehari-hari. Karbon aktif mulai diterapkan dalam kehidupan manusia pada tahun 1500 sebelum masehi oleh orang Mesir sebagai agen pemurni (absorben) untuk tujuan medis. Material karbon aktif ini kemudian dimanfaatkan pada perang dunia pertama sebagai bahan pembuatan masker gas untuk melindungi dari gas dan uap yang berbahaya (Bansal dan Goyal, 2005; Marsh, dkk., 2006). Perkembangan ini terus berlanjut hingga sekarang yang salah satunya dapat dimanfaatkan sebagai bahan elektroda pada superkapasitor.

Karbon aktif dapat dibuat dari berbagai macam jenis bahan yang mengandung unsur karbon seperti batu bara dan biomassa. Karbon aktif dari biomassa seperti kulit kakao atau *cocoa pod husk* (CPH) dan kulit salak. Karbon aktif dari biomassa ini memiliki potensi dalam industri karbon aktif karena bahannya yang mudah didapatkan, murah, dan dapat membantu proses pengolahan limbah organik yang ada. Menurut data statistik Kementerian Pertanian Republik Indonesia, produksi kakao di berbagai provinsi di Indonesia selama lima tahun terakhir mengalami peningkatan hingga tahun 2020 yang dapat dilihat pada Gambar 1.1 (Badan Pusat Statistik Indonesia, 2019).



Gambar 1. 1 Data produksi kakao dan salak (BPS-RI, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020)

Produksi yang banyak pada kakao dan salak ini menimbulkan limbah yang pemanfaatannya masih sempit di Indonesia. Pemanfaatan limbah kulit kakao dan kulit salak ini untuk diubah menjadi karbon aktif menjadi salah satu pilihan yang menguntungkan karena dapat mengurangi limbah dan menghasilkan produk karbon aktif.

Pemanfaatan biomassa seperti kulit kakao (CPH) dan kulit salak dapat dilakukan karena pada limbah biomassa terdapat lignoselulosa yang merupakan senyawa yang tersusun atas unsur karbon, hidrogen, dan oksigen sehingga dapat diubah menjadi karbon aktif. Proses pembuatan atau sintesis biomassa menjadi karbon aktif terdiri dari proses *pre-treatment*, karbonisasi, dan aktivasi. Pada proses *pre-treatment* dilakukan pembersihan limbah biomassa dengan air serta dilakukan pengecilan ukuran. Pada proses karbonisasi dapat dilakukan secara pirolisis atau HTC (*hydrothermal carbonization*) serta pada proses aktivasi dapat dilakukan secara aktivasi fisika atau kimia. Proses pembuatan karbon aktif penelitian ini dilakukan dengan proses HTC dengan katalis dan aktivasi secara kimia. Proses HTC dipilih karena pada prosesnya digunakan temperatur operasi yang rendah, menggunakan pelarut subkritik sehingga lebih ramah lingkungan, dan menghasilkan kandungan OFGs (*oxygen functional groups*) yang lebih banyak. Pada proses HTC dapat dilakukan penambahan katalis seperti CeCl_3 . Katalis ini berguna untuk mempercepat reaksi hidrolisis dan dehidrasi sehingga dapat meningkatkan luas permukaan karbon aktif yang diperoleh. CeCl_3 merupakan asam lewis sehingga dapat menyebabkan ikatan lignoselulosa putus akibat serangan elektrofilik pada ikatan C-O, C-H, dan C-C pada lignoselulosanya. Proses penambahan katalis untuk memperbesar luas permukaan karbon aktif yang diperoleh perlu dilakukan karena karbon aktif yang digunakan sebagai elektroda pada superkapasitor harus memiliki luas permukaan yang tinggi yaitu lebih besar dari 1000 m^2 (Wang, dkk., 2017; Zou, dkk., 2020). Selain itu, peningkatan kandungan OFGs (*oxygen functional groups*) pada permukaan karbon aktif dapat meningkatkan proses reaksi redoks yang dapat menghasilkan *pseudocapacitance* (penyimpanan elektrokimia listrik) untuk meningkatkan kapasitansi dari suatu superkapasitor (Li, dkk., 2020).

Aktivasi yang dilakukan merupakan aktivasi kimia yang berguna untuk memperbesar pori yang terbentuk pada proses karbonisasi dan membentuk pori yang baru. Pada penelitian ini digunakan aktivator ZnCl_2 baik pada kulit kakao dengan temperatur $600 \text{ }^\circ\text{C}$ dan KOH pada kulit salak dengan temperature $800 \text{ }^\circ\text{C}$. Proses penggunaan KOH pada kulit salak oleh (Susanti, dkk., 2019; 2021) menghasilkan karbon aktif yang memiliki luas area spesifik lebih

besar dari 1000 m². Sementara pada penelitian menggunakan kulit kakao oleh Cruz, dkk. (2012) dan Villota, dkk. (2019) didapatkan hasil bahwa penggunaan ZnCl₂ menghasilkan luas permukaan yang paling besar dibandingkan KOH dan H₃PO₄. Penggunaan aktivator yang sama pada kedua biomassa juga bermaksud agar proses pengamatan pengaruh konsentrasi katalis pada proses HTC untuk pembuatan karbon aktif dapat diamati dengan lebih jelas. Karbon aktif yang terbentuk akan dianalisis agar dapat ditentukan cocok atau tidak digunakan sebagai elektroda pada superkapasitor seperti LIC (*lithium ion capacitor*).

Pada penelitian ini dilakukan pengamatan terhadap variasi katalis CeCl₃. Hal ini dikarenakan pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Ondy, dkk. (2020) dan Susanti, dkk. (2021) pernah dilakukan penelitian pengaruh katalis CeCl₃ dengan menggunakan 10 mg CeCl₃ dalam 5 g biomassa tanpa dilakukan proses variasi konsentrasi katalisnya. Sehingga penelitian ini bermaksud untuk meneliti lebih jauh pengaruh katalis CeCl₃ ketika digunakan konsentrasi yang lebih tinggi (80 dan 400 mg CeCl₃ dalam 4 g biomassa) serta membandingkan hasil yang diperoleh pada konsentrasi yang sama (8 mg CeCl₃ dalam 4 g biomassa). Pengamatan yang dilakukan tertuju kepada hasil *hydrochar* dan karbon aktif yang didapatkan dalam hal porositas dan persentase *yield* sehingga berdasarkan hasil yang didapatkan dapat ditentukan variasi terbaik yang dapat digunakan dalam pembuatan karbon aktif dengan katalis ini. Selain itu, penggunaan katalis pada proses HTC untuk proses sintesis karbon aktif masih memiliki celah yang lebar untuk diteliti lebih lanjut karena katalis CeCl₃ masih sangat jarang. Pada penelitian ini digunakan peluang tersebut dengan cara melakukan variasi konsentrasi CeCl₃ yang digunakan.

1.2 Tema Sentral Masalah

Limbah kulit kakao (CPH) dan limbah kulit salak yang dihasilkan oleh Indonesia meningkat seiring dengan peningkatan produksinya. Namun, pemanfaatan dari limbah tersebut masih sedikit di Indonesia. Salah satu pemanfaatan dari limbah tersebut adalah pembuatan karbon aktif untuk digunakan sebagai bahan superkapasitor. Karbon aktif yang digunakan sebagai bahan pembuatan superkapasitor harus memiliki luas permukaan yang lebih besar dari 1000 m²/g, akses elektrolit ke porositas karbon aktif yang baik (memiliki ukuran diameter mikropori sebesar 0,5 nm atau lebih), dan konduktivitas yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai bahan baku elektroda yang baik pada superkapasitor. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk membuat karbon aktif yang memenuhi syarat tersebut. Proses pembuatan karbon aktif dengan menggunakan katalis CeCl₃

diharapkan dapat menghasilkan karbon aktif yang memiliki karakteristik tersebut. Untuk itu, perlu adanya penelitian untuk mengetahui kondisi terbaik seperti konsentrasi katalis CeCl_3 dan jenis biomassa yang menghasilkan produk optimum dalam proses pembuatan karbon aktif.

1.3 Identifikasi Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh penambahan katalis CeCl_3 serta konsentrasi katalis CeCl_3 terhadap karakteristik *hydrochar* maupun karbon aktif (luas permukaan, volume pori, gugus fungsi, dan morfologi permukaan) dan *yield hydrochar* serta karbon aktif dari kulit kakao yang dihasilkan?
2. Bagaimana pengaruh penambahan katalis CeCl_3 serta konsentrasi katalis CeCl_3 terhadap karakteristik *hydrochar* maupun karbon aktif (luas permukaan, volume pori, gugus fungsi, dan morfologi permukaan) dan *yield hydrochar* serta karbon aktif dari kulit salak yang dihasilkan?

1.4 Premis

Berdasarkan studi pustaka yang dilakukan mengenai pembuatan karbon aktif dari limbah biomassa, diperoleh premis-premis mengenai penelitian ini yang tersaji pada Tabel 1.1.

1.5 Hipotesis

Hipotesis yang dapat dibuat berdasarkan studi literatur yang sudah dilakukan sebagai berikut:

1. Proses sintesis karbon aktif dengan menggunakan katalis CeCl_3 akan memiliki perkembangan pori yang lebih baik dan persentase *yield* yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang tidak menggunakan katalis akibat adanya pemutusan ikatan glikosidik pada lignoselulosanya.
2. Peningkatan konsentrasi katalis CeCl_3 yang digunakan akan menyebabkan proses hidrolisis, dehidrasi, dan kondensasi yang berlebih sehingga dapat terjadi peningkatan persentase *yield* yang diperoleh serta meningkatkan luas permukaan yang dihasilkan.

1.6 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mempelajari pengaruh penggunaan katalis CeCl_3 dan konsentrasi katalis terhadap karakteristik (struktur, luas permukaan, volume pori, dan gugus fungsi) dan *yield* dari *hydrochar* serta karbon aktif yang dihasilkan dari kulit kakao.
2. Mempelajari pengaruh penggunaan katalis CeCl_3 dan konsentrasi katalis terhadap karakteristik (struktur, luas permukaan, volume pori, dan gugus fungsi) dan *yield* dari *hydrochar* serta karbon aktif yang dihasilkan dari kulit salak.

1.7 Manfaat Penelitian

1. Bagi industri, memberikan ide serta informasi baru mengenai pembuatan karbon aktif dari limbah CPH dan kulit salak dengan menggunakan katalis pada proses HTC-nya sebagai material penyimpan energi pada superkapasitor.
2. Bagi negara, memberikan ide untuk pengolahan limbah CPH dan kulit salak di Indonesia menjadi karbon aktif yang berguna untuk meningkatkan perekonomian negara khususnya industri penyimpan energi.
3. Bagi peneliti, memberikan wawasan serta informasi ilmiah mengenai pengaruh jenis biomassa, penambahan katalis, dan konsentrasi katalis terhadap karakteristik maupun *yield* dari *hydrochar* serta karbon aktif yang terbentuk melalui proses *catalytic hydrothermal carbonization* dan aktivasi secara kimia menggunakan ZnCl_2 dan KOH .
4. Bagi masyarakat, memberikan informasi mengenai alternatif pengolahan limbah CPH dan kulit salak untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat.

Tabel 1. 1 Premis

Peneliti	Bahan baku	Katalis	Karbonisasi	Aktivasi	Hasil
(Susanti, dkk., 2019)	Kulit salak pondoh (5 g)	<i>Citric acid</i> (10 mg)	HTC dengan reaktor subkritik 150 mL pada variasi temperatur 200, 225, 250 °C pada tekanan 5 MPa selama 5-6 jam.	Rasio impregnasi massa KOH : <i>hydrochar</i> (4 : 1) dan diaktivasi dengan temperatur 800 °C selama 1 jam	- S_{BET} <i>hydrochar</i> dengan katalis sebesar 30,984 m ² /g (200 °C) dan 52,524 m ² /g (225 °C). - S_{BET} <i>hydrochar</i> tanpa katalis sebesar 2,139 m ² /g (200 °C) dan 39,051 m ² /g (225 °C). - S_{BET} karbon aktif dengan katalis sebesar 1177,21 m ² /g (200 °C), 1296,41 m ² /g (225 °C), 1635,44 m ² /g (250 °C), dan tanpa katalis sebesar 908,395 m ² /g (225 °C). -Kapasitansi pada temperatur 225 °C sebesar 107,77 F/g dengan katalis dan 91,39 F/g tanpa katalis.
(Susanti, dkk., 2021)	Kulit salak pondoh (5 g)	CeCl ₃ (10 mg)	HTC dengan reaktor SUS 304 dengan masukan gas N ₂ dengan temperatur 225 °C, tekanan 5 MPa, selama 5 jam.	Rasio impregnasi massa KOH : <i>hydrochar</i> (4 : 1) dan diaktivasi dengan <i>quartz reactor</i> pada 700 W selama 8 menit dengan masukan gas N ₂ .	- S_{BET} karbon aktif dengan katalis CeCl ₃ sebesar 1264,4 m ² /g dan volume mikropori sebesar 87,8% serta mesopori 12,2%. - S_{BET} karbon aktif tanpa katalis sebesar 988,9 m ² /g dan volume mikropori sebesar 60,4% serta mesopori 39,6%. - S_{BET} karbon aktif komersil sebesar 742,8 m ² /g volume mikropori sebesar 37,2% serta mesopori 62,8%.

Tabel 1. 1 Premis (lanj.)

Peneliti	Bahan baku	Katalis	Karbonisasi	Aktivasi	Hasil
(Hamid, dkk., 2015)	α -cellulose (3 g)	FeCl ₂ atau FeCl ₃ (33,33% wt)	HTC menggunakan <i>teflon line autoclave</i> dan dipanaskan pada 220 °C selama 12 jam.	-	-S _{BET} pada larutan tanpa katalis sebesar 7,9205 m ² /g, 15,8722 m ² /g pada larutan dengan katalis FeCl ₂ , dan 12,9626 m ² /g pada larutan dengan katalis FeCl ₃ .
(MacDermid-Watts, dkk., 2021)	Biji jagung (30 g)	FeCl ₃	<p>-HTC dengan reaktor autoklaf 300 mL pada temperatur 220 °C selama 1 jam.</p> <p>-HTC tanpa katalis dengan rasio massa biomassa:katalis FeCl₃ (1:0)</p> <p>-HTC dengan katalis pada rasio massa biomassa : katalis FeCl₃ (10:1)</p> <p>-HTC dengan katalis pada rasio massa biomassa : katalis FeCl₃ (5:1)</p> <p>-HTC dengan katalis pada rasio massa biomassa : katalis FeCl₃ (2:1)</p> <p>-HTC dengan katalis pada rasio massa biomassa : katalis FeCl₃ (1:1)</p> <p>-HTC dengan katalis pada rasio massa biomassa : katalis FeCl₃ (1:2)</p>	<p>-Rasio impregnasi massa KOH:biomassa atau <i>hydrochar</i> (2:1) dengan <i>muffle furnace</i> pada temperatur 800 °C selama 1 jam.</p> <p>-Aktivasi yang dilakukan hanya pada biomassa tanpa proses HTC, dengan rasio massa <i>hydrochar</i> dari hasil HTC tanpa katalis (1:0), dan <i>hydrochar</i> dari hasil HTC dengan katalis (5:1).</p>	<p>-S_{BET} karbon aktif biomassa tanpa proses HTC sebesar 789 m²/g, dengan proses HTC tanpa katalis sebesar 1046 m²/g, dan proses dengan katalis sebesar 1220 m²/g.</p> <p>-Volume pori karbon aktif dari proses HTC sebesar 0,469 cm³/g, dengan proses HTC tanpa katalis sebesar 0,494 cm³/g, dan proses dengan katalis sebesar 0,681 cm³/g.</p> <p>-Jari-jari rata-rata karbon aktif dari proses HTC sebesar 1,01 nm, proses HTC tanpa katalis sebesar 1,16 nm, dan proses dengan katalis sebesar 1,81 nm.</p> <p>-Proses penambahan konsentrasi FeCl₃ akan meningkatkan sedikit porositas <i>hydrochar</i> yang diperoleh.</p>

Tabel 1. 1 Premis (lanj.)

Peneliti	Bahan baku	Katalis	Karbonisasi	Aktivasi	Hasil
(Jain, dkk., 2015)	Batok kelapa (<i>coconut shells</i>)	ZnCl ₂	HTC dengan <i>Parr</i> autoklaf selama 20 menit pada temperatur 200 °C untuk (3:1) dan 275 °C untuk (2:1). Hasil produknya dikeringkan pada temperatur 105 °C selama 12 jam.	Aktivasi fisika dengan <i>furnace</i> pada temperatur 800 °C selama 2 jam.	-Kandungan OFG pada rasio massa ZnCl ₂ : biomassa (2:1) sebesar 1,55 meq/g dan (3:1) sebesar 1,61 meq/g. -S _{BET} pada rasio massa ZnCl ₂ : biomassa (2:1) sebesar 1652±132 m ² /g dan (3:1) sebesar 1666±61 m ² /g. -Luas permukaan mesopori pada rasio ZnCl ₂ : biomassa (2:1) sebesar 640±53 m ² /g dan (3:1) sebesar 664±27 m ² /g. -Volume mesopori pada rasio ZnCl ₂ : biomassa (2:1) sebesar 0,768±0,094 cm ³ /g dan (3:1) sebesar 0,79±0,03 cm ³ /g.
(Ondy, dkk., 2020)	Kulit salak (5 g)	CeCl ₃ (10 mg)	HTC dengan reaktor subkritikal 150 mL pada temperatur 225°C selama 5 jam.	Rasio impregnasi massa KOH : <i>hydrochar</i> (1:2, 1:3, dan 1:4) dan diaktivasi dengan microwave oven pada 700 W selama 8 menit.	-Impregnasi 1:4 menghasilkan pori yang paling banyak, yield paling kecil, dan gugus paling sedikit, kapasitansi sebesar 7,63 F/g. -q _e (kapasitas adsorpsi) pada impregnasi 1:4 memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan rasio 1:2 dan 1:3.

Tabel 1. 1 Premis (lanj.)

Peneliti	Bahan baku	Katalis	Karbonisasi	Aktivasi	Hasil
(Kristianto, dkk., 2020)	Kulit salak pondoh (5 g)	ZnCl ₂ (1,5 g)	HTC dengan reaktor subkritikal 150 mL pada 225°C dengan tekanan 5 bar selama 5 jam.	Rasio impregnasi massa <i>hydrochar</i> : ZnCl ₂ (1:2, 1:3, dan 1:4) dan diaktivasi dengan <i>microwave oven</i> pada 700 W selama 8 menit.	- ZnCl ₂ pada proses HTC membantu meningkatkan perkembangan porositas sehingga luas permukaannya meningkat. -Persentase <i>yield hydrochar</i> tanpa katalis lebih tinggi dibandingkan dengan katalis. -qe (kapasitas adsorpsi) pada rasio massa impregnasi 1:4 tanpa katalis sebesar 120,79 mg metilen biru/ g karbon dan yang menggunakan katalis sebesar 134,11 mg metilen biru/ g karbon.
(Xing, dkk., 2019)	- <i>Wheat straw</i> (4 g) - <i>Wheat corn</i> (4 g) - <i>Wheat sorghum</i> (4 g)	ZnCl ₂ dengan perbandingan massa (1:1, 2:1, 3:1, dan 4:1) terhadap biomassa	HTC dengan variasi temperatur 175, 200, 225, dan 250°C selama 24 jam.	Rasio impregnasi massa H ₃ PO ₄ : <i>hydrochar</i> (1:1, 1:2, 1:3, dan 1:4) dan diaktivasi dengan temperatur 450-550°C dengan laju pemanasan 3-9°C/ menit selama 1 jam	-Kondisi terbaik pada HTC 200°C dengan perbandingan massa 2:1 antara ZnCl ₂ : biomassa dan aktivasi pada 500°C dengan perbandingan volum H ₃ PO ₄ : massa <i>hydrochar</i> (2:1) selama 1 jam. -S _{BET} <i>wheat straw</i> 1258 m ² /g, <i>wheat corn</i> 1102 m ² /g, dan <i>wheat sorghum</i> 1061 m ² /g.

Tabel 1. 1 Premis (lanj.)

Peneliti	Bahan baku	Katalis	Karbonisasi	Aktivasi	Hasil
(Villota, dkk., 2019)	CPH (<i>Cocoa Pod Husk</i>)	-	-	Rasio impregnasi massa H ₃ PO ₄ :biomassa (2:1) dan KOH:biomassa (2:1). Pirolisis dengan <i>microwave</i> hingga temperatur 450 °C dan dipertahankan pada suhu tersebut selama 5 menit.	-S _{BET} dengan aktivator H ₃ PO ₄ sebesar 1237,47 m ² /g dan KOH sebesar 344,65 m ² /g pada rasio massa impregnasi 2:1.
(Amarasekara dan Ebede, 2009)	CPH (<i>Cocoa Pod Husk</i>)	-	-	Rasio impregnasi massa KOH:biomassa (1:1), ZnCl ₂ :biomassa(1:1), dan K ₂ CO ₃ :biomassa(1:1). Karbonisasi pada temperatur 500, 650, dan 800 °C selama 2 jam.	-S _{BET} yang paling baik dengan aktivator ZnCl ₂ pada 500°C sebesar 724 m ² /g dan 650°C sebesar 780 m ² /g -S _{BET} KOH pada temperatur 800°C sebesar 490 m ² /g. -S _{BET} K ₂ CO ₃ pada temperatur 800°C sebesar 615 m ² /g.
(Arie, dkk., 2019)	Kulit salak (<i>Salacca peel</i>)	-	<i>Pre-carbonized</i> di <i>muffle furnace</i> pada 500 °C selama 2 jam.	Impregnasi dengan ZnCl ₂ dengan perbandingan massa kulit salak : ZnCl ₂ (1:4) dan dipanaskan dengan <i>tubular furnace</i> pada 800 °C selama 2 jam.	-S _{BET} sebesar 2247 m ² /g

Keterangan: BET = Luas permukaan spesifik pori