

PENGARUH KONSENTRASI KATALIS ASAM SITRAT PADA SINTESIS KARBON AKTIF DARI KULIT SALAK DAN 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:

Gabriela Shane Hadi Pranoto

(6141801031)

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 CITRIC ACID CATALYST CONCENTRATION ON SYNTHESIS OF ACTIVATED CARBON FROM SALAK PEEL AND COCOA POD HUSK BY HYDROTHERMAL CARBONIZATION AND CHEMICAL ACTIVATION METHODS

Research Report

Compiled to fulfill the final project in order to achieve a
Bachelor's degree in Chemical Engineering

By:

Gabriela Shane Hadi Pranoto

(6141801031)

Advisor :

Ratna Frida Susanti, Ph.D.

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



**UNDERGRADUATE PROGRAM OF CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
2022**

LEMBAR PENGESAHAN

JUDUL : PENGARUH KONSENTRASI KATALIS ASAM SITRAT PADA SINTESIS KARBON AKTIF DARI KULIT SALAK DAN KULIT KAKAO DENGAN METODE KARBONISASI HIDROTERMAL DAN AKTIVASI KIMIA

CATATAN :

Telah diperiksa dan disetujui,


Bandung, 15 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 : Gabriela Shane Hadi Pranoto

NRP : 6141801031

dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian dengan judul:

Pengaruh Konsentrasi Katalis Asam Sitrat pada Sintesis Karbon Aktif dari Kulit Salak dan Kulit Kakao dengan Metode Karbonisasi Hidrotermal dan Aktivasi Kimia

adalah hasil pekerjaan saya, dengan seluruh ide, materi laporan, buah pemikiran, hasil diskusi, dan referensi - referensi yang telah dikutip dengan sesuai.

Surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya, jika pernyataan ini tidak sesuai dengan isi laporan maka saya bersedia untuk menanggung sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Bandung, 15 Agustus 2022



Gabriela Shane Hadi Pranoto
(6141801031)

LEMBAR REVISI

JUDUL : PENGARUH KONSENTRASI KATALIS ASAM SITRAT PADA SINTESIS KARBON AKTIF DARI KULIT SALAK DAN KULIT KAKAO DENGAN METODE KARBONISASI HIDROTERMAL DAN AKTIVASI KIMIA

CATATAN :

Telah diperiksa dan disetujui,

Bandung, 15 Agustus 2022

Penguji 1,



Tedi Hudaya, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D.

Penguji 2,



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

INTISARI

Karbon aktif merupakan bahan karbon amorf dengan tingkat porositas yang tinggi dan luas permukaan yang besar sehingga banyak digunakan pada berbagai macam aplikasi. Salah satu alternatif pembuatan karbon aktif untuk mengurangi penggunaan energi tak terbarukan adalah menggunakan limbah biomassa sebagai bahan bakunya. Indonesia memiliki ketersediaan limbah biomassa yang masih belum banyak diolah antara lain adalah kulit salak dan kulit kakao. Kulit salak dan kulit kakao mengandung lignoselulosa sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pada pembuatan karbon aktif. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh konsentrasi katalis asam sitrat dan jenis limbah biomassa terhadap karakteristik *hydrochar* dan karbon aktif.

Pada penelitian ini, pembuatan karbon aktif dilakukan melalui beberapa tahap yaitu *pre-treatment*, karbonisasi, dan aktivasi. Pada *pre-treatment*, kulit salak dan kulit kakao akan dikeringkan terlebih dahulu menggunakan oven pada temperatur 110 °C selama 24 jam. Tahap karbonisasi dilakukan menggunakan metode karbonisasi hidrotermal dengan penambahan katalis asam sitrat yang divariasikan konsentrasinya (8, 16, 32 mg dalam 80 mL air). Karbonisasi hidrotermal dilakukan dengan autoklaf dalam oven *blower* pada temperatur 225 °C selama 18 jam. Pada tahap aktivasi digunakan metode aktivasi secara kimia menggunakan agen pengaktif ZnCl₂ pada temperatur 600 °C dan KOH pada temperatur 800 °C dengan rasio massa *hydrochar*:agen pengaktif sebesar 1:4 menggunakan *furnace* selama 1 jam. Analisis yang dilakukan pada penelitian ini adalah analisis *Brunauer Emmett Teller* (BET), *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Raman Spectroscopy*.

Penambahan katalis asam sitrat pada saat proses karbonisasi hidrotermal memberikan pengaruh pada perolehan, pH, dan gugus fungsi pada *hydrochar* dari kulit kakao maupun kulit salak. Sementara itu, pada karbon aktif, penambahan katalis asam sitrat hanya memberikan pengaruh pada luas permukaannya, terutama pada karbon aktif dari kulit salak. Penggunaan jumlah katalis asam sitrat yang semakin banyak pada karbonisasi hidrotermal akan meningkatkan perolehan *hydrochar*, serta meningkatkan luas permukaan dan volume pori pada karbon aktif. Pada penelitian, diperoleh luas permukaan terbaik untuk karbon aktif dari kulit kakao adalah 1.742,2 m²/g dan karbon aktif kulit salak adalah 1.536,9 m²/g. *Hydrochar* maupun karbon aktif yang didapatkan memiliki kurva isoterm yang menunjukkan keberadaan mikropori dan mesopori pada sampel. Luas permukaan maupun distribusi pori yang didapatkan ini memenuhi syarat untuk dijadikan elektroda pada LIC. Seluruh sampel bahan baku (kulit kakao dan kulit salak) serta *hydrochar* memiliki gugus fungsi yang sama, namun terdapat sedikit perbedaan intensitas serapan pada beberapa gugus fungsi. Pada analisis XRD, *hydrochar* dan karbon aktif memiliki puncak yang lebar rentang sudut difraksi 24-27 ° (002) dan pada saat 41-44 ° (100), menunjukkan bahwa adanya struktur amorf pada sampel. Pada analisis *Raman Spectroscopy*, penambahan katalis menghasilkan nilai I_{D1}/I_G yang lebih tinggi, menunjukkan bahwa penambahan katalis meningkatkan *degree of disorder* pada karbon aktif.

Kata Kunci : karbon aktif, karbonisasi hidrotermal, katalis asam sitrat, kulit kakao, kulit salak.

ABSTRACT

Activated carbon is an amorphous carbon material with high porosity and large surface area, so it is widely used in various applications. One alternative for producing activated carbon to reduce the use of non-renewable energy is to use biomass waste as a raw material. Indonesia has the availability of biomass waste that is still widely unused, including salacca peel and cocoa pod husk. Salacca peel and cocoa pod husk contain lignocellulose, so they can be used as raw materials for activated carbon. The purpose of this study was to determine the effect of the concentration of citric acid catalyst and the type of biomass waste on the characteristics of hydrochar and activated carbon.

In this research, activated carbon was carried out through several stages: pre-treatment, carbonization, and activation. In the pre-treatment stage, salacca peel and cocoa pod husk will be dried in an oven at 110 °C for 24 hours. The carbonization stage was carried out using the hydrothermal carbonization method with the addition of a citric acid catalyst with varying concentrations (8, 16, and 32 mg in 80 mL of water). Hydrothermal carbonization was accomplished by using an autoclave in an oven blower at 225 °C for 18 hours. During the activation stage, a chemical activation method was used, with the activating agent $ZnCl_2$ at 600 °C and KOH 800 °C with a mass ratio of hydrochar to activating agent of 1:4 in a furnace for 1 hour. For analysis, Brunauer Emmett Teller (BET) analysis, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), X-Ray Diffraction (XRD), and Raman Spectroscopy were used in this research.

The addition of a citric acid catalyst during the hydrothermal carbonization process influences the yield, pH, and functional groups of hydrochar. Meanwhile, for activated carbon, the addition of citric acid catalyst only influenced the surface area, especially on activated carbon from salacca peel. The increasing amount of citric acid catalyst in hydrothermal carbonization will increase the hydrochar yield, surface area of activated carbon and pore volume of activated carbon. In this research, the best surface area for activated carbon from cocoa pod husk is 1,742.2 m²/g and activated carbon from salacca peel is 1,536.9 m²/g. Both hydrochar and activated carbon have isotherm curves that indicate the presence of micropores and mesopores in the sample. The surface area and pore distribution obtained are eligible to be used as electrodes for LIC. All samples of raw materials (salacca peel and cocoa pod husk) have the same functional groups as hydrochar, but there are slight differences in the absorption intensities of several functional groups. On XRD analysis, hydrochar and activated carbon had wide peaks in the diffraction angle range of 24-27 ° (002) and at 41-44 ° (100), indicating that there was an amorphous structure in the sample. In Raman spectroscopy, the addition of a catalyst resulted in a higher I_{D1}/I_G value, indicating that the addition of catalyst results in a higher degree of disorder.

Keywords : activated carbon, hydrothermal carbonization, citric acid catalyst, cocoa pod husk, salacca peel.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa oleh karena rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian dengan judul “Pengaruh Konsentrasi Katalis Asam Sitrat pada Sintesis Karbon Aktif dari Kulit Salak dan Kulit Kakao dengan Metode Karbonisasi Hidrotermal dan Aktivasi Kimia” tepat pada waktunya. Laporan penelitian ini ditulis untuk memenuhi tugas akhir guna mencapai gelar sarjana (S-1) di Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.

Dengan kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam menyusun laporan penelitian ini, terutama kepada :

1. Ibu Ratna Frida Susanti, Ph.D. dan Bapak Kevin Cleary Wanta, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu dan pikiran untuk memberikan bimbingan dan pengarahan selama penyusunan laporan penelitian ini.
2. Bapak Tedi Hudaya, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D. dan Bapak Dr. Ir. Budi Husodo Bisowarno, M.Eng. yang berkenan menjadi dosen penguji sidang penelitian ini.
3. Orang tua dan keluarga penulis yang telah memberikan dukungan berupa doa dan motivasi kepada penulis.
4. Teman-teman penulis yang telah memberikan saran dan dukungan.
5. Semua pihak lain yang turut berkontribusi dalam penyusunan laporan penelitian.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan penelitian ini belum sempurna. Oleh karena itu, penulis terbuka serta mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak agar dapat menjadi perbaikan dalam penyusunan laporan berikutnya.

Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih atas perhatian pembaca dan berharap supaya laporan penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Bandung, 15 Agustus 2022

Penulis

II.2.2.2.2 Agen Pengaktif H ₃ PO ₄	28
II.2.2.2.3 Agen Pengaktif ZnCl ₂	28
II.2.2.3 Faktor yang Mempengaruhi Aktivasi	29
II.3 Karbon Aktif sebagai Elektroda pada Supercapacitor	31
II.3.1 <i>Electric Double-Layer Capacitor</i> (EDLC)	32
II.3.2 <i>Pseudocapacitor</i>	33
II.3.3 <i>Hybrid Supercapacitor</i>	33
II.4 Bahan Baku	35
II.4.1 Kulit Kakao atau CPH (<i>Cocoa Pod Husk</i>)	36
II.4.2 Kulit Salak	37
II.5 Analisis Karbon Aktif	38
II.5.1 <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	38
II.5.2 <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR)	39
II.5.3 <i>Brunauer Emmet Teller</i> (BET)	40
II.5.4 <i>X-ray Diffraction</i> (XRD)	42
II.5.5 <i>Raman Spectroscopy</i> (RS)	42
II.5.6 <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV)	43
II.6 <i>State of the Art</i>	44
BAB III METODE PENELITIAN	46
III.1 Tahap Penelitian	46
III.2 Alat dan Bahan	46
III.3 Variasi Penelitian	47
III.4 Prosedur Penelitian	48
III.4.1 <i>Pre-treatment</i> Bahan Baku	48
III.4.2 Sintesis Karbon Aktif	49
III.4.2.1 Karbonisasi Hidrotermal	49
III.4.2.2 Aktivasi Kimia	49
III.4.3 Karakterisasi Karbon Aktif	53
III.5 Analisis Data	53
III.5.1 Analisis % <i>yield Hydrochar</i>	53
III.5.2 Analisis % <i>yield</i> Karbon Aktif	53
III.6 Lokasi dan Rencana Kerja Penelitian	53
BAB IV PEMBAHASAN	55
IV.1 Variasi Penelitian	55
IV.2 Perolehan (<i>Yield</i>) dan pH	55

IV.3 Hasil Karakterisasi BET.....	58
IV.4 Hasil Karakterisasi FTIR	64
IV.5 Hasil Karakterisasi XRD.....	68
IV.6 Hasil Karakterisasi <i>Raman Spectroscopy</i>	70
IV.7 Hasil Karakterisasi SEM.....	71
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	74
V.1 Kesimpulan.....	74
V.2 Saran.....	75
DAFTAR PUSTAKA	76
LAMPIRAN A <i>MATERIAL SAFETY DATA SHEET</i>	86
A.1 Asam Sitrat	86
A.2 Etanol 70%	87
A.3 Seng Klorida.....	88
A.4 Asam Klorida 0,1 M.....	89
A.5 Kalium Hidroksida	90
LAMPIRAN B CONTOH PERHITUNGAN	92
B.1 Perhitungan Perolehan (<i>Yield</i>) <i>Hydrochar</i>	92
B.2 Perhitungan Perolehan (<i>Yield</i>) Karbon Aktif.....	92

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perbedaan struktur antara (a) grafit, (b) <i>soft carbon</i> dan (c) <i>hard carbon</i>	9
Gambar 2.2 Struktur Kimia Karbon Aktif.....	10
Gambar 2.3 Struktur pori pada karbon aktif.....	11
Gambar 2.4 Skema proses pembuatan karbon aktif dari berbagai macam biomassa.....	11
Gambar 2.5 Mekanisme pembuatan <i>hydrochar</i> dari selulosa dengan HTC.....	16
Gambar 2.6 Mekanisme pembuatan <i>hydrochar</i> dari hemiselulosa dengan HTC.....	18
Gambar 2.7 Mekanisme pembuatan <i>hydrochar</i> dari lignin dengan HTC	19
Gambar 2.8 Klasifikasi proses hidrotermal pada diagram fasa air tekanan-temperatur	20
Gambar 2.9 Pengaruh temperatur terhadap sifat fisik air.....	21
Gambar 2.10 Struktur kimia asam sitrat.....	23
Gambar 2.11 Mekanisme reaksi hidrolisis dan dehidrasi menggunakan asam sitrat.....	24
Gambar 2.12 Perbandingan <i>energy density</i> dan <i>power density</i> LIC,LIB, dan EDLC.....	34
Gambar 2.13 Buah kakao	37
Gambar 2.14 Skema komponen dasar dari spektrofotometer FTIR.....	39
Gambar 2.15 Tipe bentuk kurva isoterm berdasarkan IUPAC	41
Gambar 3.1 Diagram alir proses pre-treatment bahan baku.....	48
Gambar 3.2 Diagram alir proses karbonisasi hidrotermal.....	51
Gambar 3.3 Diagram alir proses aktivasi kimia	52
Gambar 4.1 Mekanisme pembentukan <i>hydrochar</i> dari lignoselulosa.....	56
Gambar 4.2 Kurva isoterm <i>hydrochar</i>	59
Gambar 4.3 Kurva isoterm (a) dan kurva distribusi pori (b) pada karbon aktif dari kulit kakao	60
Gambar 4.4 Kurva isoterm (a) dan kurva distribusi pori (b) pada karbon aktif dari kulit salak	62
Gambar 4.5 Hasil analisis FTIR pada <i>hydrochar</i> dari kulit kakao (a) dan kulit salak (b)	64
Gambar 4.6 Hasil analisis FTIR <i>hydrochar</i> dan karbon aktif	67
Gambar 4.7 Hasil analisis XRD <i>hydrochar</i> dan karbon aktif dari kulit kakao (a) dan kulit salak (b).....	69
Gambar 4.8 Hasil dekonvolusi d_{002} sampel karbon aktif	69
Gambar 4.9 Hasil dekonvolusi puncak analisis <i>Raman spectroscopy</i>	70
Gambar 4.10 Hasil analisis SEM dengan perbesaran 1000x untuk kulit salak (a), H-S00 (b), H-S16 (c), dan H-S32 (d), AC-S00 (e), AC-S16 (f), dan AC-S32 (g).....	72

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Kapasitas produksi perusahaan karbon aktif di Indonesia	1
Tabel 1.2 Data ekspor dan impor karbon aktif di Indonesia tahun 2017-2021	1
Tabel 1.3 Tabel premis.....	7
Tabel 2.1 Perbandingan antara proses pirolisis dan HTC	12
Tabel 2.2 Konversi biomassa dengan variasi temperatur.....	13
Tabel 2.3 Perbedaan <i>slow pyrolysis</i> , <i>intermediate pyrolysis</i> , dan <i>fast pyrolysis</i>	14
Tabel 2.4 Perbandingan antara EDLC, <i>pseudocapacitor</i> dan <i>hybrid supercapacitor</i>	32
Tabel 2.5 Taksonomi kakao	36
Tabel 2.6 Komposisi CPH.....	37
Tabel 2.7 Taksonomi salak.....	38
Tabel 2.8 Komposisi kulit salak.....	38
Tabel 3.1 Variasi variabel penelitian.....	47
Tabel 3.2 Rencana kerja penelitian	54
Tabel 4.1 Perolehan <i>hydrcohar</i>	55
Tabel 4.2 Perolehan karbon aktif	57
Tabel 4.3 Hasil analisis BET pada <i>hydrochar</i>	59
Tabel 4.4 Hasil analisis BET pada karbon aktif dari kulit kakao.....	61
Tabel 4.5 Hasil analisis BET pada karbon aktif dari kulit salak	62
Tabel 4.6 Hasil analisis XRD.....	68
Tabel 4.7 Hasil analisis <i>Raman spectroscopy</i>	70

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara berkembang yang memiliki tingkat pertumbuhan penduduk yang tinggi. Populasi yang meningkat menyebabkan kebutuhan manusia yang tidak terbatas demi pemenuhan kesejahteraan hidupnya sehingga akan memicu adanya perkembangan industri di Indonesia untuk meningkatkan kuantitas serta kualitas dari produk yang dihasilkan. Salah satu produk industri yang cukup berkembang di Indonesia adalah industri karbon aktif, yang dapat ditunjukkan pada Tabel 1.1 yang merupakan beberapa perusahaan yang menghasilkan karbon aktif di Indonesia serta Tabel 1.2 yang menunjukkan data ekspor dan impor karbon aktif di Indonesia cenderung meningkat. Karbon aktif merupakan bahan karbon amorf dengan tingkat porositas yang tinggi dan luas permukaan yang besar (Bansal dan Goyal, 2005). Karbon aktif memiliki struktur yang sangat berpori sehingga menyebabkan karbon aktif banyak digunakan dalam berbagai macam aplikasi, antara lain adalah pemurnian air, penyimpanan energi, dan pengolahan limbah.

Tabel 1.1 Kapasitas produksi perusahaan karbon aktif di Indonesia (Kemenperin, 2021)

Nama Perusahaan	Letak	Kapasitas (ton/tahun)
PT Indo Karbon Primajaya	Serang, Banten	3.000
PT Intan Prima Karbon	Gresik, Jawa Timur	12.000
PT Ebara Prima Indonesia	Serang, Banten	1.000
PT Tridi Jaya	Denpasar, Bali	2.400

Tabel 1.2 Data ekspor dan impor karbon aktif di Indonesia tahun 2017-2021 (BPS, 2021)

Tahun	Net (ton/tahun)	
	Impor	Ekspor
2017	13.181	20.076
2018	11.860	27.692
2019	12.480	28.708
2020	10.858	27.613
2021	11.828	19.184

Karbon aktif awalnya menggunakan bahan baku berupa batu bara yang keberadaannya terbatas dan tidak dapat terbarukan. Alternatif bahan baku lain yang lebih murah dan lebih ramah lingkungan untuk menggantikan bahan baku karbon aktif adalah limbah biomassa yang memiliki kandungan lignoselulosa di dalamnya (Sinha dkk., 2020). Indonesia memiliki potensi sebagai salah satu penghasil karbon aktif terbesar pada pasar internasional karena Indonesia memiliki banyak sumber daya alam yang dapat dijadikan menjadi bahan baku dari karbon aktif. Sumber daya alam yang melimpah di Indonesia yang dapat dijadikan sebagai bahan baku karbon aktif antara lain adalah kulit kakao dan kulit salak.

Kakao atau *Theobroma cacao* merupakan salah satu komoditi perkebunan di Indonesia. Menurut data statistik perkebunan unggulan nasional tahun 2019-2021, Indonesia merupakan negara eksportir kakao terbesar kedua belas di dunia. Pada tahun 2019 Indonesia telah mengekspor 358.482 ton kakao, dengan luas area perkebunan kakao sebesar 1.497.467 ha dan produksi kakao sebesar 728.046 ton. Pada satu buah kakao terdiri dari 33 % berat biji kakao yang digunakan sebagai bahan baku pada industri cokelat dan 67 % beratnya merupakan kulit kakao atau *Cocoa Pod Husk* (CPH) yang merupakan limbah (Campos-Vega dkk., 2018). Selain kakao, salak juga banyak diproduksi di Indonesia. Menurut Kementerian Pertanian Republik Indonesia, pada tahun 2019 salak merupakan buah keempat yang paling banyak diekspor Indonesia yaitu sebanyak 1.698 ton, dengan luas area perkebunan 27.050 ha dan produksi 955.763 ton. Buah salak biasanya dikonsumsi secara langsung untuk dimakan, namun juga dapat diolah menjadi manisan atau buah yang diawetkan. Sementara itu, kulit salak akan menjadi limbah. Banyaknya produksi kakao maupun salak mengakibatkan limbah kulit kakao maupun kulit salak juga semakin banyak. Apabila limbah kulit kakao dan kulit salak tidak diolah, akan menjadi limbah yang akan merugikan lingkungan. Kulit kakao maupun kulit salak memiliki kandungan lignoselulosa yang tinggi di dalamnya, sehingga kulit kakao dan kulit salak dapat dimanfaatkan menjadi alternatif bahan baku pada pembuatan karbon aktif.

Terdapat dua tahap utama dalam pembuatan karbon aktif dari limbah biomassa, yaitu karbonisasi dan aktivasi. Proses karbonisasi dilakukan untuk mengonversi limbah biomassa menjadi padatan yang memiliki banyak unsur karbon atau sering disebut sebagai *char* (Bansal dan Goyal, 2005). Terdapat dua macam metode karbonisasi, yaitu pirolisis dan *Hydrothermal Carbonization* (HTC). Metode pirolisis menghasilkan *biochar*

menggunakan pemanasan di atas temperatur 400 °C tanpa adanya oksigen (Brownsort, 2009; Laird dkk., 2009), sedangkan metode HTC menghasilkan *hydrochar* menggunakan air subkritis pada temperatur operasi 180 – 260 °C (Kambo dan Dutta 2015; Sinha dkk., 2020). Metode HTC menggunakan kondisi temperatur yang lebih rendah, produk berupa *hydrochar* yang memiliki kandungan gugus fungsional yang lebih banyak, dan dapat dilakukan pada medium basah sehingga metode HTC cocok digunakan untuk karbonisasi limbah biomassa yang memiliki banyak kandungan airnya (Kang dkk., 2012; Kambo dan Dutta, 2015; Junting dkk., 2017; Sinha dkk., 2020). Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan metode HTC untuk proses karbonisasi limbah biomassa.

Penambahan katalis pada proses HTC dapat mendehidrasi dan mempercepat reaksi hidrolisis (MacDermid-Watts dkk., 2020). Pada penelitian ini, digunakan katalis asam sitrat karena aman untuk digunakan; tidak mahal; serta dapat memodifikasi densitas, bentuk, ukuran partikel, luas permukaan dan gugus fungsional pada *hydrochar* (Faradilla dkk., 2020). Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan variasi konsentrasi katalis asam sitrat pada proses karbonisasi hidrotermal (Xu dkk., 2013). Pada penelitian tersebut, dihasilkan *hydrochar* dengan luas permukaan paling besar pada rasio massa katalis asam sitrat : massa biomassa adalah 1:500. Sintesis karbon aktif menggunakan katalis asam sitrat juga sudah pernah dilakukan. Pada penelitian Susanti dkk. (2019), penambahan katalis asam sitrat pada proses karbonisasi hidrotermal dapat memberikan beberapa keuntungan seperti meningkatkan luas permukaan, mengembangkan struktur berpori, serta meningkatkan *Oxygenated Functional Group* (OFG) pada karbon aktif. Penambahan katalis asam sitrat dengan variasi konsentrasi pada karbonisasi hidrotermal belum pernah diteliti hingga pada tahap aktivasi. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan sintesis karbon aktif dari kulit salak dan kulit kakao dengan variasi konsentrasi katalis asam sitrat pada proses HTC.

Setelah karbonisasi, dilakukan tahap aktivasi. Terdapat dua macam metode aktivasi, yaitu aktivasi fisika dan aktivasi kimia. Aktivasi fisika adalah aktivasi yang menggunakan gas CO₂, udara, atau kukus (*steam*) pada temperatur yang tinggi (di atas 800 °C) (Marsh dan Rodríguez-Reinoso, 2006) sedangkan aktivasi kimia menggunakan bahan kimia seperti KOH, H₃PO₄, dan ZnCl₂ sebagai bahan pengaktif untuk menghasilkan karbon aktif (Sinha dkk., 2020). KOH merupakan agen pengaktif yang bersifat basa, bekerja pada temperatur di atas 700 °C. Sedangkan, H₃PO₄ merupakan agen pengaktif

yang bersifat asam dan akan bekerja sebagai agen pengaktif pada temperatur kurang dari 450 °C. Sementara itu, $ZnCl_2$ merupakan agen pengaktif yang dapat bekerja efektif sebagai agen pengaktif pada temperatur 500-650 °C (Marsh dan Rodríguez-Reinoso, 2006). Pada penelitian ini digunakan agen pengaktif KOH untuk *hydrochar* dari kulit salak dan agen pengaktif $ZnCl_2$ untuk *hydrochar* dari kulit kakao.

Salah satu penggunaan karbon aktif adalah sebagai elektroda pada superkapasitor. superkapasitor adalah media penyimpanan energi yang terdiri dari empat komponen, yaitu elektroda, elektrolit, *separator* dan *current collector*. Berdasarkan mekanisme penyimpanan energinya, superkapasitor dibagi menjadi tiga, yaitu *Electric Double Layer Capacitor* (EDLC), *pseudocapacitor*, dan *hybrid supercapacitor* (Sinha dkk., 2020). Salah satu contoh *hybrid supercapacitor* adalah *Lithium Ion Capacitor* (LIC), di mana LIC ini menggabungkan elektroda pada *lithium ion batteries* (LIB) sebagai anoda dan EDLC sebagai katoda. Karakteristik material elektroda pada LIC adalah memiliki luas permukaan spesifik yang tinggi ($>1000 \text{ m}^2/\text{g}$), konduktivitas intrapartikel dan interpartikel yang baik serta struktur pori yang dapat diakses oleh ion pada elektrolit (Li dkk., 2018).

I.2 Tema Sentral Masalah

Sintesis karbon aktif berbahan baku kulit kakao dan kulit salak sudah pernah dilakukan, namun belum pernah dilakukan variasi konsentrasi katalis asam sitrat hingga menghasilkan karbon aktif. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan sintesis karbon aktif dengan variasi konsentrasi katalis asam sitrat pada proses karbonisasi hidrotermal dan aktivasi kimia.

I.3 Identifikasi Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh penambahan katalis asam sitrat dan variasi konsentrasi katalis asam sitrat pada proses karbonisasi hidrotermal terhadap perolehan dan karakteristik (struktur, luas permukaan, ukuran pori, volume pori, dan gugus fungsi) *hydrochar* maupun karbon aktif dari kulit kakao?

2. Bagaimana pengaruh penambahan katalis asam sitrat dan variasi konsentrasi katalis asam sitrat pada proses karbonisasi hidrotermal terhadap perolehan dan karakteristik (struktur, luas permukaan, ukuran pori, volume pori, dan gugus fungsi) *hydrochar* maupun karbon aktif dari kulit salak?

I.4 Premis

Berdasarkan studi pustaka yang telah dilakukan mengenai pembuatan karbon aktif, diperoleh premis-premis penelitian seperti yang tersaji pada Tabel 1.3.

I.5 Hipotesis

1. Penggunaan katalis asam sitrat pada proses karbonisasi hidrotermal dalam pembuatan karbon aktif akan menghasilkan perkembangan pori yang lebih baik.
2. Variasi konsentrasi katalis asam sitrat mempengaruhi perolehan dan karakteristik pada permukaan *hydrochar* maupun karbon aktif yang dihasilkan, di mana semakin tinggi konsentrasinya perolehan akan meningkat dan luas permukaan yang semakin meningkat.

I.6 Tujuan Penelitian

1. Mempelajari pengaruh penambahan katalis asam sitrat dan variasi konsentrasi katalis asam sitrat terhadap perolehan dan karakteristik (struktur, luas permukaan, ukuran pori, volume pori, dan gugus fungsi) pada *hydrochar* dan karbon aktif dari kulit kakao.
2. Mempelajari pengaruh penambahan katalis asam sitrat dan variasi konsentrasi katalis asam sitrat terhadap perolehan dan karakteristik (struktur, luas permukaan, ukuran pori, volume pori, dan gugus fungsi) pada *hydrochar* dan karbon aktif dari kulit salak.

I.7 Manfaat Penelitian

1. Bagi industri, dapat memberikan informasi mengenai pembuatan karbon aktif dari kulit salak dan kulit kakao sehingga dapat dikembangkan lagi untuk meningkatkan nilai dari karbon aktif yang dihasilkan dengan bahan baku yang murah.
2. Bagi pemerintah, memberikan ide dan alternatif dalam pengolahan limbah kulit salak dan kulit kakao yang berpotensi untuk menjadi bahan baku karbon aktif yang memiliki banyak kegunaan di industri.
3. Bagi peneliti, dapat memberikan informasi ilmiah mengenai metode yang digunakan dalam pembuatan karbon aktif dari kulit salak dan kulit kakao serta pengaruh variasi konsentrasi katalis terhadap karakteristik (luas permukaan, ukuran pori, volume pori, dan gugus fungsi) dari *hydrochar* dan karbon aktif yang dihasilkan.
4. Bagi masyarakat, dapat memberikan informasi mengenai manfaat dari kulit salak dan kulit kakao yang dapat membantu keperluan sehari-hari ataupun keperluan industri serta dapat memberikan lapangan pekerjaan yang baru sehingga dapat meningkatkan kesejahteraan.

Tabel 1.3 Tabel premis

Peneliti	Bahan Baku	Karbonisasi Hidrotermal	Aktivasi	Hasil
Susanti dkk., 2019	Kulit salak	HTC, menggunakan katalis asam sitrat (10 mg asam sitrat/40 mL air), variasi waktu karbonisasi = 5,6 jam, variasi temperatur karbonisasi = 200, 225, 250 °C	Aktivasi kimia dengan KOH 20%-b/b, Rasio KOH : <i>hydrochar</i> (b/b) = 4:1 pada temperatur 800 °C selama 1 jam	<ul style="list-style-type: none"> - Kondisi karbonisasi terbaik adalah 225 °C dan waktu 5 jam - Penambahan katalis menghasilkan perolehan, luas permukaan, volume pori dan ukuran pori rata-rata yang lebih besar. - Dengan katalis : perolehan <i>hydrochar</i> 51,59%, S_{BET} <i>hydrochar</i> 52,524 m²/g, S_{BET} karbon aktif 1296,41 m²/g; volume pori 0,702 cm³/g dan ukuran pori rata-rata 2,165 nm - Tanpa katalis : perolehan <i>hydrochar</i> 48,23%, S_{BET} <i>hydrochar</i> 39,051 m²/g, S_{BET} karbon aktif 908,395 m²/g; volume pori 0,156 cm³/g dan ukuran pori rata-rata 2,15 nm.
Unur dkk., 2013	<i>Hazelnut shell</i>	HTC, menggunakan katalis asam sitrat dengan rasio massa <i>powder hazelnut shell</i> : asam sitrat : air deionisasi = 8:0,1:20 pada kondisi subkritik, temperatur = 250 °C, waktu =7,5 jam	Aktivasi kimia dengan KOH, Rasio <i>hydrochar</i> : KOH (b/b) = 1:4 pada temperatur 600 °C selama 2 jam.	menghasilkan karbon dengan S_{BET} = 1700 m ² /g ; Volume pori = 0,79 cm ³ /g
Xu dkk., 2013	<i>Sargassum horneri</i>	HTC, menggunakan variasi jumlah katalis asam sitrat (10, 20, 40, 80 mg katalis), variasi berat solid (2,5 ; 5 ; 7,5 ; 10 g), variasi temperatur (180, 190, 200, 210 °C)	-	Luas permukaan <i>hydrochar</i> terbesar yang didapatkan adalah 31,8 m ² /g dengan massa katalis 20 mg, berat solid 10 g, temperatur reaksi pada 200 °C dan perolehan <i>hydrochar</i> 33%.

Tabel 1.3 Tabel Premis (lanjutan)

Peneliti	Bahan Baku	Karbonisasi	Aktivasi	Hasil
Kristianto, dkk., 2020	Kulit salak	HTC, menggunakan 150 mL air subkritik dan katalis ZnCl ₂ , Temperatur = 225 °C, Tekanan = 50 bar, waktu = 5 jam	Aktivasi kimia dengan KOH, variasi rasio <i>hydrochar</i> : KOH (b/b)= 1:2, 1:3, 1:4	Rasio <i>hydrochar</i> : KOH (b/b)= 1:4 menghasilkan luas permukaan yang paling tinggi.
Arenst dkk., 2016	Kulit salak	Pirolisis 500 °C selama 1 jam	Aktivasi kimia dengan KOH 20%-b/b, variasi rasio massa <i>biochar</i> : agen pengaktif = 1:1, 1:2, dan 1:4	Hasil terbaik adalah pada saat rasio massa <i>hydrochar</i> : agen pengaktif 1:4 dengan luas permukaan 1939 m ² /g dan perolehan massa 14,5 %.
Cruz dkk., 2012	CPH	Pirolisis, variasi temperatur 500,650,800 °C.	Aktivasi kimia dengan rasio <i>biochar</i> : agen pengaktif (b/b)= 1:1, variasi jenis katalis : KOH, K ₂ CO ₃ , ZnCl ₂ .	Aktivasi dengan agen pengaktif ZnCl ₂ pada temperatur 650 °C menghasilkan hasil yang paling baik yaitu S _{BET} 780 m ² /g ; Volume pori = 0,58 cm ³ /g ; Ukuran pori 2,9 nm, dan perolehan 37,3%
Zhang dkk., 2020	Sekam Padi	HTC, menggunakan autoklaf dengan temperatur karbonisasi 180 °C dan waktu karbonisasi 1 jam.	Aktivasi kimia, dengan ZnCl ₂ dan FeCl ₃ , rasio massa <i>hydrochar</i> : agen pengaktif 1:1 dan variasi temperatur = 500,600,700,800 °C	Hasil terbaik adalah pada saat temperatur 600 °C dengan luas permukaan 1344,67 m ² /g.

Keterangan :

BET = *Brunauer Emmet Teller*