

**PENGARUH TEMPERATUR DAN KATALIS ASAM SITRAT
PADA SINTESIS KARBON AKTIF DARI KULIT BUAH
SALAK DENGAN METODE KARBONISASI
HIDROTHERMAL**

ICE-410 Penelitian

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

oleh:

Kevin (6213079)



Pembimbing:

Arenst Andreas, S.T., S.Si., MSc., Ph.D

Ratna Frida Susanti, Ph.D



JURUSAN TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN

No. Kode	: TK KEV p/17 BANDUNG
Tanggal	: 16 Januari 2018
No. Ind.	: 4266-FTI / skp 35011 2017
Divisi	:
Madiah / Zelf	:
Dari	: FTI



LEMBAR PENGESAHAN

**JUDUL: PENGARUH TEMPERATUR DAN KATALIS ASAM SITRAT PADA
SINTESIS KARBON AKTIF DARI KULIT BUAH SALAK DENGAN
METODE KARBONISASI HIDROTERMAL**

CATATAN:

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Bandung, 8 Agustus 2017

Pembimbing Pertama

Arenst Andreas, S.T., S.Si., MSc., Ph.D

Pembimbing Kedua

Ratna Frida Susanti, Ph.D

JURUSAN TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN, BANDUNG



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Kevien

NRP : 6213079

Dengan ini menyatakan bahwa laporan proposal penelitian dengan judul :

**PENGARUH TEMPERATUR DAN KATALIS ASAM SITRAT PADA SINTESIS
KARBON AKTIF DARI KULIT BUAH SALAK DENGAN METODE
KARBONISASI HIDROTERMAL**

adalah hasil pekerjaan kami dan seluruh ide, pendapat, 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 peraturan yang berlaku.

Bandung, 8 Agustus 2017

Kevien

(6213079)



LEMBAR REVISI

**JUDUL: PENGARUH TEMPERATUR DAN KATALIS ASAM SITRAT PADA
SINTESIS KARBON AKTIF DARI KULIT BUAH SALAK DENGAN
METODE KARBONISASI HIDROTERMAL**

CATATAN :

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Bandung, 8 Agustus 2017

Penguji

Dra. H. Maria Ingrid, Msc.

Penguji

Hans Kristianto, S.T., M.T.



KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuha Yang Maha Esa atas segala bimbingan-Nya sehingga penulisan laporan proposal penelitian dengan judul “PENGARUH TEMPERATUR DAN KATALIS ASAM SITRAT PADA SINTESIS KARBON AKTIF DARI KULIT BUAH SALAK DENGAN METODE KARBONISASI HIDROTERMAL” dapat diselesaikan dengan baik. Laporan proposal penelitian ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat pendidikan sarjana Strata-1 di Jurusan Teknik Kimia , Fakultas Teknologi Industri, Universitas Parahyangan, Bandung.

Dalam proses penyusunan laporan proposal penelitian ini, penulis mendapat dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Arenst Andreas, S.T., S.Si., MSc., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, pengarahan, dan saran selama penyusunan laporan proposal penelitian ini.
2. Ratna Frida Susanti, Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, pengarahan, dan saran selama penyusunan laporan proposal penelitian ini.
3. Orang tua yang telah memberikan dukungan baik secara moril dan materiil.
4. Semua pihak yang terlibat baik secara langsung maupun tidak langsung dalam proses penyusunan laporan proposal penelitian ini.

Penulis menyadari jika laporan proposal penelitian ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat memberi bekal atau acuan bagi pembuatan laporan selanjutnya. Penulis berharap semoga laporan penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bandung, 31 Juli 2017

Penulis



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
SURAT PERNYATAAN.....	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
INTISARI.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tema Sentral Masalah.....	4
1.3 Identifikasi Masalah.....	4
1.4 Tabel Premis.....	5
1.5 Hipotesis.....	13
1.6 Tujuan Penelitian.....	13
1.7 Manfaat Penelitian.....	13
1.8 Batasan Masalah.....	13
BAB II.....	14
2.1 Senyawa Karbon.....	14
2.2 Karbon Aktif.....	15
2.3 Superkapasitor.....	17
2.4 Sifat Karbon Aktif.....	18
2.5 Bahan Pembuat Karbon Aktif.....	19
2.6 Metode Konvensional Pembuatan Karbon Aktif.....	19
2.6.1 Metode Termal.....	20
2.6.2. Metode Kimia.....	21
2.7 Sintesis Karbon Aktif.....	22
2.7.1 Bahan Baku.....	22
2.7.2 Pre-treatment Biomassa.....	23
Tabel 2.2.....	28
2.7.3 Karbonisasi Termal Biomassa.....	30
2.7.4 Aktivasi dengan High Temperature Water.....	34

2.8	Aplikasi Penggunaan Karbon Aktif.....	38
2.9	Metode Analisa.....	38
2.9.1	BET (Brunauer-Emmett-Teller).....	39
2.9.2	SEM (Scanning Electron Microscopy).....	39
2.9.3	Analisa Lignoselulosa dengan Metode Chesson.....	40
BAB III	.....	41
3.1	Tahap Penelitian	41
3.2	Bahan Baku.....	41
3.3	Peralatan yang Digunakan	41
3.4	Bahan yang Digunakan.....	42
3.5	Prosedur Percobaan	42
3.5.1	Persiapan Kulit Salak.....	42
3.5.2	Sintesis Karbon Aktif.....	42
3.5.3	Karakterisasi Sampel Karbon Aktif.....	46
3.6	Prosedur Pembuatan Elektroda.....	47
3.7	Prosedur Analisa Lignoselulosa	48
3.8	Lokasi dan Jadwal Kerja Penelitian.....	49
BAB IV	.....	50
4.1	Analisa Lignoselulosa.....	51
4.2	Perolehan (yield) Karbon Hasil Karbonisasi	53
4.3	Karakteristik Karbon Aktif.....	54
4.3.1	Brunauer-Emmett-Teller (BET).....	55
4.3.2	Scanning Electron Microscopy (SEM)	55
4.3.3	Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)	58
4.3.4	Analisa Cyclic Voltammetry (CV)	66
BAB V	.....	74
5.1	Kesimpulan.....	74
5.2	Saran	74
DAFTAR PUSTAKA	.....	75
LAMPIRAN A	.....	80
LAMPIRAN B	.....	89
B.1	Analisa Lignoselulosa Kulit Salak.....	89
B.2	Perolehan (yield) Karbon Hasil Karbonisasi	89
B.3	Hasil Analisa BET	89
LAMPIRAN C	.....	90
B.1	Hasil Analisa Scanning Electron Microscopy (SEM).....	90

B.2 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)	91
B.3 Analisa Cyclic Voltammetry (CV)	95
LAMPIRAN D	98
C.1 Perhitungan Analisa Lignoselulosa.....	98
C.2 Perhitungan Yield	98
C.3 Perhitungan Kapasitansi.....	98

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ukuran Pori pada Karbon Aktif (Othmer, 1992).....	15
Gambar 2.2 Jenis-jenis bentuk dari karbon aktif (a) Granular Activated Carbon (GAC), (b) Powdered Activated Carbon (PAC), (c) Extruded Activated Carbon (EAC) (Othmer, 1992).....	16
Gambar 2.3 Skema superkapasitor	17
Gambar 2.4 Grafik performa berbagai kapasitor.....	18
Gambar 2.5 Flowsheet untuk pembuatan karbon aktif secara termal (T.Bandosz, 2006).	20
Gambar 2.6 Diagram fasa air yang menunjukkan kondisi subkritikal dan SCF (superkritikal) (Moller, Nilges, Harnisch, & Schroder, 2011).....	23
Gambar 2.7 Mekanisme pemecahan ikatan lignin dan selulosa oleh NaOH (Fengel & Wegener, 1995).....	24
Gambar 2.8 Mekanisme hidrolisis selulosa dan hemiselulosa pada karbonisasi hidrotermal (Coronella, Lynam, Reza, & Uddin, 2013).....	26
Gambar 2.9 Proses karbonisasi pirolisis dari material karbon (T.Bandosz, 2006).....	31
Gambar 2.10 Kondisi Subkritik dan Superkritik air.....	34
Gambar 2.11 Mekanisme Operasi SEM.....	40
Gambar 3.1 Diagram Alir Proses.....	46
Gambar 3.2 Skema Alat.....	46
Gambar 3.3 Proses Pembuatan Sel.....	48
Gambar 3.4 Prosedur analisa lignoselulosa (Isroi, Wibowo, Miliati, Syamsiah, & Bachrudin, 2013).....	48
Gambar 4.1 Macam-macam produk yang dihasilkan selama karbonisasi hidrotermal pada suhu yang berbeda.....	53
Gambar 4.2 Hasil analisa SEM dari kulit salak sebelum dikarbonisasi hidrotermal.....	56
Gambar 4.3 Analisa SEM <i>hydrochar</i> hasil dari karbonisasi hidrotermal non-katalis (kiri) dan dengan penambahan katalis asam sitrat (kanan) pada perbesaran 200 kali dengan kondisi (A) dan (D) suhu 200°C, tekanan 50 bar, 5 jam; (B) dan (E) suhu 225°C, tekanan 50 bar, 5 jam; (C) dan (F) suhu 250°C, tekanan 50 bar, 5 jam.....	56
Gambar 4.4 Analisa SEM <i>hydrochar</i> hasil aktivasi kimia kondisi suhu 225°C, tekanan 50 bar, 5 jam tanpa adanya katalis asam sitrat (kiri perbesaran 200 kali, kanan perbesaran 4000 kali) dibandingkan dengan sebelum dilakukannya aktivasi (bawah).....	57
Gambar 4.5 Hasil analisa FTIR dari <i>hydrochar</i> yang telah dilewati proses karbonisasi hidrotermal tanpa adanya katalis asam sitrat dengan (a) kulit salak, (b) suhu 200 °C, (c) suhu 225°C, dan (d) suhu 250°C	60
Gambar 4.6 Hasil analisa FTIR dari <i>hydrochar</i> yang telah dilewati proses karbonisasi hidrotermal dengan penambahan katalis asam sitrat (a) kulit salak, (b) suhu 200 °C, (c) suhu 225 °C, dan (d) suhu 250°C.....	61
Gambar 4.7 Hasil analisa FTIR dengan perbandingan pre-treatment dari <i>hydrochar</i> yang telah dilewati proses karbonisasi hidrotermal pada kondisi suhu 200°C dengan (a) kulit salak, (b) karbonisasi non-katalis, (c) karbonisasi dengan katalis	62
Gambar 4.8 Hasil analisa FTIR dengan perbandingan pre-treatment dari <i>hydrochar</i> yang telah dilewati proses karbonisasi hidrotermal pada kondisi suhu 225°C dengan (a) kulit salak, (b) karbonisasi non-katalis, (c) karbonisasi dengan katalis	62
Gambar 4.9 Hasil analisa FTIR dengan perbandingan pre-treatment dari <i>hydrochar</i> yang telah dilewati proses karbonisasi hidrotermal pada kondisi suhu 250°C dengan (a) kulit salak, (b) karbonisasi non-katalis, (c) karbonisasi dengan katalis	63

Gambar 4.10 Hasil analisa FTIR dengan perbandingan sebelum dan sesudah proses aktivasi dari <i>hydrochar</i> pada kondisi suhu 225°C dengan (a) kulit salak, (b) karbonisasi non-katalis, (c) aktivasi non-katalis.....	64
Gambar 4.11 Hasil analisa FTIR dengan perbandingan karbon aktif hasil karbonisasi aktivasi hidrothermal dengan karbon aktif komersil dengan (a) karbon aktif komersil dan (b) karbon aktif yang telah diaktivasi kimia.....	65
Gambar 4.12 Rangkaian sel elektroda	66
Gambar 4.13 Grafik CV sampel karbon aktif komersil diberbagai scan rate.....	68
Gambar 4.14 Grafik CV sampel karbon aktif hasil aktivasi diberbagai scan rate.....	68
Gambar 4.15 Grafik CV sampel karbon hasil karbonisasi non katalis diberbagai scan rate	69
Gambar 4.16 Grafik CV sampel karbon hasil karbonisasi dengan katalis asam sitrat diberbagai scan rate	69
Gambar 4.17 Grafik CV sampel karbon di scan rate 2.....	70



INTISARI

Karbon aktif adalah suatu senyawa karbon yang telah melalui proses pengaktifan oleh bahan pengaktifnya sehingga pori-pori pada karbon tersebut terbuka. Contoh penggunaan penting dari karbon aktif adalah untuk mengontrol uap bensin dalam tabung emisi pada kendaraan. Karbon aktif juga dapat bertindak sebagai adsorben dan juga sebagai bahan elektroda superkapasitor. Metode konvensional yang banyak dipakai dalam pembuatan karbon aktif adalah dengan menggunakan metode termal (pirolisis) dan metode kimia (*activating agent*). Namun, penelitian ini akan digunakan metode *thermo-chemical* dengan kondisi karbonisasi hidrotermal (dengan kondisi subkritik air pada tekanan 50 bar dan temperaturnya dibawah 374°C) yang dibantu oleh katalis asam sitrat. Metode ini dapat lebih mudah dijangkau karena metode ini tidak memerlukan energi yang terlalu tinggi dan harganya juga murah karena memakai bahan baku yang berupa biomassa.

Dalam penelitian ini, biomassa yang digunakan adalah kulit salak yang akan dikarbonisasi secara hidrotermal. Variasi yang digunakan adalah variasi keberadaan katalis asam sitrat dan suhu karbonisasi yaitu sebesar 200°C, 225°C, 250°C. Karbonisasi akan dilakukan selama 5 jam pada tekanan 50 bar. Karena fokus dalam penelitian ini hanya pada proses karbonisasi hidrotermal, maka hanya salah satu kondisi hasil karbonisasi saja yang akan dilakukan aktivasi secara kimia menggunakan zat pengaktivasi yang berupa KOH yaitu sampel dengan kondisi 225°C, 5 jam, dan 50 bar dengan tidak adanya katalis. Karakterisasi karbon aktif dilakukan dengan menggunakan beberapa metode analisa yaitu BET untuk mengetahui luas permukaan sampel (non katalis), analisa SEM untuk mengetahui morfologi sampel (semua variasi), analisa FTIR untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada karbon (semua variasi). Dilakukan juga analisa CV untuk mengetahui nilai kapasitansi sampel dengan membandingkan kapasitansi dari karbon hasil karbonisasi hidrotermal dengan dan tanpa adanya katalis pada kondisi 225°C (5 jam, 50 bar), hasil aktivasi pada kondisi 225°C (5 jam, 50 bar) tanpa katalis dan karbon komersil.

Hasil penelitian yang diperoleh adalah perolehan (*yield*) karbon hasil karbonisasi akan berkurang dengan adanya peningkatan temperatur karbonisasi. Sampel yang dilakukan aktivasi hanya hasil dari karbonisasi hidrotermal dengan kondisi tidak adanya katalis asam sitrat pada suhu karbonisasi 225°C, selama 5 jam, 50 bar. Karbonisasi hidrotermal juga membuktikan bahwa semakin tinggi temperatur maka gugus OFG juga cenderung meningkat. Pada temperatur 250°C OFG mulai terdekomposisi sehingga menyebabkan penurunan OFG. Pengaruh keberadaan katalis asam sitrat tidak terlalu signifikan dalam menambah OFG pada analisa FTIR.



ABSTRACT

Activated carbon is a form of carbon material that has gone through activation process so that the pores are open. One of the important uses of activated carbon is to control gasoline vapors from emission vessels of vehicles. Activated carbon is also used as an adsorbent and electrode of a supercapacitor. Conventional methods that are usually used to form activated carbon are thermal method through pyrolysis and chemical method through the use of an activating agent. However, this study used thermo-chemical method through hydrothermal carbonisation (using subcritical water at 50 bar and temperature below 374 °C) with the aid of citric acid as the catalyst. This method is easy to achieve because it does not need high amount of energy and economically feasible as the raw materials is obtained from biomass.

In this study, the biomass used is the skin of the salak fruit that goes through hydrothermal carbonisation. The variation used in this study are the use of citric acid catalyst and carbonisation temperatures that are 200 °C, 225 °C, and 250 °C. Carbonisation is done for 5 hours at the pressure of 50 bar. Because of the focus of this study is only in the hydrothermal carbonisation process, only one result of the carbonisation will be activated using an activating agent KOH. The carbonisation condition used is the sample at 225 °C, 5 hours, at 50 bar with no catalyst. Characterization of activated carbon is done through several analysis that are BET analysis to know the surface area of the samples (without catalyst), SEM analysis to know the morphology of the samples (all variation), FTIR analysis to attain the functional groups on the carbon (all variation), and CV analysis is also done to obtain the capacitance of the sample from hydrothermal carbonisation at 225 °C, 5 hours, at 50 bar with no catalyst by comparing it to the capacitance of commercial carbon.

The results obtained in this study is that the carbon yield from carbonisation will decrease as the temperature of carbonisation increases. The only sample used in activation is from hydrothermal carbonisation at 225 °C, 5 hours, and 5 bar with no catalyst. From the hydrothermal carbonisation, it can also be concluded that as the temperature increases, the amount of OFG also increases. At temperature 250°C, OFG begins to decompose and causing a decrease OFG. The use of citric acid as catalysts is not significantly affected in increasing OFG to the FTIR analysis.



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Karbon aktif adalah suatu senyawa karbon yang telah melalui proses pengaktifan oleh bahan pengaktifnya sehingga pori-pori pada karbon tersebut terbuka sehingga dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi dan kapasitansi sel superkapasitor. Dalam aplikasi bidang industri, karbon aktif banyak diperlukan terutama perannya sebagai adsorben karena dapat digunakan untuk mengadsorb bau, warna, gas, pengotor, dan logam. Dengan cepatnya pertumbuhan industri dalam masyarakat, maka permintaan karbon aktif pun semakin banyak. Namun, pemenuhan karbon aktif dalam industri di Indonesia sayangnya masih banyak dilakukan dengan cara mengimpor. Padahal sumber daya alam di Indonesia melebihi dari cukup untuk melakukan produksi karbon aktif yang bahan pembuatnya berupa semua bahan organik alami. Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk pembuatan karbon aktif. Salah satu penelitian yang paling populer saat ini adalah pembuatan karbon aktif dengan bahan bakunya yang berupa biomassa. Pembuatan karbon aktif dari biomassa ini sangat menguntungkan karena dapat mengkonversi limbah menjadi suatu bahan yang lebih berguna dan meningkatkan nilai ekonomisnya. Salah satu sumber karbon untuk pembuatan karbon aktif dari biomassa adalah limbah dari buah salak yang berupa kulit buah salak.

Salak (*Salacca zalacca*) merupakan salah satu jenis buah yang berasal asli dari Indonesia dan telah dikenal baik oleh masyarakat Indonesia. Selain bentuknya yang unik seperti sisik, rasanya pun manis, dan memiliki kandungan gizi yang tinggi. Namun, kulit dari buah salak ini tentu bukan merupakan bagian yang dapat dikonsumsi. Maka dari itu untuk meningkatkan nilai ekonomis dari buah salak ini, dilakukan upaya pengolahan limbah kulit salak dengan mengkonversi kulit buah salak menjadi karbon aktif. Karbon aktif yang dihasilkan dari kulit buah salak ini berpotensi besar dalam menghasilkan karbon aktif dengan porositas yang tinggi. Hal ini disebabkan karena kulit salak merupakan biomassa lignoselulosa yang kaya akan OFG (*oxygenated functional group*). Lignoselulosa ini memiliki tiga macam kandungan utama yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin.

Dalam proses pembuatannya, diperlukan dua tahap utama untuk mensintesis karbon aktif yaitu yang pertama adalah tahap karbonisasi, lalu diikuti yang kedua adalah tahap aktivasi. Pada tahap karbonisasi, metode karbonisasinya dapat dilakukan dengan berbagai metode yaitu metode pirolisis (metode konvensional), metode gasifikasi, dan metode yang saat ini sedang banyak dilakukan yaitu karbonisasi dengan metode hidrotermal. Sintesis karbon aktif dengan menggunakan metode hidrotermal (subkritis air) ini sangat efektif digunakan untuk menghidrolisis biomassa karena biaya operasinya yang rendah (Jain, Balasubramanian, & Srinivasan, 2015) dan lebih aman dalam penggunaannya dibandingkan dengan metode konvensional karena menggunakan suhu yang relatif lebih rendah. Sebelum masuk ke tahap karbonisasi hidrotermal, umumnya biomassa perlu dilakukan delignifikasi terlebih dahulu karena mengandung ikatan glikosidik yang sulit untuk diuraikan. Semakin banyak ikatan glikosidik, maka akan semakin besar energi yang dibutuhkan sehingga perolehan hasil karbonisasinya pun semakin sedikit. Delignifikasi ini dilakukan untuk memecah ikatan glikosidik tersebut agar menjadi lebih sederhana sehingga proses hidrolisis pada karbonisasi hidrotermal akan berjalan lebih mudah. Hasil dari karbonisasi hidrotermal ini berupa *hydrochar* yang setelah itu dilanjutkan ke tahap aktivasi. Tahap aktivasi ini akan mengubah *hydrochar* hasil dari karbonisasi menjadi karbon aktif dan mendapatkan karakteristiknya. Proses aktivasi dapat dilakukan dengan dua metode yaitu dengan aktivasi termal (pirolisis) dan aktivasi kimia (*activating agent*). Pada penelitian ini akan dilakukan proses aktivasi kimia dengan agen pengaktifannya yang berupa KOH. Setelah proses aktivasi selesai, maka akan dihasilkan produk yang berupa karbon aktif. Karbon aktif yang terbentuk ini akan dibandingkan perolehannya dan karakteristiknya. Karakteristik sampel karbon aktif dilakukan dengan menggunakan empat buah analisa, yaitu analisa BET untuk mengetahui besarnya luas permukaan, analisa SEM untuk mengetahui bentuk struktur permukaan sampel yang terbentuk, analisa FTIR untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat dalam sampel, dan analisa CV untuk mengetahui nilai kapasitansi sampel.

Penelitian-penelitian terdahulu telah melakukan penelitian dengan metode yang serupa. Penelitian Dandy et al yang melakukan sintesis karbon aktif dari biomassa kulit jeruk yang menggunakan metode karbonisasi konvensional dengan *furnace*, lalu dilanjutkan dengan aktivasi menggunakan subkritis air yang memvariasikan lama aktivasi, dihasilkan bahwa volum pori yang dihasilkan tidak signifikan bahkan relatif sama besar. Kurniawan et al (Kurniawan, Effendi, Ong, & Kurniawan, 2013) melakukan sintesis karbon aktif dari

biomassa eceng gondok dengan karbonisasi menggunakan reaktor subkritik yang memvariasikan suhu dan lama karbonisasi (40 bar), kemudian dilanjutkan dengan aktivasi kimia dengan bantuan *microwave* yang memvariasikan rasio antara KOH dan karbon. Dari hasil penelitian tersebut diperoleh data bahwa semakin tinggi suhu dan waktu proses karbonisasi, maka akan dihasilkan juga perolehan karbon yang semakin besar. Penelitian Sevilla et al juga melakukan penelitian sintesis karbon aktif dari biomassa pati, selulosa, dan *stardust* dengan menggunakan karbonisasi hidrotermal dan aktivasi kimia dengan KOH. Didapatkan hasil bahwa dengan menggunakan metode karbonisasi hidrotermal dengan aktivasi menggunakan KOH, akan dihasilkan luas area dan volum karbon aktif yang besar. Akshay Jain et al melakukan penelitian sintesis karbon aktif dari biomassa tempurung kelapa dengan metode karbonisasi hidrotermal dengan menggunakan $ZnCl_2$ dan H_2O_2 sebagai katalisnya, lalu dilanjutkan dengan aktivasi menggunakan furnace. Hasil yang diperoleh adalah metode karbonisasi hidrotermal dengan menggunakan katalis $ZnCl_2$ dan H_2O_2 akan menghasilkan karakteristik luas area semakin besar, serta penambahan katalis dapat menambah OFG (*oxygenated functional group*). Dari penelitian-penelitian terdahulu yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa metode karbonisasi hidrotermal ini akan lebih menguntungkan daripada metode karbonisasi konvensional karena dapat memperbesar luas area dari karbon aktif dan juga sangat efektif untuk mengkonversi biomassa menjadi karbon aktif.

Dalam penelitian ini, akan dilakukan penelitian tentang sintesis karbon aktif dari biomassa kulit salak dengan karbonisasi hidrotermal yang menggunakan katalis asam sitrat serta memvariasikan temperatur dan keberadaan katalis asam sitrat dalam karbonisasi hidrotermal, lalu dilanjutkan tahap aktivasi kimia dengan agen pengaktifannya yang berupa KOH. Dalam penelitian ini digunakan katalis yang berupa asam sitrat karena menurut penelitian Zhao et al, proses karbonisasi hidrotermal dengan menggunakan asam sitrat akan dihasilkan luas permukaan yang besar dan literatur dari penelitian Jain et al telah membandingkannya dengan penelitian-penelitian lain (dapat dilihat pada **Tabel 2.2**) dengan berbagai macam katalis lainnya. Pemilihan katalis ini juga didasarkan dengan meninjau ketahanan reaktor terhadap korosi dan asam sitrat merupakan katalis yang berupa asam lemah sehingga tidak berpotensi besar dalam menyebabkan korosi pada dinding reaktor sehingga cocok untuk digunakan pada penelitian kali ini. Karbon aktif yang diperoleh dari hasil karbonisasi dan aktivasi ini akan diuji karakteristiknya dengan metode BET, SEM, FTIR, dan CV untuk mengetahui kecenderungan hasil yang diperoleh.

1.2 Tema Sentral Masalah

Pembuatan karbon aktif dengan bahan baku yang berupa kulit salak melalui metode karbonisasi dan aktivasi secara *thermo-chemical* dengan proses hidrotermal subkritik air.

1.3 Identifikasi Masalah

1. Bagaimana pengaruh temperatur proses karbonisasi hidrotermal subkritik air terhadap perolehan karbon hasil karbonisasi?
2. Bagaimana karakteristik karbon aktif yang dihasilkan?
3. Bagaimana pengaruh dari penambahan katalis asam sitrat pada proses karbonisasi hidrotermal?
4. Bagaimana pengaruh OFG terhadap nilai kapasitansi karbon pada sel superkapasitor?

1.4 Tabel Premis

Peneliti	Bahan Baku	Pre-Treatment	Karbonisasi	Proses Aktivasi	Post-Treatment	Hasil
Alfin Kurniawan, Chintya Effendi, L.K. Ong, Fredi Kurniawan et. al, 2013	Gula komersial	<ul style="list-style-type: none"> • deionisasi untuk memberikan rasio gula / massa air dari 1: 1 (50%), 2: 3 (40%) dan 1: 2 (33%) • diaduk magnetis pada 500 rpm selama 1 menit 	<ul style="list-style-type: none"> • Karbonisasi dengan jangka waktu tertentu (6 jam, 8 jam, dan 10 jam) 	<p>Subkritik Air</p> <ul style="list-style-type: none"> • Suhu dinaikkan sampai 423 K, 433 K, 443 K (30°C / min) pada 3 MPa 	<ul style="list-style-type: none"> • Karbon padat dipisahkan, dicuci dengan air suling • Dikeringkan dalam oven pada 383 K selama 24 jam <p><u>Post-treatment dengan bantuan microwave</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • merendam 10 g karbon padat menjadi volume tertentu dari 50% berat KOH • rasio massa KOH dengan karbon adalah 1: 2, 1: 1, 3: 2 dan 2: 1 • Campuran didiamkan 24 jam dengan pengadukan 500 rpm • Karbon dicuci beberapa kali dengan air deionisasi • Disentrifugasi pada 4000 rpm selama 10 menit • Fraksi padat dikumpulkan dan dikeringkan dengan oven pada 383 K selama 2 jam • ditempatkan dalam oven microwave (kekuatan radiasi maksimum adalah 900 W) • diiradiasi pada tingkat 50% (450 W), 60% (540 W), 70% (630 W) dan 80% (720 W) dengan frekuensi 2,45 GHz selama 10 menit 	<ul style="list-style-type: none"> • Dengan metode subkritik air dihasilkan perolehan karbon yang tinggi • Post-treatment oleh bantuan microwave yang diikuti oleh aktivasi dengan KOH secara signifikan dapat memperlebar luas permukaan spesifik • Semakin besar konsentrasi gula, ukuran diameter karbon semakin meningkat pada suhu 423K dengan waktu karbonisasi 6 jam • Variasi lama waktu operasi tidak terlalu mempengaruhi ukuran diameter karbon aktif • Semakin tinggi temperatur, maka ukuran partikel juga akan semakin besar • Semakin besar rasio KOH, luas area dan volume karbon aktif juga semakin besar

					<ul style="list-style-type: none"> • Nitrogen dikontakkan dengan laju alir 50 ml / menit • Padatan dibilas dengan HCl 0,1 M dan air suling sampai pH larutan cuci di kisaran 6-7. • dikeringkan dalam oven pada 383 K selama 24 jam dan disaring 	
Fredi Kurniawan, 2014	<i>Water hyacinth</i>	<p>Persiapan bahan baku</p> <ul style="list-style-type: none"> • dibersihkan dengan menggunakan air keran • dijemur (matahari) sampai kadar air sekitar 10% • ditumbuk menggunakan grinder • Serbuk eceng gondok ditambahkan larutan KOH sampai 15% berat selama 24 jam (delignifikasi) • sentrifugasi dan penyaringan • Serbuk eceng gondok dicuci dengan air suling sampai pH larutan berkisar antara 6-7 • di oven pada 100°C selama 24 jam <p>Proses hidrolisis</p> <ul style="list-style-type: none"> • 25g serbuk eceng gondok dimuat ke dalam reaktor air subkritis • 250 mL larutan asam sulfat (0,25 M) ditambahkan 	<p>Karbonisasi dalam reaktor subkritis</p> <ul style="list-style-type: none"> • Filtrat dari proses hidrolisis dikarbonisasi dalam kondisi subkritis air pada berbagai suhu (160, 180, dan 200°C) dan setiap 6, 8, dan 10 jam • Reaktor diberi gas nitrogen untuk menghilangkan udara dari sistem • reaktor diberi tekanan menggunakan gas nitrogen sampai tekanannya mencapai 40 bar • Setelah reaksi telah selesai, karbon padat dipisahkan dari solusi • dicuci menggunakan air suling dan dikeringkan dalam oven pada 100°C selama 24 jam 	<p>Aktivasi karbon microsphere</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kombinasi kimia dan aktivasi microwave • Rasio antara KOH dan karbon adalah 1:2, 1:1, dan 3:2 • Peresapan karbon dalam larutan KOH dilakukan selama 24 jam dengan pengadukan konstan • Diiradiasi dengan microwave sebesar 630 W selama 10 menit 	<ul style="list-style-type: none"> • Setelah proses aktivasi, karbon aktif yang dihasilkan dicuci untuk menghilangkan kelebihan KOH menggunakan air suling sampai pH larutan cuci di kisaran 6-7 	<ul style="list-style-type: none"> • Semakin tinggi suhu proses dan semakin lama waktu proses, dihasilkan perolehan yang semakin tinggi • Proses karbonisasi yang dilakukan pada 200°C, 40 bar, dan 10 jam memberikan hasil tertinggi dari mikrosfer karbon (10,19%) • Proses aktivasi dengan rasio peresapan 1:1 dan kekuatan microwave sebesar 630 W menghasilkan karbon tertinggi dengan area spesifik dan stabilitas elektrokimia yang tinggi

		<ul style="list-style-type: none"> • reaktor diberi tekanan menggunakan nitrogen (20 bar) • Reaktor dipanaskan sampai mencapai suhu operasi dari proses hidrolisis (130°C) • Proses hidrolisis dilakukan selama 2 jam • Setelah proses hidrolisis selesai, reaktor didinginkan sampai suhu kamar • Campuran reaksi disaring 				
LI Ying, 2010	<i>Phenolic resin</i>	<ul style="list-style-type: none"> • jenis Novolac fenolik resin), heksametilenatetramina dengan rasio massa (100: 12,1), dengan cerous klorida [CeCl₃ · (7H₂O)] (0,6% fraksi massa ion logam dalam campuran) dilarutkan dalam metanol • metanol diuapkan dalam oven bertegangan rendah • Fenolik bola resin diperoleh setelah penghancuran residu padat menjadi partikel yang tidak teratur dan kemudian partikelnya menyebar dalam larutan natrium sulfat (fraksi massa 5%) dalam reaktor bertekanan 	<p>Karbonisasi furnace</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dengan suhu 650°C • Selama 4 jam • Dialiri gas nitrogen <p>Non Karbonisasi</p>	Supercritical water (SCW)	<ul style="list-style-type: none"> • kondisi operasi 650 °C, 4 jam • Pada suhu ~ 300 °C, air dimasukkan ke dalam reaktor • Memvariasikan tekanan 24 bar dan 28 bar • Tekanan diubah ke kondisi subkritis menjadi 12 dan 16 bar 	<ul style="list-style-type: none"> • Sintesis karbon aktif dengan metode karbonisasi superkritis menghasilkan volume pori dan luas permukaan yang lebih besar daripada non karbonisasi • Sintesis karbon aktif dengan metode karbonisasi subkritis menghasilkan volume pori dan luas permukaan yang lebih besar daripada metode karbonisasi superkritis

		tinggi dengan suhu terkontrol				
Marta Sevilla, Antonio B. Fuertes, 2011	<i>Starch, cellulose, stardust</i>	<ul style="list-style-type: none"> Raw material didispersikan pada air distilasi (konsentrasi 320 g/L) 	Hydrothermal Carbonization <ul style="list-style-type: none"> Dimasukkan ke autoclave Dipanaskan dengan suhu 230-250°C selama 2 jam 	<ul style="list-style-type: none"> Aktivasi kimia dengan rasio KOH : hydrochar adalah 1:4 Dipanaskan hingga temperatur 700°C selama 1 jam 	<ul style="list-style-type: none"> Dicuci dengan HCl 10%wt Dilanjutkan dicuci dengan menggunakan air distilasi hingga pH 7 Lalu dimasukkan ke oven pada suhu 120°C selama 3 jam 	<ul style="list-style-type: none"> Dihasilkan luas area karbon aktif sebesar 2850 m²/g dengan volume >1 cm³/g
Bennyto, 2015	<i>Kulit Jeruk</i>	<ul style="list-style-type: none"> Dibilas dengan air suling dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 110°C selama 24 jam Diayak dengan -20+30 mesh 	<ul style="list-style-type: none"> Karbonisasi dengan menggunakan furnace Dikarbonisasi selama 2 jam dengan suhu 800°C 	Superkritik CO ₂ <ul style="list-style-type: none"> Waktu aktivasi selama 1 jam dengan variasi suhu yaitu 140, 200, dan 250°C Tekanan sebesar 80 bar 		<ul style="list-style-type: none"> Suhu 200°C menghasilkan volume pori dan luas permukaan yang paling besar
Emerentiana, 2015	<i>Kulit Jeruk</i>	<ul style="list-style-type: none"> Dicuci dengan air suling dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 800°C selama 2 jam Diayak dengan -20+30 mesh 	<ul style="list-style-type: none"> Karbonisasi dengan menggunakan furnace Discreening dengan suhu 500°C Menggunakan variasi dengan dan tanpa O₂ selama 1 jam Dikarbonisasi selama 2 jam dengan suhu 800°C 	Superkritik CO ₂ <ul style="list-style-type: none"> Waktu aktivasi selama 1 jam dengan suhu 140°C Tekanan divariasikan 80, 125, 170 bar 		<ul style="list-style-type: none"> Tekanan 80 bar dihasilkan perolehan dan diameter pori karbon aktif yang paling besar Volume pori dan luas permukaan yang paling besar dihasilkan pada tekanan 125 bar Luas permukaan dengan karbonisasi menggunakan O₂ menghasilkan luas permukaan yang lebih besar
Victor Abednego Rolland Doko, Ratna Frida Susanti dan Arenst Andreas, 2015	<i>Kulit Jeruk</i>	<ul style="list-style-type: none"> Dicuci dengan air suling dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 800°C selama 2 jam Diayak dengan -20+30 mesh 	<ul style="list-style-type: none"> Karbonisasi dengan menggunakan furnace Discreening dengan suhu 500°C Menggunakan variasi dengan dan 	Subkritik air <ul style="list-style-type: none"> Char yang terbentuk dimasukkan ke dalam reaktor Dimasukkan sejumlah air kedalam reaktor, kemudian suhu 	<ul style="list-style-type: none"> Dikeringkan kembali di dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam. 	<ul style="list-style-type: none"> Media aktivasi subkritik air menghasilkan perolehan yang cukup besar Variasi tekanan dengan menaikkan tekanan tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik karbon aktif (diameter

			<p>tanpa O₂ selama 1 jam</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dikarbonisasi selama 2 jam dengan suhu 800°C 	<p>reaktor dinaikkan hingga 200°C</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tekanannya diatur menjadi 120, 170, dan 220 bar dengan memompakan air ke dalam reaktor • Jika waktu aktivasi sudah tercapai, suhu dan tekanan didalam reaktor diturunkan menjadi kondisi ruang 		<p>pori, volume pori, dan luas permukaan)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Luas permukaan dengan karbonisasi menggunakan O₂ menghasilkan luas permukaan yang lebih besar
Dandy, 2015	<i>Kulit Jeruk</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Dicuci dengan air suling dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 800°C selama 2 jam • Diayak dengan -20+30 mesh 	<ul style="list-style-type: none"> • Karbonisasi dengan menggunakan furnace • Menggunakan variasi temperatur sebesar 500 dan 800°C • Dikarbonisasi selama 1 jam 	<p>Subkritik air</p> <ul style="list-style-type: none"> • Temperatur 200°C • Tekanan 120 bar • Waktu aktivasi 15 dan 60 menit 		<ul style="list-style-type: none"> • Variasi waktu aktivasi memberikan pengaruh kecil • Pada variasi waktu aktivasi tidak memberikan pengaruh yang besar pada diameter pori • Volume pori yang dihasilkan sama
Vincent Liem, Aditya Putranto, dan Arents Andreas, 2015	<i>Kulit Salak</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Dibersihkan dengan air hingga bersih • Dikeringkan di dalam oven • Ukuran kulit salak diperkecil hingga ukuran mesh 100-200 	<ul style="list-style-type: none"> • Karbonisasi dilakukan di dalam furnace yang dialiri gas inert • Temperatur 500°C • Selama 1 jam 	<ul style="list-style-type: none"> • Kulit salak hasil karbonisasi dicampurkan dengan potassium hidroksida dengan rasio 1 : 4 • KOH dilarutkan dengan air distilasi hingga konsentrasinya 20% • Kulit salak dicampurkan ke dalam larutan • Dikocok dengan shaker selama 20 jam • Diaktivasi dengan dimasukkan ke dalam furnace pada suhu 800°C selama 1 jam 	<ul style="list-style-type: none"> • Setelah diaktivasi, kulit salak dicuci dengan air destilasi dan larutan HCl encer hingga pH air pencucian mencapai 6-7 • Dikeringkan kembali dalam oven 	<ul style="list-style-type: none"> • Peningkatan konsentrasi massa serta rasio massa KOH meningkatkan luas permukaan dan volume karbon aktif dan akan menurunkan nilai perolehan rendemen karbon aktif

				dengan dialiri gas nitrogen	
Akshay Jain, Rajasekhar Balasubramanian, M.P. Srinivasan, 2015	<i>Cocomut shells</i>	<p>Persiapan prekursor karbon aktif</p> <ul style="list-style-type: none"> • Serat dilakukan proses trimming • Dikeringkan dengan suhu 105°C selama 24 jam • Diblender lalu diayak (10-20 mesh) <ul style="list-style-type: none"> • Perendaman ZnCl₂ pada 105°C • Refluks dengan H₂O₂ • Perlakuan hidrotermal dengan dan tanpa H₂O₂ • Perlakuan hidrotermal dengan ZnCl₂ 	<p>Perendaman ZnCl₂</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sampel dicampurkan dengan larutan ZnCl₂ dengan rasio ZnCl₂ : raw shell adalah 1:1, 2:1, dan 3:1 dan dikeringkan pada 105°C selama 12 jam <p>Refluks dengan H₂O₂</p> <ul style="list-style-type: none"> • Campuran sampel dan H₂O₂ (15 g shell in 90 mL H₂O₂ (10% by weight)) direfluks selama 1 jam pada 100°C • Fasa padatnya difiltrasi dan dicuci oleh air deionisasi • Dikeringkan pada 105°C selama 12 jam 	<p>Aktivasi dengan furnace</p> <ul style="list-style-type: none"> • Prekursor dimasukkan ke dalam furnace • Temperatur diatur sampai 800°C dengan adanya gas N₂ • N₂ diganti dengan CO₂ dengan waktu 2 jam • Setelah itu, furnace didinginkan kembali dan produknya diaduk selama 30 menit dalam 250 mL asam hidroklorik • Lalu dicuci sampai dengan pH 6 • Dikeringkan pada suhu 105°C selama 24 jam 	<ul style="list-style-type: none"> • Senyawa ZnCl₂ dapat memperluas area mesopore sebesar 67% • Penambahan H₂O₂ menambah OFG dalam prekursor sehingga dapat menyebabkan luas area mesopore 40% semakin besar ketika H₂O₂ dalam keadaan refluks dan 100% semakin besar ketika H₂O₂ dalam perlakuan hidrotermal

			<p>Perlakuan Hidrotermal</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dengan H₂O₂ Campuran sampel dan H₂O₂ dimasukkan ke dalam autoclave pada 200°C selama 20 menit, lalu dikeringkan pada suhu 105°C selama 12 jam • Dengan ZnCl₂ Hydrochar diperoleh dari perlakuan hidrotermal dari 25 gram raw shell yang dicampur dengan 150 mL air dan ZnCl₂. Temperaturnya diatur dari 200 dan 275°C selama 20 menit dalam autoclave. Lalu produknya dikeringkan pada suhu 105°C selama 12 jam 																																																									
Makiko Nagamori and Toshitaka Funazukuri, 2004	Kentang (starch)	<p>Hidrolisis pada kondisi hidrotermal</p> <ul style="list-style-type: none"> • Starch dikeringkan pada suhu 333 K selama 12 jam • 0.2 gram starch yg telah dikeringkan dimasukkan ke dalam reaktor • 2 cm³ air distilasi ditambahkan 	<p>• Hasil hidrolisis (%yield)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Temperature (K):</th> <th>453</th> <th>473</th> <th>473</th> <th>493</th> <th>513</th> </tr> <tr> <th>Time^a (min):</th> <th>10</th> <th>10</th> <th>30</th> <th>10</th> <th>10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Residual solid (g g⁻¹ initial sample)</td> <td>0.0160</td> <td>0.0525</td> <td>0.0139</td> <td>0.0402</td> <td>0.108</td> </tr> <tr> <td>TOC^b</td> <td>0.970</td> <td>0.933</td> <td>0.936</td> <td>0.961</td> <td>0.723</td> </tr> <tr> <td>Glucose^b</td> <td>0</td> <td>0.0099</td> <td>0.632</td> <td>0.611</td> <td>0.235</td> </tr> <tr> <td>Fructose^b</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.0315</td> <td>0.0426</td> <td>0.0077</td> </tr> <tr> <td>Maltose^b</td> <td>0</td> <td>0.0043</td> <td>0.0311</td> <td>0.0141</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>5-HMF^b</td> <td>0</td> <td>0.0020</td> <td>0.0841</td> <td>0.107</td> <td>0.207</td> </tr> <tr> <td>Furfural^b</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.0038</td> <td>0.0087</td> <td>0.0232</td> </tr> </tbody> </table>	Temperature (K):	453	473	473	493	513	Time ^a (min):	10	10	30	10	10	Residual solid (g g ⁻¹ initial sample)	0.0160	0.0525	0.0139	0.0402	0.108	TOC ^b	0.970	0.933	0.936	0.961	0.723	Glucose ^b	0	0.0099	0.632	0.611	0.235	Fructose ^b	0	0	0.0315	0.0426	0.0077	Maltose ^b	0	0.0043	0.0311	0.0141	0	5-HMF ^b	0	0.0020	0.0841	0.107	0.207	Furfural ^b	0	0	0.0038	0.0087	0.0232			
Temperature (K):	453	473	473	493	513																																																							
Time ^a (min):	10	10	30	10	10																																																							
Residual solid (g g ⁻¹ initial sample)	0.0160	0.0525	0.0139	0.0402	0.108																																																							
TOC ^b	0.970	0.933	0.936	0.961	0.723																																																							
Glucose ^b	0	0.0099	0.632	0.611	0.235																																																							
Fructose ^b	0	0	0.0315	0.0426	0.0077																																																							
Maltose ^b	0	0.0043	0.0311	0.0141	0																																																							
5-HMF ^b	0	0.0020	0.0841	0.107	0.207																																																							
Furfural ^b	0	0	0.0038	0.0087	0.0232																																																							

		<ul style="list-style-type: none"> • Reaktor ditutup dan diaduk pada temperatur ruang • Suhu dinaikkan sampai 473 K selama 10 menit 																
Tetsuya Miyazawa and Toshitaka Funazukuri, 2005	<i>Kentang (starch)</i>	<p>Hydrothermal Degradation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Starch dikeringkan pada suhu 100°C selama 12 jam • 0.03 gram sampel yang telah dikeringkan dimasukkan ke dalam reaktor dan ditambahkan 3 gram air distilasi • Ditambahkan 0.2 gram CO₂ dalam bentuk dry ice • Suhu reaktor dinaikkan sampai 200°C selama 15 menit 	<ul style="list-style-type: none"> • Hasil perolehan monoskarida yang dihasilkan dari hidrolisis polisakarida dengan dan tanpa adanya CO₂ <table border="1"> <caption>Yields of monosaccharides (%)</caption> <thead> <tr> <th>Polysaccharide</th> <th>Without CO₂</th> <th>With CO₂</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Agar</td> <td>~1</td> <td>~23</td> </tr> <tr> <td>Guar gum</td> <td>~4</td> <td>~10</td> </tr> <tr> <td>Starch</td> <td>~4</td> <td>~37</td> </tr> <tr> <td>Xylan</td> <td>~4</td> <td>~15</td> </tr> </tbody> </table>	Polysaccharide	Without CO ₂	With CO ₂	Agar	~1	~23	Guar gum	~4	~10	Starch	~4	~37	Xylan	~4	~15
Polysaccharide	Without CO ₂	With CO ₂																
Agar	~1	~23																
Guar gum	~4	~10																
Starch	~4	~37																
Xylan	~4	~15																

1.5 Hipotesis

1. Perolehan karbon hasil karbonisasi akan berkurang dengan adanya peningkatan temperatur karbonisasi
2. Semakin tinggi temperatur, maka luas permukaan karbon semakin besar.
3. Penambahan katalis asam sitrat pada proses karbonisasi hidrotermal akan memberikan karakteristik luas permukaan yang besar
4. Semakin banyak gugus OFG pada karbon, maka nilai kapasitansi sel superkapasitor akan meningkat.

1.6 Tujuan Penelitian

1. Menentukan pengaruh temperatur proses karbonisasi hidrotermal subkritik air terhadap perolehan karbon hasil karbonisasi
2. Menentukan karakteristik karbon aktif yang dihasilkan
3. Menentukan pengaruh dari penambahan katalis asam sitrat pada proses karbonisasi hidrotermal
4. Menentukan pengaruh OFG terhadap nilai kapasitansi karbon pada sel superkapasitor.

1.7 Manfaat Penelitian

1. Bagi peneliti, dapat mengetahui hasil karbonisasi dan aktivasi dengan variasi tertentu pada proses hidrotermal subkritik air dari biomassa kulit salak.
2. Bagi masyarakat, dapat meminimalisir limbah dari kulit salak.
3. Bagi industri, memberikan informasi tentang bagaimana cara untuk memaksimalkan kualitas dan kuantitas dalam produksi karbon aktif.

1.8 Batasan Masalah

1. Biomassa yang digunakan dalam sintesis karbon aktif adalah kulit salak.
2. Sintesis karbon aktif dengan menggunakan karbonisasi hidrotermal yang dibantu oleh katalis asam sitrat
3. Penelitian ini difokuskan hanya pada tahap karbonisasi hidrotermal.
4. Tahap aktivasi pada penelitian ini digunakan kondisi terbaik hasil karbonisasi.
5. Sintesis karbon aktif dengan menggunakan karbonisasi hidrotermal dengan melakukan variasi temperatur karbonisasi dan keberadaan katalis.