

**SINTESIS *HARD CARBON* DARI PATI TAPIOKA
DENGAN PROSES *HYDROTHERMAL* DAN
PIROLISIS**

CHE 184650-04 Penelitian

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

Oleh :

Cindy Cindianna (2016620066)

Pembimbing :

Arenst Andreas Arie, S.T., S.Si, M.Sc., Ph.D.

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

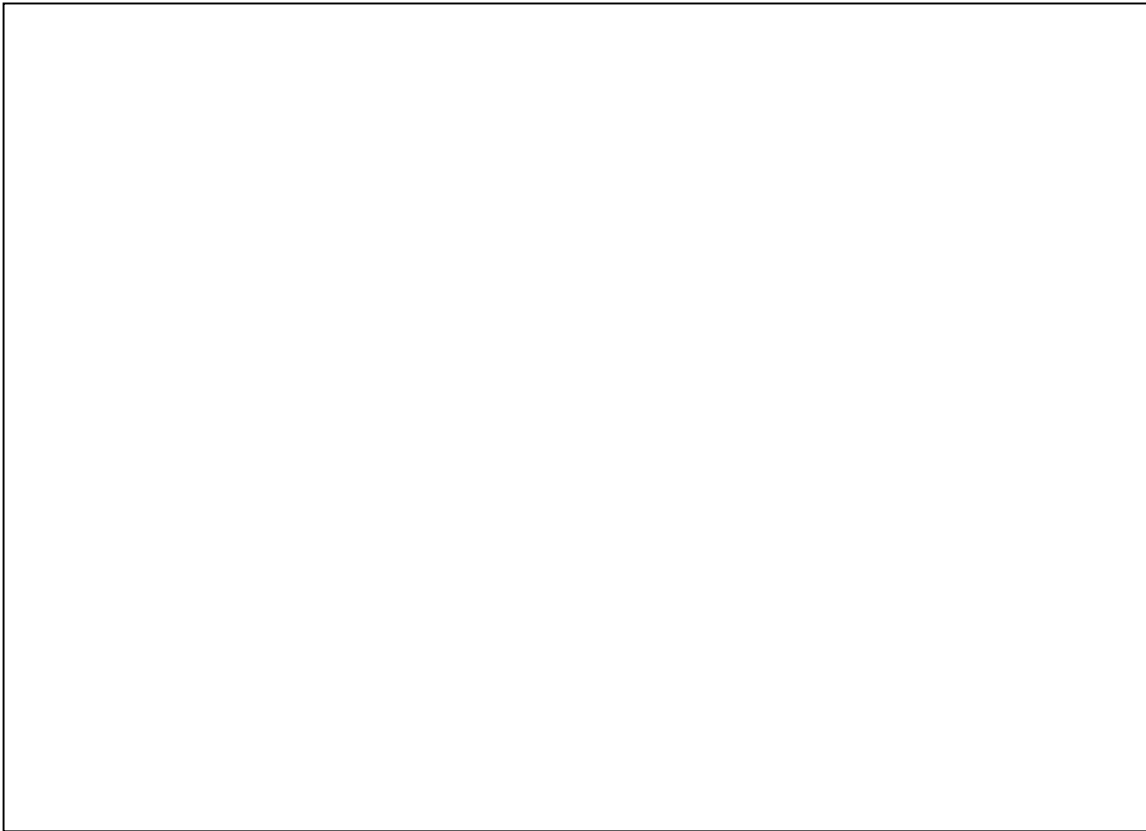


**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
2021**

LEMBAR PENGESAHAN

**JUDUL : SINTESIS *HARD CARBON* DARI PATI TAPIOKA DENGAN PROSES
HYDROTHERMAL DAN PIROLISIS**

CATATAN



Telah diperiksa dan disetujui,

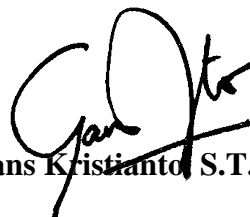
Bandung, 23 Februari 2021

Pembimbing 1,



Arenst Andreas Arie, S.T., S.Si, M.Sc., Ph.D.

Pembimbing 2,



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



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

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Cindy Cindianna

NPM : 2016620066

dengan ini menyatakan bahwa penelitian dengan judul:

SINTESIS *HARD CARBON* DARI PATI TAPIOKA DENGAN PROSES *HYDROTHERMAL* DAN PIROLISIS

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, 22 Februari 2021



Cindy Cindianna

(2016620066)

LEMBAR REVISI

**JUDUL : SINTESIS *HARD CARBON* DARI PATI TAPIOKA DENGAN PROSES
HYDROTHERMAL DAN PIROLISIS**

CATATAN



Telah diperiksa dan disetujui,

Bandung, 22 Februari 2021

Penguji 1,



Dr. Ir. Asaf Kleopas Sugih

Penguji 2,



Putri Ramadhany, S.T., M.Sc., PDEng.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian dengan judul “Sintesis *Hard Carbon* dari Pati Tapioka dengan Proses *Hydrothermal* dan Pirolisis” tepat pada waktunya. Penulisan proposal penelitian ini dilakukan guna memperoleh gelar sarjana Strata-1 Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan.

Dalam proses penulisan proposal penelitian ini terdapat banyak bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terimakasih secara khusus kepada:

1. Arenst Andreas Arie, S.T., S.Si, M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan dan saran selama proses penyusunan proposal penelitian ini.
2. Hans Kristianto, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing telah memberikan bimbingan dan saran selama proses penyusunan proposal penelitian ini.
3. Orangtua serta keluarga atas doa dan dukungan yang diberikan kepada penulis.
4. Teman-teman Program Studi Teknik Kimia atas dukungan dan saran kepada penulis selama proses penyusunan proposal penelitian.
5. Semua pihak lain yang telah memberikan kontribusi dalam penyusunan laporan penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penelitian ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar penyusunan proposal penelitian selanjutnya menjadi lebih baik. Akhirk kata, terimakasih atas perhatian pembaca dan penulis berharap agar laporan penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bandung, 15 Februari 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	x
INTISARI	xi
ABSTRACT	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tema Sentral Masalah	2
1.3. Identifikasi Masalah	2
1.4. Premis	3
1.5. Hipotesis	5
1.6. Tujuan Penelitian	5
1.7. Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. <i>Hard Carbon</i>	7
2.2. Pati	10
2.3. Karbonisasi	12
2.3.1. <i>Direct carbonization</i>	12
2.3.2. HTC + Pirolisis	13
2.4. Mekanisme Reaksi dalam HTC	15
2.4.1. Hidrolisis	15
2.4.2. Dehidrasi	16
2.4.3. Dekarboksilasi	17
2.4.4. Kondensasi Polimerisasi	17

DAFTAR ISI

2.4.5. Aromatisasi	19
2.5. Faktor-faktor yang Mempengaruhi <i>Hydrothermal Carbonization</i>	19
2.5.1. <i>Hydrous Condition</i>	19
2.5.2. Penambahan Urea	20
2.6. Analisis	22
2.6.1. <i>X-Ray Diffraction</i>	22
2.6.2. <i>Scanning Electron Microscope</i>	23
BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1. Tahap-tahap Penelitian	25
3.2. Alat dan Bahan	25
3.3. Prosedur Percobaan	28
3.3.1. Proses <i>Hydrothermal Carbonization</i>	28
3.3.2. Proses Pirolisis	29
3.4. Rancangan Percobaan	31
3.5. Analisis	31
3.6. Lokasi dan Rencana Kerja	31
BAB IV PEMBAHASAN	35
4.1 <i>Hydrochar</i> dari proses HTC	35
4.2 <i>Hard Carbon</i>	37
4.2.1 Hasil Analisis SEM dan SEM-EDX	38
4.2.1.1 HTC + Pirolisis.....	38
4.2.1.2 <i>Direct Carbonization</i>	40
4.2.2 Hasil Analisis XRD.....	42
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	48
DAFTAR PUSTAKA.....	49
LAMPIRAN A : MATERIAL SAFETY DATA SHEET	53
LAMPIRAN B : ANALISIS PENELITIAN	55
LAMPIRAN C : CONTOH PERHITUNGAN.....	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 a) <i>Soft carbon</i> b) <i>Hard carbon</i> c) Grafit (Loeffler, et al., 2015).....	7
Gambar 2.2 Skema pembentukan <i>hard carbon</i> (Dou, et al., 2019)	8
Gambar 2.3 Struktur dari <i>amylose</i> dan <i>amylopectin</i> (Fen, 2007)	11
Gambar 2.4 a) <i>Hydrochar</i> microsphere dari pati b) Ilustrasi skema dari struktur <i>hydrochar</i> microsphere proses HTC dari sakarida (Sevilla&Fuertes, 2009)	15
Gambar 2.5 (1) Dehidrasi Intermolekuler (2) Kondensasi Aldol (Sevilla&Fuertes, 2009).....	18
Gambar 2.6 (3) Tautomerisasi keto-enol (4) Dehidrasi intermolekul (5) Kondensasi (Sevilla&Fuertes, 2009).....	19
Gambar 2.7 Gugus fungsi nitrogen pada struktur karbon (Arrigo, et al., 2008).....	22
Gambar 2.8 Hasil analisis XRD dari <i>cassava starch</i> dengan berbagai kondisi hidrolisis (Vatanasuchart, et al., 2010).....	23
Gambar 2.9 Hasil analisis SEM <i>cassava starch</i> (Nwokocha, et al., 2010).....	24
Gambar 2.10 Hasil Analisis SEM-EDS (Aviara, et al., 2014).....	24
Gambar 3.1 Proses <i>Hydrothermal Carbonization</i>	29
Gambar 3.2 Proses Pirolisis.....	30
Gambar 4.1 Pengaruh penambahan urea terhadap <i>yield hydrochar</i>	36
Gambar 4.2 Pengaruh penambahan urea terhadap pH <i>hydrochar</i>	36
Gambar 4.3 Pengaruh penambahan urea terhadap <i>yield hard carbon</i>	37
Gambar 4.4 SEM <i>hard carbon</i> percobaan.....	39
Gambar 4.5 SEM <i>hard carbon</i> literatur.....	39
Gambar 4.6 (a) Histogram distribusi ukuran partikel <i>hard carbon</i> percobaan.....	39
Gambar 4.6 (b) Histogram distribusi ukuran partikel <i>hard carbon</i> literatur.....	39
Gambar 4.7 (a) SEM <i>hard carbon</i> dengan variasi Urea:Pati (2:1).....	40
Gambar 4.7 (b) SEM <i>hard carbon</i> dengan variasi Urea:Pati (3:1).....	40
Gambar 4.8 (a) SEM SEM <i>hard carbon</i> metode <i>direct carbonization</i> tanpa urea.....	41
Gambar 4.8 (b) SEM SEM <i>hard carbon</i> metode <i>direct carbonization</i> Urea:Pati (2:1).....	41
Gambar 4.8 (c) SEM SEM <i>hard carbon</i> metode <i>direct carbonization</i> Urea:Pati (3:1).....	41
Gambar 4.9 (a) Grafik XRD pada metode HTC + pirolisis.....	43
Gambar 4.9 (b) Grafik XRD pada metode <i>direct carbonization</i>	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.10 (a) Grafik XRD <i>hard carbon</i>	43
Gambar 4.10 (b) Grafik XRD Grafit.....	43
Gambar 4.11 Grafik XRD Karbon Amorphous dan Kristalin.....	44
Gambar 4.12 d(002) dan d(100) pada <i>hard carbon</i>	45
Gambar B.1 Analisis <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> (Texas A&M, 2019)	55
Gambar B.2 Analisis <i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i> (Schneider, 2014)	56

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Variasi percobaan metode konvensional dan HTC terhadap karakteristik <i>hydrochar</i> dan <i>hard carbon</i>	3
Tabel 1.1 Variasi percobaan metode konvensional dan HTC terhadap karakteristik <i>hydrochar</i> dan <i>hard carbon</i> (lanjutan).	4
Tabel 3.1 Variasi Percobaan	31
Tabel 3.2 Rencana Kerja Penelitian.....	32
Tabel 3.2 Rencana Kerja Penelitian (lanjutan).	32
Tabel 4.1 Hasil Analisis SEM-EDX.....	42
Tabel 4.2 Hasil Analisis XRD Bragg dan Scherrer.....	45
Tabel 4.3 Kristalinitas <i>hard carbon</i>	46

INTISARI

Hard carbon dapat diartikan sebagai material yang mengandung karbon tetapi tidak mengalami perubahan bentuk menjadi grafit pada temperatur di atas 3000°C (*non-graphitizable carbon*) (Dou, et al., 2019). *Hard carbon* yang dihasilkan dalam percobaan ini berasal dari *biomassa* yang ramah lingkungan, murah, dan *renewable* yaitu pati. Suatu larutan atau dispersi dari sakarida (glukosa, sakarida, pati, dan lain-lain) ketika dipanaskan pada rentang suhu 170-350 °C maka akan terbentuk produk yang tidak larut berupa padatan yang kaya akan kandungan karbon dan proses ini dapat disebut dengan *Hydrothermal Carbonization* (HTC), setelah itu dilakukan tahap pirolisis sampai akhirnya terbentuk *hard carbon*. Selain itu digunakan pula metode lainnya untuk menghasilkan *hard carbon* yaitu dengan *direct carbonization* yang dilakukan pada temperatur 900 °C. Pati yang digunakan sebagai *biomassa* dalam percobaan ini yaitu pati tapioka yang belum banyak digunakan dalam penelitian pembuatan *hard carbon* sebagai aplikasi anoda baterai.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk melakukan sintesis *hard carbon* yang dapat diaplikasikan sebagai anoda baterai, untuk mengetahui perbedaan antara kedua proses karbonisasi yaitu HTC+Pirolisis dan *direct carbonization* terhadap morfologi, struktur kristal, dan komposisi atomik dari *hard carbon* yang dihasilkan dan untuk mengetahui pengaruh penambahan urea pada proses karbonisasi secara *hydrothermal* dan *direct* terhadap morfologi, struktur kristal, dan komposisi atomik dari *hard carbon* yang dihasilkan.

Penelitian ini menggunakan 2 metode yaitu *Hydrothermal Carbonization* (HTC) dan *Direct Carbonization*. Proses HTC dilakukan di dalam autoklaf pada suhu 200°C selama 24 jam dengan variasi tanpa dan dengan penambahan urea pada proses *hydrothermal*, kemudian dilanjutkan dengan pirolisis pada suhu 900 °C selama 1 jam di dalam *furnace*. Proses *direct* dilakukan dengan variasi tanpa dan dengan penambahan urea yang dilakukan dalam *furnace* selama 1 jam dengan temperatur 900 °C.

Produk yang dihasilkan berupa *hard carbon* dianalisis dengan menggunakan XRD, SEM dan SEM-EDX. Hasil *hard carbon* tanpa penambahan urea metode *direct carbonization* memberikan % *yield* tertinggi yaitu 35,21 %. Hasil analisis SEM pada metode HTC+pirolisis menunjukkan *hard carbon* yang diperoleh berbentuk bulat dengan berbagai variasi ukuran, penambahan urea menyebabkan perubahan morfologi *hard carbon* menjadi tidak beraturan. Sedangkan pada metode *direct carbonization* dengan dan tanpa penambahan urea, *hard carbon* yang dihasilkan berbentuk acak dengan permukaan yang tidak beraturan. Hasil analisis SEM-EDX menunjukkan *hard carbon* dari metode *direct carbonization* memiliki %N yang lebih tinggi dari HTC + Pirolisis tetapi %C lebih kecil. Hasil XRD yang diperoleh menunjukkan jarak *interlayer* terbesar yaitu pada proses *direct carbonization* (0,4265 nm) yang lebih besar nilainya dari grafit yang menandakan bahwa *hard carbon* hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai anoda baterai sodium. % kristalinitas yang didapatkan memiliki % *amorphous* yang lebih dominan. *Hard carbon* yang memiliki % *amorphous* dominan maka memiliki *interlayer* yang besar sehingga memudahkan ion Na pada baterai sodium bereaksi dengan *hard carbon*.

Kata kunci : *hard carbon*, pati tapioka, *hydrothermal carbonization*, *direct carbonization* , pirolisis, urea, baterai sodium

ABSTRACT

Hard carbon can be defined as a material that contains carbon but does not to graphite at temperatures above 3000 °C (non-graphitizable carbon) (Dou, et al., 2019). Hard carbon produced in this experiment comes from environmentally friendly, cheap and renewable biomass, namely starch. A solution or dispersion of saccharides (glucose, saccharides, starch, etc.) when heated in a temperature range of 170-350 ° C will form an insoluble product in the form of a solid that is rich in carbon content and this process can be called Hydrothermal Carbonization. (HTC), after that the pyrolysis stage is carried out until finally hard carbon is formed. In addition, another method is used to produce hard carbon, namely direct carbonization which is carried out at a temperature of 900 °C. The starch used as biomass in this experiment is tapioca starch, which has not been widely used in research on making hard carbon as a battery anode application.

The purpose of this study is to synthesize hard carbon which can be applied as a battery anode, to determine the difference between the two carbonization processes, namely HTC + pyrolysis and direct carbonization on the morphology, crystal structure and atomic composition of the hard carbon produced and to determine the effect of addition. urea in the hydrothermal and direct carbonization process on the morphology, crystal structure, and atomic composition of the hard carbon produced.

This study used 2 methods, namely Hydrothermal Carbonization (HTC) and Direct Carbonization. The HTC process was carried out in an autoclave at 200 °C for 24 hours with variations without and with the addition of urea in the hydrothermal process, then followed by pyrolysis at 900 °C for 1 hour in the furnace. The direct process is carried out with variations without and with the addition of urea which is carried out in a furnace for 1 hour at a temperature of 900 ° C.

The result product in the form of hard carbon was analyzed using XRD, SEM and SEM-EDX. Hard carbon yield without the addition of urea direct carbonization method gave the highest % yield, namely 35.21%. SEM analyzed results on the HTC + pyrolysis method showed that the hard carbon obtained was round with various size variations, the addition of urea caused changes in the morphology of hard carbon to become irregular. Whereas in the direct carbonization method with and without the addition of urea, the result hard carbon is random with an irregular surface. SEM-EDX analyzed results show that hard carbon from the direct carbonization method had a higher % N than HTC + pyrolysis but % C is smaller. The XRD result obtained show that the largest interlayer distance is in the direct carbonization process (0.4265 nm) which is greater in value than graphite, which indicated that the hard carbon from this study can be used as a sodium battery anode. The % crystallinity obtained has % amorphous which is more dominant. Hard carbon, which is % amorphous dominant, has a large interlayer, making it easier for Na ions in sodium batteries to react with hard carbon.

Key words: hard carbon, tapioca starch, hydrothermal carbonization, direct carbonization, pyrolysis, urea, sodium battery

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baterai ion logam alkali yang bersifat *rechargeable* seperti *lithium-ion batteries* (LIBs), *sodium-ion batteries* (SIBs) dan *potassium-ion batteries* (PIBs), yang secara luas dianggap sebagai *electrochemical energy storage* sangat menjanjikan dan efisien. Salah satu inovasi yang paling sukses yaitu LIBs, tetapi sumber lithium terbatas jumlahnya dan tidak tersebar merata sehingga tidak semua negara memilikinya. Oleh karena itu, seiring meningkatnya biaya bahan baku yang digunakan pada LIBs yaitu kobalt, tembaga, dan lithium maka LIBs mulai diganti menuju teknologi yang menggunakan sumber daya yang lebih murah dan berlimpah yaitu SIBs (Dou et al., 2019). Sodium lebih mudah ditemukan di alam karena jumlahnya yang lebih banyak tersebar di alam dibandingkan dengan lithium (Komaba dkk, 2011). Pada LIBs digunakan grafit sebagai anodanya, tetapi grafit tidak dapat memuat ion sodium dikarenakan diameter sodium yang lebih besar dari lithium, oleh karena itu digunakan *hard carbon* yang dapat memuat sodium sebagai anoda baterainya. *Hard carbon* dapat diartikan sebagai material yang mengandung karbon tetapi tidak mengalami perubahan bentuk menjadi grafit pada temperatur di atas 3000°C (*non-graphitizable carbon*) (Dou et al., 2019). *Hard carbon* yang dihasilkan dalam percobaan ini berasal dari *biomassa* yang ramah lingkungan, murah, dan *renewable* yaitu pati. Penggunaan *renewable source* dalam membentuk material karbon sangat meningkatkan penggunaannya dalam bidang sains dan teknologi dikarenakan harganya yang murah, prosesnya cepat, dan ramah lingkungan (Zheng et al., 2012).

Karbon yang digunakan sebagai anoda dapat diperoleh dari biomassa yaitu salah satunya adalah pati. Pati adalah karbohidrat yang merupakan polimer glukosa, yang terdiri atas amilosa dan amilopektin (Rickard et al., 1992) yang disintesis dari tanaman. Pati kaya akan kandungan karbon dan komponennya bersifat *renewable* (Morell et al., 1998). Selain itu alasan pati dipilih sebagai biomassa untuk pembentukan *hard carbon* karena pati merupakan karbohidrat yang murni, mengandung karbon yang tinggi, mengandung sedikit pengotor, dan pati mudah untuk dihirolisis daripada lignoselulosa yang lainnya.

Metode yang digunakan dalam percobaan ini yaitu metode *Hydrothermal Carbonization* (HTC) dan *direct carbonization*. Metode HTC juga merupakan proses yang dapat

menghasilkan produk yang struktur kimianya seragam dan juga produk yang dihasilkan tidak beracun (Titirici, 2013). Setelah terbentuk *hydrochar* dari proses HTC kemudian dilakukan proses sintesis karbon dengan pirolisis sampai akhirnya diperoleh *hard carbon*.

Pada penelitian sebelumnya, sudah banyak penelitian yang menggunakan pati dalam sintesis karbonnya, diantaranya menggunakan pati dari kentang (Li et al., 2011), pati dari jagung (Wang et al., 2009), dan pati dari ubi (Zheng et al., 2015). Jenis pati yang digunakan dalam penelitian ini adalah pati tapioka karena tapioka belum banyak digunakan dalam penelitian pembuatan *hard carbon* sebagai aplikasi anoda baterai. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya yaitu pada tahapan *hydrothermal* pada HTC ditambahkan urea sebagai sumber nitrogen, urea akan mengalami pirolisis dan akan disintesis dengan gugus fungsional yang mengandung nitrogen. Luas permukaan yang tinggi, mesopori, dan kekosongan struktur karbon dengan N-dopped sangat bermanfaat dalam penyimpanan ion secara reversibel, juga dapat meningkatkan transportasi ion dan elektron.

1.2 Tema Sentral Masalah

Sintesis karbon dari pati tapioka ini dilakukan dengan proses *Hydrothermal Carbonization (HTC)* + Pirolisis dan proses *direct carbonization* dengan dan tanpa adanya variasi penambahan urea di dalam kedua prosesnya, yang pada akhirnya dihasilkan *hard carbon* yang dapat digunakan sebagai anoda untuk *sodium-ion batteries* (SIBs).

1.3 Identifikasi Masalah

Masalah yang diidentifikasi menjadi latar belakang penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh dari kedua tahap sintesis yaitu proses HTC + Pirolisis dan proses *direct carbonization* terhadap morfologi, struktur kristal, dan komposisi atomik dari *hard carbon* yang dihasilkan?
2. Bagaimana pengaruh penambahan urea jika dibandingkan dengan tanpa penambahan urea pada kedua proses terhadap morfologi, struktur kristal, dan komposisi atomik dari *hard carbon* yang dihasilkan ?

1.4 Premis

Sintesis *hard carbon* dari pati telah banyak dilakukan dengan menggunakan berbagai metode dan variasi. Berikut merupakan hasil percobaan yang dapat dilihat pada **Tabel 1.1**.

Tabel 1.1 Variasi percobaan metode *direct carbonization* dan HTC terhadap karakteristik *hard carbon*

No.	Bahan Baku	Kondisi Proses			N-doped	Proses	Suhu Aktivasi (°C)	Ukuran Partikel	Literatur
		Suhu (°C)	Durasi (h)	Konsentrasi Prekursor					
1.	Pati kentang	200 - 300	60	-	-	<i>direct carbonization</i> (1 tahap)	1000	3-40 µm	Li dkk., 2011
2.	Pati	180	4.5	0.50 mol L ⁻¹	-	<i>direct carbonization</i> (1 tahap)	-	3600 nm	Sevilla & Fuertes, 2009
		180		0.25 mol L ⁻¹				1300 nm	
		200		0.25 mol L ⁻¹				1700 nm	
		200		0.10 mol L ⁻¹				400 nm	

Tabel 1.1 Variasi percobaan metode *direct carbonization* dan HTC terhadap karakteristik *hard carbon* (lanjutan)

No.	Bahan Baku	Kondisi Proses			N-doped	Proses	Suhu Aktivasi (°C)	Ukuran Partikel (nm)	Literatur
		Suhu (°C)	Durasi (h)	Konsentrasi Prekursor					
3.	Singkong	180	12	111.11 g L ⁻¹	-	HTC dan pirolisis (2 tahap)	600	-	Ratchahat, et al., 2010)
4.	Jagung	180	12	111.11 g L ⁻¹	-	HTC dan pirolisis (2 tahap)	600	-	Ratchahat, et al., 2010)
5.	Graphite Oxide	500	20	-	3 gram	HTC dan pirolisis (2 tahap)	800	300-500 nm	Xing, et al., 2015

1.5 Hipotesis

1. Pada proses HTC+pirolisis menghasilkan *hard carbon* dengan struktur bulat, karakteristik *amorphous*, sedangkan pada proses *direct carbonization* struktur *hard carbon* yang dihasilkan acak dengan permukaan yang tidak merata dengan karakteristik *amorphous*.
2. Penambahan urea akan menyebabkan struktur *hard carbon* yang dihasilkan menjadi acak dengan permukaan yang tidak merata, dengan karakteristik *amorphous*. *Hard carbon* yang dihasilkan akan mengalami penurunan %C dan kenaikan %N.

1.6 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh dari kedua tahap sintesis yaitu proses HTC + Pirolisis dan proses *direct carbonization* terhadap morfologi, struktur kristal, dan komposisi atomik dari *hard carbon* yang dihasilkan.
2. Mengetahui pengaruh penambahan urea jika dibandingkan dengan tanpa penambahan urea pada kedua proses terhadap morfologi, struktur kristal, dan komposisi atomik dari *hard carbon* yang dihasilkan.

1.7 Manfaat Percobaan

Manfaat dari percobaan ini untuk berbagai golongan yaitu sebagai berikut :

1. Bagi negara : Memberdayakan sumber daya alam di Indonesia yaitu pati tapioka menjadi produk *hard carbon* dengan nilai jual yang lebih tinggi dan juga menambah nilai guna sebagai penyimpanan energi.
2. Bagi industri : Memberikan alternatif untuk kemajuan teknologi dalam penyimpanan energi dalam bentuk *sodium-ion batteries* (SIBs).
3. Bagi masyarakat : Menambah pengetahuan bagi masyarakat agar dapat memanfaatkan sumber daya alam di Indonesia agar dapat menjadi suatu produk yang dapat menambah nilai jual.
4. Bagi ilmu pengetahuan : Memberikan kontribusi pengetahuan mengenai pengolahan pati tapioka menjadi *hard carbon* dengan proses *Hydrothermal Carbonization* (HTC) + pirolisis dan *direct carbonization* juga mengetahui pengaruh penambahan urea dalam kedua prosesnya.