

SINTESIS *N-DOPED HARD CARBON* DARI PATI GANYONG DENGAN PROSES KARBONISASI HIDROTERMAL DAN PIROLISIS

Laporan Penelitian

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

Oleh:

Zeno Fischer

(6141801060)

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**

2022

SYNTHESIS OF N-DOPED HARD CARBON FROM CANNA STARCH BY HYDROTHERMAL CARBONIZATION AND PYROLYSIS

Research Report

Complied to fulfill the final project in order to achieve
A bachelor's degree in Chemical Engineering

By:

Zeno Fischer

(6141801060)

Lecturer :

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

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



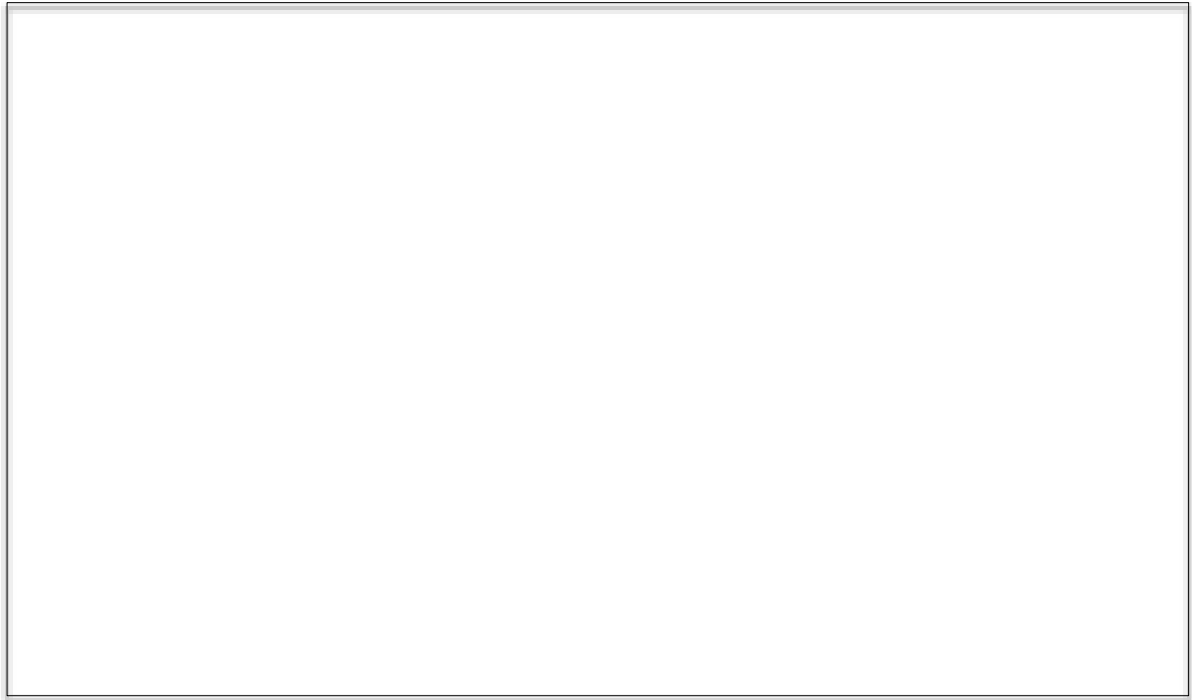
**DEPARTEMENT OF CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY**

2022

LEMBAR PENGESAHAN

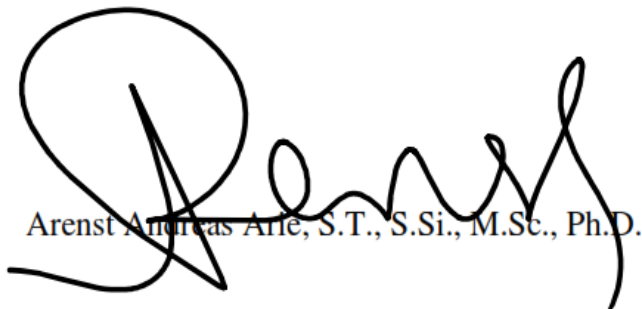
**JUDUL: SINTESIS N-DOPED *HARD CARBON* DARI PATI GANYONG DENGAN
PROSES KARBONISASI HIDROTERMAL DAN PIROLISIS**

CATATAN :



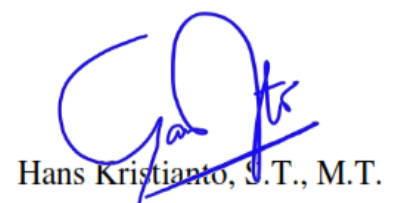
Telah diperiksa dan disetujui,
Bandung, 16 Februari 2022

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 : Zeno Fischer

NPM : 6141801060

dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian dengan judul :

**SINTESIS N-DOPED HARD CARBON DARI PATI GANYONG DENGAN PROSES
KARBONISASI HIDROTERMAL 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, 10 Februari 2022



Zeno Fischer
(6141801060)

LEMBAR REVISI

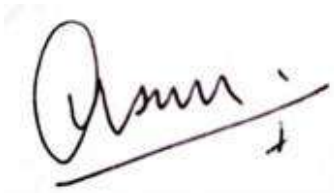
**JUDUL: SINTESIS N-DOPED HARD CARBON DARI PATI GANYONG DENGAN
PROSES KARBONISASI HIDROTERMAL DAN PIROLISIS**

CATATAN :



Telah diperiksa dan disetujui,
Bandung, 15 Februari 2022

Penguji 1



Dr. Ir. Asaf K. Sugih

Penguji 2



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

INTISARI

Baterai litium merupakan inovasi yang paling sukses dalam teknologi penyimpanan energi elektrokimia selama 30 tahun terakhir, akan tetapi semakin banyaknya permintaan pasar yang semakin meningkat mengakibatkan jumlah logam litium semakin berkurang. Dewasa ini, *sodium ion batteries* (SIB) telah menjadi salah satu alternatif yang menjanjikan sebagai pengganti baterai litium dengan *hard carbon* sebagai anodanya. *Hard carbon* merupakan material karbon yang tidak dapat berubah menjadi *graphite* meskipun dipanaskan hingga temperatur 3000⁰C atau disebut juga non-graphitizable carbon. Pada penelitian ini, dilakukan sintesis *hard carbon* dari pati ganyong yang telah ditambahkan senyawa urea sehingga diperoleh *N-doped hard carbon*. Selanjutnya, juga diteliti pengaruh massa urea dan metode doping yang digunakan terhadap karakteristik *doped hard carbon* yang diperoleh.

Penelitian ini terdiri dari 3 tahap, yaitu *pretreatment*, tahap sintesis *hard carbon* dan tahap karakterisasi. Pada tahap *pretreatment*, pati akan dicampurkan larutan urea dengan dua metode yaitu tanpa pengadukan dan dengan pengadukan selama 24 jam. Selanjutnya, pada tahap sintesis dilakukan 2 proses yaitu karbonisasi hidrotermal dan pirolisis. Karbonisasi hidrotermal dilaksanakan dalam autoklaf pada temperatur 200⁰C selama 24 jam sehingga diperoleh *hydrochar*. *Hydrochar* kemudian di pirolisis dengan *furnance* pada temperatur 900 ⁰C selama 1 jam sambil dialirkan gas nitrogen. Selanjutnya, tahap karakterisasi dilakukan dengan analisis *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dengan *Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS) dan *X-ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui karakteristik *N-doped hard carbon* yang diperoleh.

Berdasarkan hasil analisis dari produk *N-doped hard carbon* menunjukkan bahwa sampel dengan massa urea yang lebih banyak mendapatkan perolehan yang lebih kecil. Dari analisis SEM, diperoleh produk yang tersusun secara acak dan berbentuk kasar karena adanya *defect* dari senyawa nitrogen. Selanjutnya, dari analisis EDS diketahui bahwa produk mengandung senyawa nitrogen dengan kandungan sekitar 1,27% hingga 3,67%. Dimana pati yang dicampurkan urea sebanyak 20% berat tanpa pengadukan yang memiliki kandungan nitrogen paling besar. Dari analisis XRD menunjukkan bahwa produk *N-doped hard carbon* yang didapatkan memiliki sifat amorf dan memiliki jarak interlayer sekitar 0,348 – 0,449 nm. Hal ini dapat mengidentifikasi bahwa material *N-doped hard carbon* yang didapatkan dapat di interkalasi oleh ion Na⁺ sehingga cocok digunakan untuk material anoda baterai sodium.

Kata kunci : *N-doped hard carbon*, karbonisasi hidrotermal, pati ganyong, pirolisis

ABSTRACT

Lithium battery is the most successful innovation in electrochemical energy storage technology over the last 30 years, but the increasing market demand has resulted in a decrease amount of lithium metal. Nowadays, sodium ion batteries (SIB) have become a promising alternative to replace lithium batteries with hard carbon as the anode. Hard carbon is a carbon material that cannot turn into graphite even though it is heated to a temperature of 30000 °C or it is also called non-graphitizable carbon. In this study, hard carbon was synthesized from canna starch which urea was added to obtain N-doped hard carbon. Furthermore, the effect of urea mass and the doping method used on the characteristics of the doped hard carbon was investigated.

This research consisted of 3 stages, namely pretreatment, hard carbon synthesis stage and characterization stage of N-doped hard carbon. In the pretreatment stage, the starch will be mixed with urea solution with two methods, namely without stirring and with stirring for 24 hours. Furthermore, at the synthesis stage, two processes are carried out with hydrothermal carbonization and pyrolysis. Hydrothermal carbonization was carried out in an autoclave at a temperature of 200 °C for 24 hours to obtain hydrochar. Hydrochar is then pyrolysed in a furnace at a temperature of 900 °C for 1 hour while nitrogen gas is flowed. Next, the characterization stage was carried out by analysis of Scanning Electron Microscopy (SEM) with Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) and X-ray Diffraction (XRD) to determine the characteristics of the N-doped hard carbon obtained.

Based on the results of the analysis of the N-doped hard carbon product, it shows that the sample with a higher mass of urea gets a lower yield. From the SEM analysis, the product is randomly arranged and roughly shaped because there is a defect because of nitrogen compound. Furthermore, from the EDS analysis it is known that the product contains nitrogen compounds with a content of about 1.27% to 3.67%. Where starch mixed with urea as much as 20%Wt without stirring has the largest nitrogen content. XRD analysis shows that the N-doped hard carbon product has amorphous properties and interlayer distance about 0.348 – 0.449 nm. This can identify that the N-doped hard carbon material can be intercalated by Na⁺ ions so that it is suitable for use as an anode material for sodium ion batteries.

Keywords:

N-doped hard carbon, hydrothermal carbonization, Canna starch, Pyrolysis

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan anugerah- Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian dengan judul “Sintesis *N-doped Hard Carbon* dari Pati Ganyong dengan Proses Karbonisasi Hidrotermal dan Pirolisis” tepat pada waktunya. Laporan penelitian ini disusun untuk memenuhi salah satu tugas akhir untuk mendapatkan gelar sarjana Strata-1 Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan. Dalam proses penulisan laporan penelitian ini terdapat banyak bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih secara khusus kepada:

1. Bapak Arenst Andreas Arie, S.T., S.Si., M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan, arahan dan saran selama proses penyusunan laporan penelitian ini.
2. Bapak Hans Kristianto, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan dan saran selama proses penyusunan laporan penelitian ini.
3. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan dan doa selama proses penyusunan laporan penelitian ini.
4. Teman-teman penulis dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberikan dukungan dan saran selama proses penyusunan laporan penelitian ini

Penulis menyadari bahwa masi terdapat kekurangan dalam laporan penelitian. Oleh karena itu, penulis mengharapkan segala bentuk kritik dan saran yang membangun agar penyusunan laporan penelitian selanjutnya menjadi lebih baik. Akhir kata, terima kasih atas perhatian pembaca dan semoga laporan penelitian ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Bandung, 10 Februari 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	ix
INTISARI.....	x
ABSTRACT.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tema Sentral Masalah	3
1.3 Identifikasi Masalah.....	3
1.4 Premis	3
1.5 Hipotesis	4
1.6 Tujuan Penelitian	4
1.7 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Pati	7
2.2 Hard carbon.....	9
2.3 Sintesis <i>Hard carbon</i>	11
2.3.1 Pirolisis <i>Hydrochar</i>	17
2.3.2 Doped Hard Carbon	18
2.4 Analisis <i>Hard carbon</i>	19
2.4.1 Analisis XRD	19
2.4.2 Analisis SEM dan EDS	20
BAB 3 METODE PENELITIAN	21
3.1 Tahap Penelitian	21

3.2 Alat dan Bahan.....	21
3.2.1 Alat.....	21
3.2.2 Bahan.....	23
3.3 Prosedur Percobaan.....	23
3.3.1 <i>Pretreatment</i>	23
3.3.2 Karbonisasi Hidrotemal.....	24
3.3.3 Proses Pirolisis	25
3.4 Analisis	26
3.5 Lokasi dan Jadwal Kerja Penelitian.....	26
BAB 4 PEMBAHASAN	28
4.1 Karbonisasi Hidrotermal.....	28
4.2 Pirolisis	29
4.2.1 Perolehan N-doped Hard Carbon	29
4.2.2 Analisis SEM-EDS.....	30
4.2.3 Analisis XRD	33
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	36
5.1 Kesimpulan	36
5.2 Saran	36
DAFTAR PUSTAKA.....	38
LAMPIRAN A <i>MATERIAL SAFETY DATA SHEET</i>	42
A.1 Urea.....	42
A.2 Etanol	43
A.3 Gas Nitrogen	44
LAMPIRAN B DATA ANTARA.....	44
LAMPIRAN C CONTOH PERHITUNGAN.....	47
C.1 Perhitungan perolehan <i>hydrochar</i> dan <i>N-doped hard carbon</i>	47
C.2 Perhitungan jarak interlayer, jarak intercrystallite, tinggi tumpukan graphene dan panjang lateral.....	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur pati.....	8
Gambar 2.2 Bentuk granula pati ganyong (Van Hung dan Morita, 2005).....	9
Gambar 2.3 Ilustrasi struktur <i>hard carbon</i> (Franklin, 1951).....	11
Gambar 2.4 Ilustrasi lapisan graphene pada struktur <i>hard carbon</i> (Shinn, 1984).....	11
Gambar 2.5 Perbedaan <i>graphite</i> dan <i>hard carbon</i> (Xiao, dkk., 2019)	11
Gambar 2.6 Karakteristik air dalam pengaruh temperatur pada saat proses HTC (Wang dkk., 2018)	16
Gambar 2.7 Mekanisme pembentukan <i>hydrochar</i> dari selulosa (Wang, dkk., 2018)	16
Gambar 2.8 Mekanisme pembentukan <i>hard carbon</i> (Dou, dkk., 2019)	17
Gambar 2.9 Pola analisis XRD.....	20
Gambar 3.1 Ilustrasi Tahap Penelitian.....	21
Gambar 3.2 Autoklaf <i>Teflon-lined</i> (Saber, dkk., 2021)	22
Gambar 3.3 Furnance dan tabung gas nitrogen	22
Gambar 3.4 Oven.....	23
Gambar 3.5 Timbangan analitik	23
Gambar 3.6 Diagram alir proses <i>pretreatment</i>	24
Gambar 3.7 Diagram alir proses karbonisasi hidrotermal	25
Gambar 3.8 Diagram alir proses pirolisis	26
Gambar 4.1 Perolehan <i>N-doped hard carbon</i> terhadap pati ganyong dan <i>hydrochar</i>	30
Gambar 4.2 Hasil analisis SEM pada <i>N-doped hard carbon</i> dengan sampel (a) NHCT-10, (b) NHCT-20, (c) NHCP-10, dan (d) NHCP-20	31
Gambar 4.3 Hasil analisi SEM pada (a) Pati ganyong (Van Hung dan Morita, 2005), (b) <i>hard carbon</i> dari pati ganyong tanpa zat aditif (Tanuwijaya,2020), (c) Modifikasi pati ganyong dengan rasio pati ganyong : urea adalah 1:1 (Ivan, 2021) dan Pati jagung dengan penambahan urea (Kozerski,2021)	31
Gambar 4.4 Grafik XRD <i>N-doped hard carbon</i>	33

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Variasi sintesis <i>doped hard carbon</i>	5
Tabel 3.1 Variasi percobaan	26
Tabel 3.2 Jadwal kerja penelitian	27
Tabel 4.1 Perolehan <i>Hydrochar</i>	28
Tabel 4.2 Komposisi massa unsur kimia <i>N-doped hard carbon</i> dalam %wt.....	32
Tabel 4.3 Hasil perhitungan analisis grafik XRD.....	34
Tabel 4.4 Persentase kristalinitas dan amorf dari sampel <i>N-doped hard carbon</i>	35
Tabel B.1 Perolehan massa <i>hydrochar</i>	45
Tabel B.2 Perolehan massa <i>N-doped hard carbon</i>	45
Tabel B.3 Pengolahan data analisis XRD	46

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baterai merupakan media penyimpan energi listrik yang penting bagi manusia. Pada umumnya, baterai terbagi menjadi dua yaitu baterai primer dan baterai sekunder. Baterai primer merupakan baterai yang hanya dapat dipergunakan sekali karena sifatnya yang tidak dapat diisi kembali karena material elektrodanya tidak dapat berbalik arah ketika dilepaskan (Satriady, dkk., 2016). Sedangkan, baterai sekunder merupakan baterai yang dapat diisi ulang kembali dayanya (*rechargeable*) karena reaksi elektrokimianya yang bersifat *reversible* sehingga baterai sekunder dapat mengkonversi energi kimia menjadi energi listrik pada proses *discharging* dan mengkonversi energi listrik menjadi energi kimia pada proses *charging* (Satriady, dkk., 2016)

Dewasa ini, dikenal berbagai teknologi penyimpanan energi elektrokimia yang dapat diisi ulang antara lain baterai litium (LIBs), baterai natrium (SIBs), dan baterai kalium (PIBs). Prinsip dari ketiga baterai ini melibatkan pertukaran antara ion alkali antara dua elektroda melalui medium elektrolit yang menghantarkan ion alkali (Dou, dkk., 2019). Dalam 30 tahun belakangan ini, baterai litium diperkirakan merupakan inovasi yang paling sukses. Akan tetapi, dengan meningkatnya penggunaan alat elektronik dan kendaraan elektrik mengakibatkan permintaan akan baterai litium juga meningkat sehingga bahan baku dasar pembuatan baterai litium semakin berkurang. Selain itu juga, litium tidak tersebar merata dan kebanyakan terletak di Amerika Selatan (Xie, dkk., 2020). Maka dari itu, dibutuhkan alternatif lain yang lebih murah dan melimpah seperti baterai natrium. Natrium dapat ditemui di seluruh dunia dalam bentuk soda abu (Na_2CO_3) dengan harga yang murah dan Na juga merupakan golongan alkali yang sama dengan litium.

Pada umumnya, anoda baterai yang digunakan untuk baterai litium adalah karbon *graphite*. Sedangkan, pada baterai natrium karbon *graphite* tidak dapat digunakan sebagai anodanya karena faktor jarak ion dari ion Na^+ yang besar sehingga ion Na^+ sulit untuk interkalasi ke interlayer *graphite*. Untuk Na^+ memiliki radius ion sebesar 1.02 \AA sedangkan untuk *litium* adalah $0,76 \text{ \AA}$ dan juga sistem nya secara termodinamika tidak stabil (Huang, dkk., 2018). Oleh karena itu, telah dilakukan beberapa penelitian mengenai material anoda yang cocok untuk baterai natrium seperti *alloy*, logam oksida/sulfat, senyawa organik, fosfat dan material karbon. Dari hasil penelitian tersebut, didapatkan bahwa material karbon paling

cocok karena materialnya yang banyak tersebar di bumi, tingkat kestabilan struktur yang tinggi, ramah lingkungan dan murah (khususnya yang berasal dari prekursor biaya rendah seperti limbah plastik atau *biowaste*) (Dou, dkk., 2019; Zhu, dkk., 2017)

Menurut Zhu (2017), material karbon yang cocok digunakan untuk material anoda baterai natrium adalah *hard carbon*. *Hard carbon* cocok digunakan karena memiliki jarak interlayer yang besar, memiliki kapasitas yang tinggi (200-300 mAh g⁻¹) dan relatif lebih murah karena berasal dari biomassa. *Hard carbon* merupakan material karbon yang tidak dapat berubah menjadi *graphite* meskipun dipanaskan hingga temperatur 3000⁰C atau disebut juga non-graphitizable carbon (Dou, dkk., 2019). Hal ini dikarenakan tingginya oksigen dan strukutrnya tidak teratur didalam perkursor. Selain *hard carbon*, ada material karbon lain yang dapat digunakan seperti *soft carbon*. *Soft carbon* memiliki sifat yang mirip dengan *hard carbon* dan *graphite* dengan struktur yang tidak teratur. Akan tetapi, *soft carbon* dapat tergrafitasi menyerupai *graphite* sehingga lebih cocok digunakan untuk baterai litium (Xie, dkk., 2020).

Hard carbon memiliki kapasitas penyimpanan yang tinggi, beda potensial yang rendah dan stabilitas siklus pengisian daya yang baik (Dou, dkk., 2019). Dalam pembentukan *hard carbon* dibutuhkan perkursor. Perkursor yang digunakan pertama kali dalam pembuatan *hard carbon* oleh Franklin tahun 1951 menggunakan batu bara, akan tetapi sifatnya tidak terbarukan dan tidak ramah lingkungan. Sehingga diperlukan alternatif lain seperti perkursor dari biomassa yang lebih ramah lingkungan, sifatnya terbarukan dan murah. Keuntungan dari penggunaan biomassa adalah dapat mengdaur ulang limbah biomassa dan mengurangi pencemaran lingkungan (Zhu , dkk.,2017). Beberapa contoh biomassa yang dapat digunakan untuk sintesis *hard carbon* seperti kulit pisang, kulit kacang, selulosa kayu dan juga bisa berasal dari pati. Terdapat beberapa penelitian yang menggunakan biomassa dari pati untuk sintesis *hard carbon* seperti yang diteliti oleh Ratchahat, dkk. (2010) dengan pati jagung, pati beras, pati gandum, pati singkong dan pati ketan serta ada juga oleh Gaddam, dkk. (2017) dengan pati dari mangga dan oleh Li , dkk. (2011) dengan pati dari kentang. Pada penelitian ini akan digunakan pati ganyong (*Canna edulis*) sebagai prekursor dalam sintesis *hard carbon*.

Sintesis *hard carbon* dilakukan dengan proses karbonisasi hidrotermal sehingga didapatkan produk berupa *hydrochar*, kemudian *hydrochar* di pirolisis sehingga didapatkan *hard carbon*. Pada umumnya, proses karbonisasi hidrotermal berlangsung pada temperatur 180 - 220⁰C dalam suspensi biomassa dan air pada tekanan jenuh selama beberapa jam

(Ziegler, 2009). Proses karbonisasi hidrotermal menghasilkan produk berupa 80-85% padatan char, 5-20% senyawa organik terlarut dan 2-5% gas. Sedangkan, proses pirolisis menghasilkan produk berupa 35% padatan, 30% cairan dan 35% gas (Libra, dkk., 2011). Dalam penelitian ini, ingin didapatkan *hard carbon* dengan *doping* nitrogen. Penambahan *doping* ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi anoda *hard carbon* (Ding, dkk., 2020). Penambahan gugus nitrogen dapat meningkatkan konduktivitas listrik dan dapat mengantarkan daya adsorpsi yang baik (Zhao, dkk., 2020).

Pada penelitian ini, pati akan di *pretreatment* terlebih dahulu untuk penambahan gugus nitrogen yang berasal dari urea. Proses karbonisasi hidrotermal dari pati ganyong akan dilanjutkan dengan proses pirolisis sehingga didapatkan *hard carbon*. Selain itu, pengaruh variasi temperatur pirolisis terhadap karakteristik *hard carbon* juga menjadi bagian dalam penelitian ini. *Hard carbon* yang diperoleh akan di karakterisasi menggunakan analisis SEM-EDS, dan XRD untuk mengetahui sifat dan struktur dari *hard carbon*.

1.2 Tema Sentral Masalah

Penggunaan *hard carbon* sebagai anoda baterai natrium merupakan salah satu alternatif dalam mengganti *graphite* sebagai anoda baterai litium. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan *hard carbon* yang memiliki konduktivitas listrik yang lebih baik dengan membuat *hard carbon* dari pati ganyong yang telah dicampur dengan larutan urea ataupun larutan asam sehingga didapatkan *doped hard carbon*. Proses sintesis *hard carbon* dilakukan dengan karbonisasi hidrotermal dan dilanjutkan dengan proses pirolisis untuk mendapatkan *hard carbon*.

1.3 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah yang menjadi latar belakang penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh *doping hard carbon* yaitu nitrogen terhadap produk *hard carbon* yang dihasilkan?
2. Bagaimana pengaruh massa urea dan metode doping terhadap produk *hard carbon*?

1.4 Premis

Pada **tabel 1.2** disajikan tabel premis mengenai variasi sintesis *doped hard carbon* yaitu N- *doped hard carbon*.

1.5 Hipotesis

Hipotesis pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pati ganyong yang ditambahkan gugus nitrogen dapat digunakan sebagai perkursor sintesis *hard carbon* untuk menghasilkan *N-doped hard carbon*
2. Peningkatan massa urea yang dicampurkan dengan metode pengadukan akan memperbesar jarak interlayer *hard carbon*

1.6 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian sintesis *doped hard carbon* ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh *doping hard carbon* yaitu nitrogen pada pati ganyong terhadap produk *hard carbon* yang diperoleh
2. Mengetahui pengaruh variasi rasio massa urea dan metode doping terhadap perolehan *doped hard carbon* yang diperoleh

1.7 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini untuk berbagai golongan adalah sebagai berikut:

1. Bagi negara : dapat meningkatkan pemanfaatan sumber daya alam berupa tanaman ganyong sebagai sumber biomassa dalam sintesis *hard carbon*
2. Bagi masyarakat : dapat memberikan alternatif pengganti baterai dengan harga yang lebih murah dan ramah lingkungan
3. Bagi industri : dapat memberikan alternatif pembuatan anoda baterai *sodium ion* dari tanaman lokal dengan harga yang terjangkau
4. Bagi ilmu pengetahuan : dapat menambahkan wawasan baru mengenai potensi penggunaan umbi ganyong sebagai sumber biomassa pembuatan *hard carbon* dengan proses karbonisasi hidrotermal dan pirolisis.

Tabel 1.1 Variasi sintesis *doped hard carbon*

No	Bahan Baku	Proses				Kondisi proses				Produk Hard Carbon				Sumber
		karbonisasi	Aktivasi	Senyawa <i>doping</i>		Karbonisasi		Aktivasi		Luas Permukaan (m ² /g)	Ukuran Partikel (μm)	Jarak Interlayer (nm)	% karbon	
						T (°c)	Waktu	T (°c)	waktu					
1	Bubuk kering mangga	HTC	Pirolisis	Ethylene diamine	<i>Doping Level</i> (wt%)	170	25 jam	900	2 jam	16	1,5	0,39	-	(Gaddam, dkk., 2017)
2	pinus	Pirolisis	Pirolisis	-	-	200°C pada 115 menit kemudian dipanaskan hingga temperatur 450°C selama 20 menit	1000°C	1 jam	11	141	-	0,3786	20	(Saavedra Rios, dkk., 2020)
	beechwood				-					16	-	0,339	18	
	miscanthus				-					11	-	-	16	
	jerami gandum				-					10,5	-	-	12	
3	Polyurethane	HTC	Pirolisis	Urea	-	180	6 jam	700	2 jam	112,6	-	-	-	(Hu, dkk., 2017)
4	Artemia cyst shell	Pirolisis	KOH	-	-	850	4 jam	-	-	-	25	-	-	(Huang, dkk., 2018)
5	lignin	Pirolisis	-	melamine	-	1000	12 jam	-	-	-	-	0,341	-	(Yang, dkk., 2018)
6	maple leaves	Pirolisis	HNO ₃	-	-	700	7 jam	-	-	62,6	-	-	77,11	(Liu, dkk., 2019)
7	Walnut Septum	Pirolisis	-	Urea	-	800	2 jam	-	-	99,6	-	0,376	-	(Gao, dkk., 2019)

Tabel 1.1 Variasi sintesis *doped hard carbon* (Lanjutan)

No	Bahan Baku	Proses				Kondisi proses				Produk Hard Carbon				Sumber
		karbonisasi	Aktivasi	Senyawa <i>doping</i>		Karbonisasi		Aktivasi		Luas Permukaan (m ² /g)	Ukuran Partikel (μm)	Jarak Interlayer (nm)	% karbon	
				T (°c)	Waktu	T (°c)	waktu							
8	Pati Sagu	HT C	Piro lisis	Ur ea	rasio massa 1:1	200	24 jam	900	1 jam	-	2,5441	0,3906	90,02	(Putri, 2021)
					rasio massa 2:1					-	1,8305	0,3892	90,32	
9	Pati Ganyong	HT C	Piro lisis	Ur ea	rasio massa 1:1	200	24 jam	900	1 jam	-	2,88	0,362	90,12	(Ivan, 2021)
					rasio massa 2:1					-	2,33	0,368	90,19	
10	Molten Salts	Piro lisis	-	Sul fur	6,3	600	-	-	-	276,9	-	0,42	-	(Hong, dkk., 2018)
11	Sukrosa	Piro lisis	-	Sul fur	0,1	1100	5 jam	-	-	5,2	-	3,83 Å	-	Li , dkk., 2017
				Fo sfor	3			-	-	7,3	-	3,95 Å	-	
12	Epoxy Resin	Piro lisis	-	Fo sfor	rasio massa : volume = 10:1	500	5 jam	-	-	16,74	-	0,364	83,85	Li , dkk., 2020
						900		-	-	24,79	-	0,379	88,02	