

**SINTESIS *N-DOPED HARD CARBON* DARI PATI SAGU  
DENGAN PROSES KARBONISASI HIDROTERMAL  
DAN AKTIVASI  $\text{NaNH}_2$**

**Laporan Penelitian**

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

Oleh :

**Ronan Wilson**

(2017620116)

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**

**2023**



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

**LEMBAR PENGESAHAN**

Nama : Ronan Wilson  
NPM : 2017620116  
Judul : Sintesis *N-Doped Hard Carbon* dari Pati Sagu dengan Proses Karbonisasi Hidrotermal dan Aktivasi  $\text{NaNH}_2$

**CATATAN :**

---

---

---

---

---

---

---

Telah diperiksa dan disetujui,  
Bandung, 25 Januari 2023

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 : Ronan Wilson

NPM : 2017620116

dengan ini menyatakan bahwa penelitian dengan judul:

**SINTESIS *N-DOPED HARD CARBON* DARI PATI SAGU DENGAN PROSES  
KARBONISASI HIDROTERMAL DAN AKTIVASI  $\text{NaNH}_2$**

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 dengankenyataan, maka saya bersedia menanggung sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Bandung, 25 Januari 2022

Ronan Wilson  
(2017620116)



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

**LEMBAR REVISI**

Nama : Ronan Wilson  
NPM : 2017620116  
Judul : Sintesis *N-Doped Hard Carbon* dari Pati Sagu dengan Proses Karbonisasi Hidrotermal dan Aktivasi  $\text{NaNH}_2$

**CATATAN :**

---

---

---

---

---

---

---

Telah diperiksa dan disetujui,  
Bandung, 7 Februari 2023

Penguji 1,

**Ratna Frida Susanti, Ph.D.**

Penguji 2,

**I Gede Pandega Wiratama, S.T., M.T**

## INTISARI

*Lithium ion batteries* (LIBs) merupakan inovasi yang sudah banyak dikenal di dalam dunia teknologi penyimpanan energi elektrokimia, sehingga banyaknya permintaan pasar menyebabkan ketersediaan litium tidak dapat memenuhi kebutuhan tersebut. Karena itu, *sodium ion batteries* (SIBs) telah menjadi salah satu alternatif yang menjanjikan sebagai pengganti baterai litium dengan *hard carbon* sebagai anodanya. *Hard carbon* atau biasa disebut *non-graphitizable carbon* adalah material yang mengandung karbon tetapi tidak mengalami perubahan bentuk menjadi grafit pada temperatur di atas 3000 °C (Dou dkk., 2019). Selain itu, *hard carbon* sebagai material anoda baterai perlu memiliki konduktivitas listrik yang tinggi. Peningkatan konduktivitas ini dapat dilakukan dengan modifikasi penambahan unsur nitrogen sehingga dihasilkan material *N-doped hard carbon*. *Hard carbon* yang dihasilkan dalam percobaan ini berasal dari *biomassa* yang ramah lingkungan, murah, dan mudah didapat yaitu pati sagu.

Penelitian ini terdiri dari 2 jenis tahap, yaitu tahap sintesis dan karakterisasi *N-doped hard carbon*. Tahap sintesis dibagi menjadi 2 tahap, dimana akan dilakukan penambahan *sodamide* pada pati dan *hydrochar* hasil karbonisasi hidrotermal. *Sodamide* di sini berperan sebagai *N-doping* dan aktivator. Karbonisasi hidrotermal dilaksanakan dalam *autoclave* pada temperatur 200 °C selama 24 jam. Variasi jumlah penambahan *sodamide* dengan pati dan *hydrochar* bervariasi diantaranya adalah 1:1 dan 1:2. Kemudian, aktivasi termal dilakukan dengan menggunakan *furnace* dengan temperatur 500 °C dan 700 °C selama 1 jam beserta pengaliran gas nitrogen. Selanjutnya, tahap karakterisasi dilakukan melalui analisis BET, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dengan *Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS), dan *X-ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui sifat-sifat produk *N-doped hard carbon* yang dihasilkan.

Analisis dari produk *N-doped hard carbon* ini menunjukkan sintesis yang melalui proses HTC terlebih dahulu menghasilkan *yield* lebih sedikit dari proses *direct pyrolysis*. Namun, sintesis dengan proses HTC tersebut berhasil menghasilkan produk dengan *doping* nitrogen yang lebih banyak dibanding *direct pyrolysis*, dimana produk *N-doped hard carbon* mengandung nitrogen sebesar 0,88 % hingga 1,58 %. Dari analisis SEM, diperoleh produk dari proses melalui HTC memiliki morfologi berupa *microspheres*, sedangkan produk *direct pyrolysis* berbentuk *flakes* dan berpori. Selanjutnya, analisis XRD menunjukkan bahwa kedua variasi proses ini menghasilkan *N-doped hard carbon* dengan interlayer spacing ( $d_{002}$ ) di rentang 0,363 hingga 0,393 nm, dimana nilai tersebut lebih besar dari  $d_{002}$  grafit yang bernilai 0,335 nm. Maka dari itu, dapat disimpulkan bahwa material *N-doped hard carbon* dapat memfasilitasi interkalasi ion Na<sup>+</sup> sehingga cocok digunakan sebagai material anoda *sodium ion batteries*.

Kata Kunci:

*N-doped hard carbon*, pati sagu, *sodamide*, karbonisasi hidrotermal, aktivasi termal

## ABSTRACT

*Lithium ion batteries (LIBs) are an innovation that is widely known in the world of electrochemical energy storage technology, so that the large market demand causes the availability of lithium to be unable to meet these needs. Therefore, sodium ion batteries (SIBs) have become a promising alternative to lithium batteries with hard carbon as the anode. Hard carbon or commonly called non-graphitizable carbon is a material that contains carbon but does not change form to graphite at temperatures above 3000 °C (Dou et al., 2019). In addition, hard carbon as an anode battery material needs to have high electrical conductivity. This increase in conductivity can be done by modifying the addition of nitrogen to produce N-doped hard carbon material. The hard carbon produced in this experiment came from an environmentally friendly, inexpensive and easily available biomass, named sago starch.*

*This study consisted of 2 types of stages, the synthesis stage and the characterization of N-doped hard carbon. The synthesis stage is divided into 2 stages, where the addition of sodamide to starch and hydrochar resulting from hydrothermal. Sodamide here acts as N-doping and activator. Hydrothermal carbonization will be done in an autoclave at 200 °C for 24 hours. Variations in the amount of added sodamide with starch and hydrochar varied between 1:1 and 1:2. Then thermal activation will be carried out using a furnace with a temperature of 500 °C and 700 °C for 1 hour along with nitrogen gas flow. Furthermore, the characterization stage was carried out through BET analysis, Scanning Electron Microscopy (SEM) with Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS), and X-ray Diffraction (XRD) to determine the properties of the resulting N-doped hard carbon product.*

*Analysis of this N-doped hard carbon product shows that the synthesis through the HTC process first produces less yield than the direct pyrolysis process. However, the synthesis with the HTC process succeeded in producing a product with more nitrogen doping than direct pyrolysis, where the N-doped hard carbon product contains nitrogen of 0.88% to 1.58%. From the SEM analysis, the product obtained from the process through HTC has a morphology in the form of microspheres, while the direct pyrolysis product is in the form of flakes and is porous. Furthermore, XRD analysis showed that these two process variations produced N-doped hard carbon with interlayer spacing ( $d_{002}$ ) in the range of 0.363 to 0.393 nm, which value was bigger than graphite's  $d_{002}$ . Therefore, it can be concluded that the N-doped hard carbon material can facilitate intercalation of  $Na^+$  ions making it suitable for use of sodium ion batteries' material.*

**Kata Kunci:**

*N-doped hard carbon, sago starch, sodamide, karbonisasi hidrotermal, thermal activation*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian dengan judul “Sintesis *N-Doped Hard Carbon* dari Pati Sagu dengan Proses Karbonisasi Hidrotermal dan Aktivasi  $\text{NaNH}_2$ ” 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. Orang tua 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. Akhir kata, terima kasih atas perhatian pembaca dan penulis berharap agar laporan penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
SURAT PERNYATAAN .....	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL .....	x
INTISARI.....	xi
ABSTRACT .....	xii
BAB I.....	1
1.1.Latar Belakang.....	1
1.2.Tema Sentral Masalah .....	4
1.3.Identifikasi Masalah .....	4
1.4.Premis .....	5
1.5.Hipotesis .....	5
1.6.Tujuan Penelitian.....	5
1.7.Manfaat Penelitian.....	6
BAB II .....	10
2.1 Pati.....	10
2.2 Sintesis <i>Hard Carbon</i> .....	13
2.2.1 <i>Faktor-faktor yang mempengaruhi Karbonisasi Hidrotermal (HTC)</i> .....	16
2.2.2 <i>Aktivasi dengan Sodium Amida</i> .....	17
2.3 <i>Hard Carbon</i> .....	19
2.4 Analisis Data .....	20



BAB III.....	26
3.1 Tahap Penelitian .....	26
3.2 Alat dan Bahan .....	27
3.2.1 <i>Alat</i> .....	27
3.2.2 <i>Bahan</i> .....	28
3.3 Prosedur Percobaan .....	29
3.3.1 <i>Karbonisasi Hidrotemal</i> .....	29
3.3.2 <i>Proses Pirolisis</i> .....	31
3.4 Analisis .....	31
3.5 Lokasi dan Jadwal Kerja Penelitian .....	32
 BAB IV.....	 34
4.1. Analisis <i>Yield</i> .....	34
4.1.1. Analisis <i>Yield Hydrochar</i> .....	34
4.1.2. Analisis <i>Yield N-doped Hard Carbon</i> .....	35
4.2. Analisis SEM-EDS <i>N-doped Hard Carbon</i> .....	37
4.3. Analisis XRD <i>N-doped Hard Carbon</i> .....	42
 BAB V .....	 48
5.1. Kesimpulan.....	48
5.2. Saran .....	49
 LAMPIRAN A .....	 57
 LAMPIRAN B.....	 61
 LAMPIRAN C.....	 63
C.1. Perolehan <i>yield</i> hydrochar dan N-doped hard carbon.....	63
C.2. Penentuan hasil analisis XRD .....	63

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1.</b> Perbandingan cadangan dan produksi logam lithium dari tahun 2013 hingga 2018 .....	1
<b>Gambar 1.2.</b> Kelimpahan unsur di kerak bumi.....	2
<b>Gambar 2.1</b> Representasi skematis dari pati .....	11
<b>Gambar 2.2</b> Struktur pati.....	11
<b>Gambar 2.3</b> Struktur kristalin pati tipe A dan B .....	12
<b>Gambar 2.4</b> Mekanisme pembentukan partikel <i>hydrochar</i> dari selulosa dengan karbonisasi hidrotermal.....	15
<b>Gambar 2.5</b> (1) Dehidrasi intermolekular (2) Kondensasi aldol pada mekanisme reaksi proses hidrotermal .....	16
<b>Gambar 2.6</b> Ilustrasi struktur lapisan <i>graphene</i> dengan adanya defect pada hard carbon. 19	
<b>Gambar 2.7</b> Ilustrasi struktur hard carbon .....	20
<b>Gambar 2.8</b> Mekanisme analisis SEM.....	22
<b>Gambar 2.9</b> Hasil analisis SEM <i>cassava starch</i> .....	23
<b>Gambar 2.10</b> Difraksi sinar-X pada hukum Bragg .....	24
<b>Gambar 2.11</b> Ilustrasi struktur <i>microcrystallites hard carbon</i> .....	24
<b>Gambar 3.1</b> Skema tahapan penelitian.....	27
<b>Gambar 3.2</b> Autoklaf teflon-lined.....	27
<b>Gambar 3.3</b> Furnace dan tabung gas nitrogen.....	28
<b>Gambar 3.4</b> Oven .....	28
<b>Gambar 3.5</b> Timbangan Analitik .....	28
<b>Gambar 3.6</b> Diagram alir proses karbonisasi hidrotermal .....	29
<b>Gambar 3.7</b> Diagram alir proses pirolisis .....	31
<b>Gambar 4.1.</b> Hasil analisis SEM produk <i>N-doped hard carbon</i> pada variasi HTC dan pirolisis (a) HS11500, (b) HS12500, dan (c) HS11700.....	37
<b>Gambar 4.2.</b> Hasil analisis SEM produk <i>N-doped hard carbon</i> pada variasi direct pyrolysis (a) PS11500, (b) PS12500, dan (c) PS12700.....	38

<b>Gambar 4.3.</b> Hasil analisis SEM activated carbon.....	40
<b>Gambar 4.4.</b> Grafik XRD hasil <i>N-doped</i> hard carbon a) HTC + pirolisis dan b) direct pyrolysi .....	43
<b>Gambar 4.5.</b> Grafik XRD a) hard carbon dan b) grafit hasil <i>N-doped</i> hard carbon a) HTC + pirolisis dan b) direct pyrolysis .....	43
<b>Gambar 4.6.</b> Skema kristalit beserta parameter struktur material karbon .....	44

## DAFTAR TABEL

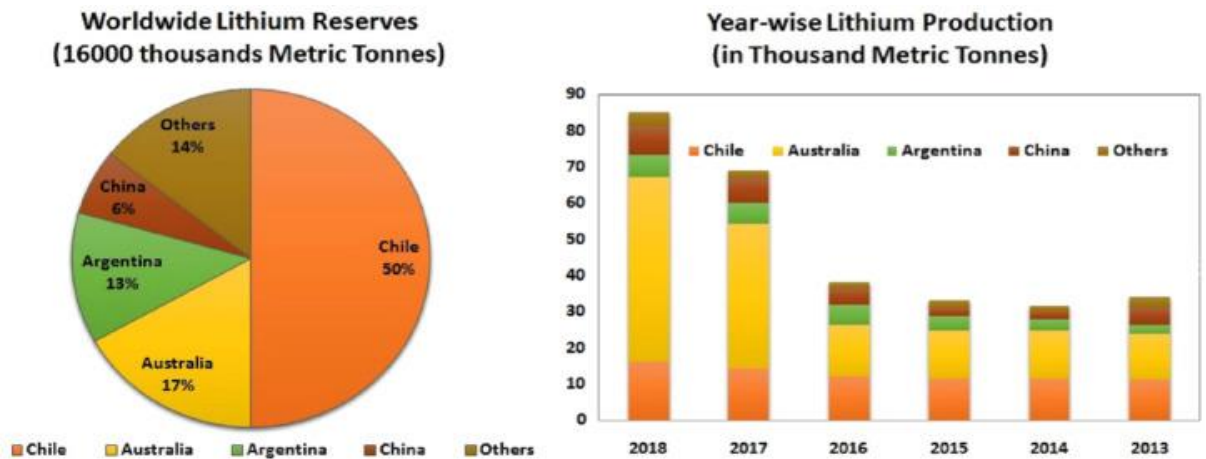
<b>Tabel 1.1</b> Variasi sintesis <i>N-doped</i> hard carbon melalui berbagai jenis proses dengan variasi pati dan biomassa.....	7
<b>Tabel 2. 1</b> Kandungan amilosa pati.....	12
<b>Tabel 3.1</b> Variasi Percobaan .....	29
<b>Tabel 3.2</b> Rencana kerja penelitian.....	32
<b>Tabel 4.1.</b> Hasil Analisis <i>Yield N-doped</i> Hard Carbon .....	35
<b>Tabel 4.2.</b> Hasil Analisis EDS .....	41
<b>Tabel 4.3.</b> Hasil Analisis XRD .....	44
<b>Tabel 4.4.</b> Nilai kristalinitas dan amorphous dari sampel <i>N-doped</i> hard carbon.....	47
<b>Tabel B.1.</b> Perolehan massa dan <i>yield</i> hydrochar .....	61
<b>Tabel B.2.</b> Perolehan massa dan <i>yield N-doped</i> hard carbon.....	61
<b>Tabel B.3.</b> Pengolahan data analisis XRD pada sampel <i>N-doped hard carbon</i> variasi HTC dan pirolisis.....	61
<b>Tabel B.4.</b> Pengolahan data analisis XRD pada sampel <i>N-doped</i> hard carbon variasi direct pyrolysis.....	62

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

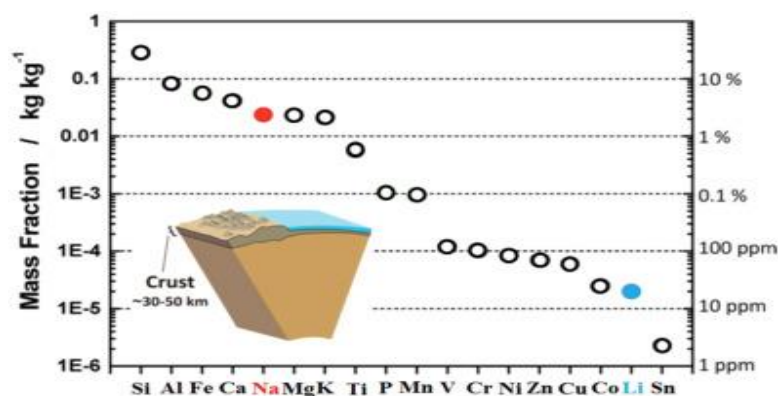
Baterai ion logam alkali yang bersifat *rechargeable* (baterai sekunder) sudah mulai dikenal oleh berbagai kalangan sebagai salah satu dari perkembangan teknologi, contohnya adalah *lithium-ion batteries* (LIBs), *sodium-ion batteries* (SIBs), dan *potassium-ion batteries* (PIBs). *Lithium-ion batteries* (LIBs) adalah salah satu teknologi yang telah berhasil diadopsi sebagai sumber daya untuk berbagai aplikasi, seperti elektronik portabel, kendaraan listrik, maupun kendaraan *hybrid* (Mirzaeian, 2021). Terlepas dari itu, LIBs belum banyak digunakan untuk aplikasi penyimpanan energi listrik dalam skala yang besar karena biaya yang cukup tinggi dan ketersediaan yang terbatas dari *lithium* sehingga membatasi penggunaannya yang dapat digunakan lebih luas. Total cadangan *lithium* diperkirakan antara 15–30 MT dengan distribusi yang tidak merata sedangkan, tingkat daur ulang Li dari LIBs bekas hanya sekitar 1 % yang dapat dianggap kurang lebih tidak ada, seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 1.1** (Speirs, dkk., 2014). Maka dari itu, diperlukan bahan pengganti yang dapat menggantikan baterai berbasis dasar ion *lithium* (LIBs) dengan bahan yang lebih hemat biaya dan mudah diperoleh.



**Gambar 1.1.** Perbandingan cadangan dan produksi logam lithium dari tahun 2013 hingga 2018 (Shahzad, dkk., 2020).

*Sodium-ion batteries* (SIBs) telah muncul sebagai alternatif yang sesuai untuk menggantikan *lithium-ion batteries* (LIBs) karena lebih murah dan sifat elektrokimianya yang serupa dimana sodium dan lithium keduanya berada pada golongan 1A, sehingga

jumlah elektron valensinya sama sehingga memiliki kereaktifan atau kemampuan untuk berikatan dengan unsur lain yang sama. Dapat dilihat pada **Gambar 1.2**, selain lebih murah dalam ekonomi, menggunakan ion natrium juga menjadi pilihan karena ion  $\text{Na}^+$  adalah unsur kelima yang paling melimpah di kerak bumi. Teknologi SIBs ini memiliki prinsip kerja yang sama dengan LIBs yaitu melibatkan konduksi ion alkali yang *reversible* antara 2 elektrode melalui medium (Dou dkk. 2019). Hal ini membuat SIBs sebagai inovasi yang cukup menjanjikan untuk menggantikan guna LIBs dalam memenuhi penyimpanan energi pada masa depan, khususnya aplikasi penyimpanan energi listrik dalam skala besar.



**Gambar 1.2.** Kelimpahan unsur di kerak bumi (Chayambuka, dkk., 2018)

Pada umumnya, anoda baterai yang digunakan untuk baterai lithium adalah karbon *graphite*. Sedangkan, pada baterai natrium (SIBs), karbon *graphite* tidak dapat digunakan sebagai anodanya karena faktor jarak ion dari ion  $\text{Na}^+$  yang besar sehingga ion  $\text{Na}^+$  sulit untuk interkalasi ke interlayer *graphite*, karena ukuran ion natrium 55 % lebih besar daripada ion lithium, sehingga anoda pada LIBs tidak cocok untuk digunakan pada SIBs (Dou dkk. 2019). Ion  $\text{Na}^+$  memiliki radius ion sebesar 1.02 Å sedangkan untuk lithium hanya sebesar 0,76 Å dan juga sistemnya secara termodinamika tidak stabil (Huang, dkk., 2018). Oleh karena itu, digunakan *hard carbon* yang dapat memuat sodium sebagai anoda baterainya.

*Hard carbon* adalah material yang mengandung karbon tetapi tidak mengalami perubahan bentuk menjadi grafit pada temperatur di atas 3000 °C atau biasa disebut *non-graphitizable carbon* (Dou dkk., 2019). *Hard carbon* yang dihasilkan dalam percobaan ini berasal dari biomassa yang ramah lingkungan, murah, dan *renewable* yaitu pati. Penggunaan pati ini dalam membentuk material karbon sangat meningkat penggunaannya dalam bidang sains dan teknologi dikarenakan harganya yang murah, prosesnya cepat, dan

ramah lingkungan karena merupakan *renewable source* (Zheng dkk., 2012). Selain itu, *hard carbon* juga memiliki sifat kapasitas penyimpanan energi yang cukup besar serta stabilitas siklus pengisian daya yang baik, sehingga baik digunakan untuk *sodium ion batteries* (Dou dkk., 2017). Penggunaan pati sebagai prekursor sintesis *hard carbon* sudah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti pendahulu. Salah satunya adalah Li dkk. (2011) dan Kubicka dkk. (2021) yang menggunakan pati dari kentang, kemudian ada penggunaan pati dari ubi (Zheng dkk., 2015), serta penggunaan pati sagu (Putri, 2021) dan pati ganyong (Ivan, 2021). Pohon sagu tumbuh baik di dataran rendah tropis lembab, hingga ketinggian 700 meter. Pohon sagu banyak tumbuh di negara tropis, khususnya di Asia Tenggara seperti Indonesia. Di seluruh dunia, produksi sagu tahun 2010 mencapai sekitar 230 juta ton (Sumardiono dkk., 2018). Ketersediaan sagu yang melimpah saat ini namun belum banyak dimanfaatkan, sehingga penelitian ini menggunakan bahan pati sagu sebagai bahan utamanya.

Dalam proses sintesis *hard carbon*, proses yang dilakukan umumnya terdiri dari karbonisasi hidrotermal dan aktivasi menggunakan proses pirolisis. Proses karbonisasi hidrotermal dinilai aman dan ramah lingkungan karena tidak melibatkan operasi pada temperatur yang tinggi (180 °C – 220 °C) (Ziegler, 2009). Proses karbonisasi hidrotermal ini akan menghasilkan produk utama berupa *char* sebanyak 50-80 %, ditambah produk cair 5-20 %, dan gas 2-5 % yang biasanya disebut dengan *hydrochar*. Selain itu, kadar *hydrochar* yang dihasilkan relatif tinggi tanpa membutuhkan energi yang besar sebelum ataupun selama proses berlangsung. Sedangkan untuk proses pirolisis, akan menghasilkan 35% padatan, 30% cairan dan 35 % gas (Libra dkk., 2011). *Hard carbon* yang ingin didapatkan pada penelitian ini adalah *hard carbon* dengan doping nitrogen yang guna meningkatkan konduktivitas dari material tersebut, sehingga dapat digunakan untuk mengakomodasi aliran elektron serta interkalasi ion sodium pada baterai (Hu dkk., 2017). Penambahan *N-doping* ini tidak hanya meningkatkan konduktivitas elektrik karbon tetapi juga dapat mengadsorpsi ion Na<sup>+</sup> dan menghasilkan kapasitas penyimpanan sodium tambahan. Hal tersebut telah dibuktikan oleh Hu dkk., (2017) pada penelitiannya, keberadaan *N-doping* pada *hard carbon* dapat meningkatkan kapasitas penyimpanan ion sodium dari 300 mAh/g menjadi 700 mAh/g.

Pada penelitian ini jenis pati yang digunakan adalah pati sagu. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya yaitu terdapat penambahan *sodium amide* (NaNH<sub>2</sub>) sebagai

*N-doping* untuk *hard carbon* dan juga sebagai aktivator dari karbon tersebut. Terdapat dua tahap yang berbeda untuk penelitian yang dilakukan, dimana akan divariasikan saat penambahan *sodamide*, yaitu saat setelah pati telah berubah menjadi *hydrochar* dan sebelum. Setelah melalui proses karbonisasi hidrotermal pati sagu, akan dilanjutkan dengan proses pirolisis sehingga didapatkan *hard carbon* yang telah didoping dengan nitrogen dari penambahan *sodamide*. Selain itu, pengaruh variasi temperatur pirolisis terhadap karakteristik *hard carbon* juga menjadi bagian dalam penelitian ini. Setelah diperoleh *hard carbon*, maka akan dilanjutkan dengan analisis karakterisasi menggunakan analisis BET, SEM-EDS, dan XRD untuk mengetahui sifat dan struktur dari *hard carbon*.

## 1.2. Tema Sentral Masalah

Hingga saat ini *sodium ion batteries* dengan anoda dari *hard carbon* sudah banyak dikembangkan untuk menggantikan graphite sebagai anoda dari *lithium ion batteries*. Selain itu, didapatkan bahwa *N-doped hard carbon* memiliki konduktivitas listrik yang lebih baik dibandingkan dengan *hard carbon* biasa. Penelitian ini bertujuan untuk mendapat *N-doped hard carbon* untuk *sodium ion batteries* yang secara komersial menggunakan bahan baku yang lebih murah dengan ketersediaan yang tinggi sehingga dapat bersaing secara jangka panjang. Sintesis *N-doped hard carbon* ini berasal dari pati sagu yang dilakukan melalui proses karbonisasi hidrotermal (HTC) dan aktivasi pirolisis dengan penambahan *sodamide* untuk mendapatkan material anoda sodium ion batteries (SIBs).

## 1.3. Identifikasi Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh rasio jumlah penambahan *sodamide* pada *hydrochar* yang terbentuk setelah proses karbonisasi hidrotermal terhadap karakteristik produk *N-doped hard carbon* meliputi *yield*, morfologi, kristalinitas dan komposisi atomik yang dihasilkan?
2. Bagaimana pengaruh adanya proses karbonisasi hidrotermal sebelum aktivasi dengan *sodamide* dibandingkan penambahan *sodamide* sebelum karbonisasi hidrotermal terhadap karakteristik produk *N-doped hard carbon* meliputi *yield*, morfologi, kristalinitas dan komposisi atomik yang dihasilkan?



3. Bagaimana pengaruh temperatur pirolisis terhadap perolehan produk *N-doped hard carbon* yang dihasilkan?

#### 1.4. Premis

Sintesis *hard carbon* telah dilakukan dengan berbagai metode variasi seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 1.1**.

#### 1.5. Hipotesis

Hipotesis yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penambahan sodium amida ( $\text{NaNH}_2$ ) dapat digunakan sebagai aktivator dan juga doping nitrogen yang dapat menambahkan kandungan nitrogen pada *N-doped hard carbon*
2. Proses karbonisasi hidrotermal sebelum dilakukan aktivasi pirolisis dapat memperoleh persentase unsur nitrogen pada *hard carbon* yang lebih tinggi dibandingkan dengan proses *direct pyrolysis*

#### 1.6. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dengan judul “Sintesis *N-Doped Hard Carbon* dari Pati Sagu dengan Proses Karbonisasi Hidrotermal Dan Aktivasi” dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh adanya proses karbonisasi hidrotermal (HTC) sebelum aktivasi dengan *sodamide* dibandingkan dengan penambahan *sodamide* sebelum karbonisasi hidrotermal terhadap karakteristik produk *N-doped hard carbon* meliputi *yield*, morfologi, kristalinitas dan komposisi atomik yang dihasilkan
2. Mengetahui pengaruh rasio jumlah penambahan *sodamide* pada *hydrochar* yang terbentuk setelah proses karbonisasi hidrotermal terhadap karakteristik produk *N-doped hard carbon* meliputi *yield*, morfologi, kristalinitas dan komposisi atomik yang dihasilkan
3. Mengetahui pengaruh temperatur pirolisis terhadap perolehan produk *N-doped hard carbon* yang dihasilkan?

## 1.7. Manfaat Penelitian

- 1.7.1. Bagi negara : Meningkatkan daya jual sumber daya alam di Indonesia yaitu pati sagu dan menaikkan taraf hidup petani penghasil sagu dengan memanfaatkannya menjadi pati yang dapat diolah menjadi *hard carbon* sebagai anoda dari baterai
- 1.7.2. Bagi masyarakat : Menambah pengetahuan bagi masyarakat agar dapat memanfaatkan sumber daya alam di Indonesia dengan harga jual yang terjangkau agar dapat menjadi suatu produk yang dapat menambah nilai jual contohnya *sodium-ion batteries* (SIBs)
- 1.7.3. Bagi industri : Memberikan alternatif untuk kemajuan teknologi dalam penyimpanan energi dalam bentuk *sodium-ion batteries* (SIBs)
- 1.7.4. Bagi ilmu pengetahuan : Menambah wawasan pengetahuan mengenai pengolahan pati sagu menjadi *hard carbon* dengan proses *Hydrothermal Carbonization (HTC)* dan pirolisis dan juga mengetahui pengaruh penambahan *sodamide* dalam kedua prosesnya

**Tabel 1.1** Variasi sintesis *N-doped hard carbon* melalui berbagai jenis proses dengan variasi pati dan biomassa

No	Bahan Baku	Proses				Kondisi Proses				Produk <i>Hard Carbon</i>				Sumber
		Karbonisasi	Aktivasi	Senyawa N-Doping		Karbonisasi		Aktivasi		Luas Permukaan (m <sup>2</sup> /g)	Ukuran partikel (μm)	Jarak Interlayer (nm)	% Karbon	
						Temperatur (°C)	Durasi	Temperatur (°C)	Durasi					
1	Pati Sagu	HTC	Pirolisis	Urea	Rasio massa 1:1	200	24 jam	900	1 jam	-	2,5441	0,3096	90,02	(Putri, 2021)
					Rasio massa 2:1									
2	Pati Ganyong	HTC	Pirolisis	Urea	Rasio massa 1:1	200	24 jam	900	1 jam	-	2,88	0,362	90,12	(Ivan, 2021)
					Rasio massa 2:1									
3	Bubuk Kering Mangga	HTC	Pirolisis	-	-	170	25 jam	900	2 jam	82	-	-	-	(Gaddam dkk., 2017)
				<i>Ethylene diamine</i>						16	1,5	0,39	-	
4	Pati Kentang	Pirolisis	Pirolisis	-	-	200-300	60 jam	1000	1 jam	-	3 - 40	0,407	90,12	(Li dkk., 2011)
5	<i>Phenolic resin</i>	HTC	Pirolisis	<i>Sodamide</i>	Rasio massa 1:1	500	2 jam	400	1 jam	735	-	-	77,7	(Wang dkk., 2017)
					Rasio massa 1:2					935			78,36	
					Rasio massa 1:1			932		85,36				
					Rasio massa 1:2			1288		83,69				

**Tabel 1.1** Variasi sintesis *N-doped hard carbon* melalui berbagai jenis proses dengan variasi pati dan biomassa (lanjutan)

No	Bahan Baku	Proses				Kondisi Proses				Produk Hard Carbon				Sumber	
		Karbonisasi	Aktivasi	Senyawa N-Doping		Karbonisasi		Aktivasi		Luas Permukaan (m <sup>2</sup> /g)	Ukuran partikel (μm)	Jarak Interlayer (nm)	% Karbon		
				Temperatur (°C)	Durasi	Temperatur (°C)	Durasi								
6	<i>Graphite Oxide</i>	HTC	Pirolisis	-	-	500	20 jam	800	1 jam	-	3 - 5	-	-	(Xing dkk., 2015)	
7	<i>Polyurethane sponge</i>	HTC	Pirolisis	Urea	-	180	6 jam	700	2 jam	112,6	-	-	-	(Hudk., 2017)	
		-	Pirolisis	Urea		-	-	-		700		16,5			0,36
			Pirolisis	Urea						700		90,1			0,35
			Pirolisis	-						900		88,1			-
8	Pati Kentang	HTC	Pirolisis	<i>Melamine</i>	Rasio massa 1:5	300	20 jam	700	6 jam	-	-	0,3875	79,02	(Kubicka dkk., 2021)	
				-	-							0,3675	93,96		
9	Pati Ubi	HTC	Pirolisis	-	-	160	10 jam	800	2 jam	79,1	0,12	-	-	(Zheng dkk., 2015)	
		HTC	-			160	10 jam	-	-	-	2 - 4				
		-	Pirolisis			-	-	800	2 jam	-	5				
10	<i>Sodium alginate</i>	HTC	Pirolisis	Urea	Rasio massa 1:2	600	1 jam	750	1 jam	1008	-	0,36	94,33	(Wang dkk., 2018)	

**Tabel 1.1** Variasi sintesis *N-doped hard carbon* melalui berbagai jenis proses dengan variasi pati dan biomassa (lanjutan)

No	Bahan Baku	Proses				Kondisi Proses				Produk <i>Hard Carbon</i>				Sumber
		Karbonisasi	Aktivasi	Senyawa N-Doping		Karbonisasi		Aktivasi		Luas Permukaan (m <sup>2</sup> /g)	Ukuran partikel (μm)	Jarak Interlayer (nm)	% Karbon	
				Temperatur (°C)	Durasi	Temperatur (°C)	Durasi							
11	<i>Lotus Root</i>	HTC	Pirolysis	<i>Soda mide</i>	Rasio massa 1:2	500	2 jam	400	1 jam	1164	-	-	68,32	(Rao dkk., 2018)
					Rasio massa 1:3			400		1087			67,95	
					Rasio massa 1:2			500		2264			74,32	
12	<i>Phenolic resin</i>	-	Pirolysis	<i>Soda mide</i>	Rasio massa 1:2	-	-	600	1 jam	2782	-	-	53,7	(Huang dkk., 2017)
								700		3180			44,3	
								800		3158			41,4	
								900		3352			41	