

SINTESIS KOMPOSIT KARBON SULFUR DARI JERAMI PADI MENGGUNAKAN KARBONISASI HIDROTERMAL DAN AKTIVASI KIMIA

Laporan Penelitian

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

oleh :

Rico

(6141801100)

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 CARBON SULFUR COMPOSITES FROM RICE STRAW USING HYDROTHERMAL CARBONIZATION AND CHEMICAL ACTIVATION

Research Report

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

by :

Rico

(6141801100)

Lecturer :

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

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



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

2022

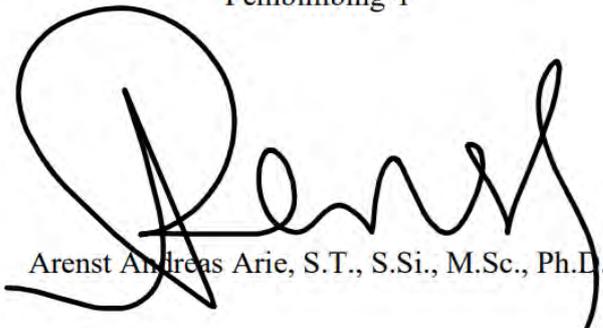
LEMBAR PENGESAHAN

**JUDUL : SINTESIS KOMPOSIT KARBON SULFUR DARI JERAMI
PADI MENGGUNAKAN KARBONISASI HIDROTERMAL
DAN AKTIVASI KIMIA**

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 : Rico

NPM : 6141801100

dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian dengan judul :

SINTESIS KOMPOSIT KARBON SULFUR DARI JERAMI PADI MENGUNAKAN KARBONISASI HIDROTERMAL DAN AKTIVASI KIMIA

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, 07 Februari 2022



Rico

(6141801100)

LEMBAR REVISI

JUDUL : SINTESIS KOMPOSIT KARBON SULFUR DARI JERAMI PADI MENGGUNAKAN KARBONISASI HIDROTERMAL DAN AKTIVASI KIMIA

CATATAN :

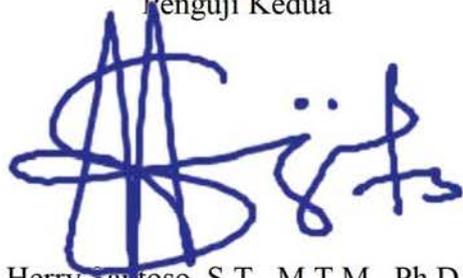
Telah diperiksa dan disetujui,
Bandung, 15 Februari 2022

Penguji Utama



Prof. Dr. Ir. Judy R. B. Witono, M.App.Sc.

Penguji Kedua



Herry Santoso, S.T., M.T.M., Ph.D.

INTISARI

Baterai litium sulfur (Li-S) merupakan baterai masa depan yang memiliki kepadatan daya dan kepadatan energi yang tinggi untuk menggantikan baterai litium ion yang saat ini digunakan dalam sistem penyimpanan energi. Baterai ini menggunakan sulfur sebagai katoda. Namun, sulfur membutuhkan struktur kerangka untuk meningkatkan konduktivitas dan meminimalkan efek ekspansi volume selama proses *charging* dan *discharging*. Kerangka ini berupa karbon aktif yang dapat disintesis dari biomassa berlignoselulosa tinggi seperti jerami padi. Penelitian ini terfokus pada pemanfaatan karbon aktif sebagai kerangka difusi sulfur pada katoda baterai litium sulfur. Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan dan porositas tinggi yang dilakukan komposit karbon sulfur sehingga berguna sebagai katoda baterai litium sulfur.

Penelitian ini dilakukan sintesis karbon aktif dari jerami padi dengan karbonisasi hidrotermal dalam autoklaf teflon pada temperatur 200 °C selama 24 jam dan dilanjutkan aktivasi kimia menggunakan KOH dan H₃PO₄ dengan memvariasikan rasio massa *hydrochar* dengan zat pengaktif (1:2 dan 1:4) yang dipanaskan pada temperatur 900 °C selama 1 jam. Karbon aktif yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan metode SEM/EDX untuk karakterisasi morfologi dan komposisi atomik serta XRD untuk karakterisasi struktur kristal. Karbon aktif kemudian dilakukan sintesis komposit karbon sulfur dengan metode *melt-diffusion* pada temperatur 155 °C selama 3 jam. Hasil sintesis komposit karbon sulfur juga dikarakterisasi lebih lanjut untuk digunakan sebagai katoda dalam baterai litium sulfur.

Peningkatan rasio impregnasi zat pengaktif KOH menghasilkan perolehan massa yang lebih kecil dan morfologi karbon aktif yang lebih berpori dengan pelebaran pada permukaannya. Akan tetapi, peningkatan rasio impregnasi zat pengaktif H₃PO₄ tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perolehan massa karbon aktif, namun menghasilkan morfologi yang lebih berpori. Penggunaan zat pengaktif KOH menghasilkan perolehan massa yang lebih rendah dan morfologi yang lebih berpori dibandingkan penggunaan zat pengaktif H₃PO₄. Profil XRD terhadap keempat karbon aktif yang dihasilkan menunjukkan struktur *amorf* yang ditandai dengan puncak lebar pada 2 θ 24° dan 43°. Komposit karbon sulfur yang dilakukan pada karbon aktif HAC-K4 menghasilkan struktur kristalin yang ditunjukkan oleh puncak-puncak tajam yang menyerupai sulfur pada profil XRD.

Kata kunci : aktivasi kimia, karbon aktif, karbonisasi hidrotermal, komposit karbon sulfur, *melt-diffusion*

ABSTRACT

Lithium-sulfur (Li-S) batteries are the future batteries that have high power density and energy density to replace lithium-ion batteries currently used in energy storage systems. This battery uses sulfur as the cathode. However, sulfur requires a framework structure to increase conductivity and minimize the effect of volume expansion during charging and discharging processes. This framework is in the form of activated carbon which can be synthesized from high lignocellulosic biomass such as rice straw. This research focuses on the utilization of activated carbon as a sulfur diffusion framework at the cathode of a lithium-sulfur battery. The purpose of this research is to produce activated carbon with a high surface area and porosity made of carbon-sulfur composite so that it is useful as a lithium-sulfur battery cathode.

This research was carried out on the synthesis of activated carbon from rice straw by hydrothermal carbonization in a teflon autoclave at a temperature of 200 °C for 24 hours and followed by chemical activation using KOH and H₃PO₄ by varying the mass ratio of hydrochar with an activating agent (1:2 and 1:4) heated at 900 °C for 1 hour. The resulting activated carbon was characterized using the SEM/EDX method for the characterization of morphology and atomic composition. Also, XRD for the characterization of the crystal structure. The activated carbon was then synthesized with the melt-diffusion method at a temperature of 155°C for 3 hours. The results of the synthesis carbon-sulfur composites were also further characterized for use as cathodes lithium-sulfur batteries.

Increasing the impregnation ratio of the KOH activator resulted in a smaller yield and a more porous activated carbon morphology with the widening of the surface. However, increasing the impregnation ratio of the H₃PO₄ activating agent did not have a significant effect on the yield of activated carbon, but resulted in a more porous morphology. The use of KOH activator resulted in lower yield and more porous morphology than the use of H₃PO₄ activator. The XRD profile of the four activated carbons showed an amorphous structure characterized by broad peaks at 2θ 24° and 43°. Carbon-sulfur composites carried out on activated carbon HAC-K4 produced a crystalline structure indicated by sharp peaks resembling sulfur in the XRD profile.

Keywords: chemical activation, activated carbon, hydrothermal carbonization, carbon-sulfur composite, melt-diffusion

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian dengan judul “Sintesis Komposit Karbon Sulfur dari Jerami Padi Menggunakan Karbonisasi Hidrotermal dan Aktivasi Kimia” ini tepat pada waktunya. Laporan penelitian ini disusun untuk memenuhi salah satu tugas akhir guna mencapai gelar sarjana Strata-1 Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung. Dalam penyusunan laporan penelitian ini, penulis mendapat berbagai bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

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

Penulis menyadari bahwa laporan penelitian ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan segala bentuk kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak. Akhir kata, semoga laporan penelitian ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Bandung, 15 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.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
INTISARI.....	xii
<i>ABSTRACT</i>	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tema Sentral Masalah	3
1.3 Identifikasi Masalah.....	4
1.4 Premis	5
1.5 Hipotesis	7
1.6 Tujuan Penelitian	7
1.7 Manfaat Penelitian	8
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Jerami Padi.....	9
2.2 Sintesis Karbon Aktif.....	11
2.3 Karbonisasi	13
2.3.1 Karbonisasi Pirolisis.....	13
2.3.2 Karbonisasi Hidrotermal	13
2.4 Aktivasi.....	17
2.4.1 Aktivasi Fisika.....	17
2.4.2 Aktivasi Kimia	18
2.4.2.1 Aktivasi Kimia dengan KOH	18
2.4.2.2 Aktivasi Kimia dengan ZnCl ₂	19

2.4.2.3 Aktivasi Kimia dengan H ₃ PO ₄	19
2.5 Komposit Karbon Sulfur.....	21
2.6 Analisis	22
2.6.1 <i>Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-Ray</i> (SEM/EDX)	22
2.6.2 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	23
BAB 3 METODE PENELITIAN	25
3.1 Tahap Penelitian	25
3.2 Bahan dan Alat Penelitian.....	26
3.3 Prosedur Kerja Penelitian	28
3.3.1 <i>Pre-treatment</i> Bahan Baku.....	28
3.3.2 Sintesis Karbon Aktif (Karbonisasi Hidrotermal – Aktivasi Kimia)	29
3.3.3 Sintesis Komposit Karbon Sulfur.....	31
3.4 Analisis	31
3.5 Variasi Penelitian	32
3.6 Lokasi dan Jadwal Kerja Penelitian.....	32
BAB 4 PEMBAHASAN	34
4.1 Sintesis <i>Hydrochar</i>	34
4.2 Sintesis Karbon Aktif.....	35
4.2.1 Perolehan Massa Karbon Aktif	35
4.2.2 Analisis SEM/EDX Karbon Aktif.....	36
4.2.3 Analisis XRD Karbon Aktif.....	38
4.3 Sintesis Komposit Karbon Sulfur	40
4.3.1 Analisis EDX Komposit Karbon Sulfur.....	40
4.3.2 Analisis XRD Komposit Karbon Sulfur.....	40
BAB 5 KESIMPULAN	42
5.1 Kesimpulan	42
5.2 Saran	42
DAFTAR PUSTAKA.....	44

LAMPIRAN A : <i>MATERIAL SAFETY DATA SHEET</i>	50
A.1 Karbon Aktif	50
A.2 Sulfur	50
A.3 Nitrogen	51
A.4 Etanol	52
A.5 Asam Klorida	53
A.6 Natrium Hidroksida	54
A.7 Kalium Hidroksida.....	55
A.8 Asam Fosfat	56
LAMPIRAN B : CONTOH PERHITUNGAN	57
B.1 Perolehan Massa <i>Hydrochar</i>	57
B.2 Perolehan Massa Karbon Aktif	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Skema sel baterai Li-S	2
Gambar 2.1 Jerami padi.....	9
Gambar 2.2 Komponen utama dan struktur kimia lignoselulosa.....	10
Gambar 2.3 Perbandingan (a) struktur tiga dimensi grafit dan (b) struktur turbostatik karbon aktif.....	12
Gambar 2.4 Struktur pori karbon aktif	12
Gambar 2.5 Mekanisme pembentukan partikel <i>hydrochar</i> dari selulosa dengan karbonisasi hidrotermal	15
Gambar 2.6 Mekanisme pembentukan partikel <i>hydrochar</i> dari hemiselulosa (D-xilosa) dengan karbonisasi hidrotermal.....	16
Gambar 2.7 Mekanisme pembentukan partikel <i>hydrochar</i> dari lignin dengan karbonisasi hidrotermal	17
Gambar 2.8 Transformasi struktur sulfur dalam berbagai temperatur	21
Gambar 2.9 Skema SEM/EDX.....	22
Gambar 2.10 Profil SEM (a) karbon aktif, (b,c) komposit karbon sulfur, dan (d) EDX komposit karbon sulfur.....	23
Gambar 2.11 Ilustrasi detektor difraktometer digerakkan dengan busur pada 2θ	24
Gambar 2.12 Profil XRD sulfur, karbon aktif dan komposit karbon sulfur.....	24
Gambar 3.1 Skema proses sintesis karbon aktif dari jerami padi dan komposit karbon sulfur	26
Gambar 3.2 Autoklaf Teflon	27
Gambar 3.3 <i>Furnace</i>	27
Gambar 3.4 Skema persiapan jerami padi	28
Gambar 3.5 Skema karbonisasi hidrotermal.....	29
Gambar 3.6 Skema aktivasi kimia.....	30
Gambar 3.7 Skema sintesis komposit karbon sulfur	31
Gambar 4.1 Hasil <i>hydrochar</i> dari jerami padi.....	35
Gambar 4.2 Hasil analisis SEM (a) mikrofibril jerami padi dan karbon aktif (b) HAC-P2, (c) HAC-P4, (d) HAC-K2, dan (e) HAC-K4.....	36
Gambar 4.3 Hasil analisis XRD (a) karbon aktif HAC-P2, HAC-P4, HAC-K2, dan HAC-K4 dan (b) karbon aktif komersial	39

Tabel 4.4 Kristalinitas dan <i>amorf</i> pada karbon aktif	39
Tabel 4.5 Komposisi atomik karbon aktif dan komposit karbon sulfur KOH 1:4	40

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Variasi percobaan terhadap karbon aktif yang dihasilkan.....	5
Tabel 1.1 Variasi percobaan terhadap karbon aktif yang dihasilkan (lanjutan)	6
Tabel 1.2 Variasi percobaan terhadap komposit karbon sulfur yang dihasilkan.....	6
Tabel 2.1 Klasifikasi tanaman padi	9
Tabel 2.2 Reaksi karbonisasi pirolisis pada berbagai suhu	13
Tabel 3.1 Variasi penelitian karbonisasi hidrotermal dengan aktivasi kimia.....	32
Tabel 3.2 Jadwal kerja penelitian	33
Tabel 4.1 Hasil <i>hydrochar</i>	34
Tabel 4.2 Perolehan massa karbon aktif.....	35
Tabel 4.3 Komposisi atomik jerami padi, karbon aktif penelitian dan karbon aktif komersial	38
Tabel 4.4 Kristalinitas dan <i>amorf</i> pada karbon aktif	39
Tabel 4.5 Komposisi atomik karbon aktif dan komposit karbon sulfur KOH 1:4	40

BAB 1

PENDAHULUAN

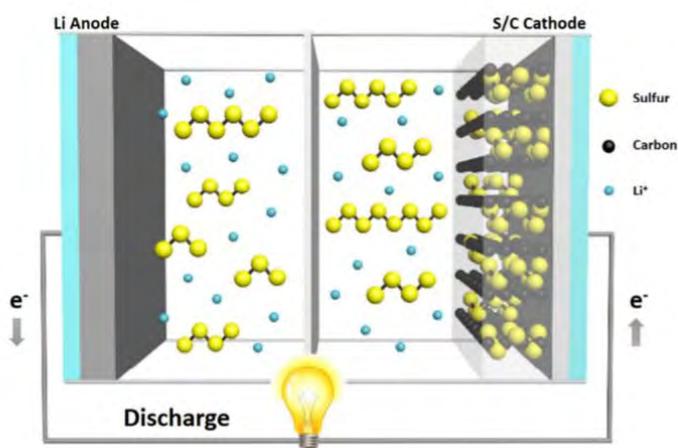
1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi yang semakin pesat memunculkan urgensi dalam pengembangan sumber energi terbarukan dan efisien untuk menggantikan sistem penyimpanan energi yang konvensional (Megahed dan Scrosati, 1994). Kebutuhan ini dilatarbelakangi oleh perkembangan kendaraan listrik dan perangkat portabel yang membutuhkan penyimpanan energi dengan kepadatan daya dan kepadatan energi yang tinggi (Baikalov, dkk., 2020). Penggunaan energi listrik sebagai pengganti bahan bakar fosil juga merupakan langkah penting untuk mengatasi efek rumah kaca yang disebabkan oleh emisi CO₂ (Lin dan Liang, 2014). Pemanfaatan energi listrik membutuhkan sistem penyimpanan energi listrik yang ramah lingkungan. Salah satu pilihan yang banyak digunakan untuk sistem penyimpanan dan konversi energi elektrokimia yang dibutuhkan dalam pengembangan energi terbarukan dan efisien adalah baterai (Abbas, dkk., 2020).

Baterai litium ion merupakan baterai yang memiliki kepadatan energi tertinggi di antara baterai sekunder lainnya dan tidak memiliki *memory effect* akibat pengisian berulang pada baterai yang menyebabkan baterai kehilangan kapasitas secara bertahap sehingga dapat menghasilkan siklus hidup yang panjang (Baikalov, dkk., 2020; Iclodean, dkk., 2017; Sasaki, dkk., 2014). Namun, baterai litium ion tidak dapat memenuhi kebutuhan kepadatan daya dan kepadatan energi pada kendaraan listrik generasi baru. Selain itu, logam transisi seperti kobalt, nikel, dan mangan yang digunakan sebagai katoda dalam baterai litium juga mahal dan toksik sehingga mulai dikembangkan alternatif katoda seperti sulfur untuk mengatasi tantangan baterai litium di bidang sistem penyimpanan energi (Baikalov, dkk., 2020).

Baterai litium sulfur (Li-S) telah menarik banyak perhatian dalam beberapa tahun terakhir di bidang sistem penyimpanan energi elektrokimia karena memiliki kepadatan energi teoritis ($2.600 \text{ Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$) dengan kapasitas spesifik ($1.675 \text{ mAh}\cdot\text{g}^{-1}$) yang lebih tinggi (Rentero et al. 2018) dibandingkan dengan baterai komersial litium ion seperti LiCoO₂ dan LiNi_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}O₂ yang memiliki kapasitas spesifik secara berurutan $150 \text{ mAh}\cdot\text{g}^{-1}$ and $188 \text{ mAh}\cdot\text{g}^{-1}$ (Baikalov, dkk., 2020). Perbedaan ini didasarkan pada jumlah elektron yang terlibat dalam reaksi elektrokimia baterai litium sulfur (2 elektron) dan baterai litium ion (1 elektron) (Baikalov, dkk., 2020; Rentero, dkk., 2018).

Sulfur merupakan residu dari industri petrokimia yang melimpah dan murah (Benítez, dkk., 2020). Namun sulfur bersifat non-konduktif dan membentuk *polysulfide*. Pembentukan *polysulfide* ini menyebabkan perubahan volume yang besar pada katoda dan *polysulfide* yang larut dalam elektrolit akan menimbulkan hilangnya bahan aktif dan efisiensi coulomb. Dengan pembuatan komposit karbon sulfur sebagai katoda baterai litium sulfur ini diharapkan dapat menghasilkan konduktivitas yang tinggi dan ruang yang cukup untuk mengakomodasi perubahan volume selama proses *charging* dan *discharging* (Benítez, dkk., 2020; Zukalová, dkk., 2021). Dalam sel baterai Li-S, sulfur (S_8) dan litium titanate ($Li_4Ti_5O_{12}$) masing-masing digunakan sebagai elektroda positif dan negatif, dengan elektrolit cair sebagai media transfer muatan dan konduktor ionik dalam katoda yang mengandung sulfur seperti yang disajikan pada Gambar 1.1 (Lin dan Liang, 2014).



Gambar 1.1 Skema sel baterai Li-S (Lin dan Liang, 2014)

Sulfur membutuhkan karbon berpori untuk menjebak pelarutan *polysulfide* dalam elektrolit sehingga untuk memproduksi karbon aktif dibutuhkan biomassa (Rentero, dkk., 2018). Biomassa merupakan prekursor karbon yang melimpah, biaya rendah dan ramah lingkungan. Berbagai biomassa seperti biji ceri, biji zaitun, arang bakau, sekam padi, kulit kacang dan kapas sebagai prekursor karbon telah diteliti untuk memperoleh kapasitas dan sifat elektrokimia yang baik apabila digunakan sebagai komposit karbon sulfur dalam baterai litium sulfur (Mai, dkk., 2019). Produksi karbon aktif menggunakan biomassa produk samping pertanian karena tingginya biaya produksi karbon aktif komersial dari batu bara, kayu, dan tempurung kelapa (Adinaveen, dkk., 2014). Dalam proses pengolahan padi menjadi beras akan menghasilkan produk samping berupa jerami padi (Adinaveen, dkk.,

2014). Setiap kilogram gabah yang dipanen menghasilkan jerami padi sekitar 1–1,5 kg. Sebagian besar jerami padi dimanfaatkan sebagai pakan ternak dan sisanya sebagai limbah. Limbah jerami padi yang dihasilkan seringkali langsung dibakar sehingga dapat meningkatkan polusi udara dan berdampak negatif terhadap kesehatan masyarakat (Binod, dkk., 2010). Oleh karena itu, jerami padi berpotensi menjadi biomassa untuk memproduksi karbon aktif karena memiliki lignoselulosa yang berlimpah (Adinaveen, dkk., 2014; Binod, dkk., 2010).

Pemanfaatan jerami padi sebagai biomassa untuk sintesis karbon aktif telah dilakukan oleh berbagai peneliti sebelumnya. Pada penelitian yang dilakukan oleh Oh dan Park (2002) dilakukan sintesis satu tahap karbon aktif dari jerami padi dengan menggunakan aktivasi kimia KOH dengan rasio massa bahan baku : zat pengaktif (1:4) pada temperatur 800 °C menghasilkan luas permukaan sebesar 900 m²/g. Sintesis serupa juga dilakukan oleh Fierro, dkk. (2010) yang menggunakan aktivasi kimia H₃PO₄ dengan rasio massa bahan baku : zat pengaktif (1,6:1) pada temperatur 450 °C menghasilkan luas permukaan sebesar 786 m²/g. Saat ini, belum ditemukan penelitian yang melakukan sintesis dua tahap karbon aktif dari jerami padi yang menggunakan karbonisasi hidrotermal dengan aktivasi kimia KOH maupun H₃PO₄.

Pada penelitian ini dilakukan sintesis karbon aktif dan kompositnya dengan sulfur dari jerami padi. Sintesis karbon aktif dilakukan melalui karbonisasi hidrotermal dengan aktivasi kimia (Chang, dkk., 2012). Sintesis karbon aktif dengan karbonisasi hidrotermal menghasilkan *hydrochar* dan dilanjutkan dengan aktivasi kimia untuk meningkatkan porositas karbon aktif. Adapun variasi utama yang dilakukan pada sintesis karbon aktif yaitu dengan memvariasikan zat pengaktif dan rasio massa *hydrochar* dengan zat pengaktif yang digunakan. Karbon aktif yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan metode SEM/EDX dan XRD. Setelah mengetahui karbon aktif yang memiliki karakteristik terbaik, sulfur dicampurkan dengan karbon aktif menggunakan metode difusi lebur. Komposit karbon sulfur yang dihasilkan juga dikarakterisasi dan kemudian digunakan sebagai katoda dalam baterai litium sulfur.

1.2 Tema Sentral Masalah

Sulfur sebagai pengganti katoda pada baterai litium cenderung membentuk *polysulfide* yang dapat menyebabkan ekspansi volume pada katoda. Oleh karena itu, dibutuhkan karbon berpori untuk menjebak sulfur agar tidak terjadi pelarutan *polysulfide*.

Karbon aktif merupakan salah satu karbon yang memiliki luas permukaan dan porositas tinggi yang dapat dimanfaatkan bersama dengan sulfur dalam aplikasi katoda baterai litium sulfur. Dalam penelitian ini digunakan jerami padi sebagai biomassa pembuatan karbon aktif. Karbon aktif kemudian dicampur dengan sulfur membentuk komposit karbon sulfur menggunakan metode difusi lebur. Sulfur yang terdifusi secara optimal ke dalam karbon aktif inilah kemudian digunakan sebagai katoda dalam baterai litium sulfur.

1.3 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang dan tema sentral masalah penelitian diatas, identifikasi masalah untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh rasio massa *hydrochar* dengan massa zat pengaktif KOH terhadap karakteristik (perolehan massa, morfologi, dan struktur kristal) karbon aktif yang dihasilkan dari karbonisasi hidrotermal dan aktivasi KOH?
2. Bagaimana pengaruh rasio massa *hydrochar* dengan massa zat pengaktif H_3PO_4 terhadap karakteristik (perolehan massa, morfologi, dan struktur kristal) karbon aktif yang dihasilkan dari karbonisasi hidrotermal dan aktivasi H_3PO_4 ?
3. Bagaimana perbandingan karakteristik (perolehan massa, morfologi, dan struktur kristal) karbon aktif yang dihasilkan dari karbonisasi hidrotermal dengan aktivasi kimia menggunakan KOH dan H_3PO_4 ?
4. Bagaimana karakteristik (struktur kristal) komposit karbon sulfur yang dihasilkan dari metode *melt-diffusion*?

1.4 Premis

Berdasarkan studi literatur, variasi percobaan terhadap karbon aktif yang dihasilkan dari berbagai peneliti disajikan pada Tabel 1.1 dan variasi percobaan terhadap komposit karbon sulfur yang dihasilkan disajikan pada Tabel 1.2.

Tabel 1.1 Variasi percobaan terhadap karbon aktif yang dihasilkan

No	Biomassa	Karbonisasi	Zat Pengaktif	Rasio massa <i>hydrochar</i> : zat pengaktif	Temperatur Aktivasi, °C	Luas Permukaan, m ² /g	Daftar Pustaka
1	Tepung kentang	Hidrotermal	KOH	1:4	700	2.273	(Wei, dkk., 2011)
	Serbuk gergaji kayu <i>eucalyptus</i>	Hidrotermal	KOH	1:4	700	2.331	(Wei, dkk., 2011)
	Serbuk gergaji kayu <i>eucalyptus</i>	Hidrotermal	KOH	1:4	800	2.967	(Wei, dkk., 2011)
2	Biji anggur	Hidrotermal	KOH	1:2	750	1.215	(Diaz, dkk., 2019)
	Biji anggur	Hidrotermal	KOH	1:3	750	2.194	(Diaz, dkk., 2019)
	Biji anggur	Hidrotermal	KOH	1:4	750	1.780	(Diaz, dkk., 2019)
3	Pohon cemara	Hidrotermal	KOH	1:4	700	2.220	(Falco, dkk., 2013)
	Tongkol jagung	Hidrotermal	KOH	1:4	700	2.300	(Falco, dkk., 2013)
4	Limbah teh	Hidrotermal	KOH	1:4	800	2.129	(Arie, dkk., 2019)
5	Jerami padi	-	KOH	1:4	800	900	(Oh dan Park, 2002)
6	Jerami padi	-	H ₃ PO ₄	1,6:1	450	786	(Fierro, dkk., 2010)
7	Kulit <i>pistachio</i>	-	H ₃ PO ₄ 3M	1:1	800	1.345	(Benítez, dkk., 2020)
8	Daun teh bekas	-	H ₃ PO ₄	1:1	600	1.202,8	(Wong, dkk., 2018)

Tabel 1.1 Variasi percobaan terhadap karbon aktif yang dihasilkan (lanjutan)

No	Biomassa	Karbonisasi	Zat Pengaktif	Rasio massa <i>hydrochar</i> : zat pengaktif	Temperatur Aktivasi, °C	Luas Permukaan, m ² /g	Daftar Pustaka
9	Tongkol jagung	Hidrotermal	H ₃ PO ₄ 85%	1:2	400	1.619	(Chen, dkk., 2017)
	Tongkol jagung	Hidrotermal	H ₃ PO ₄ 85%	1:3	400	2.192	(Chen, dkk., 2017)
	Tongkol jagung	Hidrotermal	H ₃ PO ₄ 85%	1:4	400	1.896	(Chen, dkk., 2017)
	Tongkol jagung	Hidrotermal	H ₃ PO ₄ 85%	1:6	400	1.237	(Chen, dkk., 2017)
10	Kacang <i>hickory</i>	Hidrotermal	H ₃ PO ₄ 85%	1:1	600	1.436	(Fang, dkk., 2017)
	Kulit kacang	Hidrotermal	H ₃ PO ₄ 85%	1:1	600	1.091	(Fang, dkk., 2017)

Tabel 1.2 Variasi percobaan terhadap komposit karbon sulfur yang dihasilkan

No	Biomassa	Zat Pengaktif	Rasio massa <i>hydrochar</i> : zat pengaktif	Metode	Luas Permukaan, m ² /g	Kadar Sulfur, %-b/b	Kristalinitas, %	Daftar Pustaka
1	Limbah teh	KOH	1:4	<i>Melt-diffusion</i>	251	61,5	-	(Arie, dkk., 2019)
2	Kulit bawang bombay	KOH	1:3	<i>Melt-diffusion</i>	-	-	77,7	(Prijadi, 2020)
	Kulit bawang bombay	KOH	1:4	<i>Melt-diffusion</i>	-	-	75,7	(Prijadi, 2020)
	Kulit bawang bombay	KOH	1:5	<i>Melt-diffusion</i>	-	-	76,3	(Prijadi, 2020)
3	Kulit kentang	KOH	1:3	<i>Melt-diffusion</i>	-	-	53	(Lenora, 2020)
	Kulit kentang	KOH	1:4	<i>Melt-diffusion</i>	-	-	49,4	(Lenora, 2020)
4	Tandan kosong kelapa sawit	KOH dan katalis FeCl ₃	1:2	<i>Melt-diffusion</i>	143	62,34	45,3	(Lauwira, 2021)

1.5 Hipotesis

Berdasarkan identifikasi masalah pada sub bab 1.3, maka hipotesis yang diusulkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Semakin besar rasio massa *hydrochar* dengan massa zat pengaktif KOH akan menurunkan perolehan massa dan diameter pori yang kecil pada permukaan karbon aktif. Akan tetapi pada rasio yang terlalu besar melewati kondisi optimum, dinding antar pori pada karbon aktif akan terdegradasi sehingga diameter pori pada permukaan membesar. Struktur dari karbon aktif yang dihasilkan berupa struktur *amorf*.
2. Semakin besar rasio massa *hydrochar* dengan massa zat pengaktif H_3PO_4 akan menurunkan perolehan massa dan diameter pori yang kecil pada permukaan karbon aktif. Struktur dari karbon aktif yang dihasilkan berupa struktur *amorf*.
3. Karbon aktif yang dihasilkan melalui karbonisasi hidrotermal dengan aktivasi kimia KOH akan menghasilkan perolehan massa karbon aktif yang lebih kecil, struktur yang lebih berpori dan *amorf* dibandingkan aktivasi kimia H_3PO_4 .
4. Pada saat pembuatan komposit karbon sulfur, struktur kristalinitas bergantung pada sulfur yang terdifusi ke dalam karbon aktif. Sulfur yang terdifusi secara sempurna akan menghasilkan struktur *amorf*, sedangkan sulfur yang terdifusi secara berlebihan akan menghasilkan struktur kristal.

1.6 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah sintesis karbon aktif dari jerami padi dengan karbonisasi hidrotermal dan aktivasi kimia menggunakan zat pengaktif KOH dan H_3PO_4 untuk menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan dan porositas tinggi yang kemudian dibuat komposit karbon sulfur dengan sulfur yang terdifusi dan terperangkap secara merata ke dalam material karbon sehingga dapat dimanfaatkan sebagai katoda pada baterai litium sulfur.

1.7 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat untuk Negara

Penelitian ini diharapkan dapat membantu pemerintah dalam upaya menurunkan emisi karbon di Indonesia dengan pengembangan energi terbarukan.

2. Manfaat untuk Industri

Penelitian ini diharapkan dapat mewujudkan pengembangan industri yang lebih ramah lingkungan dan ekonomis, serta menjawab kebutuhan industri mengenai sistem penyimpanan energi dengan kepadatan energi yang lebih tinggi.

3. Manfaat untuk Masyarakat

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi alternatif pengelolaan limbah jerami padi yang lebih ekonomis dan menciptakan baterai litium sulfur yang dapat digunakan oleh masyarakat luas.

4. Manfaat untuk Ilmu Pengetahuan

Penelitian ini diharapkan dapat memperluas pengetahuan baru mengenai pemanfaatan limbah biomassa yang dapat menciptakan sistem penyimpanan energi yang lebih baik.