

# **SINTESIS KOMPOSIT KARBON SULFUR DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) DENGAN KARBONISASI HIDROTERMAL DAN AKTIVASI KIMIA MENGGUNAKAN $ZnCl_2$ DAN $FeCl_3$**

## **Laporan Penelitian**

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

Oleh:

**Ferlin Prisca**  
**(2017620130)**

Dosen Pembimbing:

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

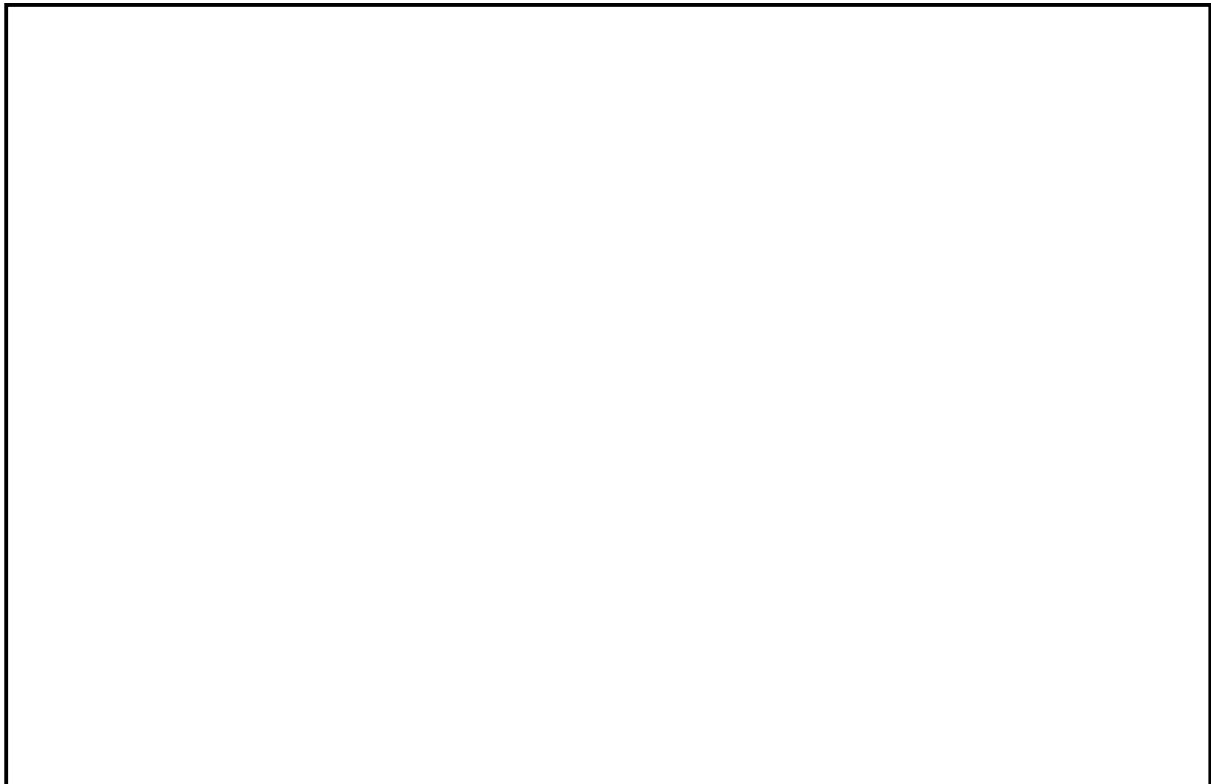


**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
BANDUNG  
2021**

## LEMBAR PENGESAHAN

JUDUL : SINTESIS KOMPOSIT KARBON SULFUR DARI TANDAN KOSONG  
KELAPA SAWIT (TKKS) DENGAN KARBONISASI HIDROTERMAL DAN  
AKTIVASI KIMIA MENGGUNAKAN  $ZnCl_2$  DAN  $FeCl_3$

CATATAN :



Telah diperiksa dan disetujui,

Bandung, 1 Maret 2021

Pembimbing Pertama



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

Pembimbing Kedua



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

## LEMBAR REVISI

JUDUL : SINTESIS KOMPOSIT KARBON SULFUR DARI TANDAN KOSONG  
KELAPA SAWIT (TKKS) DENGAN KARBONISASI HIDROTERMAL DAN  
AKTIVASI KIMIA MENGGUNAKAN  $ZnCl_2$  DAN  $FeCl_3$

CATATAN :

Telah diperiksa dan disetujui,

Bandung, 22 Februari 2021

Penguji



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

Penguji



**Dr. Angela Justina Kumalaputri, 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 : Ferlin Prisca

NPM : 2017620130

Dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian dengan judul:

**SINTESIS KOMPOSIT KARBON SULFUR DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) DENGAN KARBONISASI HIDROTERMAL DAN AKTIVASI KIMIA MENGGUNAKAN  $ZnCl_2$  DAN  $FeCl_3$**

Adalah hasil pekerjaan saya dan seluruh ide, pendapat, materi, atau sumber lain telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan, maka saya bersedia menanggung sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Bandung, 1 Maret 2021



Ferlin Prisca  
(2017620130)

## INTISARI

Karbon aktif merupakan senyawa karbon amorf yang memiliki porositas serta luas area yang tinggi. Karbon aktif dapat digunakan untuk berbagai macam aplikasi, antara lain adsorben logam berat, support katalis, elektroda superkapasitor, dan bahan dasar komposit karbon sulfur sebagai katoda baterai lithium sulfur. Karbon aktif awalnya disintesis dengan menggunakan batu bara yang merupakan bahan baku tak terbarukan sehingga diperlukan alternatif lain. Alternatif bahan baku pembuatan karbon aktif adalah biomassa seperti tandan kosong kelapa sawit. Baterai litium merupakan baterai isi ulang yang banyak digunakan sebagai media penyimpanan energi. Namun baterai lithium memiliki beberapa keterbatasan, antara lain menggunakan zat-zat yang beracun dari katodanya, seperti kobalt dan nikel. Sulfur merupakan material katoda alternatif yang memiliki potensi kapasitas penyimpanan energi yang baik namun, dalam bentuk unsurnya sulfur bersifat non konduktif. Kekurangan ini dapat diatasi dengan membuat komposit karbon aktif sulfur yang menjadi fokus pada penelitian ini.

Pada penelitian ini, komposit karbon sulfur akan disintesis dari karbon aktif yang berasal dari tandan kosong kelapa sawit. Karbon aktif dibuat dengan menggunakan 2 tahapan proses, yaitu karbonisasi hidrotermal dan aktivasi kimia. Karbonisasi hidrotermal dilakukan dengan bantuan reaktor autoklaf pada temperatur 200 °C selama 24 jam. *Hydrochar* yang diperoleh akan diaktivasi menggunakan aktivator  $ZnCl_2$  dan katalis  $FeCl_3$  dengan bervariasi rasio massa *hydrochar* terhadap aktivator (1:3, 1:5) pada temperatur aktivasi 900 °C. Karbon aktif yang dihasilkan akan dianalisis perolehan massa, luas permukaan, morfologi, dan kristalinitasnya. Komposit karbon sulfur kemudian disintesis dengan mencampurkan karbon aktif dengan sulfur pada rasio massa 1:3 dengan menggunakan metode difusi lebur. Karbon aktif dan komposit karbon sulfur yang diperoleh akan dikarakterisasi dengan metode BET, SEM, EDS, dan XRD.

Penambahan rasio massa aktivator  $ZnCl_2$  pada proses aktivasi tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap perolehan massa dan %kristalinitas. Namun, karbon aktif yang diaktivasi dengan penggunaan aktivator  $ZnCl_2$  saja terlihat memberikan peningkatan luas permukaan dan pori-pori pada permukaan yang lebih lebar daripada dengan penambahan  $ZnCl_2$  dan  $FeCl_3$ . Sementara itu, penambahan katalis  $FeCl_3$  memberikan %kristalinitas yang lebih tinggi namun tidak tampak membentuk *graphitic layer* pada karbon aktif yang dihasilkan. Senyawa karbon sulfur yang dihasilkan memiliki %kristalinitas yang lebih tinggi daripada karbon aktif sedangkan hasil XRD yang didapatkan serupa dengan literatur. Puncak XRD yang didapatkan pada senyawa karbon sulfur serupa dengan milik sulfur, yaitu pada sudut difraksi 23°, 26°, dan 28°.

Kata kunci : Karbon aktif, komposit karbon sulfur, hidrotermal, rasio aktivator

## ABSTRACT

*Activated carbon is an amorphous carbon compound that has high porosity and surface area. Activated carbon can be used for a variety of applications, including as heavy metal's adsorbents, catalyst's supports, supercapacitor's electrodes, and carbon-sulfur composite's base material for lithium sulfur battery cathodes. Initially, activated carbon was synthesized using coal, which is a non-renewable raw material, as such, another alternative is needed. An alternative raw material for making activated carbon are biomasses such as oil palm empty fruit bunches. Lithium battery is a rechargeable battery that is widely used as an energy storage medium. However, lithium batteries have several limitations, including the usage of toxic substances as its cathode material, such as cobalt and nickel. Sulfur is an alternative cathode material that has potential as a good energy storage capacity but, in its elemental form, sulfur is non-conductive. This deficiency could be overcome by making carbon-sulfur composites which is the focus of this research.*

*In this research, carbon-sulfur composites were synthesized from oil palm empty fruit bunches derived activated carbon. Activated carbon was made using a two-stage process, namely hydrothermal carbonization and chemical activation. Hydrothermal carbonization was carried out with the help of an autoclave reactor at 200 °C for 24 hours. The obtained hydrochar was activated using ZnCl<sub>2</sub> activator and FeCl<sub>3</sub> catalyst by varying the mass ratio of hydrochar to activator (1: 3, 1: 5) at an activation temperature of 900 °C. The resulting activated carbon was analyzed for its yield, surface area, morphology, and crystallinity. The carbon-sulfur composite was then synthesized by mixing activated carbon with sulfur at a mass ratio of 1: 3 using melt-diffusion method. The activated carbon and carbon-sulfur composite obtained were characterized by BET, SEM, EDS, and XRD analysis.*

*The addition of ZnCl<sub>2</sub> activator mass ratio at the activation process did not have a significant effect on yield and crystallinity. However, activated carbon activated with the use of ZnCl<sub>2</sub> activator alone appeared to increase surface area and provide wider pores on the surface of the activated carbon than those with the addition of ZnCl<sub>2</sub> and FeCl<sub>3</sub>. Meanwhile, the addition of FeCl<sub>3</sub> catalyst gives a higher %crystallinity but does not appear to form a graphitic layer on the generated activated carbon. The resulting carbon-sulfur compound has a higher % crystallinity than activated carbon while the XRD results obtained are similar to the ones found in the literature. The XRD peaks obtained in sulfur carbon compounds are similar to those of sulfur, namely at the diffraction angles of 23°, 26°, and 28°.*

*Keywords: Activated carbon, carbon-sulfur composite, hydrothermal, activator ratio*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat diberikan kesempatan untuk menyelesaikan laporan penelitian yang berjudul “Sintesis Komposit Karbon Sulfur dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dengan Karbonisasi Hidrotermal dan Aktivasi Kimia Menggunakan  $ZnCl_2$  dan  $FeCl_3$ ” ini tepat pada waktunya. Laporan penelitian ini disusun guna memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Strata-1 Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung. Dalam penyusunan penelitian ini tentunya penulis tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis dengan senang hati menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Arenst Andreas Arie, S.T., S.Si., M.Si., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, ilmu pengetahuan, waktu dan saran selama proses penyusunan penelitian ini.
2. Hans Kristianto, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, ilmu pengetahuan, waktu dan saran selama proses penyusunan penelitian ini.
3. Orang tua serta keluarga penulis atas doa dan dukungannya baik secara material maupun moral.
4. Teman-teman Program Studi Teknik Kimia UNPAR atas dukungan dan saran yang diberikan kepada penulis pada saat penyusunan penelitian ini.
5. Pihak-pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak.

Penulis menyadari bahwa dalam penelitian ini banyak kekurangan dan masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu dengan hati yang terbuka penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat membangun dan mengembangkan penulis dalam penyusunan laporan berikutnya. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas perhatian pembaca. Penulis berharap agar laporan penelitian ini dapat menjadi manfaat bagi pembaca.

Bandung, 1 Maret 2021

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
SURAT PERNYATAAN.....	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL .....	x
INTISARI.....	xi
<i>ABSTRACT</i> .....	xii
BAB 1 .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tema Sentral .....	4
1.3 Identifikasi Masalah.....	4
1.4 Premis .....	6
1.5 Hipotesis .....	8
1.6 Tujuan Penelitian .....	8
1.7 Manfaat Penelitian .....	8
BAB 2.....	10
2.1. Tandan Kosong Kelapa Sawit.....	10
2.2. Karbon Aktif .....	14
2.3. Pembuatan Karbon Aktif .....	16
2.3.1. Karbonisasi Konvensional.....	17
2.3.2. Karbonisasi Hidrotermal.....	17
2.4. Proses Aktivasi .....	21
2.4.1. Aktivasi Fisika.....	21
2.4.2. Aktivasi Kimia.....	21
2.5. Komposit Karbon Sulfur.....	23
2.6. Analisis Karbon .....	24
2.6.1. Braunanear, Emmelt, dan Teller (BET).....	24



2.6.2.	Metode <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i> dan <i>Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS)</i> .....	25
2.6.3.	<i>Fourier Transform InfraRed (FTIR)</i> .....	26
2.6.4.	<i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	26
BAB 3	.....	28
3.1	Tahap Penelitian .....	28
3.2	Alat dan Bahan.....	29
3.2.1	Alat .....	29
3.2.2	Bahan .....	29
3.3	Rangkaian Alat .....	30
3.4	Prosedur Percobaan.....	31
3.4.1	<i>Pretreatment TKKS</i> .....	31
3.4.2	Sintesis Karbon Aktif .....	31
3.4.3	Sintesis Komposit Karbon Sulfur .....	33
3.4.4	Analisis Karbon Aktif.....	34
3.5	Rancangan Percobaan .....	34
3.6	Lokasi dan Jadwal Kerja Penelitian.....	35
BAB 4	.....	36
4.1	Variasi Penelitian .....	36
4.2	Sintesis dan Karakterisasi <i>Hydrochar</i> dengan Karbonisasi Hidrotermal .....	36
4.3	Sintesis Karbon Aktif.....	37
4.3.1	Perolehan Massa Karbon aktif.....	37
4.3.2	Hasil Analisis BET Karbon Aktif.....	38
4.3.3	Hasil Analisis SEM Karbon Aktif .....	39
4.3.4	Hasil Analisis XRD Karbon Aktif.....	40
4.3.5	Hasil Analisis EDS Karbon Aktif.....	41
4.4	Sintesis dan Karakterisasi Komposit Karbon Sulfur .....	42
BAB 5	.....	44
5.1.	Kesimpulan .....	44
5.2.	Saran .....	44
DAFTAR PUSTAKA	.....	46

<i>MATERIAL SAFETY DATA SHEET</i> .....	56
A.1. Besi (III) Klorida .....	56
A.2. <i>Zinc</i> Klorida .....	56
A.3. Asam Klorida .....	57
A.4. Asam Sulfat .....	58
A.6. Etanol .....	59
A.7. Karbon aktif .....	60

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Data Ekspor-Impor Karbon Aktif di Indonesia .....	2
Gambar 2. 1 Pohon Kelapa Sawit.....	11
Gambar 2. 2 Tandan Kosong Kelapa Sawit .....	11
Gambar 2. 3 Struktur Rantai Molekular Selulosa .....	12
Gambar 2. 4 Struktur Rantai Molekular Hemiselulosa .....	13
Gambar 2. 5 Struktur Rantai Molekular Lignin .....	13
Gambar 2. 6 Struktur Karbon (a) Model Struktur Berlian (b) Model Struktur Grafit.....	15
Gambar 2. 7 Struktur Pori Karbon Aktif .....	16
Gambar 2. 8 Mekanisme Konversi Selulosa Menjadi <i>Hydrochar</i> .....	19
Gambar 2. 9 Mekanisme Konversi Lignin Menjadi <i>Hydrochar</i> .....	20
Gambar 2. 10 Mekanisme Konversi Hemiselulosa Menjadi <i>Hydrochar</i> .....	20
Gambar 2. 11 Mekanisme Proses Gravitasi Aktivasi .....	23
Gambar 2. 12 Transformasi Struktur Sulfur.....	24
Gambar 2. 13 Mekanisme Dasar SEM .....	25
Gambar 2. 14 Skema Kerja FTIR.....	26
Gambar 2. 15 Skema XRD.....	27
Gambar 3. 1 Skema Tahap Penelitian .....	28
Gambar 3. 2 Autoklaf Teflon .....	30
Gambar 3. 3 <i>Furnace</i> .....	30
Gambar 3. 4 Skema <i>Pre-treatment</i> TKKS.....	31
Gambar 3. 5 Skema Karbonisasi Hidrotermal.....	32
Gambar 3. 6 Skema Aktivasi Kimia.....	33
Gambar 3. 7 Skema Pembuatan Karbon Sulfur.....	34
Gambar 4. 1 Kurva Adsorpsi Isoterm.....	38
Gambar 4. 3 Hasil Analisis SEM Karbon Aktif (a) Z13; (b) Z15; (c) FZ13; (d) FZ15 .....	39
Gambar 4. 4 Hasil Analisis XRD (a) Sampel Karbon Aktif; (b) Karbon Aktif Komersial.....	40
Gambar 4. 5 Hasil XRD Sampel Karbon Sulfur Dibandingkan dengan Sulfur Murni .....	43

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Variasi Persiapan Karbon Aktif.....	6
Tabel 1. 2 Variasi Persiapan Karbon Sulfur .....	7
Tabel 2. 1 Klasifikasi Tanaman Kelapa Sawit .....	10
Tabel 2. 2 Komposisi Kimia Tandan Kosong Kelapa Sawit .....	12
Tabel 2. 3 Ukuran Umum Pori pada Karbon Aktif .....	16
Tabel 3. 1 Variasi Variabel Penelitian.....	34
Tabel 3. 2 Jadwal Kerja Penelitian .....	35
Tabel 4. 1 Keterangan Variasi Variabel Sampel Penelitian .....	36
Tabel 4. 2 Perolehan Massa Karbon Aktif .....	37
Tabel 4. 3 Hasil Analisis BET Karbon Aktif .....	39
Tabel 4. 4 Kristalinitas Sampel Karbon Aktif .....	41
Tabel 4. 5 Komposisi Unsur pada Sampel Karbon Aktif .....	41
Tabel 4. 6 Komposisi Unsur pada Sampel Karbon Sulfur .....	43
Tabel 4. 7 Hasil Analisis BET Sampel Karbon Sulfur .....	43

## BAB 1

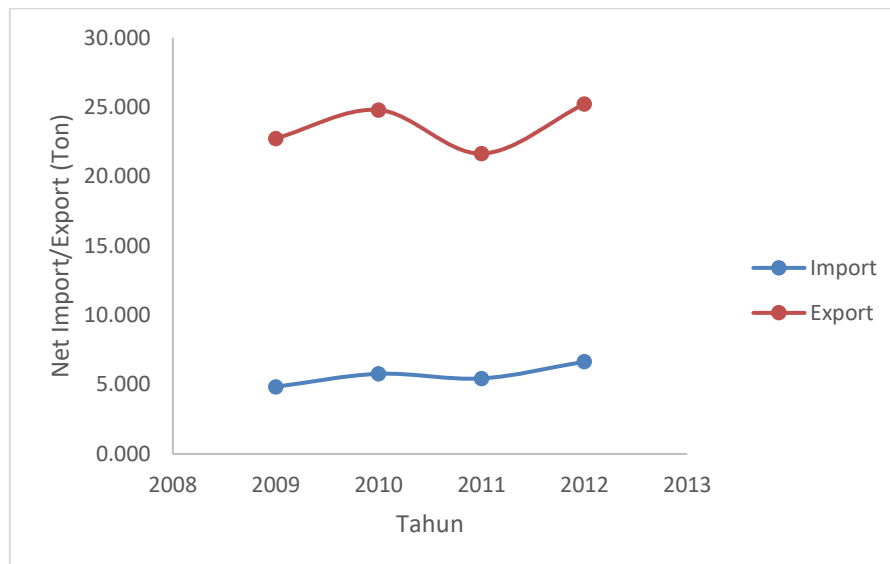
### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah salah satu penghasil minyak kelapa sawit terbesar di dunia, di tahun 2017 Indonesia menghasilkan 34,94 juta ton minyak kelapa sawit dengan area perkebunan kelapa sawit sebesar 12,38 juta hektar dan setiap tahun jumlahnya terus bertambah (BPS,2019). Dalam sintesis minyak kelapa sawit, banyak limbah padatan yang dihasilkan oleh pabrik kelapa sawit seperti serat, cangkang, dan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) (Tay, 1990) . Untuk setiap ton minyak kelapa sawit yang dihasilkan, sebanyak 1,1 ton TKKS dibuang sehingga menyebabkan dampak yang buruk terhadap lingkungan (Law dkk., 2007; Sudiyani, 2010). Limbah tersebut pada umumnya dapat dipakai sebagai bahan baku untuk pembuatan pupuk, kompos, bahan bangunan, dan bahan bakar (Lua dan Guo, 1998). Akan tetapi TKKS dengan kandungan lignoselulosanya yang tinggi ( 44,4 % selulosa; 30,9 %; hemiselulosa; dan 14,2 % lignin) masih kurang termanfaatkan dengan baik (Sun dkk., 1999).

Alternatif penggunaan TKKS yaitu dengan pemanfaatannya sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif. Karbon aktif dapat didefinisikan sebagai senyawa karbon amorf yang memiliki porositas serta luas area yang tinggi (Kristianto, 2017). Karbon aktif dapat digunakan untuk berbagai macam aplikasi, salah satunya adalah untuk penyerapan logam berat Cd dan Pb seperti yang dilakukan oleh Gultom dan Lubis pada tahun 2014. Selain itu karbon aktif dapat juga dapat digunakan sebagai *support* katalis, elektroda superkapasitor, dan bahan dasar komposit karbon sulfur sebagai katoda baterai litium sulfur (Arie dkk, 2014; Zhao dkk, 2015; Teo dkk, 2016). Oleh karena aplikasi karbon aktif yang bermacam-macam, karbon aktif memiliki nilai ekspor dan impor yang tinggi seperti ditunjukkan pada Gambar 1.1. Karbon aktif pada umumnya dibuat menggunakan bahan baku batubara, namun batubara memiliki beberapa keterbatasan yaitu merupakan sumber energi yang tak terbarukan, harganya mahal, serta dapat menghasilkan polutan dan gas rumah kaca sehingga diperlukan alternatif lain yang dapat dijadikan bahan baku sintesis karbon aktif. Syarat suatu biomassa untuk menjadi bahan baku karbon aktif adalah memiliki kandungan lignoselulosa karena lignoselulosa adalah unsur yang

banyak mengandung karbon. Sintesis TKKS menjadi karbon aktif merupakan alternatif yang lebih baik karena TKKS merupakan limbah yang akan terus menumpuk sehingga mudah didapat, jumlahnya berlimpah, dan lebih murah (Ramadona, 2018).



**Gambar 1. 1** Data Ekspor-Impor Karbon Aktif di Indonesia (Wamea dan Naftali, 2014)

Pembuatan biomassa menjadi karbon aktif biasanya melalui dua tahap yaitu karbonisasi dan aktivasi. Pada percobaan umumnya digunakan karbonisasi konvensional pada kondisi *inert* dengan memanaskan material organik pada temperatur lebih dari 400 °C dengan sangat lambat dalam keadaan tanpa oksigen (Pierson 1995; Liard dkk., 2009). Namun terdapat keterbatasan dengan melakukan karbonisasi konvensional, antara lain diperlukan temperatur yang tinggi untuk menjalankan proses karbonisasi dengan pirolisis, bahan yang akan digunakan harus dikeringkan terlebih dahulu sebelum dilakukan pirolisis, perolehan massa yang diperoleh lebih rendah dari karbonisasi hidrotermal, serta terbentuknya gas yang berbahaya seperti senyawa PAH (*Polycyclic Aromatic Hidocarbons*) (Moldoveanu, 1998; Al-Wabel, 2012; Singh dan Kalia, 2017).

Oleh karena itu, dicari alternatif lain untuk mengkarbonisasi biomassa menjadi karbon aktif. Karbonisasi hidrotermal dapat menjadi alternatif yang lebih baik karena karbonisasi hidrotermal dapat mengonversi material dengan kandungan air yang tinggi tanpa perlu melakukan pengeringan bahan sebelum proses karbonisasi sehingga total biaya produksi menjadi lebih ekonomis karena tidak perlu unit tambahan untuk proses pengeringan (Kambo dan Dutta, 2015). Pada karbonisasi hidrotermal temperatur operasi yang digunakan juga tidak terlalu

tinggi (Li dan Liu, 2010). Selain itu, karbonisasi hidrotermal memungkinkan untuk diaplikasikan pada rentang bahan baku yang luas karena tidak memperlakukan kadar air awalnya (Hoekman dkk., 2011).

Karbon yang didapatkan dari proses karbonisasi adalah karbon yang belum mempunyai luas permukaan pori-pori yang maksimal karena masih terdapat banyak tar di dalamnya (Pierson, 2012). Proses aktivasi bertujuan untuk membuka pori yang tertutup, membentuk pori baru, dan meningkatkan ukuran pori (Yahya dkk., 2015). Tahap aktivasi dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu aktivasi secara fisika dan kimia (Marsh dan Reinoso, 2006). Dengan aktivasi kimia didapatkan karbon aktif dengan luas permukaan, perolehan massa, dan volume pori yang besar dengan waktu aktivasi yang relatif lebih singkat. Selain itu, karbon aktif yang dihasilkan dari aktivasi kimia memiliki kinerja yang lebih baik daripada aktivasi fisika (Maciá-Agulló dkk., 2004; Zheng dkk., 2014). Aktivasi yang akan digunakan pada percobaan ini adalah aktivasi secara kimia menggunakan reagen  $ZnCl_2$  dengan katalis  $FeCl_3$ . Reagen  $ZnCl_2$  banyak dipakai sebagai agen pengaktivasi karena dapat menghasilkan perolehan massa padatan yang lebih besar dan membentuk struktur pori pada karbon (Rufford, dkk., 2010; Sun, dkk., 2013). Sebagai katalis,  $FeCl_3$  dapat membantu pembentukan struktur grafit pada karbon (Sun, 2013).

Baterai litium merupakan baterai isi ulang yang banyak digunakan sebagai media penyimpanan energi karena memiliki kapasitas penyimpanan yang lebih baik, tidak memiliki sifat *memory effect*, dan dapat diisi ulang (Aflahannisa dan Astuti, 2016). Baterai yang sangat umum digunakan adalah baterai ion litium. Namun baterai ion litium memiliki beberapa keterbatasan, salah satunya adalah menggunakan zat-zat yang beracun dari katodanya, seperti kobalt dan nikel (Campion dkk., 2004). Oleh karena itu, dicari beberapa alternatif pengganti sebagai katoda baterai litium. Sulfur merupakan material katoda yang baik karena tersedia dalam jumlah yang banyak, murah, dan tidak beracun (Wang dkk., 2013). Namun, dalam bentuk unsurnya sulfur bersifat non konduktif, tetapi bila dikombinasikan dengan karbon pada temperatur tinggi akan menjadi sangat konduktif. Hal ini memungkinkan komposit karbon sulfur untuk digunakan dalam teknologi baterai litium. Oleh karena itulah mulai dilakukan penelitian yang memiliki arah komposit karbon sulfur sebagai katoda pada baterai ion litium sehingga menjadi baterai litium sulfur (Masyarakat Nano Indonesia, 2018).

Karbon aktif yang akan digunakan pada percobaan ini akan dibuat dari TKKS dengan menggunakan karbonisasi hidrotermal dengan aktivasi kimia menggunakan aktivator  $ZnCl_2$  dan

katalis  $\text{FeCl}_3$ . Komposit karbon sulfur dapat disintesis dengan menggunakan karbon aktif dan sulfur melalui proses difusi lebur. Karena penelitian mengenai komposit karbon sulfur masih sedikit jumlahnya, dan sintesis karbon aktif dari TKKS dengan metode karbonisasi hidrotermal dan aktivasi kimia menggunakan  $\text{ZnCl}_2$  dan katalis  $\text{FeCl}_3$  belum pernah dilakukan, maka penelitian ini dilakukan untuk melihat potensi karbon aktif dan komposit karbon sulfur yang dihasilkan. Adapun variasi yang dilakukan adalah variasi rasio massa *hydrochar* dengan aktivator  $\text{ZnCl}_2$  dan penggunaan katalis  $\text{FeCl}_3$ . Pada penelitian ini akan dipelajari karakteristik (perolehan massa, luas permukaan, morfologi, dan kristalinitas) karbon aktif dan komposit karbon sulfur yang dihasilkan.

## 1.2 Tema Sentral

TKKS merupakan limbah dari pembuatan minyak kelapa sawit yang kaya akan lignoselulosa sehingga mempunyai potensi yang besar untuk dijadikan karbon aktif yang lalu akan dijadikan komposit karbon sulfur yang dapat dimanfaatkan sebagai baterai litium sulfur. Komposit karbon sulfur yang dihasilkan diharapkan memiliki pemanfaatan massa aktif yang tinggi, stabilitas siklus yang baik, konduktivitas listrik yang baik, serta volume pori dan luas permukaan yang besar (Liu dkk., 2015).

Pembuatan komposit karbon sulfur dari karbon aktif yang dapat dimanfaatkan sebagai baterai litium-sulfur dibuat menggunakan tandan kosong kelapa sawit. Karbon aktif dibuat dengan menggunakan 2 tahapan proses, yaitu karbonisasi hidrotermal dan aktivasi kimia menggunakan aktivator  $\text{ZnCl}_2$  dan katalis  $\text{FeCl}_3$  dengan memvariasikan variasi rasio massa *hydrochar* dengan aktivator  $\text{ZnCl}_2$  dan penggunaan katalis  $\text{FeCl}_3$ . Karbon aktif yang dihasilkan akan dianalisis perolehan massa, luas permukaan, porositas, kristalinitas, dan morfologinya untuk mendapatkan karbon aktif dengan karakteristik paling bagus. Karbon aktif dengan karakteristik paling bagus lalu akan dijadikan komposit karbon sulfur dengan menambahkan unsur sulfur menggunakan proses difusi lebur.

## 1.3 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah yang menjadi latar belakang dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.



1. Bagaimana pengaruh rasio massa *hydrochar* dengan aktivator  $\text{ZnCl}_2$  dan penambahan katalis  $\text{FeCl}_3$  dalam aktivasi kimia pada karakteristik fisik (perolehan massa, luas permukaan, morfologi, dan % kristalinitas) dari produk karbon aktif yang dihasilkan?
2. Bagaimana pengaruh penambahan sulfur pada karbon aktif terhadap luas permukaan dan % kristalinitas dari komposit karbon sulfur yang dihasilkan?

#### 1.4 Premis

Berbagai sintesis karbon aktif dan karbon sulfur dari biomassa telah dilakukan oleh berbagai pihak seperti yang tertera pada Tabel 1.1 dan 1.2. Berbagai variasi dilakukan untuk mendapatkan luas permukaan dan perolehan massa karbon terbesar. Namun pada percobaan ini hanya berfokus pada variasi rasio massa *hydrochar* dengan aktivator  $ZnCl_2$  terhadap karakteristik (perolehan massa, luas permukaan, morfologi, dan % kristalinitas) karbon aktif dan karbon sulfur yang dihasilkan.

**Tabel 1. 1** Variasi Persiapan Karbon Aktif

No	Biomassa	Jenis karbonisasi	Aktivasi				Karakteristik karbon aktif		Pustaka	
			Aktivator/katalis	Rasio massa $FeCl_3: ZnCl_2$	Rasio massa bahan baku: aktivator/katalis	Temperatur ( $^{\circ}C$ )	Perolehan massa (%)	Luas permukaan ( $m^2/g$ )		
1	Limbah tekstil	Tanpa karbonisasi	$FeCl_3/ZnCl_2$	1:1	3:1	400	-	1342	Tian dkk., 2018	
				2:1			-	504		
2	Sekam kopi	Tanpa karbonisasi	$FeCl_3/ZnCl_2$	1:0	1:1	280	61,27	965	Oliveira dkk., 2009	
				1:1			280	62,94		1374
				0:1			550	51,73		1522
3	Biji kurma	Tanpa karbonisasi	$FeCl_3/ZnCl_2$	0:1	1:2	500	40	1045,6	Ahmed, 2011	
				1:0	1:1,5	700	47,08	780,06		

**Tabel 1. 1** Variasi Persiapan Karbon Aktif (Lanjutan)

4	Brangkas an jagung	Hidrotermal	-	-	-	-	36	4	Fuertes dkk., 2010
		Konvensional					28	12	
5	TKKS	Konvensional	KOH	-	1:0,75	-	83,26	807,54	Foo dan Hamed, 2011
6	Cangkang kelapa	-	FeCl <sub>3</sub> /ZnCl <sub>2</sub>	-	1:3	900 °C	-	1874	Sun dkk., 2013

**Tabel 1. 2** Variasi Persiapan Karbon Sulfur

No	Biomassa	Karbonisasi	Aktivasi			Karakteristik karbon aktif		Karakteristik karbon sulfur		Pustaka
		Jenis	Aktivator/ katalis	Rasio bahan baku: aktivator/katalis	Temperatur	Kandungan sulfur (wt%)	Luas permukaan (m <sup>2</sup> /g)	Kandungan sulfur (wt%)	Luas permukaan (m <sup>2</sup> /g)	
1	Kulit pomelo	Konvensional	KOH	-	600 °C	75	1533	60,1	394	Zhang dkk., 2014
2	Sekam padi	Hidrotermal	-	-	-	0	655	47	152	Rybarczyk dkk., 2016

## 1.5 Hipotesis

Hipotesis yang diusulkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pemakaian rasio massa aktivator  $\text{ZnCl}_2$  yang lebih tinggi dalam aktivasi kimia akan menghasilkan perolehan massa yang lebih besar, peningkatan pada luas permukaan, morfologi yang terlihat lebih berpori, dan % kristalinitas yang lebih rendah.
2. Penambahan sulfur kepada karbon aktif akan menghasilkan komposit karbon sulfur dengan penurunan luas permukaan dan % kristalinitas yang tinggi.

## 1.6 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mempelajari pengaruh rasio massa *hydrochar* dengan aktivator  $\text{ZnCl}_2$  terhadap karakteristik (perolehan massa, luas permukaan, morfologi, dan % kristalinitas) produk karbon aktif dan komposit karbon sulfur yang dihasilkan.
2. Mengamati perubahan luas permukaan dan % kristalinitas pada proses penambahan sulfur terhadap karbon aktif.

## 1.7 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dalam penelitian ini untuk berbagai pihak adalah sebagai berikut.

1. Untuk negara : Dapat membantu meminimalisir limbah organik berupa tandan kosong kelapa sawit, memanfaatkan sumber daya alam yang telah ada, memanfaatkan sumber daya manusia untuk pengolahan limbah.
2. Untuk industri : Dapat menjadi katoda sulfur sebagai alternatif katoda yang lebih ekonomis, ramah lingkungan, dan berkualitas
3. Untuk masyarakat : Dapat membuka wawasan pada masyarakat bahwa limbah organik dapat dimanfaatkan menjadi sesuatu yang berguna dan menyediakan baterai litium sulfur dengan kualitas yang lebih baik.
4. Untuk ilmu pengetahuan: Dapat memberikan pengetahuan baru untuk kemajuan ilmu pengetahuan dalam pemanfaatan tandan kosong

kelapa sawit sebagai bahan pembuat karbon aktif yang dapat dimanfaatkan sebagai komposit karbon sulfur sebagai pengganti katoda baterai litium sulfur.