

**SINTESIS MATERIAL KOMPOSIT KARBON-SULFUR
DARI KARAGENAN DENGAN KARBONISASI
HIDROTERMAL DAN AKTIVASI KIMIA – ZnCl₂**

Laporan Penelitian

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

Oleh:

Theodorus Levi Mulyaputra

(6141801076)

Dosen Pembimbing :

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

Dr. Angela J. Kumalaputri, S.T., M.T.



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN BANDUNG

2023

SYNTHESIS OF CARBON-SULFUR COMPOSITE MATERIALS FROM CARRAGEENAN WITH HYDROTHERMAL CARBONIZATION AND CHEMICAL ACTIVATION - $ZnCl_2$

Laporan Penelitian

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

Oleh:

Theodorus Levi Mulyaputra

(6141801076)

Dosen Pembimbing :

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

Dr. Angela J. Kumalaputri, S.T., M.T.



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN BANDUNG

2023



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

LEMBAR PENGESAHAN

Nama : Theodorus Levi Mulyaputra
NPM : 6141801076
Judul : Sintesis Material Komposit Karbon-Sulfur dari Karagenan dengan
Karbonisasi Hidrotermal dan Aktivasi Kimia-ZnCl₂

CATATAN :

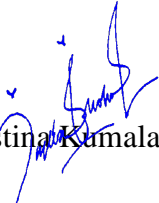
Telah diperiksa dan disetujui,

Bandung, 27 Januari 2023

Pembimbing 1

Pembimbing 2


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


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 dibawah ini

Nama : Theodorus Levi Mulyaputra

NPM : 6141801076

Dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian dengan judul:

**SINTESIS MATERIAL KOMPOSIT KARBON-SULFUR DARI KARAGENAN
DENGAN KARBONISASI HIDROTERMAL DAN AKTIVASI KIMIA – ZnCl₂**

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 peraturan yang berlaku.

Bandung, 9 Februari 2023



Theodorus Levi Mulyaputra
(6141801076)



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

LEMBAR REVISI

Nama : Theodorus Levi Mulyaputra
NPM : 6141801076
Judul : Sintesis Material Komposit Karbon-Sulfur dari Karagenan dengan
Karbonisasi Hidrotermal dan Aktivasi Kimia-ZnCl₂

CATATAN :

Telah diperiksa dan disetujui,

Bandung, 8 Februari 2023

Penguji 1

Penguji 2

Dr. Ir. Asaf K. Sugih

Ariestya Arlene Arbita, S.T., M.T., Ph.D.

INTISARI

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil rumput laut merah terbesar di dunia. Persediaan dan produksi rumput laut terus meningkat jumlahnya tiap tahunnya. Rumput laut merah dapat diekstraksi untuk dijadikan karagenan. Karagenan di Indonesia sangat sering digunakan dalam bidang pangan atau farmasi sebagai bahan pengental. Karagenan merupakan biomassa yang memiliki potensi sebagai bahan utama pembuatan karbon aktif. Penelitian ini akan dilakukan untuk membuat karbon aktif dan disintesis dengan sulfur untuk membentuk komposit karbon-sulfur yang akan digunakan untuk baterai litium-sulfur.

Penelitian ini akan dilakukan melalui tahap karbonisasi hidrotermal, aktivasi kimia, dan difusi sulfur. *Hydrochar* akan diperoleh dengan dilakukan proses karbonisasi hidrotermal dalam kondisi pemanasannya 200°C selama 24 jam didalam reaktor autoklaf. Setelah proses karbonisasi hidrotermal sudah selesai akan dilakukan aktivasi kimia dengan mencampurkan *hydrochar* yang terbentuk dari proses karbonisasi hidrotermal dengan $ZnCl_2$ dengan rasio massanya yaitu 1:2 dan 1:4 antara *hydrochar* dan $ZnCl_2$. Aktivasi akan dilanjutkan dengan pemanasan dalam kondisi temperatur 900°C selama 1 jam. Karbon aktif yang dihasilkan akan dilakukan analisis luas permukaan, morfologi, dan kristalinitas. Analisis karbon sulfur akan dilakukan menggunakan metode SEM dan XRD. Lalu akan dilakukan difusi lebur untuk membentuk komposit karbon sulfur dengan mensintesis karbon aktif dengan sulfur dengan rasio massa 1:3.

Karagenan jenis *iota* memberikan hasil perolehan karbon aktif, dan kristalinitas yang rendah. Berdasarkan morfologinya *iota* memberikan gambaran pori yang lebih besar dibandingkan dengan karagenan jenis *kappa* dan *lambda*. Pengaruh penggunaan $ZnCl_2$ pada rasio yang lebih besar akan menghasilkan nilai perolehan massa yang lebih besar dan memberikan nilai %kristalinitas yang lebih besar. Sintesis karbon sulfur dilakukan pada setiap jenis karagenan dengan rasio perbandingan 1:4 dengan kecenderungan data yang diperoleh komposisi sulfur paling tinggi (61-64%) dan %kristalinitas (44-46%). Komposit karbon sulfur menghasilkan struktur kristalin yang ditunjukkan oleh puncak-puncak tajam yang dihasilkan pada analisis XRD.

Kata kunci: Karbon aktif, karagenan, aktivasi kimia, karbonisasi hidrotermal, komposit karbon sulfur.

ABSTRACT

Indonesia is one of the largest producers of red seaweed in the world. The availability and production of seaweed continue to increase every year. Red seaweed can be extracted to obtain carrageenan. Carrageenan in Indonesia is often used in food or pharmaceuticals as a thickening agent. Carrageenan is a biomass that has the potential to be the main material for making activated carbon. This research will be conducted to make activated carbon and synthesize it with sulfur to form carbon-sulfur composites that will be used for lithium-sulfur batteries.

This research will be carried out through the stages of hydrothermal carbonization, chemical activation, and sulfur diffusion. Hydrochar will be obtained by doing hydrothermal carbonization in a heating condition of 200°C for 24 hours in an autoclave reactor. After the hydrothermal carbonization process is finished, chemical activation will be carried out by mixing the hydrochar formed from the hydrothermal carbonization process with ZnCl₂ in a mass ratio of 1:2 and 1:4 between hydrochar and ZnCl₂. Activation will be done by heating in a temperature condition of 900°C for 1 hour. Activated carbon will be analyzed for surface area, morphology, and crystallinity. Carbon-sulfur analysis will be conducted using SEM and XRD methods. Then, melting diffusion will be carried out to form a carbon-sulfur composite by synthesizing activated carbon with sulfur with a mass ratio of 1:3.

The iota type carrageenan presented a low yield result of activated carbon and has a lower crystallinity. Its morphology exhibits larger pores compared to the kappa and lambda types of carrageenan. Increasing the ratio of ZnCl₂ leads to a higher mass yield and an increase in crystallinity. Carbon-sulfur synthesis were done for each type of carrageenan with a ratio of 1:4 and results in the highest sulfur composition (61-64%) and crystallinity (44-46%). The carbon-sulfur composite creates a crystalline structure as shown by the sharp peaks in XRD analysis.

Keywords: Activated carbon, carrageenan, chemical activation, hydrothermal carbonization, carbon-sulfur composite.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat diberikan kesempatan untuk menyelesaikan laporan penelitian dengan judul “Sintesis Material Komposit Karbon-Sulfur dari Karagenan dengan Karbonisasi Hidrotermal dan Aktivasi Kimia – $ZnCl_2$ ” ini tepat pada waktunya. Laporan penelitian disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam memperoleh gelar sarjana Strata-1 Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung. Dalam menyusun laporan penelitian ini, penulis mendapatkan berbagai dukungan dan bantuan dari berbagai pihak oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih secara khusus kepada :

1. Bapak Arenst Andreas Arie, S.T., S.Si., M.Sc., Ph.D. dan ibu Dr. Angela J. Kumalaputri, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu untuk membimbing, memberikan ilmu pengetahuan dan saran selama proses penyusunan laporan penelitian ini.
2. Orang tua dan keluarga yang memberikan dukungan doa kepada penulis selama proses penyusunan laporan penelitian.
3. Teman-teman dari Program Studi Teknik Kimia UNPAR atas dukungan dan saran selama proses penyusunan laporan penelitian ini
4. Pihak-pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang telah membantu dan mendukung penulis dalam proses penyusunan laporan penelitian ini

Penulis menyadari bahwa proposal penelitian ini masih terdapat kekurangan dan masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya kritik, saran, dan masukan yang membangun agar penyusunan laporan penelitian selanjutnya dapat dikembangkan lebih baik. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih dan berharap laporan penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bandung, 27 Januari 2023

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
<i>ABSTRACT</i>	xi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tema Sentral	4
1.3 Identifikasi Masalah.....	4
1.4 Premis	5
1.5 Hipotesis	8
1.6 Tujuan Penelitian	8
1.7 Manfaat Penelitian	8
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	10
2.1 Karagenan	10
2.2 Karbon Aktif.....	11
2.3 Sintesis Karbon Aktif.....	13
2.3.1 Pirolisis.....	13
2.3.2 Karbonisasi Hidrotermal.....	14
2.4 Aktivasi Karbon.....	14
2.4.1 Aktivasi Kimia.....	15
2.4.2 Aktivasi Fisika	17
2.5 Karakterisasi Karbon Aktif.....	18
2.5.1 <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	18
2.5.2 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	18
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1 Tahap Penelitian.....	20
3.2 Alat dan Bahan.....	20

3.2.1 Alat.....	20
3.2.2 Bahan.....	21
3.3 Prosedur Penelitian	21
3.3.1 Karbonisasi Hidrotermal.....	21
3.3.2 Aktivasi Kimia Menggunakan $ZnCl_2$	22
3.3.3 Sintesis Karbon Sulfur	24
3.3.4 Analisis	24
3.4 Rancangan Percobaan.....	24
3.5 Lokasi dan Jadwal Kerja Penelitian.....	25
BAB 4 PEMBAHASAN.....	27
4.1 Sintesis <i>Hydrochar</i>	27
4.1.1 Perolehan Massa <i>Hydrochar</i>	27
4.2 Sintesis Karbon Aktif.....	28
4.2.1 Perolehan Massa Karbon Aktif.....	28
4.2.2 Hasil Karakterisasi SEM Karbon Aktif	29
4.2.3 Hasil Karakterisasi XRD Karbon Aktif	30
4.3 Sintesis Komposit Karbon Sulfur	32
4.3.1 Karakterisasi EDX Komposit Karbon Sulfur	32
4.3.2 Karakterisasi XRD Komposit Karbon Sulfur	33
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	36
5.1 Kesimpulan	36
5.2 Saran	36
DAFTAR PUSTAKA.....	38
LAMPIRAN A.....	43
A.1 Seng Klorida ($ZnCl_2$).....	43
A.2 Asam Klorida (HCl).....	44
A.3 Etanol.....	45
A.4 Nitrogen.....	46
A.5 Sulfur.....	46
LAMPIRAN B.....	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Statistik Produksi Rumput Laut Indonesia Tahun 2000-2019	2
Gambar 2.1 Struktur Kimia Karagenan	10
Gambar 2.2 Struktur Pori Karbon Aktif	12
Gambar 2.3 Skema Diagram Sistem Difraktometer	19
Gambar 3.1 Skema Proses Karbonisasi Hidrotermal.....	22
Gambar 3.2 Skema Proses Aktivasi Kimia.....	23
Gambar 3.3 Skema Proses Sintesis Karbon Sulfur	24
Gambar 4.1 Karakterisasi SEM Karagenan	29
Gambar 4.2 Karakterisasi SEM Karbon Aktif Perbesaran 3000x	30
Gambar 4.3 Karakterisasi XRD (a) Karbon Aktif Iota 1:2 (b) Karbon Aktif Komersial	31
Gambar 4.4 Perbandingan Karakterisasi XRD Karbon Aktif Iota 1:2 dan 1:4.....	31
Gambar 4.5 Perbandingan Karakterisasi XRD Karbon Sulfur.....	34

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Statistik Ekspor Impor Karbon Aktif Indonesia Tahun 2012-2018.....	1
Tabel 1.2 Variasi Percobaan Terhadap Nilai Luas Permukaan Karbon Aktif yang Diperoleh.	6
Tabel 1.3 Variasi Percobaan Pembuatan Komposit Karbon Sulfur.....	7
Tabel 2.1 Kandungan Ester-Sulfat dan Ikatan 3,6-AG Karagenan.....	11
Tabel 2.2 Syarat Mutu Karbon Aktif SNI.....	12
Tabel 2.3 Distribusi Perolehan Produk pada Proses Pirolisis	13
Tabel 2.4 Perbandingan <i>Yield</i> dan Porositas Karbon Aktif dari Aktivasi Kimia dan Fisika ..	16
Tabel 3.1 Variasi Percobaan	25
Tabel 3.2 Jadwal Kerja Penelitian.....	26
Tabel 4.1 Perolehan Massa <i>Hydrochar</i> Jenis Karagenan.....	27
Tabel 4.2 Perolehan Massa Karbon Aktif.....	28
Tabel 4.3 Komposisi Kristalinitas dan Amorf Karbon Aktif	32
Tabel 4.4 Komposisi XRD Komposit Karbon Sulfur.....	33
Tabel 4.5 Komposisi Kristalinitas dan Amorf Komposit Karbon Sulfur	35

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

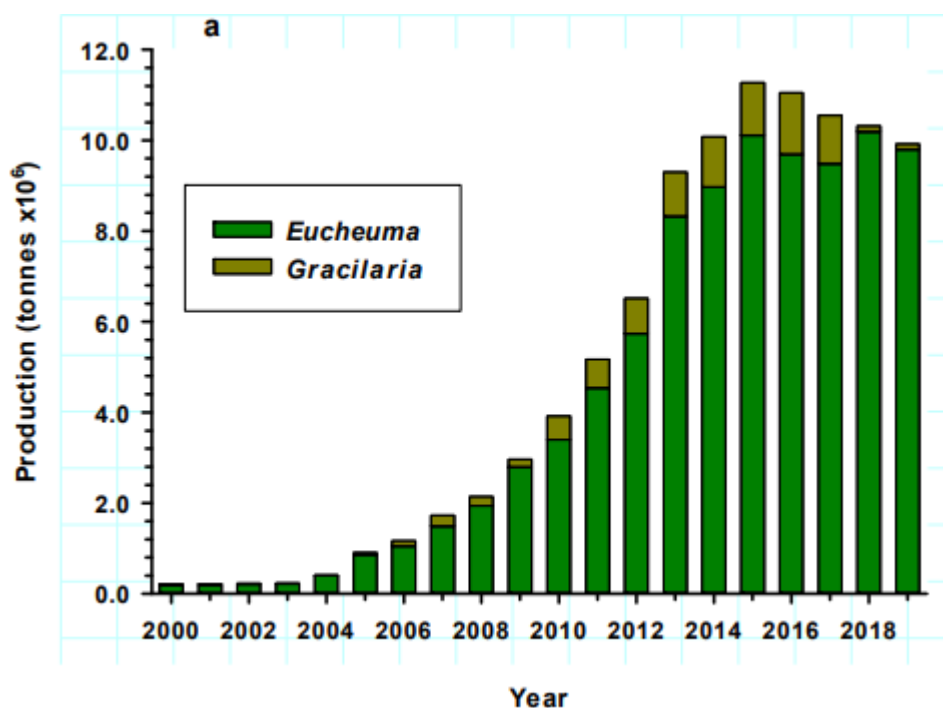
Kebutuhan karbon aktif di Indonesia sebagai kegiatan impor dan ekspor terus meningkat setiap tahunnya yang dapat dilihat pada tabel 1.1. Karbon aktif merupakan salah satu bahan yang dapat diaplikasikan ke berbagai hal baik untuk industri atau kehidupan sehari-hari. Karbon aktif dalam dunia industri dapat digunakan sebagai industri pengolahan air (penjernihan air), obat-obatan, makanan, dan lain lain (Adi E, dkk. 2020). Karbon aktif dapat dibuat dari berbagai bahan yang mengandung karbon seperti kayu, sekam padi, batubara, kulit biji kopi, (Hendra. R, 2008), dan karagenan (Nogueira dkk, 2018). Menurut Fan dan teman-teman, karbon aktif yang dihasilkan dari bahan karagenan memberikan luas permukaan spesifik yang besar, distribusi mikro dan mesopori yang seimbang.

Tabel 1.1 Statistik Ekspor Impor Karbon Aktif Indonesia tahun 2012-2018
(United Nation Statistic data.un.org, 2020).

Tahun	Impor (kg)	Ekspor (kg)
2014	8.842.249	21.723.887
2015	9.366.477	25.712.889
2016	9.176.328	22.633.912
2017	13.181.209	20.076.229
2018	11.860.852	27.692.659

Karagenan merupakan polisakarida galaktan yang terdapat sebagai bahan matriks dalam rumput laut merah atau ganggan laut kelas *Rhodophyta*. Karagenan banyak digunakan

sebagai bahan pengental atau pembentuk gel, pengatur viskositas, zat penstabil dan masih banyak (Thakur dan Thakur, 2016). Karena kemampuan tersebut karagenan dapat diaplikasikan kedalam berbagai bidang. Contohnya bidang industri makanan (Van de Velde dkk., 2002) dan farmasi (Abdassah dan Prihastuti, 2019) sebagai agen pengemulsi, agen peningkat viskositas atau *thickening* ,dan pembentukan gel. Di Indonesia karagenan merupakan salah satu bahan yang sering digunakan dan diaplikasikan dalam berbagai bidang industri dan farmasi. Dan karagenan di Indonesia sangat mudah didapatkan karena jumlah sumber daya rumput laut yang kaya. Indonesia merupakan salah satu negara penghasil rumput laut tertinggi selain Cina. Hasil produksi rumput laut jenis *Euचेuma* dan *Gracilaria* di Indonesia terus meningkat sampai 2014 dan mulai berfluktuatif pada tahun 2014 dan seterusnya seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1.1. Pada tahun 2020 produk rumput laut di Indonesia mencapai 9.923.259,29 ton.(Statistik Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2020).



Gambar 1.1 Statistik Produksi Rumput Laut Indonesia 2000-2019 (FAO Fishery and Aquaculture Statistics, 2021).

Hasil produksi rumput laut merah di Indonesia menunjukkan bahwa banyaknya sumber daya terbarui yang dapat digunakan. Rumput laut merah tersebut dapat diekstrak

dan diperoleh karagenan. Penggunaan karagenan di Indonesia ingin dikembangkan aplikasinya dengan membuat karbon aktif menggunakan karagenan sebagai bahan baku utamanya. Karagenan yang sudah dijadikan karbon aktif akan disintesis dengan sulfur agar terbentuk komposit karbon sulfur. Komposit karbon sulfur dapat digunakan sebagai bahan baku dasar pembuatan batu baterai litium-sulfur.

Baterai litium-sulfur (Li-S) merupakan baterai dengan anoda logam Li yang digabungkan dengan katoda sulfur. Sulfur merupakan salah satu unsur banyak ditemukan di bumi dan bersifat aman untuk lingkungan dan ekonomis dibandingkan baterai ion litium. Baterai Li-S memiliki penyimpanan energi yang sangat berpotensi dengan densitas energi teoritis yang mencapai 2600 W.h/kg (Yang dkk., 2018) dibandingkan dengan kapasitas lithium-ion sebesar 600W.h/kg (Zhao dkk., 2016). Penggunaan komposit karbon litium-sulfur dibandingkan sulfur karbon biasa pada katoda akan memberikan kemampuan logam litium yang sangat reaktif sebagai anodanya. Selain itu, penggunaan tersebut juga memberi pengembangan untuk sulfur yang terkandung dalam karbon matrik, baik mesopori atau *spherical* atau penyimpanan polisulfida berdasarkan pori yang terbentuk pada komposit karbon-sulfur akan meningkatkan kapasitas dan umur baterai lebih panjang (Kim, 2012).

Baterai Li-S dianggap cocok sebagai media penyimpanan energi untuk aplikasi praktis karena memiliki energi densitas dan kapasitas teoritis yang tinggi. Namun demikian, penggunaan sulfur pada baterai Li-S masih memiliki konduktivitas listrik yang rendah (5×10^{-30} S/cm) dan terbatas. Hal tersebut menyebabkan turunya kinetik dari reaksi elektrokimia (Taoli, 2019). Perubahan densitas dari material awal (sulfur: 2,07 g/cm³) dan saat menjadi produk jadi (Li₂S: 1,66 g/cm³) akan menyebabkan adanya perubahan volumetrik selama baterai terus bersirkulasi yang dapat menyebabkan kerusakan pada struktur katoda dan menurunkan kapasitas energi (Yu dkk., 2020).

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan membuat karbon aktif dengan menggunakan karagenan. Karbon aktif akan diperoleh melalui proses karbonisasi hidrotermal untuk memperoleh karbon aktif. Karbon aktif yang diperoleh akan diaktivasi kimia menggunakan agen pengaktivasi ZnCl₂. Aktivasi kimia akan dilakukan dengan rasio massa karbon aktif terhadap karbon 1:2 dan 1:4. Lalu karbon aktif yang sudah diaktivasi akan dicampurkan dengan sulfur melalui metode difusi lebur untuk membentuk komposit karbon sulfur. Pada

percobaan yang diperoleh karbon aktif akan dianalisis karakteristik, luas permukaan, morfologi, dan gugus fungsi, dan *yield* massa karbon aktif dan komposit karbon sulfur yang diperoleh.

1.2 Tema Sentral Masalah

Karagenan merupakan salah satu sumber daya yang dapat diperbaharui dan sering kali digunakan sebagai bahan utama dalam industri pangan atau farmasi. Karagenan memiliki fungsional kimia yang dapat diaplikasikan untuk fungsi adsorpsi. Dalam penelitian ini karagenan akan digunakan sebagai bahan utama pembuatan karbon aktif. Sintesis karbon aktif dari karagenan akan dilakukan dengan cara karbonisasi hidrotermal (HTC) dan proses aktivasi kimia menggunakan agen pengaktivasi $ZnCl_2$. Percobaan akan dilakukan dengan mengvariasikan jenis karagenan dan rasio massa karbon aktif dengan $ZnCl_2$ dalam aktivasi kimia. Hasil karbon aktif terbaik yang diperoleh akan dicampurkan dengan sulfur agar terbentuk komposit karbon sulfur. Sulfur akan mengalami difusi lebur yang menyebabkan karbon aktif akan mengandung ikatan sulfur. Sifat dan karakteristik dari komposit karbon sulfur yang diperoleh akan dianalisis menggunakan instrumen SEM dan XRD.

1.3 Identifikasi Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh jenis karagenan terhadap karakteristik (perolehan massa karbon, morfologi, dan kristalinitas) karbon aktif yang dihasilkan
2. Bagaimana pengaruh variasi rasio massa *hydrochar* terhadap aktivator $ZnCl_2$ yang diperoleh menggunakan aktivator $ZnCl_2$ dalam aktivasi kimia terhadap properti(morfologi dan kristalinitas) karbon aktif yang diperoleh dari proses aktivasi $ZnCl_2$?
3. Bagaimana pengaruh jenis karagenan terhadap karakteristik (morfologi dan kristalinitas) karbon sulfur yang dihasilkan.
4. Bagaimana karakteristik fisik (morfologi dan % kristalinitas) yang dihasilkan dari komposit karbon sulfur yang dihasilkan?

1.4 Premis

Percobaan sintesis karbon aktif dengan bahan karagenan telah dilakukan oleh beberapa peneliti melalui proses karbonisasi hidrotermal (HTC) dan aktivasi kimia menggunakan ZnCl_2 . Hasil dari penelitian dan studi literatur dari variasi yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 1.2 dan hasil penelitian dan studi literatur pembuatan komposit karbon sulfur pada Tabel 1.3.

Tabel 1.2 Variasi Percobaan Terhadap Karakteristik Karbon Aktif yang Diperoleh

No	Biomassa	Karbonisasi	Aktivasi	Rasio massa <i>hydrochar</i> : aktivator	Temperatur Aktivasi (°C)	Luas Permukaan BET (m ² /g)	Yield Karbon (%wt/wt)	Pustaka
1	κ-Karagenan	Hidrotermal	KOH	1 : 4	700	2.345,6	89,592	Nogueira dkk, 2018
	ι-Karagenan	Hidrotermal	KOH	1 : 4	700	2.804,9	73,315	
	λ -Karagenan	Hidrotermal	KOH	1 : 4	700	2.515,8	78,879	
2	Karagenan	Hidrotermal	KOH	1 : 3	700	1.865	-	Fan dkk, 2014
					800	2.236	-	
					900	2.502	-	
3	Batang Anggur	Hidrotermal	ZnCl ₂	1 : 1	500	211,51	42,17	Ozdemir dkk, 2014
					600	472,67	38,02	
					700	786,19	31,37	
4	Sekam Padi	Hidrotermal	ZnCl ₂	1 : 1	700	412,658	37,85	Altintig dkk, 2015
					700	453,341	39,25	
					700	494,323	40,1	

Tabel 1.3 Variasi Percobaan Pembuatan Komposit Karbon Sulfur

No	Biomassa	Aktivasi	Karakteristik Karbon Aktif			Sintesis Karbon Sulfur			Karakteristik Karbon Sulfur			Pustaka
			Temperatur Aktivasi (°C)	Luas Permukaan BET (m ² /g)	Volume pori (cm ³ /g)	Rasio karbon aktif : sulfur	Temperatur (oC)	Waktu Operasi (Jam)	Luas Permukaan BET (m ² /g)	Volume pori (cm ³ /g)	<i>Sulphur Loading</i> (%wt/wt)	
1	Serat Ramie	ZnCl ₂	850	1329,42	0,73	1:3	155	12	10,06	0,07	66,3	Han dkk, 2022
2	Tongkol Jagung	KOH	850	3001	1,72	1:1	155	12	441	0,24	48,7	Bing dkk,2020
3	Rumput Laut	NaCl	800	1510,71	1,48	3:7	155	12	38,64	0,035	65,7	Hencz dkk, 2017
4	Kacang Kedelai	KOH	800	1500	0,7	1:4	155	12	-	-	80%	Ren dkk, 2016

1.5 Hipotesis

Hipotesis yang dapat diusulkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. ι -karagenan menghasilkan perolehan massa karbon dan kristalinitas yang lebih rendah dibandingkan κ -karagenan dan λ -karagenan, Morfologi ι -karagenan memiliki struktur lebih berpori
2. Semakin besar rasio massa zat pengaktif $ZnCl_2$ dengan massa *hydrochar* akan memberikan perolehan massa karbon aktif yang lebih besar. Tetapi saat rasio massa melewati kondisinya optimumnya perolehan massa akan menurun.
3. Jenis ι -Karagenan menghasilkan nilai %kristalinitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis karagenan lainnya.
4. Penambahan sulfur ke dalam komposit karbon aktif akan menyebabkan turunnya % komposisi karbon dan meningkatkan % komposisi sulfur dan %kristalinitas

1.6 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mempelajari pengaruh variasi jenis karagenan terhadap perolehan massa karbon aktif dan karakteristik (morfologi, dan kristalinitas) *hydrochar* yang dihasilkan
2. Mempelajari pengaruh variasi rasio massa *hydrochar* dengan aktivator $ZnCl_2$ terhadap perolehan massa karbon aktif dan karakteristik (morfologi, dan kristalinitas) *hydrochar* yang dihasilkan.
3. Mempelajari pengaruh variasi jenis karagenan terhadap karakteristik (morfologi dan %kristalinitas) karbon sulfur yang dihasilkan
4. Mempelajari karakteristik (morfologi dan kristalinitas) produk karbon sulfur yang dihasilkan

1.7 Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin dicapai dari dilakukannya penelitian ini untuk berbagai pihak adalah sebagai berikut :

1. Manfaat bagi Negara

Penelitian ini dapat meningkatkan kesadaran adanya kegunaan karagenan yang kaya di Indonesia sebagai bahan karbon yang ramah lingkungan dan lebih ekonomis.

2. Manfaat bagi Industri

Penelitian ini akan membuka peluang dan meningkatkan penggunaan karagenan tidak hanya dalam bidang farmasi atau pangan namun juga sebagai bahan pembuatan baterai litium sulfur yang ramah lingkungan,

3. Manfaat bagi Masyarakat

Penelitian ini akan memberikan wawasan baru mengenai kegunaan karagenan dan mendorong masyarakat menjadi lebih aktif dalam memanfaatkan sumber daya alam yang dapat diperbaharui.

4. Manfaat bagi Peneliti

Penelitian ini dapat menambahkan pengetahuan baru dalam pembuatan bahan komposit karbon sulfur menggunakan karagenan.