

**SINTESIS *POROUS CARBON* DARI KAPPA
KARAGENAN MENGGUNAKAN
KARBONISASI HIDROTERMAL DAN
AKTIVASI KIMIA– NaNH_2**

Laporan Penelitian

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

oleh:

Vincent Christanto

(6141901004)

Pembimbing:

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



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

2023

SINTESIS *POROUS CARBON* DARI KAPPA KARAGENAN MENGGUNAKAN KARBONISASI HIDROTERMAL DAN AKTIVASI KIMIA– NaNH_2

Laporan Penelitian

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

oleh:

Vincent Christanto

(6141901004)

Pembimbing:

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



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

2023

LEMBAR PENGESAHAN

Nama : Vincent Christanto

NPM : 6141901004

Judul : Sintesis *Porous Carbon* dari Kappa Karagenan Menggunakan Karbonisasi Hidrotermal dan Aktivasi Kimia- NaNH_2

CATATAN:

Telah diperiksa dan disetujui,

Bandung, 14 Februari 2023

Pembimbing


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

LEMBAR REVISI

Nama : Vincent Christanto

NPM : 6141901004

Judul : Sintesis *Porous Carbon* dari Kappa Karagenan Menggunakan Karbonisasi Hidrotermal dan Aktivasi Kimia– NaNH_2

CATATAN:

Koreksi format (Jadwal kerja), konsistensi istilah (penggunaan istilah rasio impregnasi), penambahan kualitas bahan baku dan karbon aktif komersial yang digunakan, penekanan pada kecenderungan pengaruh variasi, perbandingan ukuran partikel dengan biomassa lain, penekanan pada mekanisme aktivasi NaNH_2 , penambahan parameter kurva distribusi ukuran partikel, penambahan pernyataan mengenai *porous carbon* yang baik dari segi ukuran struktur kisi material (d_{002} , L_a , L_c), pemberian kesimpulan pendek pada akhir Bab IV, dan korelasi urutan identifikasi masalah, tujuan, dan kesimpulan.

Telah diperiksa dan disetujui,

Bandung, 13 Februari 2023

Penguji 1



Dr. Ir. Asaf Kleopas Sugih

Penguji 2



Ir. Y.I.P. Arry Miryanti, M.Si.



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

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Vincent Christanto

NPM : 6141901004

dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian dengan judul:

**SINTESIS *POROUS CARBON* DARI KAPPA KARAGENAN MENGGUNAKAN
KARBONISASI HIDROTERMAL DAN AKTIVASI KIMIA- 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 dengan kenyataan, maka saya bersedia menanggung sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Bandung, 30 Januari 2023



Vincent Christanto

(6141901004)

INTISARI

Kemajuan terbaru dalam kajian material nano menyebabkan kemunculan sintesis senyawa pengembangan karbon, yaitu *porous carbon*. Penemuan *porous carbon* menarik perhatian dari kalangan industri karena fleksibilitasnya yang tinggi dalam beragam aplikasi industri, seperti adsorpsi, reaksi katalisis, dan aplikasi pada katoda baterai. Hingga saat ini, pengembangan material tersebut diarahkan pada kajian *sustainability* dan *green chemistry* sehingga penggunaan biomassa dan pengembangan proses produksi *porous carbon* mulai dikembangkan dengan cara-cara yang memenuhi kajian tersebut. Penelitian ini berfokus pada sintesis *porous carbon* dengan memanfaatkan kappa karagenan sebagai prekursor karbon. Hal tersebut didasari oleh potensi pemanfaatan karagenan dan ketersediaan karagenan yang tinggi di Indonesia.

Dalam penelitian ini, kappa karagenan digunakan sebagai prekursor karbon. Sintesis *porous carbon* dilakukan melalui 3 tahap, yaitu *pre-treatment*, karbonisasi hidrotermal dan aktivasi kimia. Prekursor karbon berupa bubuk kappa karagenan murni dilarutkan dalam air. Karbonisasi hidrotermal dilakukan pada temperatur 200 °C selama 24 jam menggunakan *autoclave*. Proses dilanjutkan melalui aktivasi kimia dengan memanfaatkan aktivator NaNH_2 yang ramah lingkungan. Pada tahap ini, temperatur divariasikan pada 500 °C dan 700 °C. Sedangkan, rasio massa NaNH_2 terhadap *hydrochar* divariasikan pada 2:1 dan 4:1. Analisis karakterisasi *porous carbon* yang dihasilkan dilakukan dengan *X-ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy with Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy* (SEM-EDS), dan adsorpsi metilen biru untuk meninjau fasa dan struktur material, morfologi dan komposisi material, dan kapasitas adsorpsi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan perolehan *porous carbon* terjadi pada peningkatan rasio impregnasi dan temperatur aktivasi. Namun, penggunaan aktivator NaNH_2 telah berhasil mengimpregnasi nitrogen dalam struktur karbon dengan kandungan nitrogen sebesar 0,5% hingga 1%. Analisis SEM menunjukkan bahwa *porous carbon* yang dihasilkan berbentuk *spheroidal* dengan permukaan yang halus. Identifikasi fasa dan struktur material melalui analisis XRD mengindikasikan struktur amorf pada *porous carbon* yang disintesis dengan persentase amorf lebih dari 70%. Selain itu, produk *porous carbon* tersebut memiliki kapasitas adsorpsi sebesar 140 – 166 mg/g. Angka tersebut menunjukkan kualitas yang lebih baik daripada karbon aktif komersial.

Kata kunci: kappa karagenan, *hydrochar*, *porous carbon*, karbonisasi hidrotermal, aktivasi kimia, NaNH_2

ABSTRACT

The latest advances in nanomaterials have led to the development of syntheses of porous carbons. The invention of porous carbons has been increasing attention in a growing list of industrial applications, such as adsorption, catalytic reaction, and alternative anode materials. Recently, the development of these materials has been aimed at sustainability study and conceptual green chemistry; thus, biomass usage and the production route of porous carbon are developed in ways that align with both studies. This research focuses on synthesizing porous carbon using kappa carrageenan as its carbon precursor. The focal reasons behind this take are its potential and availability in Indonesia.

This research utilized kappa carrageenan as the carbon precursor. The synthesis of porous carbon was conducted in 3 steps, such as pretreatment, hydrothermal carbonization, and chemical activation. First, hydrothermal solutions of pristine kappa carrageenan were prepared. Hydrothermal carbonization was performed toward the solutions in autoclaves at 200 °C for 24 hours to obtain hydrochar. Afterward, the obtained hydrochar was chemically activated by environmentally-friendly NaNH_2 . This step was carried out in a tubular furnace operated at 500 °C and 700 °C, respectively, for 2 hours under a nitrogen atmosphere. The mass ratio of NaNH_2 and hydrochar was varied at 2:1 and 4:1. Ultimately, the characterization of porous carbon was conducted through subsequent analyses: X-ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy with Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM-EDS), and Methylene Blue Adsorption to determine phase structure, morphological properties, and adsorption capacities of porous carbon.

Analysis results showed that the yield of porous carbons decreased as the impregnation ratio and activation temperature increased. However, the use of NaNH_2 successfully impregnated nitrogen into the carbon framework with nitrogen content ranging from 0,5% to 1%. SEM analyses displayed spheroidal carbon particles that exhibited a smooth surface. Phase structure identification conducted with XRD also revealed a strong amorphous structure in the synthesized porous carbons, with more than 70% of the amorphous structure. Moreover, the porous carbons possessed higher adsorption capacities of 140 – 160 mg/g, indicating superior quality compared to commercial activated carbon.

Keywords: kappa carrageenan, hydrochar, porous carbon, hydrothermal carbonization, chemical activation, NaNH_2

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan penyertaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian berjudul “**Sintesis *Porous Carbon* dari Karagenan Menggunakan Karbonisasi Hidrotermal dan Aktivasi Kimia– NaNH_2** ” dengan tepat waktu. Penulisan laporan penelitian ini dilakukan untuk memenuhi salah satu tugas akhir dalam mencapai gelas Strata-1 Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.

Dalam penyusunan laporan ini, penulis mendapat dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Dengan demikian, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Arenst Andreas Arie. S.T., S.Si., M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan saran selama proses penyusunan laporan penelitian ini.
2. Keluarga dan orangtua atas doa dan dukungan yang diberikan kepada penulis.
3. Teman-teman yang telah memberikan dukungan dan saran kepada penulis selama proses penulisan laporan penelitian ini.
4. Pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah berkontribusi dalam penyusunan laporan penelitian ini.

Sesuai dengan peribahasa “Tak ada gading yang tak retak”, penulis menyadari bahwa laporan penulisan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis terbuka atas segala bentuk kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Akhir kata, semoga laporan penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bandung, 30 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.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
INTISARI.....	xii
ABSTRACT	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tema Sentral Masalah	5
1.3. Identifikasi Masalah.....	6
1.4. Premis	6
1.5. Hipotesis	6
1.6. Tujuan Penelitian	6
1.7. Manfaat Penelitian	10
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	11
2.1. Karagenan	11
2.1.1. Jenis-Jenis Karagenan.....	13
2.1.2. Karakteristik Karagenan	15
2.2. <i>Porous Carbon</i>	20
2.2.1. Mikropori.....	20

2.2.2. Mesopori.....	23
2.2.3. Makropori	25
2.3. Metode Pembuatan <i>Porous Carbon</i>	26
2.3.1. <i>Single Process</i>	26
2.3.2. <i>Multi-Process</i>	29
2.4. Metode Karakterisasi	48
2.4.1. <i>X-Ray Diffraction</i>	48
2.4.2. <i>Scanning Electron Microscope</i> dan <i>Energy Dispersive Spectroscopy</i>	49
2.4.3. <i>Transmission Electron Microscopy</i> (TEM).....	50
2.4.4. Metode Brunauer, Emmet dan Teller (BET).....	52
2.4.5. Spektroskopi Raman.....	53
2.5. Studi Sintesis <i>Porous Carbon</i> dari Bahan Alam yang Telah Dilakukan	54
2.5.1. Penelitian oleh Terakado dkk. (2021)	54
2.5.2. Penelitian oleh Huang dkk. (2019).....	55
2.5.3. Penelitian oleh Cheng dkk. (2020)	56
2.5.4. Penelitian oleh Nogueira dkk. (2018).....	57
2.5.5. Penelitian oleh Fan dkk. (2014).....	59
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	61
3.1. Sintesis <i>Porous Carbon</i>	61
3.2. Tahap Karakterisasi	61
3.3. Alat dan Bahan.....	62
3.3.1. Alat	62
3.3.2. Bahan	64
3.4. Prosedur Penelitian	64
3.5. Matriks Penelitian	67
3.6. Lokasi dan Rencana Kerja Penelitian	68
BAB IV PEMBAHASAN	69

4.1. Karbonisasi Hidrotermal.....	69
4.2. Aktivasi Kimia.....	72
4.3. Morfologi dan Komposisi Unsur <i>Porous Carbon</i>	74
4.4. Fasa dan Struktur Kristal	81
4.5. Kapasitas Adsorpsi	85
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	88
5.1. Kesimpulan	88
5.2. Saran.....	88
DAFTAR PUSTAKA.....	90
LAMPIRAN A <i>MATERIAL SAFETY DATA SHEET</i>	98
LAMPIRAN B DATA ANTARA.....	103
LAMPIRAN C CONTOH PERHITUNGAN.....	105

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Data Statistik Permintaan dan Keuntungan Porous Carbon Secara Global	2
Gambar 1.2. Produksi Rumput Laut Merah Global Tahun 2006 - 2018	4
Gambar 2.1. <i>Eucheuma cottonii</i> dan <i>Kappaphycus alvarezii</i>	11
Gambar 2.2. Struktur Beberapa Jenis Karagenan	16
Gambar 2.3. Struktur 3,6-anhidrogalaktosa	17
Gambar 2.4. (a) Disordered Microporous Carbon; (b) Disordered Microporous Carbon dengan adsorbat	21
Gambar 2.5. Ordered Microporous Carbon pada HRTEM.....	22
Gambar 2.6. Replika Struktur Pori ordered Microporous Carbon dari Beberapa Jenis Zeolite (Johnson dkk., 1997)	23
Gambar 2.7. Karbon Mesopori	25
Gambar 2.8. Struktur Karbon Makropori dari Template Silikat.....	26
Gambar 2.9. Diagram Skematik Instrumentasi Metode Laser Ablation.....	27
Gambar 2.10. Diagram Skematik Instrumentasi Chemical Vapor deposition.....	28
Gambar 2.11. Klasifikasi Proses Hidrotermal dan Kondisi Operasinya.....	32
Gambar 2.12. Alur Reaksi Karbonisasi Hidrotermal.....	34
Gambar 2.13. Ilustrasi fenomena difusi pada aktivasi fisika material karbon.....	36
Gambar 2.14. Tipe Isoterm Adsorpsi BET	53
Gambar 2.15. Diagram Skematik Spektroskopi Raman	54
Gambar 2.16. Morfologi Porous Carbon pada 900 °C dengan menggunakan SEM	55
Gambar 2.17. Morfologi Porous Carbon dengan Menggunakan SEM.....	56
Gambar 2.18. Morfologi Porous Carbon pada 800 °C dengan Menggunakan SEM.....	57
Gambar 2.19. Morfologi Sampel Hydrochar dan Porous Carbon pada SEM.....	58
Gambar 2.20. Morfologi Hydrochar pada Temperatur 200 °C (Kiri) dan Porous Carbon pada Temperatur 900 °C dengan Menggunakan SEM	59
Gambar 2.21. Hasil Analisis XRD Penelitian Fan dkk. (2014).....	60
Gambar 3.1. Oven	63
Gambar 3.2. Teflon Lined Hydrothermal Autoclave Reactor	63
Gambar 3.3. Tubular Furnace	63
Gambar 3.4. Prosedur Kerja Tahap Pretreatment	64
Gambar 3.5. Prosedur Kerja Tahap Karbonisasi Hidrotermal	65

Gambar 3.6. Prosedur Kerja Tahap Aktivasi Kimia	66
Gambar 3.7. Prosedur Kerja Adsorpsi Metilen Biru.....	67
Gambar 4.1. Hasil Supernatan Proses HTC.....	71
Gambar 4.2. Skema Ilustrasi Sintesis Alur Reaksi Karbonisasi Hidrotermal yang Dipengaruhi oleh pH	72
Gambar 4.3. Analisis SEM Porous Carbon (a) K_2_500, (b) K_4_500, (c) K_2_700, dan (d) K_4_700.....	75
Gambar 4.4. Distribusi Ukuran Partikel Porous Carbon (a) K_2_500, (b) K_4_500; (c) K_2_700, dan (d) K_4_700.....	76
Gambar 4.5. Ilustrasi Perbandingan Struktur Karbon Sebelum dan Sesudah Impregnasi unsur Nitrogen dengan Modifikasi	79
Gambar 4.6. Grafik XRD Porous Carbon	82
Gambar 4.7. Struktur Graphene Layer Porous Carbon.....	83
Gambar 4.8. Ilustrasi Parameter Graphene Layer pada Struktur Karbon	84

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Variasi Sintesis Porous Carbon	8
Tabel 2.1. Spesifikasi Karagenan Komersial dan Standar Beberapa Organisasi.....	12
Tabel 2.2. Kelarutan Jenis Karagenan dalam Medium Cair pada Temperatur Tertentu	17
Tabel 2.3. Pirolisis Beberapa Jenis Rumput Laut	31
Tabel 2.4. Perbandingan Metode Karbonisasi dan Metode Aktivasi.....	44
Tabel 2.5. Perbandingan Berbagai Aktivator Konvensional dan Ramah Lingkungan	46
Tabel 3.1. Matriks Penelitian	68
Tabel 3.2. Jadwal Kerja Penelitian	68
Tabel 4.1. Spesifikasi Refined κ -karragenan	69
Tabel 4.2. Hasil Parameter Sampel Hydrochar.....	70
Tabel 4.3. Hasil Perolehan Porous Carbon	73
Tabel 4.4. Parameter Kurva Distribusi Partikel Sampel Porous Carbon	77
Tabel 4.5. Komposisi Elemental Porous Carbon	78
Tabel 4.6. Hasil Penentuan Parameter Analisis XRD	83
Tabel 4.7. Kapasitas Adsorpsi dan Persentase Removal Metilen Biru.....	86

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

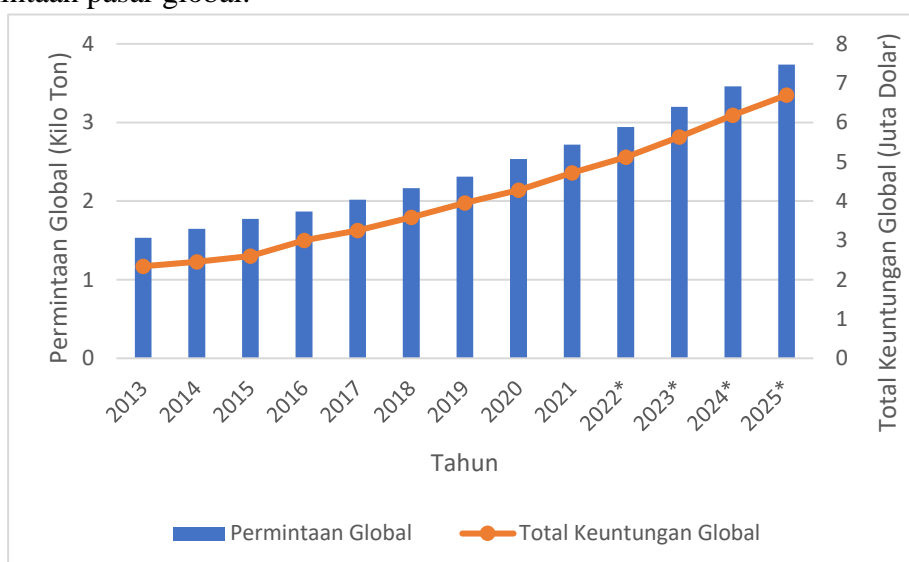
Pada era revolusi industri 2.0, perkembangan dunia industri ditandai dengan proses produksi secara masif. Industri ekstraktif seperti industri polimer, kertas, hingga mineral berkembang secara pesat dengan memanfaatkan senyawa karbon untuk menghasilkan berbagai macam produk jadi. Senyawa karbon digunakan dalam industri tersebut sebagai bahan baku primer dan sekunder untuk memperluas pasar industri dan memberikan nilai tambah pada produk-produknya. Hal tersebut berakibat pada peningkatan minat industri terhadap senyawa karbon dan mendorong pengembangan penelitian mengenai senyawa karbon dengan tujuan untuk memenuhi permintaan pasar karbon di industri.

Istilah *porous carbon* digunakan secara luas pada akhir abad ke-19 setelah Heinrich Kayser memperkenalkan metode sintesis karbon aktif yang memiliki sifat adsorptif tinggi pada tahun 1881. Pada periode tersebut, pemanfaatan *porous carbon* dapat dianggap monoton mengingat *porous carbon* hanya diaplikasikan sebagai zat antiseptik atau proses detoksifikasi. Penelitian mengenai material tersebut berlanjut secara signifikan hingga proses sintesis dan optimasi *porous carbon* adsorptif dipatenkan pada tahun 1974 (Wennerberg dan Bukvich, 1974) serta penemuan *porous carbon* berupa *fullrene* oleh Curl pada tahun 1985 dan *carbon nano tube* oleh Iijima pada 1991. Penemuan tersebut berkaitan dengan maksimalisasi porositas *porous carbon* sehingga kapasitas adsorpsi dapat ditingkatkan.

Sejak paten dan penemuan tersebut dirilis, kajian *porous carbon* terus dikembangkan hingga kini karena strukturnya yang berpori dan memiliki banyak manfaat pada berbagai macam industri, pengolahan limbah, dan teknologi terbarukan seperti pengembangan baterai ramah lingkungan (Porto dkk., 2020). Saat ini, *porous carbon* dipersiapkan sebagai katoda baterai karena memiliki stabilitas kimia yang baik, luas permukaan spesifik yang tinggi, dan konduktivitas yang baik. Selain itu, aplikasi *porous carbon* dalam bidang teknologi terbarukan juga didasari oleh aspek

sustainability dan *green chemistry*. Penggunaan *porous carbon* sebagai material katoda pada baterai dapat menggantikan katoda baterai litium yang memiliki toksisitas tinggi.

Sebagai material karbon dengan struktur pori secara mikroskopis, IUPAC mengklasifikasi *porous carbon* menjadi 3 berdasarkan ukuran porinya, yaitu mikropori dengan diameter pori kurang dari 2 nm, makropori dengan diameter pori lebih dari 50 nm, dan mesopori dengan diameter pori di antara 2 nm dan 50 nm (Thommes dkk., 2015). Variasi ukuran pori *porous carbon* tersebut mendasari penggunaannya secara masif sebagai adsorben dalam proses pemurnian air dan udara skala industri. Aplikasi *porous carbon* dalam industri secara signifikan mengakibatkan tingginya permintaan terhadap *porous carbon*. Hal tersebut dapat dibuktikan dari peningkatan produksi dan peningkatan harga *porous carbon* secara kontinu untuk memenuhi permintaan dalam waktu cepat. Menurut lembaga riset pasar *Report Ocean* yang disajikan secara visual pada gambar 1.1, permintaan *porous carbon* meningkat dengan *compound annual growth rate* (CAGR) sebesar 6,83% dan diperkirakan mencapai 2,776 kilo ton pada akhir periode 2016 – 2022. Pada periode yang sama, peningkatan penjualan material tersebut diestimasi mencapai 5,129 juta dolar dengan CAGR sebesar 9,32%. Dengan demikian, kebutuhan *porous carbon* adsorptif terus meningkat dengan prospek ekonomi yang baik sehingga ketersediaan *porous carbon* diharapkan dapat memenuhi permintaan pasar global.



(*): Angka Prediksi

Gambar 1.1. Data Statistik Permintaan dan Keuntungan *Porous Carbon* Secara Global (Report Ocean, 2021)

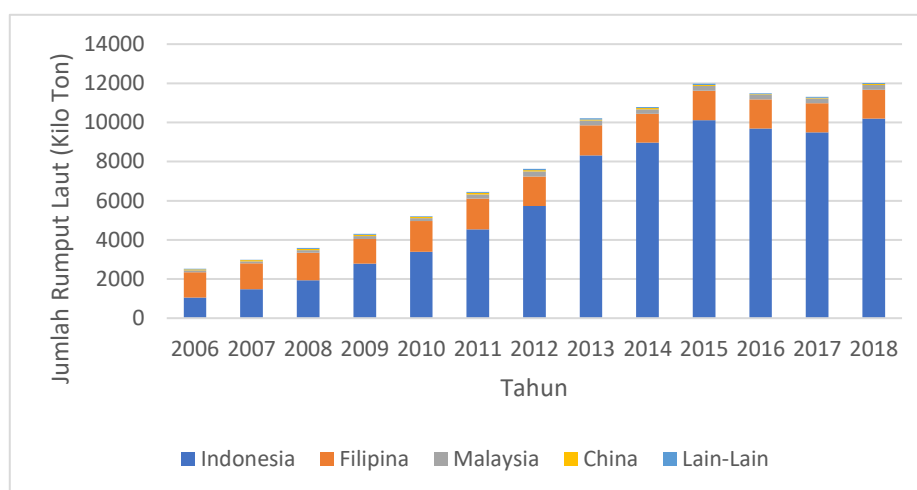
Secara umum, bahan baku yang digunakan untuk sintesis *porous carbon* diklasifikasi menjadi 3 kelompok besar, yaitu grafit, polimer, dan biomassa. Material grafit, polimer, dan biomassa memiliki struktur yang sesuai untuk digunakan sebagai prekursor *porous carbon*. Beberapa alasan terkait aspek fisika material yang mendasari hal tersebut adalah kandungan karbon yang cukup tinggi dan kemampuan untuk membentuk pori yang memadai. Meskipun demikian, penggunaan prekursor grafit dan polimer memiliki tantangan tersendiri. Berdasarkan sudut pandang *green chemistry*, sintesis *porous carbon* dari grafit dan polimer tidak ramah lingkungan karena melibatkan penggunaan bahan kimia yang toksik dan berbahaya, membutuhkan energi dalam jumlah yang besar, dan melalui serangkaian proses kimia yang kompleks (H Clark dan J White, 2015). Dengan demikian, penggunaan biomassa lebih dikembangkan secara lebih komprehensif untuk menyintesis *porous carbon* secara tepat guna.

Sintesis *porous carbon* dari biomassa memiliki beberapa keunggulan yang dapat ditinjau dari alasan kepraktisan, ketersediaan, ekonomi, dan *sustainability*. Prekursor biomassa dianggap praktis dan efektif karena tidak membutuhkan tahap modifikasi kompleks dan tersedia dalam jumlah yang melimpah. Selain itu, biomassa menguntungkan secara ekonomi dan prinsip *sustainability* karena tidak membutuhkan energi besar dan bahan kimia berbahaya dalam pengolahannya dan tidak menghasilkan produk samping yang berbahaya bagi lingkungan (H Clark dan J White, 2015). Beberapa biomassa seperti spesies kayu (Nirmala dkk., 2019), alga (Dan dkk., 2019), kitosan (Jin dkk., 2018), dan karagenan (Nogueira dkk., 2018) telah digunakan sebagai prekursor karbon dan menghasilkan *porous carbon* dengan efektivitas adsorpsi yang tinggi. Mengingat produk yang dihasilkan dari prekursor biomassa menunjukkan kualitas yang tidak kalah baik dengan prekursor lainnya, biomassa berpotensi untuk menggantikan bahan prekursor lainnya. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut mengenai sintesis *porous carbon* dari biomassa mutlak diperlukan sehingga *porous carbon* dapat diproduksi dengan menggunakan bahan alam lokal yang melimpah, aman, berkualitas, hemat biaya, hemat energi, dan ramah lingkungan.

Indonesia memiliki potensi lokal yang besar pada bidang kelautan. Hal tersebut didukung oleh kondisi geografis Indonesia yang wilayah perairannya mencakup hampir 70% dari total wilayah Indonesia. Menurut Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia (2019), Indonesia memiliki garis pantai terbesar kedua di dunia

dengan panjang sebesar 95.811 km. Potensi tersebut menjadi keuntungan tersendiri bagi Indonesia karena dapat digunakan sebagai media budidaya perikanan dan rumput laut. Sebagai contoh, produksi rumput laut di Indonesia mencapai 10.192.000 ton pada tahun 2018. Hal tersebut menyebabkan Indonesia menjadi salah satu penghasil rumput laut terbesar di dunia, khususnya rumput laut merah (Rimmer dkk., 2021).

Rumput laut merah merupakan salah satu komoditas unggulan Indonesia. Di perairan Indonesia, rumput laut merah jenis *Kappaphycus alvarezii* dan *Eucheuma sp.* dipanen secara dominan dan dimanfaatkan untuk membuat karagenan. Sebagai bahan alam, rumput laut merah memiliki kandungan karbon dan karagenan yang cukup tinggi, yaitu sebesar 71% - 88% (Nasrollahzadeh, 2022). Gambar 1.2 merepresentasikan produksi global rumput laut merah penghasil karagenan pada periode 2006 – 2018 yang dirilis oleh FAO (Waters dkk., 2019).



Gambar 1.2. Produksi Rumput Laut Merah Penghasil Karagenan (*Eucheuma Sp.* dan *Kappaphycus Sp.*) Global Tahun 2006 - 2018

Berdasarkan data statistik tersebut, produksi rumput laut merah penghasil karagenan Indonesia mendominasi produksi global dan menunjukkan peningkatan yang signifikan dari tahun ke tahun. Dengan memperhatikan fakta bahwa pemanfaatan karagenan sebagai prekursor alami *porous carbon* masih terbatas, optimalisasi pemanfaatan karagenan untuk sintesis *porous carbon* dapat menjadi solusi yang menguntungkan dan menjanjikan.

Sintesis *porous carbon* dari karagenan telah dilakukan sebelumnya oleh Fan dkk. (2014) dan Nogueira dkk. (2018). Keduanya menyintesis *porous carbon* melalui proses 2 tahap, yaitu karbonisasi hidrotermal dan aktivasi kimia. Penelitian yang

dilakukan oleh Fan dkk. (2014) berhasil menyintesis *porous carbon* untuk material super kapasitor dengan memvariasikan temperatur proses aktivasi. Sedangkan, penelitian Nogueira dkk. (2018) bertujuan untuk menyintesis *porous carbon* untuk proses adsorpsi *ciprofloxacin* dengan memvariasikan jenis karagenan. Namun, kedua penelitian tersebut menggunakan aktivator berupa KOH yang korosif dan tidak ramah lingkungan (Sevilla dkk., 2021). Hingga saat ini, belum ada penelitian lebih lanjut untuk menyintesis *porous carbon* dari karagenan dengan melibatkan senyawa kimia yang lebih ramah lingkungan.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menyintesis *porous carbon* dari prekursor alami berupa karagenan melalui 3 tahap, yaitu *pre-treatment*, karbonisasi hidrotermal dan aktivasi kimia menggunakan NaNH_2 . Tahap *pre-treatment* dilakukan dengan menyiapkan prekursor karbon berupa larutan kappa karagenan murni. Pemilihan proses karbonisasi hidrotermal didasarkan pada beberapa alasan, seperti tidak membutuhkan proses pengeringan bahan baku, hemat energi karena dapat dilakukan pada temperatur yang relatif tidak terlalu tinggi, dan menghasilkan perolehan *hydrochar* yang tinggi (Titirici dkk., 2012; Libra dkk., 2011). Sedangkan, aktivasi kimia dengan NaNH_2 dipilih karena aktivator tersebut merupakan salah satu senyawa kimia yang tidak korosif sehingga memenuhi aspek *sustainability* dan *green chemistry* (Sevilla dkk., 2021). Mengingat penelitian sintesis *porous carbon* dari karagenan dengan metode karbonisasi hidrotermal dan aktivasi kimia menggunakan NaNH_2 belum pernah dilakukan, penelitian ini dilakukan untuk menggali potensi proses sintesis *porous carbon* dengan menggunakan aktivator NaNH_2 yang lebih ramah lingkungan.

1.2. Tema Sentral Masalah

Studi literatur membuktikan bahwa penelitian mengenai sintesis *porous carbon* melalui metode karbonisasi hidrotermal dan aktivasi kimia menggunakan aktivator NaNH_2 belum pernah dilakukan. Dengan demikian, penelitian ini berfokus pada peninjauan keberhasilan sintesis *porous carbon* dari karagenan dengan metode tersebut, pengaruh penggunaan aktivator NaNH_2 terhadap komposisi unsur *porous carbon*, pengaruh rasio massa *hydrochar* terhadap NaNH_2 dan temperatur aktivasi terhadap morfologi *porous carbon* yang dihasilkan.

1.3. Identifikasi Masalah

1. Bagaimana pengaruh penggunaan aktivator NaNH_2 dan temperatur aktivasi terhadap struktur, morfologi, komposisi unsur, dan kapasitas adsorpsi *porous carbon* yang dihasilkan?
2. Bagaimana pengaruh rasio massa aktivator NaNH_2 terhadap *hydrochar* (rasio impregnasi) terhadap struktur, morfologi, komposisi unsur dan perolehan massa *porous carbon* yang dihasilkan?
3. Bagaimana pengaruh temperatur aktivasi terhadap struktur, morfologi, komposisi unsur dan perolehan massa *porous carbon* yang dihasilkan?
4. Bagaimana hasil kapasitas adsorpsi *porous carbon* yang disintesis dengan aktivator NaNH_2 ?

1.4. Premis

Sintesis *porous carbon* dari biomassa melalui metode karbonisasi hidrotermal dan aktivasi kimia menggunakan NaNH_2 telah dilakukan oleh beberapa peneliti pada dekade sebelumnya. Tabel 1.1 menunjukkan hasil penelitian tersebut berdasarkan studi pustaka yang dilakukan.

1.5. Hipotesis

1. Interaksi antara aktivator NaNH_2 dan temperatur aktivasi membentuk *porous carbon* dengan struktur amorf, morfologi yang berbentuk *spheroidal* dengan permukaan partikel yang halus, memiliki kandungan unsur nitrogen dalam struktur karbonnya, dan memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi.
2. Peningkatan rasio impregnasi menghasilkan *porous carbon* dengan struktur amorf, morfologi *spheroidal*, peningkatan komposisi unsur nitrogen, tetapi perolehan *porous carbon* mengalami penurunan.
3. Peningkatan temperatur aktivasi menghasilkan *porous carbon* dengan struktur amorf, morfologi *spheroidal*, peningkatan komposisi unsur nitrogen, tetapi perolehan *porous carbon* mengalami penurunan.
4. *Porous carbon* yang disintesis dengan aktivator NaNH_2 memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih tinggi daripada kapasitas adsorpsi karbon aktif komersial.

1.6. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh aktivator NaNH_2 dan temperatur aktivasi terhadap struktur, morfologi, komposisi unsur, dan kapasitas adsorpsi *porous carbon* yang dihasilkan.

2. Mengetahui pengaruh rasio impregnasi terhadap komposisi unsur dan perolehan massa *porous carbon* yang dihasilkan.
3. Mengetahui pengaruh temperatur aktivasi terhadap komposisi unsur dan perolehan massa *porous carbon* yang dihasilkan.
4. Membandingkan kapasitas adsorpsi *porous carbon* yang disintesis dengan kapasitas adsorpsi karbon aktif komersial.

Tabel 1.1. Variasi Sintesis *Porous Carbon*

Bahan	Aditif, Rasio Bahan Baku: aditif (Massa)	Karbonisasi		Aktivasi Kimia		Karakteristik Karbon Aktif			Pustaka	
		Jenis, Temperatur (°C), dan Waktu (jam)	Rasio Bahan Baku: Aktivator (Massa)	Waktu (jam) dan Temperatur (°C) Aktivasi	Aktivator	Luas Permukaan BET (m ² /g)	Diameter Pori (nm)	Volume Pori (cm ³ /g)		Perolehan Massa Karbon (%)
κ-karagenan	-	Hidrotermal, 200, 20	1:4	4, 700	KOH	2345,6	2,3	1,336	n.d.	Nogueira dkk., 2018
ι-karagenan						2804,9	1,8	1,229		
λ-karagenan						2515,8	1,9	1,164		
Karagenan	-	Hidrotermal, 200, 12	1:3	2, 700	KOH	1865	1,5	1,10	n.d.	Fan dkk., 2014
				2, 800		2236	1,7	1,39		
				2, 900		2502	2,1	1,43		
Kulit kacang kenari	-	Hidrotermal, 500, 1	1:1,5 1:2,5	n.d, 400	NaNH ₂	419	0,58	0,25	n.d.	Yang dkk., 2019
				n.d, 450		516		0,28		
				n.d, 500		589	0,59	0,34		
						1687		0,94		
						802	0,53	0,47		
	1721	0,92								
Tangkai teratai	-	Hidrotermal, 500, 2	1:1 1:2 1:3	1, 400	NaNH ₂	848	1	0,38	n.d.	Rao dkk., 2018
						1164		0,54		
						1087		0,52		
						1105	1,2	0,49		
				1, 500		2053		0,97		
						1921	1,04			
						1113	2	0,48		
1, 600	2264	1,34								
	1824	1,03								
Furfural	-	Hidrotermal, 150, 2	1:4	1, 400	NaNH ₂	734	1,5	0,39	n.d.	Huang dkk., 2019
				1, 500		1293		0,66		
				1, 600		2436		1,33		

Tabel 1.1. Variasi Sintesis *Porous Carbon* (lanjutan)

Kulit hazelnut	-	Hidrotermal, 150, 2	1:1	1, 550	NaNH ₂	1099	0,4	0,45	56 s.d. 77	Liu dkk., 2020
			1:2			1821	0,4	0,79		
			1:3			2185	0,6	0,99		
						1343	0,6	0,55		
						2318	0,4	1,03		
			1:3	1, 600		2321	n.d.	1,11		
Kulit kacang almond	-	Hidrotermal, n.d., n.d.	1:3	1, 550	NaNH ₂	2270,13	2,1	0,36	n.d.	Guo dkk., 2019
			1:4			3249,68	3,3	1,85		
			1:5			1145,65	1,9	1,87		
						n.d	n.d	n.d		
						n.d	n.d	n.d		
			1:5	1, 650		3265,74	1,9	0,48		
Glukosa	-	Hidrotermal, n.d., n.d.	1:4	2, 180	K ₂ CO ₃	2150	0,9	1,01	34	Sevilla dan Fuertes, 2016
	-					2012	1,1	0,88	36	
	Melamin, n.d.					3050	2,6	2,1	19	
	-	Hidrotermal, n.d., n.d.	1:4	2, 180	KHCO ₃	1996	1	0,87	39	
						1:6	2210	n.d.	0,97	
			1:8	2000	n.d.	0,87	34			
<i>Biochar</i>	Urea, n.d.	Hidrotermal, 600, 2	1:4	1, 850	K ₂ CO ₃	1625	1,9	0,8	n.d.	Sylla dkk., 2019
Lignin	Urea, 1:1	Hidrotermal, 800, 1	1:1	n.d., n.d.,	K ₂ CO ₃	3041	3	1,56	13	Schneidermann dkk., 2017
			1:2			2633	3	1,44	n.d.	
			2:1			2169	3	1,01	n.d.	
			1:1			2139	2	1,02	n.d.	
			1:1			1993	2	0,84	n.d.	
Lignin	Urea, n.d.	Hidrotermal, 800, 1	n.d.	n.d., n.d.,	K ₂ CO ₃	3199	3-5	2,12	n.d.	Schneidermann dkk., 2019
	Melamin, n.d.					1978	2-6	1,26		
	Urea dan melamin, n.d.					2629	2-6	1,75		

n.d.: *not determined*

1.7. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat untuk berbagai pihak berikut.

1. Bagi negara

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi media aspirasi dalam bidang keilmuan bagi negara untuk meningkatkan produksi karagenan yang berpotensi sebagai prekursor alami dalam sintesis *porous carbon* dengan mendorong budidaya rumput laut merah. *Porous carbon* yang dihasilkan dapat diekspor untuk membantu meningkatkan devisa negara.

2. Bagi masyarakat luas

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan umum kepada masyarakat mengenai pentingnya pemanfaatan karagenan.

3. Bagi industri

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan inspirasi bagi industri untuk mengembangkan dan meningkatkan produktivitas *porous carbon* dari karagenan sebagai upaya untuk memproduksi *porous carbon* yang berkualitas dan ramah lingkungan dengan biaya produksi yang lebih murah.

4. Bagi ilmu pengetahuan

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih luas mengenai sintesis *porous carbon* dari prekursor alami berupa karagenan melalui proses karbonisasi hidrotermal dan aktivasi kimia menggunakan NaNH_2 yang sesuai dengan aspek *sustainability* dan *green chemistry*.