

KARAKTERISTIK *WOOD AEROGEL* DARI KAYU SENGON (*Falcataria moluccana*) SEBAGAI PENANGKAP DAN PENYIMPAN KARBON

AISYAH ZAKIYA DARAJAT



**PROGRAM STUDI ILMU DAN TEKNOLOGI HASIL HUTAN
FAKULTAS KEHUTANAN DAN LINGKUNGAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**

@Hak cipta milik IPB University

IPB University





@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Karakteristik *Wood Aerogel* dari Kayu Sengon (*Falcataria moluccana*) sebagai Penangkap dan Penyimpan Karbon” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2025

Aisyah Zakiya Darajat
E2501241006



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

RINGKASAN

AISYAH ZAKIYA DARAJAT. Karakteristik *Wood Aerogel* dari Kayu Sengon (*Falcataria moluccana*) sebagai Penangkap dan Penyimpan Karbon. Dibimbing oleh IMAM WAHYUDI dan SARAH AUGUSTINA.

Peningkatan kadar karbon dioksida (CO_2) di atmosfer menjadi pemicu utama pemanasan global dan perubahan iklim, yang berdampak besar terhadap ekosistem dan kehidupan manusia. Alternatif solusi untuk mengurangi dampak ini adalah melalui teknologi *carbon capture and storage* (CCS). Kayu merupakan material berpori secara alami yang ramah lingkungan, terbarukan, dan *biodegradable*. Kayu sengon (*Falcataria moluccana*) memiliki kerapatan rendah sehingga berpotensi dikembangkan menjadi *wood aerogel* untuk aplikasi penyerapan dan penyimpanan karbon. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa potensi jenis kayu asal Indonesia berkerapatan rendah, khususnya kayu sengon sebagai *wood aerogel* melalui proses delignifikasi bertingkat, dilanjutkan dengan perendaman dengan DMAc, (Emim)Ac, LiCl sehingga diperoleh metode standar yang terukur dan optimal. Pembuatan *wood aerogel* dapat dibagi menjadi beberapa tahap: 1) delignifikasi pertama menggunakan larutan NaOH dan Na_2SO_3 2% (w/v) pada suhu 100°C selama 10 jam; 2) delignifikasi lanjutan menggunakan H_2O_2 5% (v/v) pada suhu 100°C selama 1 jam untuk membentuk rangka kayu (*wood skeleton*); 3) perendaman rangka kayu dalam larutan aseton dan DMAc sebanyak tiga kali; 4) perendaman dalam campuran larutan DMAc dan LiCl (10% dan 12% (b/b)) selama 24 jam; 5) pencucian dengan air destilasi; 6) perendaman kembali dalam campuran DMAc dan (Emim)Ac (1 g) selama 24 jam pada suhu ruang; 7) regenerasi dengan aseton selama 15 menit; 8) pencucian, dan penyimpanan dalam *freezer* selama 24 jam; 9) pengeringan dengan *freeze-dryer* pada suhu -53°C selama 48 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan yang diterapkan mampu menghasilkan *wood aerogel* dengan peningkatan pada nilai kerapatan, berat, dan penyusutan, dibandingkan dengan perlakuan kontrol dan hanya delignifikasi saja. Degradasi lignin dan hemiselulosa terkonfirmasi melalui analisis *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) pada panjang gelombang $3730\text{--}1040\text{ cm}^{-1}$. Analisis *Scanning Electron Microscopy* (SEM) menunjukkan bahwa dinding sel *wood aerogel* menjadi lebih tipis dan menyusut. Hasil *Brunauer-Emmett-Teller* (BET) menunjukkan bahwa terjadi penurunan diameter rata-rata pori hingga berukuran *nanopore*, sehingga mendukung peningkatan luas permukaan spesifiknya dan kemampuannya dalam menyerap CO_2 . Perlakuan *wood aerogel* DMAc/LiCl 12% dan (Emim)Ac (WA2) memberikan hasil paling optimal dalam menghasilkan *wood aerogel* dengan pori yang didominasi oleh *nanopore* (1,70 nm), luas permukaan spesifik yang besar ($93,39\text{ m}^2/\text{g}$), dan berpotensi untuk diaplikasikan sebagai material penyerapan dan penyimpanan karbon.

Kata kunci: CCS, delignifikasi bertingkat, kerangka kayu, larutan ionik, sifat fisis



SUMMARY

AI SYAH ZAKIYA DARAJAT. Characteristic of Wood Aerogel Derived from Sengon Wood (*Falcataria moluccana*) as a Carbon Capture and Storage Material. Supervised by IMAM WAHYUDI and SARAH AUGUSTINA.

The increasing concentration of carbon dioxide (CO₂) in the atmosphere is a major driver of global warming and climate change, exerting significant impacts on ecosystems and human life. An alternative solution to mitigate this issue is through carbon capture and storage (CCS) technology. Wood is a naturally porous, eco-friendly, renewable, and biodegradable material. Sengon wood (*Falcataria moluccana*), with its inherently low density, holds great potential for development into wood aerogel for carbon capture and storage applications. This study aims to analyze the potential of low-density Indonesian wood species, particularly sengon, as wood aerogel through a multistage delignification process, followed by immersion in DMAc, (Emim)Ac, and LiCl, to establish a standardized and optimized method. The preparation of wood aerogel was divided into several stages: (1) primary delignification using NaOH and Na₂SO₃ solution (2% w/v) at 100 °C for 10 h; (2) subsequent delignification with H₂O₂ solution (5% v/v) at 100 °C for 1 h to obtain the wood skeleton; (3) immersion of the skeleton in acetone and DMAc three times; (4) immersion in DMAc–LiCl solution (10% and 12% w/w) for 24 h; (5) washing with distilled water; (6) further immersion in a mixture of DMAc and (Emim)Ac (1 g) for 24 h at room temperature; (7) regeneration with acetone for 15 min; (8) washing and storage in a freezer for 24 h; and (9) freeze-drying at –53 °C for 48 h. The results demonstrated that the applied treatment successfully produced wood aerogel with increased density, weight, and dimensional shrinkage compared with both the control treatment and delignification-only samples. The degradation of lignin and hemicellulose was confirmed by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) analysis within the wavelength range of 3730–1040 cm⁻¹. Scanning Electron Microscopy (SEM) analysis showed that the cell walls of the wood aerogel became thinner and contracted. Brunauer–Emmett–Teller (BET) analysis revealed a reduction in the average pore diameter to the nanopore scale, supporting an increase in specific surface area and enhanced CO₂ adsorption capacity. Among the treatments, the wood aerogel prepared with DMAc/LiCl 12% and (Emim)Ac (WA2) exhibited the most optimal performance, characterized by nanopore-dominated structure (1.70 nm), high specific surface area (93.39 m²/g), and strong potential for application in carbon capture and storage materials.

Keywords: CCS, ionic liquid, multistage delignification, physical properties, wood skeleton



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

**KARAKTERISTIK *WOOD AEROGEL* DARI KAYU
SENGON (*Falcataria moluccana*) SEBAGAI PENANGKAP DAN
PENYIMPAN KARBON**

AISYAH ZAKIYA DARAJAT

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Sains pada
Program Studi Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan

**PROGRAM STUDI ILMU DAN TEKNOLOGI HASIL HUTAN
FAKULTAS KEHUTANAN DAN LINGKUNGAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**





@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

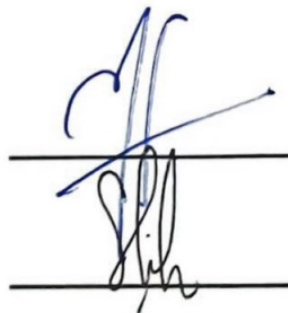
Penguji pada Ujian Tesis:
Dr. Istie Sekartining Rahayu, S.Hut., M.Si.

Judul Tesis : Karakteristik *Wood Aerogel* dari Kayu Sengon (*Falcataria mouluccana*) sebagai Penangkap dan Penyimpan Karbon
Nama : Aisyah Zakiya Darajat
NIM : E2501241006

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Imam Wahyudi, MS.

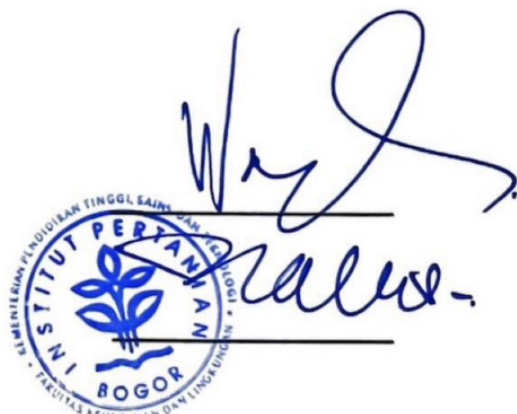
Pembimbing 2:
Dr. Sarah Augustina, S.Hut., M.Si.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Ir. I Wayan Darmawan, M.Sc
NIP 196602121991031002

Dekan Fakultas Kehutanan dan Lingkungan
Prof. Dr. Ir. Naresworo Nugroho, MS
NIP 196501221989031002



Tanggal Ujian: 12 Agustus 2025

Tanggal Lulus: 22 AUG 2025



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Februari sampai bulan Juli 2025 ini ialah pengembangan adsorben dari *aerogel* kayu yang ramah lingkungan, dengan judul “Karakteristik *Wood Aerogel* dari Kayu Sengon (*Falcataria moluccana*) sebagai Penangkap dan Penyimpan Karbon”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada dosen pembimbing, Bapak Prof. Dr. Ir. Imam Wahyudi, MS dan Ibu Dr. Sarah Augustina, S.Hut., M.Si yang telah sabar membimbing dan banyak memberi saran dan masukan kepada penulis. Terima kasih juga penulis ucapkan kepada Ibu Wiwin Rini Andayani selaku ibu kandung dan Bapak Supriyatno selaku ayah kandung, Dessi Jamila Zahara dan Balqis Nursam Nabilla selaku kakak kandung, serta Nafisha Qurata Ayun selaku adik kandung, dan seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya. Selain itu, terima kasih kepada IPB University serta Badan Riset dan Inovasi Nasional yang telah memfasilitasi pelaksanaan penelitian ini. Di samping itu, penulis sampaikan terima kasih kepada Serina Putri Apsya yang telah membantu memberi dukungan kepada penulis selama pelaksanaan penelitian, Hapidh Alaudin Syalsabil sebagai teman satu bimbingan yang telah membantu dalam pengumpulan data, sahabat yang tidak bisa disebutkan satu-persatu, serta teman-teman sinergi S1-S2 ITHH yang sudah berjuang bersama dan selalu memberikan semangat kepada penulis.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Agustus 2025

Aisyah Zakiya Darajat



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Kayu Sengon (<i>Falcataria moluccana</i>)	4
2.2 Delignifikasi	4
2.3 <i>Wood Aerogel</i>	5
III METODE	6
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	6
3.2 Alat dan Bahan	6
3.3 Prosedur Kerja	6
3.4 Analisis data	8
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	9
4.1 Sifat Fisis <i>Wood Aerogel</i>	9
4.2 Morfologi <i>Wood Aerogel</i>	13
4.3 Karakteristik <i>Wood Aerogel</i>	15
V SIMPULAN DAN SARAN	20
5.1 Simpulan	20
5.2 Saran	20
DAFTAR PUSTAKA	21
RIWAYAT HIDUP	32



DAFTAR TABEL

1	Kode dan deskripsi untuk perlakuan sampel	6
2	Anova hasil analisis data dengan <i>One-Way</i> ANOVA pada setiap parameter	9
3	Perubahan berat kayu sengon pada berbagai perlakuan	9
4	Hasil analisa SEM-EDS	15
5	Luas permukaan area spesifik, rata-rata diameter pori, dan kemampuan penyerapan CO ₂ kayu sengon pada berbagai perlakuan	18

DAFTAR GAMBAR

1	Kerapatan kayu sengon pada berbagai perlakuan	11
2	Penyusutan kayu sengon pada berbagai perlakuan	12
3	Penampang <i>cross section</i> kayu sengon pada berbagai perlakuan perbesaran 350×	13
4	Penampang <i>cross section wood aerogel</i> dari kayu sengon pada perbesaran 1000× dan 3500×	14
5	Hasil uji FTIR kayu sengon pada berbagai perlakuan	16

DAFTAR LAMPIRAN

1	Analisis ragam dan uji Duncan perubahan berat kayu sengon pada berbagai perlakuan	30
2	Analisis ragam dan uji Duncan kerapatan kayu sengon pada berbagai perlakuan	30
3	Analisis ragam dan uji Duncan penyusutan kayu sengon pada berbagai perlakuan	31