

SINTESIS DAN KARAKTERISASI CARBON NANOFIBER BERBASIS LIGNIN DENGAN METODE *ELECTROSPINNING* SEBAGAI ELEKTRODA SUPERKAPASITOR

REZA ALFREDA RAHMA SANDY



**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Sintesis dan Karakterisasi *Carbon Nanofiber* Berbasis Lignin dengan Metode *Electrospinning* sebagai Elektroda Superkapasitor” 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 skripsi ini.

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

Bogor, Juli 2025

Reza Alfreda Rahma Sandy
G7401201045



ABSTRAK

REZA ALFREDA RAHMA SANDY. Sintesis dan Karakterisasi *Carbon Nanofiber* Berbasis Lignin dengan Metode *Electrospinning* sebagai Elektroda Superkapasitor. Dibimbing oleh AKHIRUDDIN MADDU, dan RESTI MARLINA.

Limbah industri kelapa sawit, khususnya cangkang kelapa sawit memiliki potensi besar sebagai sumber lignin untuk pembuatan *carbon nanofiber* (CNF). Penelitian ini berfokus pada sintesis dan karakterisasi CNF berbasis lignin yang dikompositkan dengan *polyacrylonitrile* (PAN) melalui metode *electrospinning*. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh variasi rasio komposit lignin/PAN terhadap karakteristik CNF dan mengevaluasi performa elektrokimianya sebagai material elektroda superkapasitor. CNF dibuat dengan tiga variasi rasio (3:7, 5:5, dan 7:3), kemudian dikarakterisasi menggunakan FTIR, SEM-EDX, XRD, dan Raman, serta diuji sifat elektrokimianya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio komposit lignin/PAN 5:5 memberikan performa elektrokimia paling optimal dengan kapasitansi spesifik tertinggi sebesar 25,98 F/g dan kapasitansi total mencapai 50,64 F. Penambahan lignin juga terbukti meningkatkan *yield* karbon setelah proses karbonisasi dan menghasilkan diameter serat yang lebih kecil. Hasil analisis XRD, Raman dan uji elektrokimia mengonfirmasi pembentukan struktur karbon yang potensial untuk aplikasi elektroda, menjadikan limbah cangkang kelapa sawit sebagai prekursor alternatif untuk elektroda superkapasitor.

Kata kunci: *carbon nanofiber*, *electrospinning*, elektroda, lignin, superkapasitor



ABSTRACT

REZA ALFREDA RAHMA SANDY. Synthesis and Characterization of Lignin-Based Carbon Nanofibers via Electrospinning as Supercapacitor Electrodes. Supervised by AKHIRUDDIN MADDU and RESTI MARLINA.

Palm oil industry waste, particularly palm kernel shells, has great potential as a source of lignin to produce carbon nanofibers (CNF). This research focuses on the synthesis and characterization of lignin-based CNF composited with polyacrylonitrile (PAN) via the electrospinning method. The aim of this study is to determine the effect of varying lignin/PAN composite ratios on the characteristics of CNF and to evaluate its electrochemical performance as a supercapacitor electrode material. CNF was prepared with three ratio variations (3:7, 5:5, and 7:3), then characterized using FTIR, SEM-EDX, XRD, and Raman, and its electrochemical properties were tested. The results showed that the lignin/PAN composite ratio of 5:5 provided the most optimal electrochemical performance with the highest specific capacitance of 25.98 F/g and a total capacitance reaching 50.64 F. The addition of lignin was also proven to increase the carbon yield after the carbonization process and produced smaller fiber diameters. The results of XRD, Raman, and electrochemical tests confirmed the formation of a carbon structure with potential for electrode applications, making palm kernel shell waste an alternative precursor for supercapacitor electrodes.

Keywords: carbon nanofiber, electrospinning, electrode, lignin, supercapacitor



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.



@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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

SINTESIS DAN KARAKTERISASI *CARBON NANOFIBER* BERBASIS LIGNIN DENGAN METODE *ELECTROSPINNING* SEBAGAI ELEKTRODA SUPERKAPASITOR

REZA ALFREDA RAHMA SANDY

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

Sarjana pada

Program Studi Fisika

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:

1. Nur Aisyah Nuzulia, S.Si., M.Si
2. Rima Fitria Adiati, S.T., M.T

Judul Skripsi : Sintesis dan Karakterisasi *Carbon Nanofiber* Berbasis Lignin dengan Metode *Electrospinning* sebagai Elektroda Superkapasitor

Nama : Reza Alfreda Rahma Sandy

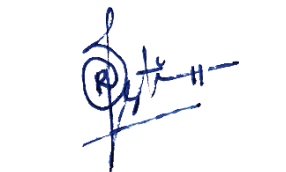
NIM : G7401201045

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Akhiruddin Maddu, S.Si., M.Si



Pembimbing 2:
Resti Marlina, M.Si



Diketahui oleh

Ketua Departemen Fisika:
Prof. Dr. R. Tony Ibnu Sumaryada, W.P., S.Si., M.Si
NIP 19720519 199702 1 001



Tanggal Ujian : 15 Juli 2025

Tanggal Lulus:



@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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanahu wa ta'ala atas karunia dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan usulan penelitian yang berjudul “Sintesis dan Karakterisasi *Carbon Nanofiber* Berbasis Lignin dengan Metode *Electrospinning* sebagai Elektroda Superkapasitor”. Hasil penelitian ini menjadi salah satu bukti penulis telah menyelesaikan program Sarjana di Departemen Fisika IPB University. Proses penyusunan skripsi ini tentu tidak terlepas dari dukungan serta bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua, Ibu, Ayah serta keluarga besar atas bimbingan, semangat, kasih sayang serta doa yang diberikan.
2. Prof. Dr. Akhiruddin Maddu, S.Si., M.Si dan Ibu Resti Marlina, M.Si selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah membimbing penulis dan memberikan banyak masukan, saran, motivasi, serta ilmu yang bermanfaat sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
3. Kak Ria Yolanda Arundina dan Kak Yolanda Rati yang telah membantu, membimbing, memberi masukan, motivasi, dan dorongan mental selama proses penelitian dan penyusunan skripsi.
4. Miatu ‘Ainur Rohmawati yang telah membersamai penulis selama proses penelitian hingga penyusunan skripsi, yang telah memberikan waktu, dukungan, doa, serta motivasi kepada penulis untuk menyelesaikan penelitian ini dengan baik.
5. Rekan-rekan sebimbingan, Erna Adzra Luthfiah, Muhammad Febriansyah, dan Laila Nashwa yang telah membantu dan memberikan dukungan selama penyusunan skripsi.
6. Rekan-rekan Fisika IPB Angkatan 57 atas dukungan yang diberikan selama penulis menempuh pendidikan program Sarjana di IPB University.

Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih dan mohon maaf atas kekurangan yang terdapat dalam penulisan skripsi ini. Semoga hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan perkembangan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2025

Reza Alfreda Rahma Sandy



@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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Biomassa Cangkang Kelapa Sawit (CKS)	3
2.2 Lindi Hitam (<i>Black Liquor</i>)	3
2.3 Lignin	3
2.4 <i>Carbon Nanofiber</i> (CNF)	5
2.5 <i>Polyacrylonitrile</i> (PAN)	6
2.6 <i>Dimethylformamide</i> (DMF)	7
2.7 <i>Electrospinning</i>	7
2.8 Superkapasitor	8
III METODE	11
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	11
3.2 Alat dan Bahan	11
3.3 Prosedur Kerja	11
3.3.1 Preparasi Bahan Baku	11
3.3.2 Pembuatan <i>Black Liquor</i>	11
3.3.3 Isolasi Lignin	12
3.3.4 Pembuatan <i>Carbon Nanofiber</i> (CNF)	12
3.3.5 Karakterisasi Material <i>Carbon Nanofiber</i> (CNF)	13
3.3.6 Pengujian Sifat Elektrokimia	13
3.4 Analisis Data	14
3.4.1 Analisis Data Karakterisasi <i>Carbon Nanofiber</i> (CNF)	15
3.4.2 Analisis Uji Elektrokimia	17
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	19
4.1 Analisi FTIR	19
4.2 Analisis Raman	21
4.3 Analisis XRD	23
4.4 Analisis SEM-EDX	27
4.5 Analisis <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV)	32
4.6 Analisis <i>Galvanostatic Charge Discharge</i> (GCD)	34
4.7 Analisis <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS)	35
4.8 Analisis <i>Carbon Yield</i>	37
V SIMPULAN DAN SARAN	38



5.1 Simpulan	38
5.2 Saran	38
DAFTAR PUSTAKA	39
LAMPIRAN	44
RIWAYAT HIDUP	47

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.

DAFTAR TABEL

1	Komparasi antara baterai, kapasitor, dan superkapasitor	9
2	Rancangan pengujian	14
3	Posisi bilangan gelombang berdasarkan puncak gugus fungsi sampel nanofiber	20
4	Rasio intensitas pita D dan G dari sampel nanofiber	22
5	Tingkat kristalinitas sampel nanofiber	24
6	Tingkat kristalinitas sampel carbon nanofiber	25
7	Ukuran kristalit sampel nanofiber dan carbon nanofiber	26
8	Jarak antar bidang sampel carbon nanofiber	27
9	Unsur sampel nanofiber dan carbon nanofiber	32
10	Kapasitansi spesifik sampel carbon nanofiber	33

DAFTAR GAMBAR

1	Struktur kimia lignin	4
2	Ilustrasi tiga jenis struktur lapisan <i>carbon nanofiber</i> (a) <i>platelet-type</i> , (b) <i>tubular-type</i> , dan (c) <i>fishbone-type</i>	5
3	Struktur molekuler <i>dimethylformamide</i> (DMF)	7
4	Skema <i>electrospinning</i>	8
5	Ilustrasi sistem tiga elektroda	14
6	Spektrum FTIR dari sampel nanofiber lignin, PAN, dan komposit lignin/PAN dengan variasi rasio LP 3:7, LP 5:5 dan LP 7:3	19
7	Spektrum Raman pada sampel (a) CNF PAN, (b) CNF LP 3:7, (c) CNF LP 5:5, (d) CNF LP 7:3, dan (e) gabungan sampel CNF	22
8	Spektrum difraksi sinar-X pada sampel (a) nanofiber dan (b) carbon nanofiber PAN dan komposit lignin: PAN 3:7, 5:5 serta 7:3	23
9	SEM nanofiber pada sampel (a) nanofiber lignin, dan (b) nanofiber PAN, (c) nanofiber LP 3:7, (d) nanofiber LP 5:5, dan (e) nanofiber LP 7:3 dengan perbesaran 10.000x	28
10	EDX nanofiber pada sampel (a) nanofiber lignin, (b) nanofiber PAN, (c) nanofiber LP 3:7, (d) nanofiber LP 5:5, dan (e) nanofiber LP 7:3	29
11	SEM carbon nanofiber pada sampel (a) carbon nanofiber PAN, (b) carbon nanofiber LP 3:7, (c) carbon nanofiber LP 5:5, dan (d) carbon nanofiber LP 7:3	30
12	EDX carbon nanofiber pada sampel (a) carbon nanofiber PAN, (b) carbon nanofiber LP 3:7, (c) carbon nanofiber LP 5:5, dan (d) carbon naofiber LP 7:3	31
13	Kurva <i>cyclic voltammetry</i> sampel CNF	33



DAFTAR LAMPIRAN

1	Diagram Alir Penelitian	44
2	Perhitungan Cyclic Voltammetry (CV)	45
3	Perhitungan Galvanostatic Charge Discharge (GCD)	46

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.