



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



SALSABILLA PERMATA BAYAH

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 mengurangi 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 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 **“Studi Elektrolit Padat Hidroksiapatit dan Katoda Sulfur-Karbon dari Cangkang dan Membran Telur untuk Baterai Litium-Sulfur”** adalah benar karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apapun 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

Salsabilla Permata Bayah
G7401211057

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 mengurangi 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 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 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 mengurangi kepentingan wajar IPB University.

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

ABSTRAK

SALSABILLA PERMATA BAYAH. Studi Elektrolit Padat Hidroksiapatit dan Katoda Sulfur-Karbon dari Cangkang dan Membran Telur untuk Baterai Litium-Sulfur. Dibimbing oleh AKHIRUDDIN MADDU dan ABDULLOH RIFAI.

Pengembangan baterai lithium-sulfur (Li-S) masih menghadapi tantangan utama berupa konduktivitas ionik elektrolit yang rendah dan resistansi internal yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi pengaruh penambahan nano-hidroksiapatit (nano-HA) yang disintesis dari cangkang telur ayam ke dalam *solid polymer electrolyte* (SPE) berbasis PEO-LiTFSI, serta pemanfaatan karbon aktif dari membran telur ayam sebagai material komposit sulfur. Nano-HA disintesis dan dikarakterisasi menggunakan XRD, FTIR, dan SEM, sedangkan karbon aktif divalidasi melalui XRD dan SEM-EDX. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan nano-HA meningkatkan konduktivitas ionik SPE dari $1,45 \times 10^{-5}$ S/cm menjadi $1,80 \times 10^{-5}$ S/cm. Analisis elektrokimia menggunakan Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) menunjukkan bahwa nano-HA mampu menurunkan resistansi total baterai Li-S. Selain itu, karbon aktif berbasis membran telur ayam menghasilkan nilai resistansi total yang sebanding dengan karbon aktif komersial. Temuan ini menunjukkan bahwa limbah cangkang dan membran telur ayam berpotensi dimanfaatkan sebagai material fungsional ramah lingkungan untuk meningkatkan performa dan keberlanjutan baterai Li-S.

Kata kunci: baterai lithium-sulfur, biomassa, hidroksiapatit, karbon aktif, *solid-state battery*

ABSTRACT

SALSABILLA PERMATA BAYAH. Study of Hydroxyapatite Solid Electrolyte and Sulfur-Carbon Cathode from Eggshell and Membrane for Lithium-Sulfur Batteries. Supervised by AKHIRUDDIN MADDU and ABDULLOH RIFAI.

The development of lithium-sulfur (Li-S) batteries remains challenged by low electrolyte ionic conductivity and high internal resistance. This study investigates the effect of incorporating nano-hydroxyapatite (nano-HA) synthesized from chicken eggshells into a PEO-LiTFSI-based solid polymer electrolyte (SPE), as well as the use of activated carbon derived from chicken eggshell membranes as a sulfur composite material. Nano-HA and activated carbon were characterized using XRD, FTIR, SEM, and SEM-EDX. The addition of nano-HA increased the ionic conductivity of the SPE from 1.45×10^{-5} S/cm to 1.80×10^{-5} S/cm. Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) analysis showed that nano-HA reduced the total resistance of the Li-S battery. Moreover, eggshell membrane-derived activated carbon exhibited total resistance comparable to commercial activated carbon, indicating its potential as a sustainable alternative. These results highlight the valorization of eggshell waste as functional materials to enhance Li-S battery performance and sustainability.

Keywords: activated carbon, biomass, hydroxyapatite, lithium-sulfur battery, *solid-state battery*



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- 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.



STUDI ELEKTROLIT PADAT HIDROKSIAPATIT DAN KATODA SULFUR-KARBON DARI CANGKANG DAN MEMBRAN TELUR UNTUK BATERAI LITIUM-SULFUR

SALSABILLA PERMATA BAYAH

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 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 Pengujii pada Ujian Skripsi:

1. Dr. Erus Rustami, M.Si.
2. Dr. Sitti Yani, M.Si.



Nama
NIM

Judul Skripsi : Studi Elektrolit Padat Hidroksiapatit dan Katoda Sulfur-Karbon
dari Cangkang dan Membran Telur untuk Baterai Litium-Sulfur
: Salsabilla Permata Bayah
: G7401211057

Pembimbing 1:

Prof. Dr. Akhiruddin Maddu, S.Si., M.Si.
NIP. 196609071998021006

Disetujui oleh

Pembimbing 2:

Dr. Abdulloh Rifai
NIP. 198508292018031001

Diketahui oleh

Ketua Departemen Fisika

Prof. Dr. R. Tony Ibnu Sumaryada W. P, S.Si., M.Si.
NIP. 197205191997021001



Tanggal Ujian: 18 Juli 2025

Tanggal Lulus:



Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanaahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah dengan judul “Studi Elektrolit Padat Hidroksiapatit dan Katoda Sulfur-Karbon dari Cangkang dan Membran Telur untuk Baterai Litium-Sulfur” dapat diselesaikan sebagai salah satu syarat kelulusan di Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing yakni Bapak Prof. Dr. Akhiruddin Maddu, S.Si., M.Si sebagai pembimbing I dan Bapak Dr. Abdulloh Rifai sebagai pembimbing II yang telah membimbing dan banyak memberikan saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada bapak, ibu, serta seluruh keluarga yang telah memberi dukungan, doa, dan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini. Tak lupa, terima kasih penulis sampaikan kepada teman-teman Fisika IPB angkatan 58, serta seluruh civitas akademika Fisika IPB yang selalu memberikan perhatian, dorongan, dan motivasi yang menjadi salah satu sumber semangat bagi penulis.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis berharap adanya kritik dan saran yang membangun. Semoga penelitian ini dapat memberikan hasil yang bermanfaat.

Bogor, Juli 2025

Salsabilla Permata Bayah

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
Oleh Cipta muda IPB University
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 mengurangi kepentingan wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



DAFTAR TABEL

x

DAFTAR GAMBAR

x

DAFTAR LAMPIRAN

x

I PENDAHULUAN

1

- 1.1 Latar Belakang
- 1.2 Rumusan Masalah
- 1.3 Tujuan
- 1.4 Manfaat

1 1 2 2

II TINJAUAN PUSTAKA

3

- 2.1 Baterai Litium-Sulfur
- 2.2 Elektrolit Polimer Padat
- 2.3 Hidroksiapatit
- 2.4 Karbon Aktif
- 2.5 Cangkang dan Membran Telur Ayam
- 2.6 Electrochemical Impedance Spectroscopy

3 5 6 6 7 8

III METODE

10

- 3.1 Waktu dan Tempat
- 3.2 Alat dan Bahan
- 3.3 Prosedur Kerja

10 10 10

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

13

- 4.1 Nano-hidroksiapatit dari Cangkang Telur Ayam
- 4.2 Karbon Aktif dari Membran Telur Ayam
- 4.3 Konduktivitas Ionik Elektrolit Polimer Padat
- 4.4 Analisis Impedansi Baterai Li-S

13 15 18 19

V SIMPULAN DAN SARAN

21

- 5.1 Simpulan
- 5.2 Saran

21 21

DAFTAR PUSTAKA

22

LAMPIRAN

26

RIWAYAT HIDUP

32

DAFTAR ISI

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 mengurangi kepentingan yang wajar IPB University.

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



1	Variasi komposisi baterai litium-sulfur	12
2	Komposisi unsur karbon aktif	18
	Nilai resistansi total dari variasi sampel baterai Li-S	20

DAFTAR TABEL

1	Komponen dan skema (a) pengosongan dan (b) pengisian baterai litium-sulfur (Benítez <i>et al.</i> 2022)	4
2	Profil tegangan siklus pengisian-pengosongan dari baterai Li-S yang menunjukkan berbagai senyawa intermediat sulfur (Zhou <i>et al.</i> 2021)	5
3	Ilustrasi dari kisi kristal tiga dimensi grafit dan karbon aktif amorf (Benítez <i>et al.</i> 2022)	7
4	Kurva Nyquist (Choi <i>et al.</i> 2020)	9
5	Pola XRD hidroksipatit dari cangkang telur ayam (CTA)	13
6	Spektra FTIR hidroksipatit dari cangkang telur ayam	14
7	Citra SEM hidroksipatit dari cangkang telur ayam	15
8	Citra FESEM hidroksipatit dari cangkang telur (Goh <i>et al.</i> 2021)	15
9	Pola XRD karbon aktif dari membran telur ayam (MTA)	16
10	Citra SEM karbon aktif dari membran telur ayam	17
11	Citra FESEM karbon aktif dari membran telur ayam (Kathiravan <i>et al.</i> 2022)	17
12	Distribusi diameter pori karbon aktif ($n = 22$)	17
13	Mapping point EDX dari citra SEM karbon aktif	18
14	Kurva Nyquist SPE pada suhu 25°C	19
15	Kurva Nyquist dari variasi sampel baterai Li-S	20

DAFTAR LAMPIRAN

1	Lampiran 1 Kalkulasi konduktivitas ionik elektrolit polimer padat	27
2	Lampiran 2 Pengukuran <i>Semicircle</i> EIS	28