



UNIVERSITAS PERTAHANAN RI

**STUDI KOMPARATIF DEPOSISI TIMAH (IV) OKSIDA
MENGUNAKAN TEKNIK *SPRAY* DAN *SPIN-COATING*
UNTUK LAPISAN TRANSPOR ELEKTRON PADA
SEL SURYA PEROVSKIT ANORGANIK GUNA
MENUNJANG KETAHANAN ENERGI**

ALMAS SHAFWAN

320210304001

**Skripsi yang Ditulis untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan dalam
Mendapatkan Gelar Sarjana**

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM MILITER

PROGRAM STUDI FISIKA

BOGOR 2025

LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI

Nama : Almas Shafwan
NIM : 320210304001
Program Studi : Fisika
Fakultas : MIPA Militer
Judul : Studi Komparatif Deposisi Timah (IV) Oksida menggunakan Teknik *Spray* dan *Spin-Coating* untuk Lapisan Transpor Elektron pada Sel Surya Perovskit Anorganik Guna Menunjang Ketahanan Energi

Dosen Pembimbing I,



Imastuti, S.Pd., M.Han.
NUPTK: 2033772673230323
Tanggal 15-7-..... 2025

Dosen Pembimbing II,



Dr. Lia Yuliantini, S.Si., M.Si.
NIP. 199107292023212021
Tanggal 28-7-..... 2025

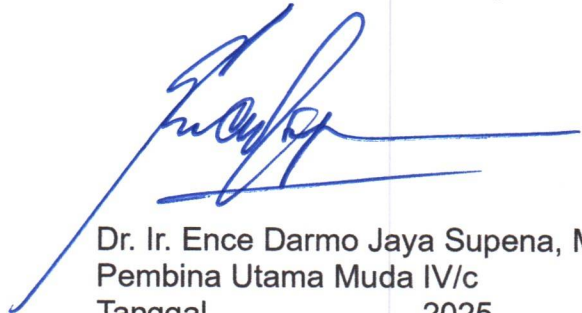
Mengetahui,

Ketua Program Studi Fisika,



M. Zuhnir P., S.Si., M.Eng.
Kolonel Tek. NRP. 522657
Tanggal 23-7-..... 2025

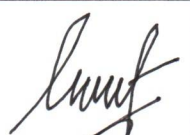
Dekan Fakultas MIPA Militer,



Dr. Ir. Ence Darmo Jaya Supena, M.Si.
Pembina Utama Muda IV/c
Tanggal 2025

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Nama : Almas Shafwan
 NIM : 320210304001
 Program Studi : Fisika
 Fakultas : MIPA Militer
 Judul : Studi Komparatif Deposisi Timah (IV) Oksida menggunakan Teknik *Spray* dan *Spin-Coating* untuk Lapisan Transpor Elektron pada Sel Surya Perovskit Anorganik Guna Menunjang Ketahanan Energi

No	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
1	Dosen Pembimbing I: Imastuti, S.Pd., M.Han. NUPTK: 2033772673230323		15/7.25
2	Dosen Pembimbing II: Dr. Lia Yuliantini, S.Si., M.Si. NIP. 199107292023212021		28/7.25
3	Dosen Penguji I: Kol. Tek. M. Zuhnir Piliang, S.Si., M.Eng. NRP. 522657		23/7.25
4	Dosen Penguji II: Dr. Riri Murniati, S.Si., M.Si. NIP. 199001202022032002		23/7.25

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini, saya menyatakan bahwa dalam penulisan skripsi ini tidak terdapat karya atau bagian karya yang sebelumnya pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan pada jenjang apa pun di Perguruan Tinggi mana pun. Selain itu, sejauh pengetahuan saya, tidak ada istilah, frasa, kalimat, paragraf, subbab, atau bab yang berasal dari karya yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh pihak lain, kecuali yang telah secara tertulis disebutkan dalam naskah ini dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

Apabila di kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini mengandung unsur plagiat, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan peraturan atau undang-undang yang berlaku.

Bogor, ...11-08-2025



Almas Shafwan

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Pertahanan Republik Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Almas Shafwan
NIM : 320210304001
Program Studi : Sarjana Fisika
Fakultas : MIPA Militer
Jenis Karya : Skripsi

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pertahanan Republik Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Studi Komparatif Deposisi Timah (IV) Oksida menggunakan Teknik *Spray* dan *Spin-Coating* untuk Lapisan Transpor Elektron pada Sel Surya Perovskit Anorganik Guna Menunjang Ketahanan Energi

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pertahanan Republik Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Bogor
Pada tanggal : 11 - Agustus - 2025

Yang menyatakan



Almas Shafwan
NIM. 320210304001

KATA PENGANTAR

Puji syukur peneliti panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulisan skripsi yang berjudul “Studi Komparatif Deposisi Timah (IV) Oksida menggunakan Teknik *Spray* dan *Spin-Coating* untuk Lapisan Transpor Elektron pada Sel Surya Perovskit Anorganik Guna Menunjang Ketahanan Energi” dapat diselesaikan dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer, Universitas Pertahanan Republik Indonesia.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, dengan segala hormat, peneliti menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Letnan Jenderal TNI (Purn.) Dr. Anton Nugroho, M.M.D.S., M.A., selaku Rektor Universitas Pertahanan Republik Indonesia, atas dukungan dan arahnya.
2. Dr. Ir. Ence Darmo Jaya Supena, M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer Universitas Pertahanan RI, atas arahan dan motivasinya selama masa studi.
3. Kolonel Tek. M. Zuhair Piliang, S.Si., M.Eng., selaku Ketua Program Studi Fisika atas arahan dan motivasinya selama masa studi.
4. Imastuti, S.Pd., M.Han., sebagai dosen pembimbing 1, yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta masukan berharga dalam penulisan skripsi ini.
5. Dr. Lia Yulianti, S.Si., M.Si., sebagai dosen pembimbing 2 sekaligus Peneliti Ahli Madya BRIN Bandung, atas bimbingan dan fasilitas penelitian yang telah diberikan hingga skripsi ini selesai.
6. Keluarga saya yang selalu memberikan dukungan moral, material, dan doa yang tidak pernah putus.

7. Seluruh staf dan dosen Program Studi Fisika Universitas Pertahanan RI, yang telah memberikan dukungan selama masa studi.
8. Rekan-rekan kadet mahasiswa Fisika, yang senantiasa memberikan dukungan dan semangat dalam menyelesaikan tugas bersama.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa senantiasa melimpahkan rahmat dan kebaikan kepada semua pihak atas dukungan yang telah diberikan kepada peneliti. Peneliti menyadari bahwa dalam penelitian dan penulisan skripsi ini masih terdapat berbagai kekurangan. Oleh karena itu, peneliti dengan tulus hati menerima kritik, saran, serta masukan yang membangun demi penyempurnaan skripsi ini.

Sebagai penutup, peneliti berharap agar hasil dari penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, serta dapat menginspirasi peneliti-peneliti selanjutnya untuk mengembangkan bidang penelitian yang relevan.

Bogor, ... 11 Agustus 2025



Almas Shafwan

ABSTRAK

STUDI KOMPARATIF DEPOSISI TIMAH (IV) OKSIDA MENGGUNAKAN TEKNIK *SPRAY* DAN *SPIN-COATING* UNTUK LAPISAN TRANSPOR ELEKTRON PADA SEL SURYA PEROVSKIT ANORGANIK GUNA MENUNJANG KETAHANAN ENERGI

Pengembangan teknologi energi surya berperan penting dalam mengurangi emisi karbon dan meningkatkan ketahanan energi nasional. Inovasi teknologi panel surya terus dikembangkan, salah satunya melalui pemanfaatan sel surya perovskit (SSP) untuk meningkatkan efisiensi dan menurunkan biaya produksi. Untuk mencapai performa tersebut, diperlukan lapisan transpor elektron (LTE) yang efisien, salah satunya untuk meninjau bahan dasar timah (IV) oksida (SnO_2). Penelitian ini membandingkan dua teknik deposisi, yakni *spray-coating* dan *spin-coating*, dengan meninjau pengaruh variasi siklus dan lapisan terbaik terhadap sifat optik, morfologi, dan performa sel surya. Karakterisasi UV-Vis menunjukkan bahwa kedua metode deposisi menghasilkan lapisan dengan transmitansi tinggi di wilayah cahaya tampak dan absorbansi tinggi di wilayah ultraviolet (UV). Analisis SEM-EDX dan AFM mengungkap bahwa lapisan SnO_2 yang dihasilkan melalui teknik *spray-coating* lebih padat, homogen, dan tipis dibandingkan dengan *spin-coating*. Kondisi ini berdampak positif terhadap efisiensi transfer muatan serta penurunan resistansi seri dalam perangkat. Dari aspek performa sel surya, *spray-coating* membentuk kontak ohmik dengan konduktivitas yang lebih tinggi dibandingkan *spin-coating*, yang cenderung bersifat non-ohmik. Perangkat sel surya perovskit dengan lapisan SnO_2 hasil *spray-coating* sebanyak 7 siklus mencatat *power conversion efficiency* tertinggi sebesar 2,13%, melebihi *spin-coating* 7 lapis yang hanya mencapai 1,27%. Hasil ini diperkuat melalui pengukuran IPCE yang menunjukkan respons spektral lebih luas pada perangkat dengan lapisan *spray-coating*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa teknik *spray-coating* lebih unggul dalam menghasilkan lapisan SnO_2 dengan karakteristik optik, morfologi, dan performa sel surya untuk mendukung performa sel surya perovskit yang dapat memberikan potensi tingkat kesiapan teknologi skala industri guna menunjang ketahanan energi.

Kata Kunci: SnO_2 , *Spray-Coating*, *Spin-Coating*, Sel Surya Perovskit, Sifat Optik, Morfologi.

ABSTRACT

A COMPARATIVE STUDY OF TIN(IV) OXIDE DEPOSITION USING SPRAY AND SPIN-COATING TECHNIQUES FOR ELECTRON TRANSPORT LAYERS IN INORGANIC PEROVSKITE SOLAR CELLS TO SUPPORT ENERGY SECURITY

The development of solar energy technology plays a crucial role in reducing carbon emissions and enhancing national energy resilience. Innovations in solar panel technology continue to evolve, one of which is the use of perovskite solar cells (PSC) to improve efficiency and lower production costs. To achieve this performance, an efficient electron transport layer (ETL) is required, one of which is reviewing tin (IV) oxide (SnO_2) as the base material. This study compares two deposition techniques, namely spray-coating and spin-coating, by examining the effects of cycle variations and the best layer on the optical properties, morphology, and performance of the solar cells. UV-Vis characterization shows that both deposition methods produce layers with high transmittance in the visible light region and high absorbance in the ultraviolet (UV) region. SEM-EDX and AFM analyses reveal that the SnO_2 layer produced by the spray-coating technique is denser, more homogeneous, and thinner compared to spin-coating. This condition positively affects charge transfer efficiency and reduces series resistance in the device. In terms of solar cell performance, spray-coating forms an ohmic contact with higher conductivity compared to spin-coating, which tends to behave non-ohmically. The perovskite solar cell device with a SnO_2 layer formed by spray-coating with 7 cycles recorded the highest power conversion efficiency of 2.13%, exceeding the 7-layer spin-coating, which only achieved 1.27%. These results are reinforced by IPCE measurements that show a broader spectral response in the device with the spray-coating layer. The findings of this study indicate that the spray-coating technique is superior in producing SnO_2 layers with optical characteristics, morphology, and solar cell performance that support the performance of perovskite solar cells, which has the potential to reach industrial-scale technological readiness to enhance energy security.

Keywords: SnO_2 , Spray-Coating, Spin-Coating, Perovskite Solar Cell, Optical Properties, Morphology.

DAFTAR ISI

	Halaman
SAMPUL SKRIPSI	i
LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR SINGKATAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.4.1 Manfaat Teoritis	5
1.4.2 Manfaat Praktis.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Landasan Teori	6
2.1.1 Sel Surya Perovskit	6
2.1.2 Lapisan Transpor Elektron	10
2.1.3 Semikonduktor.....	11
2.1.4 Teknik <i>Spray-Coating</i>	12
2.1.5 Teknik <i>Spin-Coating</i>	15
2.1.6 Sifat Fotoelektronik SnO ₂	16

2.1.7	Karakterisasi Material	20
2.1.8	Peran Serta Sel Surya terhadap Ketahanan Energi Nasional	23
2.2	Hasil Penelitian Terdahulu	25
2.3	Kerangka Berpikir	28
2.4	Hipotesis.....	29
BAB III	METODE PENELITIAN.....	30
3.1	Metode dan Desain Penelitian	30
3.1.1	Metode Penelitian.....	30
3.1.2	Desain Penelitian.....	30
3.2	Waktu dan Tempat Penelitian	31
3.3	Alat dan Bahan	32
3.4	Variabel Penelitian	34
3.5	Prosedur Penelitian	35
3.5.1	Studi Literatur	36
3.5.2	Pembuatan Larutan SnO ₂	37
3.5.3	Persiapan Kaca FTO	37
3.5.4	Fabrikasi Sel Surya Perovskit Menggunakan Metode Deposisi <i>Spray</i> dan <i>Spin-Coating</i> Pada Lapisan Transpor Elektron	38
3.5.5	Pengukuran I-V.....	40
3.6	Metode Analisis	41
BAB IV	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	43
4.1	Hasil Penelitian.....	43
4.1.1	Sifat Optik dan Struktur Ikatan Kimia	45
4.1.2	Morfologi.....	49
4.1.3	Performa Sel Surya Perovskit	54
4.2	Pembahasan	58
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	63
5.1	Kesimpulan.....	63
5.2	Saran.....	64
	DAFTAR PUSTAKA	65
	LAMPIRAN.....	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Potensi Tenaga Fotovoltaik di Indonesia	2
Gambar 1.2 (a) Tenda dengan Panel Surya, (b) Penerapan Teknologi Sel Surya dalam Operasi Militer.....	3
Gambar 2.1 Struktur Kristal Perovskit.....	6
Gambar 2.2 Struktur (a) SSP Mesoskopik, (b) SSP Mesoskopik Bebas LTH, dan (c) SSP Planar Bebas LTH	7
Gambar 2.3 Prinsip Kerja Sel Surya Perovskit.....	8
Gambar 2.4 Kurva I-V Sel Surya	9
Gambar 2.5 Diagram Pita Energi.....	11
Gambar 2.6 Proses Skematis <i>Spray-coating</i>	13
Gambar 2.7 Tabung Aliran pada Persamaan Kontinuitas.....	14
Gambar 2.8 Analisis Energi Tabung Aliran pada Persamaan Bernoulli.....	14
Gambar 2.9 Proses Skematis <i>Spin-coating</i>	16
Gambar 2.10 Proses Skematis (a) SEM-EDX dan (b) AFM	21
Gambar 2.11 Kerangka Berpikir pada Penelitian	28
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	35
Gambar 3.2 Sel Surya Perovskit Dengan Struktur FTO/SnO ₂ /CsPbBr ₃ /Karbon	36
Gambar 3.3 Pembuatan Larutan SnO ₂	37
Gambar 3.4 Etching Kaca FTO.....	38
Gambar 3.5 Tahapan Fabrikasi SSP Menggunakan <i>Spray-Coating</i> untuk Deposisi LTE	39
Gambar 3.6 Tahapan Fabrikasi SSP Menggunakan <i>Spin-Coating</i> untuk Deposisi LTE	40
Gambar 4.1 Kurva I-V Menggambarkan Variasi antara SnO ₂ yang Dideposisi melalui Metode <i>Spin-Coating</i> dan <i>Spray-Coating</i>	43

Gambar 4.2	Pelapisan Kaca FTO dengan SnO ₂ Menggunakan <i>Spin-Coating</i> (Sisi Kanan) dan <i>Spray-Coating</i> (Sisi Kiri)	45
Gambar 4.3	Spektrum Absorbansi dan Transmittansi UV-Vis SnO ₂ Prekursor.....	46
Gambar 4.4	(a) Absorbansi Lapisan Tipis SnO ₂ dan (b) Transmittansi Lapisan Tipis SnO ₂	47
Gambar 4.5	Spektrum FTIR Air Deionisasi dan SnO ₂ Prekursor	48
Gambar 4.6	Analisis SEM SnO ₂ yang Dilapisi pada Kaca dengan Metode Deposisi (a) <i>Spray-Coating</i> 7 Siklus dan (b) <i>Spin-coating</i> 7 Lapis.....	50
Gambar 4.7	Analisis EDX Menunjukkan Dispersi Unsur Oksigen, Silikat, dan Timah dengan Metode Deposisi (a) <i>Spray-Coating</i> 7 Siklus dan (b) <i>Spin-Coating</i> 7 Lapis.....	51
Gambar 4.8	Topografi Permukaan SnO ₂ Hasil Karakterisasi AFM dengan Metode (a) <i>Spray-Coating</i> 7 Siklus dan (b) <i>Spin-coating</i> 7 Lapis	52
Gambar 4.9	Ketebalan Lapisan SnO ₂ pada Metode (a) <i>Spray-Coating</i> 7 Siklus dan (b) <i>Spin-Coating</i> 7 Lapis	53
Gambar 4.10	Hubungan J-V dalam Kondisi Gelap untuk SnO ₂ Metode <i>Spray-Coating</i> 7 Siklus dan <i>Spin-Coating</i> 7 Lapis pada Struktur Lapisan FTO/SnO ₂ /Karbon/Ag	56
Gambar 4.11	Spektrum IPCE dari SSP yang Direkam antara 300 dan 600 nm.....	57

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Sifat SnO_2 dan TiO_2 sebagai LTE dalam Sel Surya Perovskit.....	18
Tabel 2.2 Hasil Penelitian Terdahulu	25
Tabel 3.1 Jadwal Penelitian	31
Tabel 3.2 Alat Karakterisasi	32
Tabel 4.1 Pengukuran Arus-Tegangan (I-V) dari 3 Sel	44
Tabel 4.2 Spektra FTIR Air Deionisasi dan SnO_2 Prekursor.....	49



DAFTAR SINGKATAN

SSP	: Sel Surya Perovskit
LTE	: Lapisan Transpor Elektron
SnO ₂	: Timah (IV) Oksida
TiO ₂	: Titanium dioksida
DSSC	: <i>Dye-Sensitized Solar Cells</i>
OPV	: <i>Organic Photovoltaic</i>
LTH	: Lapisan Transpor Hole
TCO	: <i>Transparent Conductive Glass</i>
FTO	: <i>Fluorine-doped Tin Oxide</i>
ITO	: <i>Indium-doped Tin Oxide</i>
V _{oc}	: Tegangan rangkaian terbuka
J _{sc}	: Densitas arus hubung singkat
P _{max}	: Daya keluaran maksimum
FF	: Faktor pengisian
PCE	: <i>Power Conversion Efficiency</i>
UV-Vis	: <i>Ultraviolet-Visible Spectroscopy</i>
FTIR	: <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i>
SEM-EDX	: <i>Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-ray Spectroscopy</i>
AFM	: <i>Atomic Force Microscopy</i>
IPCE	: <i>Incident Photon-to-Current Efficiency</i>