

**STUDI PENGARUH VARIASI KONSENTRASI
DOPING BESI (Fe^{3+}) TERHADAP SIFAT
TERMOELEKTRIK LAPISAN SENG OKSIDA (ZnO)**

Skripsi

**Disusun untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Sains**



Auliya Rahmawati

1306622024

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
2025**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

STUDI PENGARUH VARIASI KONSENTRASI DOPING BESI (Fe^{3+}) TERHADAP SIFAT TERMOELEKTRIK LAPISAN SENG OKSIDA (ZnO)

Nama : Auliya Rahmawati

No. Registrasi : 1306622024

Jabatan

Nama



Tanggal

Penanggung Jawab:

Dekan : Dr. Hadi Nasbey, S.Pd., M.Si.
NIP. 197909162005011004

30/7/2026

Wakil Penanggung Jawab

Wakil Dekan I : Dr. Meiliasari, S.Pd., M.Sc.
NIP. 197905042009122002

30/7/2026

Ketua Sidang : Dr. Teguh Budi Prayitno, M.Si.
NIP. 198205262008121001

28/07/2026

Sekretaris : Marisa Ulfa, M.Si.
NIP. 199003042024062001

28/07/2026

Anggota:

Pembimbing I : Prof. Dr. Iwan Sugihartono, M.Si.
NIP. 97910102008011018

27/07/2026

Pembimbing II : Prof. Dr. Rike Yudianti, M.Sc.
NIP. 19680721994032003

29/07/2026

Penguji : Fachriza Fathan, S.Si., M.Si.
NIP. 199203102014061002

28/07/2026

Dinyatakan lulus pada tanggal 20 Juli 2026.

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya, bahwa skripsi dengan judul "Studi Pengaruh Variasi Konsentrasi Doping Besi (Fe^{3+}) Terhadap Sifat Termoelektrik Lapisan Seng" yang disusun sebagai syarat memperoleh gelar Sarjana Sains pada program studi Fisika Universitas Negeri Jakarta, merupakan hasil karya ilmiah saya sendiri yang disusun dengan arahan dosen pembimbing.

Seluruh sumber yang dikutip dari penulis lain telah dipublikasikan yang disebutkan dalam teks skripsi ini, telah dicantumkan dalam Daftar Pustaka sesuai dengan norma, kaidah dan penulisan ilmiah. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa sebagian atau seluruh isi skripsi ini bukan merupakan karya asli saya pada bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi berupa pencabutan gelar akademik yang telah saya peroleh serta sanksi lain sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku.





KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
PERPUSTAKAAN DAN KEARSIPAN

Jalan Rawamangun Muka Jakarta 13220
Telepon/Faksimili: 021-4894221
Laman: lib.unj.ac.id

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Negeri Jakarta, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Auliya Rahmawati
NIM : 1306622024
Fakultas/Prodi : FMIPA / Fisika
Alamat email : aulyorahmawati1109@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan dan Kearsipan Universitas Negeri Jakarta, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah:

☒ Skripsi ☐ Tesis ☐ Disertasi ☐ Lain-lain (.....)

yang berjudul :

Studi pengaruh Variasi Konsentrasi Doping Besi (Fe^{3+}) Terhadap Sifat Termoelektrik Lapisan Seng Oksida (ZnO)

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan dan Kearsipan Universitas Negeri Jakarta berhak menyimpan, mengalihmediakan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta 13 Agustus 2026

Penulis

(Auliya Rahmawati)
nama dan tanda tangan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas berat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul ” Studi Pengaruh Variasi Konsentrasi Doping Besi (Fe^{3+}) Terhadap Sifat Termoelektrik Lapisan Seng Oksida (ZnO)” dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta. Penulis menyadari bahwa dalam menyusun skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak, sehingga penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Iwan sugihartono, M. Si, selaku dosen pembimbing I sekaligus pembimbing akademik, atas segala arahan, bimbingan, sekaligus motivasi kepada penulis selama pelaksanaan penelitian hingga penyelesaian studi ini.
2. Prof. Dr. Rike Yudianti, M.Sc, selaku dosen pembimbing ke II, atas segala arahan, bimbingan, serta saran yang berharga dalam proses penelitian hingga skripsi ini tersusun.
3. Dr. Teguh Budi Prayitno, M.Si, selaku koordinator Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta atas segala dukungan dan arahan selama masa studi.
4. Seluruh dosen Prodi Fisika dan Prodi Pendidikan Fisika, yang telah membekali penulis dengan ilmua, wawasan dan pengalaman berharga sepanjang perkuliahan.
5. Kedua orang tua, Kakak-Kakak dan adik tersayang, yang senantiasa memberikan dukungan, semangat dan kehangatan dalam menyelesaikan studi ini.
6. Aprilia Pramu Dhita, selaku rekan perjuangan dalam penyusunan skripsi ini. Terima Kasih atas dedikasi, kerjasama, serta menjadi sosok yang selalu siap berbagi beban dalam melewati proses mencari ilmu hingga proses pasang surut penyusunan skripsi ini. Kesabaran, semangat dan dukungan moral yang tiada henti hingga penelitian ini diselesaikan.

7. Kak Riyani Tri Yulianti M.Si, selaku Asisten peneliti di laboratorium Imaging Fisika, Pusat Riset Elektronika, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) atas segala dukungan, motivasi serta arahan yang telah di berikan selama penelitian ini berlangsung.
8. Sahabat-sahabat terdekat penulis, yaitu Agung, Jehan, Viero, Ezalicha, Ndari, Arini, Ridwan, Dina, dan Alifia atas persahabatan yang tulus, Kebersamaan, rekan bertukar pikiran, berbagi pengalaman serta dukungan yang tiada henti diberikan kepada penulis.
9. Teman-teman LDMF yaitu Lisna, Jati, Kak Suci, Kak Erika yang mewarnai serta memberikan dukungan pada saat proses penelitian berlangsung.
10. Seluruh teman-teman kelas dan seluruh Angkatan 2022 Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta atas kebersamaan, dukungan, serta berbagai pengalaman berharga selama masa perkuliahan.
11. Teman-teman Batavia Team, atas segala pengalaman berharga, wadah untuk bertumbuh, serta ruang belajar yang telah diberikan kepada penulis selama masa perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan dan keterbatasan. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak untuk penyempurnaan di masa mendatang. Penulis juga berharap skripsi ini memberikan manfaat dan kontribusi pengetahuan yang berguna bagi semua pihak

Jakarta, Juli 2026

Auliya Rahmawati

ABSTRAK

AULIYA RAHMAWATI. Studi Pengaruh Variasi Konsentrasi Doping Besi (Fe^{3+}) Terhadap Sifat Termoelektrik Lapisan Seng Oksida (ZnO). Skripsi, Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta. Juli 2026.

Pengembangan material termoelektrik yang efisien sangat penting untuk mengubah panas buangan menjadi energi listrik yang bermanfaat melalui efek seebeck. Seng oksida (ZnO), sebuah semikonduktor oksida yang stabil dan ramah lingkungan, memiliki kelemahan berupa konduktivitas listrik yang rendah dan konduktivitas termal yang tinggi, sehingga membatasi kinerja termoelektriknya. Dalam penelitian ini, film tipis ZnO terdoping Fe yang di sintesis melalui metode *spray coating* diatas substrat silikon tipe-n untuk mengevaluasi pengaruh Fe terhadap sifat termoelektrik dan sifat strukturalnya. Analisis XRD mengkonfirmasi bahwa semua sampel tetap mempertahankan fase *hexagonal wurtzite* dari ZnO . Pada saat yang sama, doping Fe menyebabkan penurunan ukuran kristal, pelebaran puncak, dan regangan kisi. FESEM menunjukkan bahwa doping Fe dalam jumlah sedang (10%) menghasilkan butiran berskala nano yang seragam, sedangkan kandungan Fe yang lebih tinggi (15%) menghasilkan morfologi yang terlihat jelas membentuk nanoplate yang di konfirmasi dengan hasil FESEM (*Cross section*) menunjukkan bahwa pada ZnO murni membentuk *bulk* sedangkan yang terdoping Fe membentuk *nanoplate*. Hasil pengukuran termoelektrik mengungkapkan bahwa doping Fe meningkatkan konduksi listrik seiring bertambahnya kandungan Fe karena adanya modifikasi struktur elektronik dan pengurangan hambatan terkait perangkat muatan (*trap-related barriers*). Kombinasi peningkatan struktural dan elektronik ini membuktikan bahwa doping Fe secara efektif meningkatkan kinerja termoelektrik berbasis oksida, khususnya pada suhu rendah.

Kata Kunci: ZnO terdoping Fe, Film Tipis, *spray coating*, koefisien seebeck, termoelektrik.

ABSTRACT

AULIYA RAHMAWATI. A Study of the Effect of Variations in Iron (Fe^{3+}) Doping Concentration on the Thermoelectric Properties of Zinc Oxide (ZnO) Layers. Thesis, Physics Program, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Jakarta State University. July 2026.

The development of efficient thermoelectric materials is crucial for converting waste heat into useful electrical energy through the Seebeck effect. Zinc oxide (ZnO), a stable and environmentally friendly oxide semiconductor, has the drawbacks of low electrical conductivity and high thermal conductivity, which limit its thermoelectric performance. In this study, Fe-doped ZnO thin films were synthesized via the spray coating method on n-type silicon substrates to evaluate the effect of Fe on their thermoelectric and structural properties. XRD analysis confirmed that all samples retained the hexagonal wurtzite phase of ZnO. At the same time, Fe doping resulted in a decrease in crystal size, peak broadening, and lattice strain. FESEM revealed that moderate Fe doping (10%) produced uniform nanoscale grains, whereas higher Fe content (15%) resulted in a distinct morphology forming nanoplates, as confirmed by FESEM (cross-section) results showing that pure ZnO formed a bulk structure, while Fe-doped ZnO formed nanoplates. Thermoelectric measurement results reveal that Fe doping enhances electrical conductivity as the Fe content increases, due to modifications in the electronic structure and a reduction in charge-trap-related barriers. This combination of structural and electronic improvements demonstrates that Fe doping effectively enhances the thermoelectric performance of oxide-based materials, particularly at low temperatures.

Keywords: Fe-doped ZnO, thin films, spray coating, thermoelectric properties, Seebeck coefficient.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR SINGKATAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
BAB II KAJIAN PUSTAKA	5
2.1. <i>Thermoelectric</i>	5
2.1.1 Koefisien Seebeck.....	5
2.1.2 Konduktivitas Listrik	6
2.1.3 Konduktivitas Termal	6
2.1.4 <i>Power Factor</i>	7
2.1.5 <i>Figure of Merit</i>	7
2.2. Seng Oksida (ZnO)	9
2.3. Fe-doped ZnO	12
2.4. <i>Ethylene Glycol Monomethyl Ether</i>	13

2.5.	Ethanolamine.....	14
2.6.	Karakterisasi.....	14
2.6.1	Difraksi sinar-X.....	14
2.6.2	<i>Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-ray</i>	16
2.6.3	<i>X-ray Photoelectron Spectroscopy</i>	19
2.6.4	I-V karakterisasi	20
2.7.	Penelitian Terdahulu.....	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		24
3.1.	Tempat dan Waktu Penelitian.....	24
3.2.	Metode Penelitian.....	24
3.2.1	Alat dan Bahan.....	25
3.2.2	Prosedur Penelitian.....	25
3.2.3	Diagram Alir Penelitian.....	27
3.3.	Teknik Pengumpulan dan Analisis Data	29
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN		31
4.1	Hasil Sintesis Thin Film Zno Doped Fe.....	31
4.2	Hasil Pengujian kinerja Termoelektrik.....	34
4.3	Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i>	38
4.4	Hasil Karakterisasi <i>FESEM-EDX</i>	40
4.4.1	Hasil morfologi pada surface area.....	40
4.4.2	Hasil Morfologi pada <i>cross section</i>	41
4.4.3	Hasil EDX	42
4.5	Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Photoelectron Spectroscopy</i>	42
BAB V KESIMPULAN		45
DAFTAR PUSTAKA		47
LAMPIRAN.....		52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Mekanisme Efek Seebeck	8
Gambar 2. 2 Tiga Jenis Struktur Kristal ZnO	10
Gambar 2. 3 Struktur Wurtzite dari ZnO (Zinc Oxide).....	11
Gambar 2. 4 Skema Sistem Kerja Difraksi Sinar X.....	15
Gambar 2. 5 Skema Sistem Kerja Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX) Pada SEM.....	17
Gambar 2. 6 Citra SEM morfologi permukaan ZnO yang didoping Fe sebesar 15%	18
Gambar 3. 1 Preparasi Subtrat Silicon N-Type.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 2 Proses Pembuatan Larutan Pada Konsentrasi 15%	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 3 Pembuatan Thin Film dengan metode Spray Coating.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 4 Diagram Alir Metodologi Penelitian	28
Gambar 3. 5 Skema Pengaturan Pengukuran Seebeck untuk Fe–ZnO/Si Tipe-n	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 1 Larutan Prekursor ZnO dan Fe-ZnO sebelum Spray Coating	32
Gambar 4. 2 Lapisan tipis ZnO dan Fe-ZnO (5%, 10%, 15%) pada substrat silikon tipe-n hasil spray coating.	33
Gambar 4. 3 Hasil Termoelektrik Properties (a,f)Seebeck Coefficient (b) Resistivity (c) Electrical Conductivity (d) Power Factor (e) I-V Characterization	34
Gambar 4. 4 (a) Grafik XRD ZnO thin film, powder dan Fe-ZnO.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 5 Hasil karakterisasi FESEM a) sampel 10% Fe-ZnO, b) Sampel 15% Fe-ZnO, c) sampel ZnO Cross section dan d) sampel ZnO Cross section.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 6 Hasil karakterisasi FESEM a) sampel ZnO murni, b) Sampel 15% Fe-ZnO	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 7 Hasil karakterisasi EDX sampel ZnO murni	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 8 Hasil karakterisasi EDX sampel 10% Fe-ZnO	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 9 Hasil karakterisasi EDX sampel 15% Fe-ZnO	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 10 Hasil karakterisasi spektrum XPS sampel ZnO dan 15% Fe-ZnO (a) survey scan, b) spektrum Zn 2P (c) Dekonvolusi O1s (d) dekonvolusi Fe2P	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Jadwal Kegiatan	24
Tabel 3. 2 Hasil Pengamatan <i>X-ray Diffraction</i>	29
Tabel 4. 1 Karakteristik struktur kristal ZnO	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 2 Karakteristik struktur kristal ZnO	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 3 Karakteristik struktur kristal ZnO	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 4 Karakteristik struktur kristal ZnO	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 5 Hasil karakterisasi EDX sampel ZnO murni	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 6 Hasil karakterisasi EDX sampel 10% Fe-ZnO....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 7 Hasil karakterisasi EDX sampel 15% Fe-ZnO....	Error! Bookmark not defined.



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Perhitungan Komposisi Bahan Prekursor	52
Lampiran 2.	Alat dan Bahan.....	53
Lampiran 3.	Perhitungan ukuran Seebeck	54
Lampiran 4.	Perhitungan Nilai Konduktivitas Listrik dan resistivitas.....	55
Lampiran 5.	Perhitungan Power Factor	56
Lampiran 6.	plotting grafik pengukuran Termoelektrik dengan Origin.....	56
Lampiran 7.	Hasil Pengolahan XRD <i>thin film</i> ZnO murni	56
Lampiran 8.	Hasil Pengolahan XRD <i>thin film</i> 5%Fe-ZnO	59
Lampiran 9.	Hasil Pengolahan XRD <i>thin film</i> 10%Fe-ZnO	61
Lampiran 10.	Hasil Pengolahan XRD <i>thin film</i> 15%Fe-ZnO.....	64
Lampiran 11	Hasil Plotting XPS <i>thin Film</i> ZnO murni dengan CASAXPS.....	67
Lampiran 12.	Hasil Plotting XPS <i>thin Film</i> ZnO murni dengan CASAXPS.....	67
Lampiran 13.	Kegiatan Sintesis Sampel	68



DAFTAR SINGKATAN

The logo of Universitas Negeri Jakarta is a large, light blue watermark in the background. It features a central emblem with a torch and a book, surrounded by a circular border with the text "UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA".

ZnO	: Zinc Oxide
Fe	: Besi (Iron)
XRD	: X-Ray Diffraction
SEM	: Scanning Electron Microscopy
EDX	: Energy Dispersive X-ray Spectroscopy
FESEM	: Field Emission Scanning Electron Microscopy
XPS	: X-Ray Photoelectron Spectroscopy
I–V	: Arus–Tegangan (Current–Voltage)
TE	: Thermoelectric
S	: Koefisien Seebeck
PF	: Power Factor
ZT	: Figure of Merit Termoelektrik
FWHM	: Full Width at Half Maximum
SE	: Secondary Electron
BSE	: Backscattered Electron
hkl	: Indeks Miller
nm	: Nanometer
eV	: Electron Volt
K	: Kelvin
V	: Volt
A	: Ampere
Ω	: Ohm.