

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI STRUKTUR PEROVSKITE
BERBASIS LaMnO_3 DENGAN SUBSTITUSI MULTI-
KOMPONEN BERDASARKAN VARIASI KOMPOSISI**

SKRIPSI

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si)
Bidang Studi Fisika**

OLEH :

**TRI INTAN WULANDARI
NIM. 08021282126031**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2025

LEMBAR PENGESAHAN

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI STRUKTUR PEROVSKITE
BERBASIS LaMnO_3 DENGAN SUBSTITUSI MULTI-KOMPONEN
BERDASARKAN VARIASI KOMPOSISI**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si.) Bidang
Studi Fisika

Oleh :

TRI INTAN WULANDARI

NIM. 08021282126031

Indralaya, 05 Maret 2025

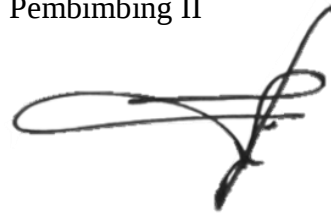
Menyetujui

Pembimbing I



Dr. Akmal Johan, S.Si., M.Si
NIP. 197312211999031003

Pembimbing II



Dr. Jan Setiawan, S.Si., M.Si
NIP. 198006212003121002

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



Dr. Eisman Vito, S.Si., M.T
NIP. 197009101994121001

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, Mahasiswa Jurusan Fisika,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya:

Nama : Tri Intan Wulandari
NIM : 08021282126031
Judul TA : Sintesis Dan Karakterisasi Struktur Perovskite Berbasis
LaMnO₃ Dengan Substitusi Multi-Komponen Berdasarkan
Variasi Komposisi

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun merupakan hasil karya sendiri yang didampingi oleh dosen pembimbing dalam proses penyelesaiannya serta mengikuti etika penulisan karya ilmiah tanpa adanya Tindakan Plagiat, sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di Program studi Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan Sebenar-benarnya tanpa ada paksaan dari pihak manapun. Apabila ditemukan adanya unsur plagiat dalam skripsi ini. Maka, saya siap bertanggung jawab secara akademik dan menjalani proses hukum yang telah ditetapkan.

Indralaya, 05 Maret 2025

Yang menyatakan

A red rectangular stamp is visible, containing the text '00001' and 'DBALX 24/03/2025'.

Tri Intan Wulandari

NIM. 08021282126031

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI STRUKTUR PEROVSKITE
BERBASIS LaMnO_3 DENGAN SUBSTITUSI MULTI-KOMPONEN
BERDASARKAN VARIASI KOMPOSISI**

Oleh :
Tri Intan Wulandari
NIM. 08021282126031

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menyintesis dan mengkarakterisasi struktur kristal material perovskite berbasis LaMnO_3 dengan substitusi multi-komponen untuk mengevaluasi pengaruh variasi komposisi terhadap pembentukan fasa, parameter kisi, ukuran kristalit dan regangan kisi. PRMM BRIN, KST BJ. Habibie, Serpong, akhir 2024 hingga awal 2025 sebagai tugas akhir mahasiswa Jurusan Fisika, Universitas Sriwijaya. Dua variasi komposisi, $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}(\text{Fe}_{0.33}\text{Cu}_{0.33}\text{Mn}_{0.33})\text{O}_3$ dan $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}(\text{Fe}_{0.25}\text{Cu}_{0.25}\text{Mn}_{0.25}\text{Ni}_{0.25})\text{O}_3$, dilakukan dengan metode *mechanical alloying*. Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk memperoleh pola difraksi yang kemudian dianalisis dengan *software* Match!, GSAS (*rietveld refinement*), Williamson-Hall, dan VESTA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada komposisi tanpa Ni membentuk fasa tunggal LaMnO_3 dengan struktur kristal kubik (Pm-3m), sedangkan komposisi mengandung Ni menghasilkan fasa sekunder, $\text{Cu}_{6.8}\text{Fe}_{1.2}\text{La}_{6.4}\text{O}_{20}\text{Sr}_{1.6}$ (tetragonal, P4/mbm) dan $\text{La}_2\text{NiO}_{4.24}$ (ortorombik, Fmmm). Ukuran kristalit material dengan unsur Ni lebih kecil (53,33 nm) dan memiliki regangan kisi lebih tinggi (0,002375), menunjukkan distorsi struktural yang lebih besar. Visualisasi struktur kristal menunjukkan distribusi atom yang mendukung temuan tersebut.

Kata kunci: LaMnO_3 , Substitusi Multi-Komponen, *Mechanical Alloying*, *X-Ray Diffraction* (XRD), *Rietveld Refinement*, Williamson-Hall, VESTA.

Indralaya, 05 Maret 2025

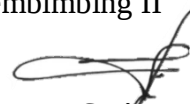
Menyetujui

Pembimbing I



Dr. Akmal Johan, S.Si., M.Si
NIP. 197312211999031003

Pembimbing II



Dr. Jan Setiawan, S.Si., M.Si
NIP. 198006212003121002

Mengetahui,

Ketua Jurusan Fisika



Dr. Frinsyah Vango, S.Si., M.T
NIP. 197009101994121001

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF LaMnO_3 -BASED PEROVSKITE MATERIALS WITH MULTI-COMPONENT SUBSTITUTION BASED ON COMPOSITION VARIATIONS

By:
Tri Intan Wulandari
NIM. 08021282126031

ABSTRACT

This study aims to synthesize and characterize the crystal structure of LaMnO_3 -based perovskite materials with multi-component substitution to evaluate the effect of compositional variation on phase formation, lattice parameters, crystallite size, and lattice strain. The research was conducted at PRMM, BJ Habibie Science and Technology Area (KST), BRIN, Serpong, from late 2024 to early 2025 as part of a final project by a Physics student at Universitas Sriwijaya. Two composition variants, $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}(\text{Fe}_{0.33}\text{Cu}_{0.33}\text{Mn}_{0.33})\text{O}_3$ and $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}(\text{Fe}_{0.25}\text{Cu}_{0.25}\text{Mn}_{0.25}\text{Ni}_{0.25})\text{O}_3$, were synthesized using the mechanical alloying method. Characterization was performed using X-Ray Diffraction (XRD), with diffraction patterns analyzed through Match! software, GSAS via Rietveld refinement, Williamson-Hall method, and VESTA for crystal structure visualization. The results showed that the Ni-free composition formed a single LaMnO_3 with a cubic structure (Pm-3m), while the Ni-containing composition resulted in secondary phases, $\text{Cu}_{6.8}\text{Fe}_{1.2}\text{La}_{6.4}\text{O}_{20}\text{Sr}_{1.6}$ (tetragonal, P4/mbm) and $\text{La}_2\text{NiO}_{4.24}$ (orthorhombic, Fmmm). The crystallite size of the Ni-containing material was smaller (53.33 nm) with higher lattice strain (0.002375), indicating greater structural distortion. Crystal structure visualization revealed atom distribution patterns consistent with these findings.

Keywords: Perovskite, LaMnO_3 , Multi-Component Substitution, Mechanical Alloying, X-Ray Diffraction (XRD), Rietveld Refinement, Williamson-Hall, VESTA.

Indralaya, 05 Maret 2025

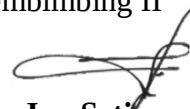
Menyetujui

Pembimbing I



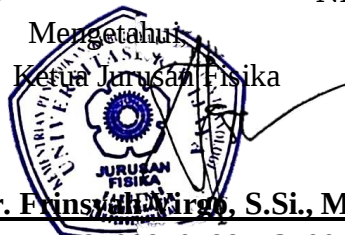
Dr. Akmal Johan, S.Si., M.Si
NIP. 197312211999031003

Pembimbing II



Dr. Jan Setiawan, S.Si., M.Si
NIP. 198006212003121002

Mengetahui
Ketua Jurusan Fisika



Dr. Fransyah Virgo, S.Si., M.T
NIP. 197009101994121001

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

يُسِّرَ الْعُسْرَ مَعَ وَأَنَّ ، الْكُرْبَ مَعَ الْفَرَجِ وَأَنَّ ، الصَّبْرَ مَعَ النَّصْرِ أَنَّ وَاعْلَمْ

“Ketahuilah bahwasannya kemenangan itu bersama kesabaran, dan jalan keluar itu bersama kesulitan, dan bahwasanya bersama kesulitan ada kemudahan”

"Kesuksesan bukan milik mereka yang paling pintar, tapi milik mereka yang pantang menyerah" ~ Maudy Ayunda

“My parents never gave me everything I wanted. They gave me everything I needed - values, vision, and education.” ~ Inspired by Najwa Shihab

“Great things never come from comfort zones”

“Aku berdiri di titik ini bukan karena hebatnya aku, tapi karena kuatnya keluargaku yang mendukungku sejak awal”
~ Tri Intan Wulandari

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur, karya sederhana ini kupersembahkan kepada:

*Allah SWT, Maha pencipta, sumber segala ilmu dan kekuatan.
Orang tuaku tercinta, atas doa, cinta, dukungan, dan selalu menjadi alasan di balik setiap perjuanganku.*

*Keluarga dan sahabatku yang selalu hadir dalam proses panjang ini.
Dosen pembimbing dan seluruh civitas akademika, yang telah membimbing dan memberi arahan selama perjalanan akademik ini.
Untuk diriku sendiri, yang telah berjuang melewati segala tantangan sehingga bisa berada sampai di titik ini.*

“Jika kelak kau akan berada di kegelapan, maka ingatlah bahwa sebelumnya engkau pernah melewati gelap yang sama dan itu adalah jalan menuju cahaya yang terang”

KATA PENGANTAR



Assalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Alhamdulillah Rabbil 'Alamin, segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala atas limpahan berkah, rahmat, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Sintesis Dan Karakterisasi Struktur Perovskite Berbasis LaMnO_3 Dengan Substitusi Multi-Komponen Berdasarkan Variasi Komposisi” dengan sebaik-baiknya. Skripsi ini dibuat sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya. Penelitian ini dilaksanakan di Pusat Riset Material Maju (PRMM), KST BJ. Habibie, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Kota Tangerang Selatan.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan dan keterbatasan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan masukan, baik berupa saran maupun kritik yang sifatnya dapat membangun. Perjalanan skripsi ini bukanlah hal yang mudah dan tentu saja tidak lepas dari bimbingan, dukungan, dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih yang tulus dan sebesar-besarnya kepada:

1. Allah Subhanahu wa Ta'ala, segala sumber rahmat dan karunia, yang senantiasa memberikan kekuatan, kesehatan, kemudahan dan kelancaran dalam setiap langkah penulis hingga akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan dengan penuh rasa syukur.
2. Kedua orang tua tercinta, Bapak Syamsul Bahri dan Ibu Yuni, yang senantiasa mendoakan, memberikan izin dan restu, serta selalu ada dengan dukungan penuh kasih, baik secara moril maupun materiil, dalam setiap langkah perjalanan hidup penulis.
3. Dr. Akmal Johan, S.Si., M.Si., sebagai dosen pembimbing I, yang dengan penuh kesabaran dan keahlian telah membimbing, mengarahkan, serta memberikan motivasi selama proses penelitian hingga penyelesaian skripsi ini.

4. Dr. Jan Setiawan, S.Si., M.Si., sebagai dosen pembimbing II, yang telah memberikan arahan, dukungan, dan dorongan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan skripsi ini dengan baik.
5. Dra. Jorena, M.Si., dan Prof. Dr. Muhammad Irfan, M.T, sebagai dosen penguji, yang telah memberikan saran dan masukan pada saat seminar proposal dan sidang skripsi, sehingga membantu penulis untuk memperbaiki dan menyempurnakan skripsi ini.
6. Dr. Fiber Monado, S.Si., M.Si., sebagai ketua sidang, yang telah memberikan saran dan masukan, serta turut mendukung kelancaran proses sidang skripsi.
7. Dr. Ramlan., M.Si., sebagai dosen pembimbing kerja praktek, yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama proses kerja praktek hingga penyelesaian skripsi ini.
8. Bapak Frinsyah Virgo, S.Si., M.T., sebagai dosen pembimbing akademik sekaligus Ketua Jurusan Fisika, yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama proses perkuliahan.
9. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Fisika, yang dengan tulus memberikan ilmu, wawasan, dan pengalaman, sehingga turut memberntuk pemahaman dan keterampilan penulis selama perkuliahan.
10. Admin Jurusan Fisika, yang telah memberikan bantuan dalam berbagai urusan administrasi penulis, mulai dari pengurusan berkas akademik hingga administrasi skripsi.
11. Ade Mulyawan, S.Si., M.Eng., Mashadi, M.Si., Drs. Yunasfi, M.Eng., serta seluruh pihak BRIN, yang telah memberikan ilmu, arahan dan bimbingan selama proses penelitian.
12. Saudara penulis, Robbil Mustaqim, Muhammad Ridho, Almh. Kustiningsih, beserta keponakan tercinta, Ryuna Aurellia Ramadhani, yang dengan kasih dan penuh perhatian selalu memberikan bantuan, dukungan, dan motivasi yang berarti bagi penulis.
13. SHALOM, yang beranggotakan Rifqi Islami, Dwi Qisah Sally Ananda, Alvina Rahma Agung, dan Izzah Zhahrina, atas persahabatan yang tulus sejak awal

perkuliahan, serta atas segala dukungan, bantuan, dan semangat yang senantiasa diberikan, baik dalam suka maupun duka.

14. Zumratul Hasana, Novita Sari, Puja Meirita, Rusita Melinda, Jelina Merisheti, Atri Yani, Putri Aflah Dina, Boy Simajuntak, dan Mustari, sebagai teman seperjuangan di KBI Material, atas segala dukungan, bantuan, dan semangat yang telah diberikan kepada penulis selama proses perkuliahan dan penyusunan skripsi.
15. OTW Tobat, yang beranggotakan Maharani Adeline Verleione, Cinta Rizki Ameilia, M. Rendy Apriansyah, Eka Triana, dan M. Alif, atas kebersamaan, canda tawa, serta dukungan yang telah diberikan sejak semester awal hingga akhir masa studi.
16. Nurul Fanani, sahabat yang tak hanya menemani langkah-langkah kecil sejak awal, tetapi juga menjadi teman seperjuangan yang selalu ada dalam setiap fase tersulit penyusunan skripsi ini. Atas semua momen berharga dari begadang bersama menyelesaikan bab demi bab, saling menyemangati saat rasa lelah hampir mengalahkan, hingga akhirnya bisa bersama-sama berada di ruang sidang. Menjadi tempat berbagai tawa, tangis, keluh-kesah, dan harapan. Kebersamaan ini akan selalu menjadi kenangan indah yang tak tergantikan bagi penulis.
17. Muhammad Rizky Ramdhani, Kak Mita, dan Kak Eti, sebagai kakak pembimbing dan kakak tingkat yang telah memberikan bantuan, arahan, serta dukungan kepada penulis selama proses penelitian hingga penyelesaian skripsi.
18. Almamater, Universitas Sriwijaya yang penulis cintai dan banggakan, atas segala ilmu dan pembelajaran yang telah diberikan selama proses pendidikan.
19. Tim RRQ, Windah Basudara, Ade Setiawan, Dean KT, Hamdan, Guava, Mada Rahardian, Gagitusil, dan Nastasia Adeline, yang telah menemani penulis melewati hari-hari panjang penyelesaian skripsi melalui *live streaming* yang menghibur.
20. Warintil *Official* dan UENO *Family*, *channel YouTube* favorit penulis, yang selalu menghibur dengan lawakan dan berbagai konten menarik, sehingga

menemani penulis melewati waktu-waktu yang melelahkan selama pengerjaan skripsi.

21. Byeon Woo Seok, yang selalu menjadi sosok penyemangat bagi penulis selama menjalani proses penyelesaian skripsi dan menemani di setiap saat yang melelahkan.
22. Penulis, Tri Intan Wulandari, yang telah bertahan sejauh ini, melewati segala keraguan, kelelahan, dan jatuh bangun dalam proses panjang penyusunan skripsi ini. Terima kasih karena tidak menyerah ketika rasanya ingin berhenti, karena tetap melangkah meski penuh air mata, karena terus berjuang meski tak selalu kuat. Untuk semua malam panjang yang diisi dengan begadang, untuk pagi-pagi penuh harapan, dan hari-hari penuh doa. Semua ini adalah bukti bahwa kamu sudah melakukan yang terbaik. Kamu berhak bangga atas pencapaianmu yang sudah sampai di titik ini.

Demikian, skripsi ini disusun dengan harapan dapat memberikan manfaat tidak hanya bagi penulis, tetapi juga bagi para pembaca dan rekan-rekan mahasiswa, khususnya di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya.

Indralaya, 20 Februari 2025

Penulis



Tri Intan Wulandari

DAFTAR ISI

COVER	
LEMBAR PENGESAHAN	
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	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 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Material Perovskite	5
2.1.1 Struktur Kristal Perovskite	5
2.2 Lanthanum Manganite (LaMnO_3)	6
2.2.1 Struktur Kristal Lanthanum Manganite (LaMnO_3)	7
2.3 Substitusi Multi-Komponen	8
2.3.1 Pengaruh Doping Terhadap Lanthanum Manganite	8
2.3.2 Penelitian Terdahulu	9
2.4 <i>Mechanical Alloying</i> (MA)	14
2.5 Karakterisasi X-Ray Diffraction (XRD)	16
2.5.1 Hukum Bragg	17
2.5.2 Metode Williamson-Hall	18
2.6 Match!	20
2.7 <i>General Structure Analysis System</i> (GSAS)	21
2.7.1 Metode <i>Rietveld Refinement</i>	21
2.8 <i>Visualization for Electronic and Structural Analysis</i> (VESTA)	22
BAB III METODE PENELITIAN	24
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	24
3.2 Metode Penelitian	24
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	24

3.3.1	Alat Penelitian	24
3.3.2	Bahan Penelitian	25
3.4	Alat Karakterisasi	26
3.5	Prosedur Penelitian	26
3.5.1	Preparasi Bahan.....	26
3.5.2	Proses Sintesis	27
3.5.3	Proses Pengeringan	28
3.5.4	Proses Sintering	28
3.6	Uji Karakterisasi	29
3.7	Diagram Alir Penelitian	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		31
4.1	Hasil Karakterisasi X-Ray <i>Diffraction</i>	31
4.2	Hasil Identifikasi Fasa Berdasarkan Pola Difraksi Dengan Match!	33
4.3	Analisis <i>Rietveld Refinement</i> Menggunakan GSAS	38
4.4	Analisis Ukuran Kristalit dan Regangan Kisi Menggunakan Williamson-Hall	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		54
5.1	Kesimpulan	54
5.2	Saran	55
DAFTAR PUSTAKA		56
LAMPIRAN		61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur Kristal Perovskite	6
Gambar 2.2	Struktur Kristal LaMnO_3	7
Gambar 2.3	Struktur Kristal LaMnO_3 : a) Fase Kubik b) Struktur Simetris c) Struktur Distorsi (Tidak Simetris).....	8
Gambar 2.4	Hasil Pola Difraksi Sinar-X.....	10
Gambar 2.5	Pola XRD dari serbuk yang diproses: (a) campuran serbuk yang baru di <i>milling</i> , (b) campuran serbuk yang di <i>milling</i> selama 60 menit, diikuti dengan pemanasan pada suhu 700°C, (c) 800°C, dan (d) 900°C	12
Gambar 2.6	Pola XRD dari paduan $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{Mn}(1-y)\text{Ni}(y)\text{O}_3$	13
Gambar 2.7	Prinsip <i>Mechanical Alloying</i> : a. proses fraktur partikel, b. proses pengelasan dingin, c. proses penyempurnaan dan penurunan ukuran butir	15
Gambar 2.8	Proses Terjadinya Tumbukan	16
Gambar 2.9	Difraksi Sinar-X (XRD)	17
Gambar 2.10	Contoh Williamson-Hall <i>Plot</i>	20
Gambar 2.11	Contoh Identifikasi Fasa Menggunakan <i>Software Match!</i>	20
Gambar 2.12	Contoh Hasil <i>Rietveld Refinement</i> (GSAS)	21
Gambar 2.13	Contoh visualisasi menggunakan VESTA.....	23
Gambar 3.1	Kurva Tahapan Suhu Pada Proses Sintering	28
Gambar 3.2	Skema Proses Pembuatan Sampel Material	29
Gambar 3.3	Diagram Alir Penelitian	30
Gambar 4.1	Hasil sintesis sampel $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}(\text{Fe}_{0.33}\text{Cu}_{0.33}\text{Mn}_{0.33})\text{O}_3$ dan $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}(\text{Fe}_{0.25}\text{Cu}_{0.25}\text{Mn}_{0.25}\text{Ni}_{0.25})\text{O}_3$	31
Gambar 4.2	Hasil X-Ray <i>Diffraction</i> pada material $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}(\text{Fe}_{0.33}\text{Cu}_{0.33}\text{Mn}_{0.33})\text{O}_3$	32
Gambar 4.3	Hasil identifikasi fasa dari pola difraksi sinar-X pada material $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}(\text{Fe}_{0.33}\text{Cu}_{0.33}\text{Mn}_{0.33})\text{O}_3$	33
Gambar 4.4	Hasil identifikasi fasa dari pola difraksi sinar-X pada material $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}(\text{Fe}_{0.25}\text{Cu}_{0.25}\text{Mn}_{0.25}\text{Ni}_{0.25})\text{O}_3$	35
Gambar 4.5	Hasil <i>refinement</i> pada material $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}(\text{Fe}_{0.33}\text{Cu}_{0.33}\text{Mn}_{0.33})\text{O}_3$	39
Gambar 4.6	Hasil <i>refinement</i> pada material $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}(\text{Fe}_{0.25}\text{Cu}_{0.25}\text{Mn}_{0.25}\text{Ni}_{0.25})\text{O}_3$	40
Gambar 4.7	Grafik metode Williamson-Hall pada material $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}(\text{Fe}_{0.33}\text{Cu}_{0.33}\text{Mn}_{0.33})\text{O}_3$	45
Gambar 4.8	Grafik metode Williamson-Hall pada material $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}(\text{Fe}_{0.25}\text{Cu}_{0.25}\text{Mn}_{0.25}\text{Ni}_{0.25})\text{O}_3$: a. Fasa LaMnO_3	47
Gambar 4.9	Grafik metode Williamson-Hall pada material $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}(\text{Fe}_{0.25}\text{Cu}_{0.25}\text{Mn}_{0.25}\text{Ni}_{0.25})\text{O}_3$: b. Fasa $\text{Cu}_{6.8}\text{Fe}_{1.2}\text{La}_{6.4}\text{O}_{20}\text{Sr}_{1.6}$	49
Gambar 4.10	Grafik metode Williamson-Hall pada material $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}(\text{Fe}_{0.25}\text{Cu}_{0.25}\text{Mn}_{0.25}\text{Ni}_{0.25})\text{O}_3$: c. Fasa $\text{La}_2\text{NiO}_{4.24}$	51

Gambar 4.11	Visualisasi struktur kristal Fasa LaMnO_3 pada material $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}(\text{Fe}_{0.33}\text{Cu}_{0.33}\text{Mn}_{0.33})\text{O}_3$	52
Gambar 4.12	Visualisasi struktur kristal Fasa LaMnO_3 dan $\text{Cu}_{6.8}\text{Fe}_{1.2}\text{La}_{6.4}\text{O}_{20}\text{Sr}_{1.6}$ pada material $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}(\text{Fe}_{0.25}\text{Cu}_{0.25}\text{Mn}_{0.25}\text{Ni}_{0.25})\text{O}_3$	52
Gambar 4.13	Visualisasi struktur kristal Fasa $\text{La}_2\text{NiO}_{4.24}$ pada material $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}(\text{Fe}_{0.25}\text{Cu}_{0.25}\text{Mn}_{0.25}\text{Ni}_{0.25})\text{O}_3$	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Parameter Struktur Berdasarkan Analisis XRD	11
Tabel 3.1	Alat Penelitian	25
Tabel 3.2	Bahan Penelitian	25
Tabel 3.3	Perhitungan Massa Bahan Dasar	27
Tabel 4.1	Parameter hasil analisis difraksi sinar-X pada material $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}(\text{Fe}_{0.33}\text{Cu}_{0.33}\text{Mn}_{0.33})\text{O}_3$	34
Tabel 4.2	Parameter hasil analisis difraksi sinar-X pada material $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}(\text{Fe}_{0.25}\text{Cu}_{0.25}\text{Mn}_{0.25}\text{Ni}_{0.25})\text{O}_3$; a. Fasa LaMnO_3	36
Tabel 4.3	Parameter hasil analisis difraksi sinar-X pada material $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}(\text{Fe}_{0.25}\text{Cu}_{0.25}\text{Mn}_{0.25}\text{Ni}_{0.25})\text{O}_3$; b. Fasa $\text{Cu}_{6.8}\text{Fe}_{1.2}\text{La}_{6.4}\text{O}_{20}\text{Sr}_{1.6}$.	37
Tabel 4.4	Parameter hasil analisis difraksi sinar-X pada material $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}(\text{Fe}_{0.25}\text{Cu}_{0.25}\text{Mn}_{0.25}\text{Ni}_{0.25})\text{O}_3$; c. Fasa $\text{La}_2\text{NiO}_{4.24}$	38
Tabel 4.5	Parameter hasil analisis menggunakan GSAS (<i>Rietveld Refinement</i>)	41
Tabel 4.6	Parameter hasil analisis menggunakan GSAS (<i>Rietveld Refinement</i>)	42
Tabel 4.7	Hasil analisis Williamson-Hall pada ukuran kristalit dan regangan kisi material $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}(\text{Fe}_{0.33}\text{Cu}_{0.33}\text{Mn}_{0.33})\text{O}_3$	44
Tabel 4.8	Hasil analisis Williamson-Hall pada ukuran kristalit dan regangan kisi Material $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}(\text{Fe}_{0.25}\text{Cu}_{0.25}\text{Mn}_{0.25}\text{Ni}_{0.25})\text{O}_3$: a. Fasa LaMnO_3	46
Tabel 4.9	Hasil analisis Williamson-Hall pada ukuran kristalit dan regangan kisi Material $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}(\text{Fe}_{0.25}\text{Cu}_{0.25}\text{Mn}_{0.25}\text{Ni}_{0.25})\text{O}_3$ b. Fasa $\text{Cu}_{6.8}\text{Fe}_{1.2}\text{La}_{6.4}\text{O}_{20}\text{Sr}_{1.6}$	48
Tabel 4.10	Hasil analisis Williamson-Hall pada ukuran kristalit dan regangan kisi Material $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}(\text{Fe}_{0.25}\text{Cu}_{0.25}\text{Mn}_{0.25}\text{Ni}_{0.25})\text{O}_3$: c. Fasa $\text{La}_2\text{NiO}_{4.24}$	50

DAFTAR SINGKATAN

RAM	: <i>Random Access Memory</i>
CaTiO ₃	: Kalsium Titanat
LaMnO ₃	: Lantanum Manganit
La ₂ O ₃	: Lantanum Oksida
SrCO ₃	: Strontium Karbonat
Fe ₂ O ₃	: Besi (III) Oksida
CuO	: Tembaga (II) Oksida
MnO ₂	: Mangan Dioksida
NiO	: Nikel (II) Oksida
C ₂ H ₅ OH	: Ethanol
HEM	: <i>High Energy Milling</i>
HEA	: <i>High Entropy Alloy</i>
MEA	: <i>Medium Entropy Alloy</i>
LEA	: <i>Low Entropy Alloy</i>
FCC	: <i>Face Centered Cubic</i>
BCC	: <i>Body Centered Cubic</i>
MA	: <i>Mechanical Alloying</i>
XRD	: <i>X-Ray Diffraction</i>
GSAS	: <i>General Structure Analysis System</i>
VESTA	: <i>Visualization for Electronic and Structural Analysis</i>
T _c	: <i>Temperature Curie</i>
LTJ	: Logam Tanah Jarang
REE	: <i>Rare Earth Element</i>
WH	: Williamson-Hall
FoM	: <i>Figure Of Merit</i>
FWHM	: <i>Full Width at Half Maximum</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Yeh dkk. (2004) memperkenalkan metode baru dalam penelitian paduan logam, yang memfokuskan pada perubahan diagram fasa multi-komponen, yang belum banyak diteliti sebelumnya. Meskipun metode ini melibatkan risiko terkait kestabilan fasa, metode ini membuka peluang besar untuk pengembangan material maju. Pendekatan ini juga menjadi dasar untuk menciptakan paduan yang melibatkan lebih dari satu elemen utama. Di sisi lain, penelitian oleh Cantor dkk. (2004) juga mengembangkan paduan multi-komponen dan memperkenalkan istilah konsep *high entropy alloy* (HEA). Salah satu paduan HEA yang terkenal, yaitu FeCoCrNiMn, karena kemampuannya membentuk fasa tunggal dan mencegah terbentuknya senyawa intermetalik yang tidak diinginkan (Cabrera dkk., 2024). *High entropy alloy* (HEA) didefinisikan sebagai paduan yang terdiri dari lima atau lebih elemen utama Paduan (Sharma dkk., 2020).

Paduan entropi sedang (*medium entropy alloy*) dirancang dengan empat jenis elemen logam transisi yang menempati posisi B-site untuk mempertahankan aktivitas katalitik sekaligus meningkatkan konfigurasi entropi (Shen dkk., 2021). Sementara itu, paduan entropi rendah (*low entropy alloy*) adalah material yang dirancang dengan satu atau dua jenis elemen utama (Balasubramanian, 2016). Salah satu hasil rekayasa yang dapat mengubah sifat fisika, seperti struktur kristal dan aliran elektron adalah perovskite (Faruqi dkk., 2020). Formula umum perovskite adalah ABO_3 , di mana A-site biasanya diisi oleh ion trivalen dari logam tanah jarang dan B-site terdiri dari ion trivalen logam transisi. Struktur ideal perovskite memiliki bentuk kubus (Yudharma dkk., 2024).

Perovskite merupakan salah satu inovasi dalam penelitian yang berkaitan dengan logam tanah jarang (LTJ). LTJ, yang juga dikenal sebagai unsur tanah jarang (*rare earth element* / REE), terdiri dari 17 unsur dalam tabel periodik, mulai dari lantanum hingga lutetium, serta yttrium dan scandium yang diklasifikasikan sebagai REE karena memiliki sifat kimia yang serupa (Novita, 2016).

Lanthanum manganite (LaMnO_3) adalah senyawa logam oksida yang menunjukkan perbedaan sifat fisik tergantung pada perlakuan yang diberikan (Novita, 2016). LaMnO_3 merupakan senyawa induk dari manganit. Dalam beberapa penelitian, LaMnO_3 dapat memiliki struktur kubik, ortorombik dan rhombohedral, tergantung pada kondisi sintesis dan suhu. Pada suhu rendah, LaMnO_3 cenderung memiliki struktur ortorombik. Struktur ini telah dibuktikan oleh Gilleo (1957) dan Elemans dkk. (1971), yang menunjukkan bahwa ion mangan dikelilingi oleh enam ion oksigen, membentuk sudut pada oktahedra MnO_6 (Koriba dkk., 2021).

Ketika *A-site* diisi oleh ion trivalen dari logam tanah jarang, seperti La atau atom divalen, seperti Sr, perovskite akan memiliki ion mangan dengan berbagai valensi. Selain itu, *doping* pada *B-site*, seperti pada Mn, juga dapat dilakukan untuk merekayasa sifat material (Widyaiswari dkk., 2016). Penelitian ini melakukan sintesis dengan unsur La dan Sr sebagai *A-site*, sementara unsur Fe, Cu, Mn dan Ni sebagai *B-site*. Substitusi *A-site* dengan kation divalen menyebabkan transisi ion pada *B-site* untuk menyeimbangkan muatan. Di sisi lain, konduktivitas ionik tetap rendah. Oleh karena itu, *doping* Sr menghasilkan transisi Mn^{3+} ke Mn^{4+} , yang menciptakan berbagai kekosongan oksigen guna meningkatkan konduktivitas ionik. Substitusi ini juga dapat meningkatkan faktor toleransi (kesesuaian struktur kisi) serta stabilitas struktur oksida perovskite. Dengan demikian, *doping* Sr ini membantu meningkatkan kinerja transfer elektron dalam LaMnO_3 (Gupta dkk., 2023).

Seperti yang dibuktikan dalam kajian sebelumnya, Adi dan Fisli menunjukkan bahwa atom Fe berhasil tersubstitusi ke dalam material tanpa mengubah struktur kristalnya (Adi dan Fisli, 2018). *Doping* Fe tidak hanya meningkatkan stabilitas fasa, tetapi juga menjaga susunan lapisan logam transisi agar tetap teratur meskipun terjadi perubahan pada kisi kristal. Selain itu, struktur material tetap stabil, dengan sistem rhombohedral dan monoklinik yang bertahan setelah *doping* Fe, menunjukkan kemampuan material untuk mempertahankan kestabilan strukturnya (Celeste dkk., 2023). Penambahan unsur Cu ke dalam LaMnO_3 juga dapat meningkatkan aktivitas katalitik, khususnya dalam proses oksidasi CO (Abdolrahmani dkk., 2010). Sementara itu, penambahan Ni

meningkatkan kestabilan struktur, memperpanjang ikatan, mempermudah perpindahan muatan, dan meningkatkan konduktivitas elektron (Novialent, 2018). Dalam Penelitian ini, sintesis material perovskite berbasis LaMnO_3 dilakukan menggunakan metode *mechanical alloying* dengan substitusi pada A-site dan B-site pada dua variasi komposisi, yaitu komposisi $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}(\text{Fe}_{0.33}\text{Cu}_{0.33}\text{Mn}_{0.33})\text{O}_3$ dan $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}(\text{Fe}_{0.25}\text{Cu}_{0.25}\text{Mn}_{0.25}\text{Ni}_{0.25})\text{O}_3$.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka penelitian ini merumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana proses sintesis material perovskite berbasis LaMnO_3 dengan substitusi multi-komponen menggunakan metode *mechanical alloying*?
2. Bagaimana pembentukan fasa material perovskite berbasis LaMnO_3 berdasarkan hasil karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) menggunakan *software Match*?
3. Bagaimana struktur kristal dan parameter kisi material perovskite berbasis LaMnO_3 berdasarkan analisis *rietveld refinement* menggunakan *software GSAS*?
4. Bagaimana ukuran kristalit dan regangan kisi material perovskite berbasis LaMnO_3 berdasarkan metode Williamson-Hall?
5. Bagaimana visualisasi struktur kristal menggunakan *software VESTA*?

1.3. Tujuan Penelitian

Dalam penelitian ini, yang menjadi tujuan adalah sebagai berikut:

1. Melakukan proses sintesis material perovskite berbasis LaMnO_3 dengan substitusi multi-komponen menggunakan metode *mechanical alloying*.
2. Mengidentifikasi pembentukan fasa material perovskite berbasis LaMnO_3 berdasarkan hasil karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) menggunakan *software Match*.
3. Menganalisis struktur kristal dan parameter kisi material perovskite

berbasis LaMnO_3 dengan metode *rietveld refinement* menggunakan *software* GSAS.

4. Menghitung ukuran kristalit dan regangan kisi material perovskite berbasis LaMnO_3 berdasarkan metode Williamson-Hall.
5. Memvisualisasikan struktur kristal menggunakan *software* VESTA.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sintesis material perovskite berbasis LaMnO_3 dilakukan menggunakan metode *mechanical alloying*.
2. Variasi komposisi substitusi multi-komponen yang digunakan dalam penelitian:
 - a. $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}(\text{Fe}_{0.33}\text{Cu}_{0.33}\text{Mn}_{0.33})\text{O}_3$
 - b. $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}(\text{Fe}_{0.25}\text{Cu}_{0.25}\text{Mn}_{0.25}\text{Ni}_{0.25})\text{O}_3$
3. Karakterisasi yang digunakan yakni *X-Ray Diffraction* (XRD) dan analisis data hasil karakterisasi menggunakan *software* Match, GSAS, metode Williamson-Hall, dan VESTA.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu material, khususnya dalam sintesis dan karakterisasi material perovskite berbasis LaMnO_3 . Hasil dari penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan wawasan mengenai pengaruh substitusi multi-komponen terhadap struktur dan sifat fisik material perovskite, serta kestabilan struktur material LaMnO_3 dengan variasi komposisi, yang dapat menjadi referensi untuk penelitian lebih lanjut dalam bidang material perovskite.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdolrahmani, M., Parvari, M. and Habibpoor, M. (2010) 'Effect of copper substitution and preparation methods on the $\text{LaMnO}_{3\pm\delta}$ structure and catalysis of methane combustion and CO oxidation', *Cuihua Xuebao/Chinese Journal of Catalysis*. Dalian Institute of Chemical Physics, the Chinese Academy of Sciences, 31(4), pp. 394–403. doi: 10.1016/S1872-2067(09)60059-0.
- Adi, W. A., dan Fisli, A. (2018). Efek Substitusi Fe^{2+} Dan Fe^{3+} Terhadap Struktur Kristal, Sifat Optik Dan Magnetik Pada Nanopartikel Anatase. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 19(2), pp. 54-60.
- Adnan, S. R. (2020) 'Analisa Rietveld Pada Material Barium Zirkonium Titanat (BZT)', *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, 5(1), pp. 1–3. doi: 10.52447/jktm.v5i1.1870.
- Alhokbany, N., Almotairi, S., Ahmed, J., Al-Saeedi, S. I., Ahamad, T., and Alshehri, S, M. (2021). Investigation of structural and electrical properties of synthesized Sr-doped lanthanum cobaltite ($\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$) perovskite oxide. *Journal of King Saud University - Science*. The Authors, 33(4), p. 101419. doi: 10.1016/j.jksus.2021.101419.
- Apriatin. (2023). Analisis Sifat Penyerap Gelombang Elektromagnetik Pada Material Lamno 3 Dengan Doping Ca, Ba, Dan Sr. Jakarta : UIN SYarif Hidayatullah. Available at: [https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/handle/123456789/73466%0Ahttps://repository.uinjkt.ac.id/dspace/bitstream/123456789/73466/1/APRIATIN FST.pdf](https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/handle/123456789/73466%0Ahttps://repository.uinjkt.ac.id/dspace/bitstream/123456789/73466/1/APRIATIN%20FST.pdf).
- Aslam, M., Mahmood, T., and Naeem, A. (2016). Organic Inorganic Perovskites: A Low-Cost-Efficient Photovoltaic Material. *IntechOpen*, 11(13), pp. 1-21. Available at: <https://www.intechopen.com/books/advanced-biometric-technologies/liveness-detection-in-biometrics>.
- Cabrera, M. Oropesa, Y., Sanhueza, J. P., Tuninetti, V., Onate, A. (2024). Multicomponent alloys design and mechanical response: From high entropy alloys to complex concentrated alloys. *Materials Science and Engineering R: Reports*, 161(9). doi: 10.1016/j.mser.2024.100853.
- Celeste, A. Paolacci, M., Schiavi, P. G., Brutti, S., Navarra, M. A., and Silvestri, L. (2023). Understanding the Impact of Fe-Doping on the Structure and Battery Performance of a Co-Free Li-Rich Layered Cathodes. *ChemElectroChem*, 10(5). doi: 10.1002/celc.202201072.
- Chaichanawong, J. Sato, K., Abe, H., Murata, K., Fukui, T., Cahrinpanitkul, T., Tanthapanichakoon, W., and Naito, M. (2006). Formation of strontium doped lanthanum manganite ($\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$) by mechanical milling without media balls. *Advanced Powder Technology*. Society of Powder Technology Japan, 17(6), pp. 613–622. doi: 10.1163/156855206778917751.
- Dobrzanski, L. A. Hadjuczek, E., Dobrzanski, L. B., Matula, G. (2017). Fabrication

- Technologies of the Sintered Materials Including Materials for Medical and Dental Application. Powder Metallurgy - Fundamentals and Case Studies, 10(4). doi: 10.5772/65376.
- Elfianuari, P. (2017). Sifat dan Aplikasi Perovskit CaTiO_3 sebagai Penghantar Ion Oksigen. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember. pp. 1–6.
- Es-soufi, H., Bih, H., Bih, L., Rajesh, R., Lima, A. R. F., Sayyed, M. I., Mezher, R. (2022). Rietveld Refinement, Structural Characterization, and Methylene Blue Adsorption of the New Compound $\text{Ba}_{0.54}\text{Na}_{0.46}\text{Nb}_{1.29}\text{W}_{0.37}\text{O}_5$, Crystals, 12(12). pp. 1-15. doi: 10.3390/cryst12121695.
- Gupta, K., Thakur, O. P. dan Kumar, M. (2023). Effect of A-Site Substitution on LaMnO_3 Perovskite via Sr Ions for Energy Applications. Journal of Electronic Materials Springer US, 52(7), pp. 4279–4288. doi: 10.1007/s11664-023-10208-0.
- Habermeier, H. U. (2007). Thin films of perovskite-type complex oxides. Materials Today, 10(10), pp. 34–43. doi: 10.1016/S1369-7021(07)70243-2.
- Hassanzadeh-Tabrizi, S. A. (2023). Precise calculation of crystallite size of nanomaterials: A review. Journal of Alloys and Compounds. Elsevier B.V, 968(6), pp. 171-214. doi: 10.1016/j.jallcom.2023.171914.
- Hidayanto, E., Sutanto, H., Mukholit., Wibowo, S., dan Irwanto, M. (2017). Morphology and degradation kinetics of N-doped TiO_2 Nano particle synthesized using sonochemical method. Solid State Phenomena, 266(95), pp. 95–100. doi: 10.4028/www.scientific.net/SSP.266.95.
- Humairah, N. A. dan Munawir, M. (2018). Struktur Morfologi Dan Komposisi Atom Dalam Paduan $\text{Nd}_{1/4}\text{Ba}_{1/6}\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. PHYDAGOGIC Jurnal Fisika dan Pembelajarannya, 1(1), pp. 30–35. doi: 10.31605/phy.v1i1.229.
- Kinasih, D. A. S. dan Nurhasanah, I. (2020). Estimasi Ukuran Kristal dan Parameter Elastisitas Nanokristal $\text{ZnO} : \text{Ce}$ menggunakan Metode Size-Strain Plot. Berkala Fisika, 23(2), pp. 56–62.
- Koriba, I., Lagoun, B., Guibadj, A., Belhadj, S., Ameer, A., dan Cheriet, A. (2021). Structural, electronic, magnetic and mechanical properties of three LaMnO_3 phases: Theoretical investigations. Computational Condensed Matter. Elsevier B.V., 29(9), pp. 1-14. doi: 10.1016/j.cocom.2021.e00592.
- Mote, V., Purushotham, Y. dan Dole, B. (2012). Williamson-Hall analysis in estimation of lattice strain in nanometer-sized ZnO particles. Journal of Theoretical and Applied Physics, 6(1), pp. 1-8. doi: 10.1186/2251-7235-66.
- Mubarok, I., Fathinah, A. A. and Gultom, N. S. (2025). REVIEW : Perkembangan Sel Surya Perovskite. Jurnal Engine, 9(1) pp. 37-52. doi: 10.30588/jeemm.v9i1.2141.
- Nadiyyah, K., Aprianti, R., Nisa, U, K., Gusti, V, Y, K. (2015). Student Scientific Attitudes To The Vesta Software As Learning Media Of Crystal Structure. Jurnal Riset Fisika Edukasi dan Sains, 2(1), pp. 80–91.
- Mursal, I. L. P. (2018). Karakterisasi Xrd Dan Sem Pada Material Nanopartikel Serta Peran Material Nanopartikel Dalam Drug Delivery System. Pharma Xplore : Jurnal Ilmiah 10.36805/farmasi.v3i2.491. Farmasi, 3(2), pp. 214–221. doi: 10.36805/farmasi.v3i2.491.

- Novialent, E. (2018). Pengaruh Variasi Doping Ni terhadap Mikrostruktur dan Konduktivitas Material Katoda LiNi. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Novita, D. E. (2016). Karakterisasi struktur kristal lantanum manganat dengan metode sintesa sol-gel. Skripsi Jurusan Fisika UIN Syarif Hidayatullah, Jakarta.
- Nugroho, A. D. dan Anggono, A. D. (2020). Analisis X-Ray Diffraction (XRD) Pada Brazing Antara Aluminium Seri 6061 Dengan Penambahan Filler Alusol Dan Filler Lokal. Skripsi Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah, Surakarta. <https://eprints.ums.ac.id/id/eprint/81559>. Available at:
- Nursanti, I., Muhlisin, Z., Sutanto, H., dan Nurhasanah, I. (2011). Presipitasi Dengan Variasi Lama Waktu Kalsinasi. *Berkala Fisika*, 14(4), pp. 115–122.
- Purnamasari, I. (2022). Analisis Sifat Struktur dan Sifat Listrik pada Material Perovskite $\text{LaFe}_{0.97}\text{Zr}_{0.03}\text{O}_3$: XRD, Raman Scattering, SEM dan Impedansi Spektroskopi. *Jurnal Konstruksi*, 19(1), pp. 231–240. doi: 10.33364/konstruksi/v.19-1.972.
- Qu, X. Y., Gou, X. F. dan Wang, T. G. (2021). A highly accurate interatomic potential for LaMnO_3 perovskites with temperature-dependence of structure and thermal properties. *Computational Materials Science*. Elsevier B.V, 193(10), pp. 1-6. doi: 10.1016/j.commatsci.2021.110406.
- Rahman, S. dan Toifur, M. (2016). Rancangan Eksperimen Analisis Struktur Mikro Sampel dengan Prinsip XRD Menggunakan Metode Kristal Berputar. *Jurnal Riset dan Kajian Pendidikan Fisika*, 3(1), pp. 5-9. doi: 10.12928/jrpkpf.v3i1.4538.
- Rani, S. R. A. (2022). Studi Analisis Data Difraksi Sinar-X Pada Material Zircon Pasir Alam Melalui Metode Rietveld. *JFT: Jurnal Fisika dan Terapannya*, 9(1), pp. 16–22. doi: 10.24252/jft.v9i1.25470.
- Restiana, S. dan Rini, A. S. (2018). Visualisasi Struktur Kristal Keramik Perovskite Menggunakan Vesta. *Komunikasi Fisika Indonesia*, 15(01), pp. 46–50. Available at: <http://ejournal.unri.ac.id/index.php/JKFI>
- Sa'adah, N., Jumaeri., Putri, W. B. K., Munazat, D., dan Kurniawan, B. (2020). Sifat Magnetik Material $\text{La}_{0.6}\text{Ba}_{0.4}\text{MnO}_3$ dari LaMnO_3 dan BaMnO_3 Menggunakan Metode Kombinasi Sol-Gel dan Solid State. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 9(1), pp. 6–9.
- Sebayang, P., Muljadi. dan Adi, W. A. (2010). Analisis Struktur Kristal $\text{SrO}_{0.6}\text{Fe}_2\text{O}_3$ Menggunakan Program General Structure Analysis System dan Pengujian Sifat Magnetnya. *Jurnal Sains Material Indonesia*, 12(3), pp. 215-220.
- Setiawan, J. Susetyo, F. B., Nanto, D., Simbolon, S., Notonegoro, H. A., Farizi, T. A., Yunasfi., Tihera, D., Ramlan. (2024). Preparation, synthesis and characterizations of $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{Mn}(1-y)\text{Ni}(y)\text{O}_3$ alloy', *Communications in Science and Technology*, 9(1), pp. 87–93. doi: 10.21924/cst.9.1.2024.1361.
- Sfirloaga, P., Malaescu, I., Marin, C. N., Poienar, M., dan Vlazan, P. (2020). Effect of Fe-doping on the structural, morphological and electrical properties of LaMnO_3 . *AIP Conference Proceedings*, 2218(040003), pp. 1-6. doi:

10.1063/5.0001173.

- Shafi, P. M., Mohapatra, D., Reddy, V. P., Dhakal, G., Kumar, D. R., Tuma, D., Brousse, T., Shima, J. (2022). Sr- and Fe-substituted LaMnO₃ Perovskite: Fundamental insight and possible use in asymmetric hybrid supercapacitor. *Energy Storage Materials*, 10.1016/j.ensm.2021.11.028. 45(3), pp. 119–129. doi: 10.1016/j.ensm.2021.11.028.
- Sharma, P., Dwivedi, V. K. dan Dwivedi, S. P. (2020). Development of high entropy alloys: A review. *Materials Today: Proceedings Department of Mechanical Engineering, IET, GLA University, Mathura. Elsevier Ltd.*, 43, pp. 502–509. doi: 10.1016/j.matpr.2020.12.023.
- Shen, L., Du, Z., Zhang, Y., Dong, X., dan Zhao, H. (2021). Medium-Entropy perovskites Sr(Fe α Ti β Co γ Mn ζ)O_{3- δ} as promising cathodes for intermediate temperature solid oxide fuel cell. *Applied Catalysis B: Environmental. Elsevier* 10.1016/j.apcatb.2021.120264. B.V., 295(4), pp. 1-10. doi: 10.1016/j.apcatb.2021.120264.
- Shobirin, R. A., Masruroh, M. dan Tjahjanto, R. T. (2017). Pengembangan Teknik Analisis Pola Difraksi Multifasa dengan Metode Rietveld Refinement: Studi Kasus Lapis Tipis PZT. *Natural B*, 4(1), pp. 23–30.
- Simanjuntak, B. A. dan Purwaningsih, H. (2012). Pengaruh Kecepatan Milling Terhadap Perubahan Struktur Mikro Komposit Mg/Al₃ Ti. *Jurnal Teknik ITS*, 1(1), pp. 113–116.
- Smart, S., Liu, S., Basile, A., dan Costa, D. (2013). Perovskite membrane reactors: Fundamentals and applications for oxygen production, syngas production and hydrogen processing, *Membranes for Clean and Renewable Power Applications. Australia : Woodhead Publishing Limited.* doi: 10.1533/9780857098658.3.182.
- Soleh, M. B. dan Purwaningsih, H. (2013). Pengaruh Milling Time Terhadap Pembentukan Intermetalik γ -TiAl Sebagai Reinforced Dalam Metal Matrix Composite (MMCs) Hasil Mechanical Alloying. *Jurnal Teknik Pomits*, 2(1), pp. 112–115.
- Thamilmaran, P., Arunachalam, M., Sankarajan, S., Sakthipandi, K., Samuel, E. J. J., dan Sivabharathy, M. (2017). Study of the effect of Cu doping in La_{0.7}Sr_{0.3}MnO₃ perovskite materials employing on-line ultrasonic measurements. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials. Elsevier* B.V., 443(1), pp. 29–35. doi: 10.1016/j.jmmm.2017.07.046.
- Toby, B. H. (2006). R factors in Rietveld analysis: How good is good enough?. *Powder Diffraction*, 21(1), pp. 67–70. doi: 10.1154/1.2179804.
- Widyaiswari, U., Saptari, S. A. dan Kurniawan, B. (2016). Studi Sifat Magnetik Material Perovskite (La,Sr)(Mn,Ni)O₃. *Jurnal Fisika dan Pendidikan Fisika*, 2(1), pp. 28-30.
- Winarsih, S., Kurniawan, B., Manaf, A., Saptari, S. A., dan Nanto, D. (2016). Effect of Ca-Doping on the Structure and Morphology of Polycrystalline La_{0.7}(Ba_{1-x}Ca_x)_{0.3}MnO₃ (x = 0; 0.03; and 0.05). *Journal of Physics: Conference Series*, 776(1), pp. 3–8. doi: 10.1088/1742-6596/776/1/012058.
- Yudanto, S. D. dan Yuswono, Y. (2018). Analisis Struktur Dan Pemodelan Kristal Calcium Manganese Oxide (CaMnO₃). *Metalurgi*, 29(1), pp. 27-32. doi:

10.14203/metalurgi.v29i1.268.

Yudharma, G., Wibowo, B. A. dan Amarulloh, F. F. (2024) Karakterisasi Lapisan Tipis Material Magnetik Perovskite Untuk Menentukan Nilai Permittivitas dan Permeabilitasnya. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 8(1), pp. 26–32. Available at: <https://journal.sttdb.ac.id/index.php/justekno/article/view/88> (Accessed: 25 February 2025).