

**SINTESIS DAN ANALISIS STRUKTUR KRISTAL MATERIAL
BERBASIS *LANTHANUM MANGANITE* (LaMnO_3) DENGAN
VARIASI KOMPOSISI**

SKRIPSI

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

Oleh :

NURUL FANANI

NIM. 08021182126006



JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2025

LEMBAR PENGESAHAN
SINTESIS DAN ANALISIS STRUKTUR KRISTAL MATERIAL
BERBASIS *LANTHANUM MANGANITE* (LaMnO_3) DENGAN
VARIASI KOMPOSISI

SKRIPSI

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

Oleh :
NURUL FANANI
NIM. 08021182126006

Indralaya, 07 Mei 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. Ezzulhaq Virgo, S.Si., M.T
NIP. 197009101994121001

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Nurul Fanani

NIM : 08021182126006

Judul TA : Sintesis dan Analisis Struktur Kristal Material Berbasis *Lanthanum Manganite* (LaMnO_3) dengan Variasi Komposisi

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun dengan judul tersebut adalah asli atau orisinalitas, didampingi oleh dosen pembimbing dalam proses penyelesaian serta mengikuti etika penulisan karya ilmiah sampai pada waktu skripsi ini diselesaikan, sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya tanpa ada paksaan dari pihak manapun. Apabila dikemudian hari terdapat kesalahan atau keterangan yang tidak benar dalam pernyataan ini, maka saya siap bertanggung jawab secara akademik dan bersedia menjalani proses hukum yang ditetapkan.

Indralaya, 07 Mei 2025

Yang menyatakan



Nurul Fanani

NIM. 08021182126006

HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN

يُسْرًا أَلْتَمِرَ مَعَ إِنَّ , يُسْرًا أَلْتَمِرَ مَعَ فَإِنَّ

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”

(QS. Al-Insyirah: 5-6)

“Rasakanlah ketakutan itu dan tetaplah melakukan-Nya”

(Nurul Fanani)

“Only you can change your life. Nobody else can do it for you”

“Setetes keringat orang tuaku yang keluar, ada seribu langkahku untuk maju”

“Seorang anak yang selalu meniatkan pekerjaannya untuk bakti pada orang tua, maka Allah langsung jawab di dunia tanpa menunggu akhirat. Jadi di akhirat pahalanya, di dunia Allah desain segala kemudahan yang mengiringi aktivitasnya”

(Ustadz Adi Hidayat)

“Dengan mengucapkan syukur atas Rahmat Allah SWT,
skripsi ini saya persembahkan sebagai tanda bukti
kepada orang tua, keluarga, Dosen pembimbing, sahabat,
serta teman-teman yang selalu memberi support
untuk menyelesaikan skripsi ini.
Terimakasih untuk semua do’a dan dukungan,
sehingga saya bisa berada di titik ini.
Sehat selalu dan tolong hiduplah lebih lama lagi”.

KATA PENGANTAR

الرَّحِيمِ الرَّحْمَنِ اللَّهُ بِسْمِ

Alhamdulillahirabbil'alamin puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang memberikan rahmat, hidayah, serta kesehatan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Sintesis dan Analisis Struktur Kristal Material Berbasis *Lanthanum Manganite* (LaMnO_3) dengan Variasi Komposisi**”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya.

Perjalanan menyusun skripsi ini bukanlah hal yang mudah, namun penuh pembelajaran berharga. Banyak pihak yang telah memberikan kontribusi, dukungan, dan semangat, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, dengan segala hormat dan ketulusan hati, penulis ingin menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala rahmat, kasih sayang, serta kekuatan yang telah dilimpahkan sepanjang proses penulisan skripsi ini. Tanpa pertolongan dan izin-Nya, segala usaha dan langkah ini tidak akan mungkin tercapai. Bukan penulis yang hebat, tapi karena Allah yang telah memudahkan segalanya. Terimakasih atas segala nikmat yang tak terhitung jumlahnya, semoga Engkau selalu memudahkan apa yang kurasa sulit dan melapangkan apa yang kurasa sempit.
2. Teristimewa untuk orang tua tercinta, cinta pertama dan panutanku yaitu bapak zulkifli dan pintu surgaku, mamakku Yusnimar. Kedua orang tuaku tidak pernah duduk di ruang kuliah. Justru dari merekalah aku belajar bahwa pendidikan bukan hanya soal gelar, tetapi tentang bagaimana seseorang berusaha untuk menjadi lebih baik dari hari ke hari. Terimakasih banyak atas segala pengorbanan, dukungan, motivasi, nasehat serta do'a tulus kasih yang tidak pernah putus dipanjatkan dalam setiap sujudnya memohon ridho dari Sang Maha Pencipta agar setiap langkah anak-anaknya selalu di ridhoi

dalam segala hal. Mungkin penulis salah satu dari milyaran manusia beruntung didunia, bersyukur lahir diantara mereka, dan penulis berterimakasih karna telah mewujudkan segala pinta.

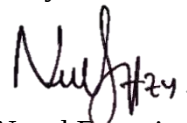
3. Uni Nita Suryawati Z.y, kakak HarrisTan Z.y, dan uni Via Arista Z.y A.Md, selaku kakak kandung penulis dan teruntuk keluarga kecil mereka masing-masing. Terima kasih atas kasih sayang, serta dukungan moril yang tidak pernah putus. Doa dan cinta dari ketiga saudara telah menjadi kekuatan terbesar penulis dalam menyelesaikan skripsi ini, penulis juga berterima kasih atas kehadiran keponakkan-ponakkan penulis yang sangat lucu yaitu Rayhan, Syahid, Rumaisyah, Nizam, adek Shanum, kalian hadir sebagai pelipur lara di tengah kelelahan dan penat selama proses penyusunan skripsi ini. Canda tawa, tingkah polos menjadi penghibur yang tak ternilai, mengingatkan penulis untuk tetap tersenyum dan bersyukur di setiap langkah. Kehadiran kalian adalah semangat kecil yang begitu berarti.
4. Bapak Prof. Hermansyah, S.Si., M.T., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya.
5. Bapak Dr. Frinsyah Virgo, S.Si., M.T., selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya.
6. Bapak Dr. Akmal Johan, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing I yang selalu memberikan saran serta arahan mulai dari penentuan judul, penyusunan skripsi, serta apa yang perlu dan tidak perlu ditulis dalam skripsi. Terimakasih banyak bapak sudah membimbing penulis dengan sangat baik, penuh dengan ketulusan dan kesabaran serta selalu mempermudah setiap langkah, baik dengan meluangkan waktu untuk bimbingan maupun membantu penulis saat menghadapi kendala. Tanpa bimbingan, dukungan, serta bantuan bapak, penulis tidak akan dapat menyelesaikan pendidikan S1 ini. Sehat selalu bapak, semoga Allah membalas kebaikan bapak dan dimudahkan segala urusan.
7. Bapak Dr. Jan Setiawan, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing II yang dengan penuh ketulusan dan kesabaran telah membimbing penulis selama penelitian di BRIN. Penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-

besarnya atas segala ilmu yang telah bapak ajarkan, mulai dari pengolahan data hingga analisis hasil penelitian. Sehat selalu bapak, semoga Allah membalas kebaikan bapak.

8. Bapak Dr. Ramlan, terima kasih yang sebesar-besarnya atas arahan, dan dukungan bapak. Kebaikan bapak menjadi hal yang sangat berarti dalam perjalanan penyelesaian skripsi ini.
9. Bapak Dr. Supardi, S.Pd., M.Si selaku Komisi Sidang yang telah memberikan masukan, saran, serta kritik yang membangun yang diberikan selama sidang skripsi.
10. Ibu Dra. Jorena, M.Si selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan masukan, koreksi, dan saran yang sangat membangun dalam proses seminar proposal dan sidang skripsi.
11. Bapak Prof. Dr. M. Irfan, M.T., selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan masukan, dan saran dalam proses penyusunan skripsi ini. Lebih dari sekadar peran bapak dalam bidang akademik, penulis menyampaikan rasa terima kasih atas bantuan bapak di masa-masa awal perkuliahan. Ketika penulis berada dalam kondisi sulit secara ekonomi dan hampir memutuskan untuk berhenti kuliah, bapak hadir dengan ketulusan hati, memberikan dukungan moril serta bantuan materiil yang sangat berarti. Termasuk di antaranya, membantu penulis mendapatkan Beasiswa AF serta memberikan bantuan secara langsung, yang memungkinkan penulis untuk tetap melanjutkan pendidikan. Kebaikan hati bapak akan selalu menjadi bagian penting dalam perjalanan hidup penulis, karena tanpa kepedulian bapak, skripsi ini mungkin tidak akan pernah ada. Semoga Allah membalas kebaikan bapak serta keluarga.
12. Bapak Dr. Azhar Kholiq Affandi, M.S., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah mendampingi penulis sejak awal perkuliahan, memberikan arahan selama menempuh studi di Program Studi Fisika.
13. Bapak Mashadi, M.Si., bapak Ade Mulyawan, S.Si., M. Eng., bapak Drs. Yunasfi, M. Eng., selaku Peneliti yang telah mendukung dan membantu selama melakukan riset.

14. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya, yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, terima kasih atas segala ilmu dan dedikasi yang telah diberikan selama masa studi.
15. Tri Intan Wulandari, Novita, Rotul, Rifqi, Sally, Jelina, Rendy, Mustari, Atri, Puja, Melin, Aflah. Terima kasih telah menjadi teman yang baik selama pengerjaan skripsi berlangsung dan terima kasih karena selalu bersama dalam menghadapi suka cita, canda dan tawa. Semoga perjuangan ini menjadi langkah awal menuju kesuksesan kita dan semoga pertemanan ini selalu Allah jaga, semangat terus teman-temanku.
16. Intan, Puput, Cindo, Gilang, Dina, Dinda, Windy, Fadila, dan Abel. Terima kasih atas canda, tawa, dan kebersamaan di tengah lelahnya perjuangan menyelesaikan skripsi ini. Terkhusus untuk Intan, terima kasih atas segala bantuan, mulai dari memperbolehkan belajar di rumah intan dan meminjamkan printer dari seminar proposal hingga sidang skripsi, semua itu sangat berarti bagi penulis. Semoga pertemanan ini selalu Allah jaga.
17. Bang Rizky (RA BRIN), kak etik, kak mita, dan bang yoga terima kasih telah membantu penulis dalam mengoreksi kekeliruan, memberikan saran yang membangun.
18. Terakhir, Nurul Fanani, ya! diri saya sendiri. Apresiasi yang sebesar-besarnya karena telah berjuang untuk menyelesaikan apa yang telah dimulai. Terima kasih sudah berusaha keras sekuat tenaga dan tetap sabar dalam menghadapi banyaknya rintangan dan cobaan. Tetaplah menjadi manusia yang mau berusaha dan tidak lelah untuk mencoba. Semoga langkah baik terus berada padamu dan semoga Allah selalu meridhoi setiap langkahmu dan selalu dalam lindungan-Nya, aaamiiin. *You made it to the finish line, Thay!*

Indralaya, 07 Mei 2025



Nurul Fanani

NIM.08021182126006

SINTESIS DAN ANALISIS STRUKTUR KRISTAL MATERIAL BERBASIS LANTHANUM MANGANITE (LaMnO_3) DENGAN VARIASI KOMPOSISI

Oleh:

NURUL FANANI
NIM. 08021182126006

ABSTRAK

Lanthanum Manganite (LaMnO_3) termasuk salah satu material perovskite yang dikembangkan melalui substitusi ion karena sifat strukturalnya dapat berubah bergantung pada komposisi substitusi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi substitusi ion Y^{3+} , Sr^{2+} , dan Ba^{2+} pada site-A struktur LaMnO_3 terhadap pembentukan fasa, struktur kristal, serta parameter fisis seperti ukuran kristal dan regangan kisi pada material LaMnO_3 . Sintesis dilakukan pada dua sampel dengan variasi komposisi, yaitu $(\text{La}_{0,7}\text{Y}_{0,05}\text{Sr}_{0,2}\text{Ba}_{0,05})\text{MnO}_3$ dan $(\text{La}_{0,7}\text{Y}_{0,10}\text{Sr}_{0,15}\text{Ba}_{0,05})\text{MnO}_3$ menggunakan metode *Mechanical Alloying*. Proses milling dilakukan dengan *High Energy Milling* (HEM) selama 5 jam, kemudian dikeringkan dan disintering pada suhu 1100°C selama 5 jam. Karakterisasi dilakukan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan dianalisis dengan *Match!3*, *GSAS*, metode *Williamson-Hall*, dan *VESTA*. Penelitian ini dilaksanakan pada 20 Agustus 2024 – 07 Maret 2025 di *Laboratory Of Magnetic Materials Preparation*, BRIN, Tangerang Selatan. Hasil identifikasi fasa menunjukkan sampel $(\text{La}_{0,7}\text{Y}_{0,05}\text{Sr}_{0,2}\text{Ba}_{0,05})\text{MnO}_3$ membentuk fasa tunggal LaMnO_3 , sedangkan sampel $(\text{La}_{0,7}\text{Y}_{0,10}\text{Sr}_{0,15}\text{Ba}_{0,05})\text{MnO}_3$ bersifat multifasa dengan fasa utama LaMnO_3 dan fasa sekunder YMnO_3 . Struktur kristal fasa LaMnO_3 pada kedua sampel memiliki sistem trigonal (hexagonal axes) dengan *space group* $R\bar{3}c$, sedangkan fasa YMnO_3 termasuk sistem hexagonal *space group* $P6_3cm$. Ukuran Kristal dan regangan kisi meningkat seiring peningkatan substitusi Y^{3+} dan Sr^{2+} , menunjukkan bahwa variasi komposisi mempengaruhi struktur dan sifat fisis material.

Kata kunci : LaMnO_3 , Substitusi Ion, *Mechanical Alloying*, *X-Ray Diffraction*, *Rietveld Refinement*.

Indralaya, 07 Mei 2025

Menyetujui

Pembimbing I



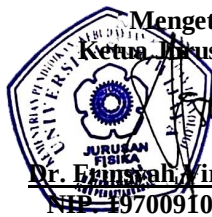
Dr. Akmal Johan, S.Si., M.Si
NIP. 197312211999031003

Pembimbing II



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

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



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

**SYNTHESIS AND ANALYSIS OF CRYSTALLINE STRUCTURE OF
LANTHANUM MANGANITE (LaMnO₃) MATERIALS WITH
COMPOSITION VARIATIONS**

By:

**NURUL FANANI
NIM. 08021182126006**

ABSTRACT

Lanthanum Manganite (LaMnO₃) is one of the perovskite materials developed through ion substitution because its structural properties can change depending on the composition of the substitution. This study aims to determine the effect of variations in the composition of Y³⁺, Sr²⁺, and Ba²⁺ ions substitution at site-A of the LaMnO₃ structure on phase formation, crystal structure, and physical parameters such as crystal size and lattice strain in LaMnO₃ materials. Synthesis was carried out on samples with two compositions, namely (La_{0,7}Y_{0,05}Sr_{0,2}Ba_{0,05})MnO₃ and (La_{0,7}Y_{0,10}Sr_{0,15}Ba_{0,05})MnO₃ using the Mechanical Alloying method. The milling process is carried out with High Energy Milling (HEM) for 5 hours, then dried and interaged at 1100°C for 5 hours. Characterization was performed using X-Ray Diffraction (XRD) and analyzed with Match!3, GSAS, Williamson-Hall methods, and VESTA. This research was carried out on August 20, 2024 – March 07, 2025 at the Laboratory of Magnetic Materials Preparation, BRIN, South Tangerang. The phase identification results showed that the sample (La_{0,7}Y_{0,05}Sr_{0,2}Ba_{0,05})MnO₃ formed a single phase of LaMnO₃, while the sample (La_{0,7}Y_{0,10}Sr_{0,15}Ba_{0,05})MnO₃ was multiphase with the primary phase of LaMnO₃ and the secondary phase of YMnO₃. The crystal structure of the LaMnO₃ phase in both samples has a trigonal system (hexagonal axes) with the space group R-3c, while the YMnO₃ phase includes the hexagonal space group system P6₃cm. The crystal size and lattice strain increase as the substitution of Y³⁺ and Sr²⁺ increases, suggesting that composition variations affect the structure and physical properties of the material.

Keywords : LaMnO₃, Ion Substitution, Mechanical Alloying, X-Ray Diffraction, Rietveld Refinement.

Indralaya, 07 Mei 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. Euisah Virgo, S.Si., M.T
NIP. 197009101994121001

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR SINGKATAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Struktur Perovskite	5
2.2 <i>Lanthanum Manganite</i> (LaMnO_3).....	7
2.3 Struktur Kristal <i>Lanthanum Manganite</i> (LaMnO_3).....	7
2.4 Pengaruh Substitusi (Y, Sr, Ba) pada site A terhadap Struktur Material <i>Lanthanum Manganite</i> (LaMnO_3).....	9
2.5 Metode <i>Mechanical Alloying</i>	11
2.6 Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	13
2.7 Analisis Struktur Kristal	16
2.7.1 Metode <i>Search-Match</i>	16
2.7.2 Metode <i>Rietveld</i>	17
2.7.3 Metode <i>Williamson-Hall</i>	18
2.7.4 <i>Visualization for Electronic and Structural Analysis</i> (VESTA)	19

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	21
3.2 Metode Penelitian.....	21
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	21
3.3.1 Alat Penelitian.....	21
3.3.2 Bahan Penelitian.....	22
3.4 Alat Karakterisasi	23
3.5 Prosedur Penelitian.....	23
3.5.1 Preparasi Bahan.....	24
3.5.2 <i>Mechanicall Alloying</i> atau Milling.....	25
3.5.3 Proses Pengeringan.....	26
3.5.4 <i>Hydraulic Press</i>	26
3.5.5 Proses Sintering.....	27
3.5.6 Uji Karakterisasi dan analisis data hasil XRD	28
3.6 Diagram Alir Penelitian.....	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1 Hasil Sintesis $(La_{0,7}Y_{0,05}Sr_{0,2}Ba_{0,05})MnO_3$ dan $(La_{0,7}Y_{0,10}Sr_{0,15}Ba_{0,05})MnO_3$ dengan Metode <i>Mechanical Alloying</i>	31
4.2 Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	32
4.3 Pola Difraksi Sinar-X dan Hasil Identifikasi Fasa berdasarkan Analisis <i>Search-Match</i>	33
4.4 Hasil Parameter Struktur Kristal Sampel Berdasarkan Analisis <i>Rietveld Refinement</i>	38
4.5 Hasil Perhitungan Ukuran Kristal dan Regangan Kisi menggunakan Persamaan <i>Williamson-Hall</i>	50
4.5.1 Hasil Perhitungan Ukuran Kristal dan Regangan Kisi Komposisi $(La_{0,7}Y_{0,05}Sr_{0,2}Ba_{0,05})MnO_3$	50
4.5.2 Hasil Perhitungan Ukuran Kristal dan Regangan Kisi Komposisi $(La_{0,7}Y_{0,10}Sr_{0,15}Ba_{0,05})MnO_3$	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	60
5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA.....	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur Perovskite (ABO_3) yang ideal	6
Gambar 2. 2 Pola Difraksi Sinar-X $La_{0.6-x}Y_xSr_{0.4}MnO_3$ ($x = 0-0.3$)	9
Gambar 2. 3 Pola Difraksi Sinar-X $La_{0.6}Sr_{0.4}MnO_3$	10
Gambar 2. 4 Pola Difraksi Sinar-X LBMO	11
Gambar 2. 5 Gabungan Pola Difraksi Sinar-x $La_{0.7}(Ba_{1-x}Sr_x)_{0.3}MnO_3$	11
Gambar 2. 6 Prinsip <i>mechanical alloying</i> (MA) (a) campuran serbuk input (b) partikel komposit yang memanjang dan (c) butiran serbuk ekuaksial yang homogen	12
Gambar 2. 7 Ilustrasi Difraksi Sinar-X	14
Gambar 2. 8 Grafik XRD $La_{0.5-y}Y_ySr_{0.5}MnO_3$ ($y = 0$ dan $y = 0.25$)	16
Gambar 3. 1 Skema Sintesis Penelitian.	24
Gambar 3. 2 kurva suhu sintering sampel penelitian.	27
Gambar 3. 3 Diagram Alir Penelitian.	30
Gambar 4. 1 Difraktogram Perovskite Manganite $(La_{0.7}Y_{0.05}Sr_{0.2}Ba_{0.05})MnO_3$ dan $(La_{0.7}Y_{0.10}Sr_{0.15}Ba_{0.05})MnO_3$	32
Gambar 4. 2 Hasil Identifikasi Fasa untuk Sampel dengan Komposisi $(La_{0.7}Y_{0.05}Sr_{0.2}Ba_{0.05})MnO_3$	33
Gambar 4. 3 Hasil Identifikasi Fasa untuk Sampel dengan Komposisi $(La_{0.7}Y_{0.10}Sr_{0.15}Ba_{0.05})MnO_3$	34
Gambar 4. 4 Grafik Pola Difraksi Sinar-X untuk Sampel dengan Komposisi $(La_{0.7}Y_{0.05}Sr_{0.2}Ba_{0.05})MnO_3$ dan $(La_{0.7}Y_{0.10}Sr_{0.15}Ba_{0.05})MnO_3$	37
Gambar 4. 5 Hasil <i>Refinement</i> Pola Difraksi Sinar-X untuk Sampel dengan Komposisi $(La_{0.7}Y_{0.05}Sr_{0.2}Ba_{0.05})MnO_3$	39
Gambar 4. 6 Hasil <i>Refinement</i> Pola Difraksi Sinar-X untuk Sampel dengan Komposisi $(La_{0.7}Y_{0.10}Sr_{0.15}Ba_{0.05})MnO_3$	39
Gambar 4. 7 Grafik regresi antara $4\sin\theta$ dan $\beta\cos\theta$ untuk Sampel $(La_{0.7}Y_{0.05}Sr_{0.2}Ba_{0.05})MnO_3$ pada Fasa $LaMnO_3$	52
Gambar 4. 8 Grafik regresi antara $4\sin\theta$ dan $\beta\cos\theta$ untuk untuk Sampel $(La_{0.7}Y_{0.10}Sr_{0.15}Ba_{0.05})$ pada Fasa $LaMnO_3$	53

Gambar 4. 9 Grafik regresi antara $4\sin\theta$ dan $\beta\cos\theta$ untuk untuk Sampel (La _{0,7} Y _{0,10} Sr _{0,15} Ba _{0,05})MnO ₃ pada Fasa YMnO ₃	54
Gambar 4. 10 Visualisasi Struktur Kristal sampel dengan komposisi (La _{0,7} Y _{0,05} Sr _{0,2} Ba _{0,05})MnO ₃ dengan menggunakan <i>software</i> Vesta	57
Gambar 4. 11 Visualisasi Struktur Kristal material variasi komposisi (La _{0,7} Y _{0,10} Sr _{0,15} Ba _{0,05})MnO ₃ dengan menggunakan <i>software</i> Vesta	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sistem struktur kristal	8
Tabel 3. 1 Alat Penelitian dalam Sintesis Material berbasis LaMnO_3	21
Tabel 3. 2 Bahan Penelitian	23
Tabel 3. 3 Data Massa Bahan	25
Tabel 4. 1 Data Hasil Identifikasi Fasa menggunakan Metode <i>Search-Match</i>	36
Tabel 4. 2 Hasil Analisis Parameter Struktur Material untuk Sampel dengan komposisi $(\text{La}_{0,7}\text{Y}_{0,05}\text{Sr}_{0,2}\text{Ba}_{0,05})\text{MnO}_3$ dan $(\text{La}_{0,7}\text{Y}_{0,10}\text{Sr}_{0,15}\text{Ba}_{0,05})\text{MnO}_3$	41
Tabel 4. 3 Parameter Puncak Difraksi Sinar-X dan Parameter Kisi untuk Sampel dengan komposisi $(\text{La}_{0,7}\text{Y}_{0,05}\text{Sr}_{0,2}\text{Ba}_{0,05})\text{MnO}_3$	45
Tabel 4. 4 Parameter Puncak Difraksi Sinar-X dan Parameter Kisi untuk Sampel dengan Komposisi $(\text{La}_{0,7}\text{Y}_{0,10}\text{Sr}_{0,15}\text{Ba}_{0,05})\text{MnO}_3$	46
Tabel 4. 5 Ukuran Kristal dan Regangan Kisi untuk Sampel $(\text{La}_{0,7}\text{Y}_{0,05}\text{Sr}_{0,2}\text{Ba}_{0,05})\text{MnO}_3$ pada Fasa LaMnO_3 menggunakan persamaan <i>Williamson-Hall</i>	51
Tabel 4. 6 Ukuran Kristal dan Regangan Kisi untuk Sampel $(\text{La}_{0,7}\text{Y}_{0,10}\text{Sr}_{0,15}\text{Ba}_{0,05})\text{MnO}_3$ pada Fasa LaMnO_3 menggunakan persamaan <i>Williamson-Hall</i>	52
Tabel 4. 7 Ukuran Kristal dan Regangan Kisi untuk Sampel $(\text{La}_{0,7}\text{Y}_{0,10}\text{Sr}_{0,15}\text{Ba}_{0,05})$ pada Fasa YMnO_3 menggunakan persamaan <i>Williamson-Hall</i>	54
Tabel 4. 8 Ukuran Kristal Rata-Rata (D) dan Regangan Kisi (ϵ)	55

DAFTAR SINGKATAN

HEM	: High Energy Milling
LaMnO ₃	: Lanthanum Manganite
CaTiO ₃	: Calcium Titanate
La ₂ O ₃	: Lanthanum Oxide
Y ₂ O ₃	: Yttrium Oxide
SrCO ₃	: Strontium Carbonate
BaCO ₃	: Barium Carbonate
MnO ₂	: Mangan (IV) Oxide
C ₂ H ₅ OH	: Larutan Etanol
YMnO ₃	: Yttrium Manganite
XRD	: X-Ray Diffraction
Cu	: Copper / Tembaga
Match!3	: Software identifikasi fasa XRD
FoM	: Figure of Merit
COD	: Crystallography Open Database
FWHM	: Full Width at Half Maximum
GSAS	: General Structure Analysis System
Rwp	: Weighted Profile R-Factor
Rp	: Profile R-Factor
GoF	: Goodness of Fit
R-3c	: Space group kristal trigonal (hexagonal axes)
P6 ₃ cm	: Space group kristal hexagonal
nm	: Nanometer
a.u	: Arbitrary Unit
3D	: Tiga Dimensi
VESTA	: Visualization for Electronic and Structural Analysis

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Para peneliti mengembangkan material untuk teknologi terbaru, sehingga terbentuk material baru yang inovatif, seperti *high-entropy alloys* (HEAs). *High-entropy alloys* meninggalkan oksida berentropi tinggi yang biasa dikenal dengan *High-entropy oxides* (HEOs) (Z. Y. Liu et al., 2023). *Low*, *medium*, dan *high entropy* merupakan kategori dari *high-entropy oxides* (HEOs). *Low entropy oxides* didefinisikan sebagai oksida yang tersusun ≤ 3 unsur yang berbeda. Nilai entropi konfigurasinya $<1 R$ (R adalah konstanta gas). *Medium entropy oxides* merupakan entropi sedang yang memiliki konfigurasi berkisar antara $1R-1.5R$ dan terdiri dari 3-4 unsur yang berbeda. *High entropy oxides*, didefinisikan sebagai oksida yang tersusun dari 5 atau lebih unsur, sehingga nilai entropi pencampurannya akan $\geq 1,5 R$ (Albedwawi et al., 2021). Perovskite ABO_3 banyak dikembangkan sebagai material fungsional melalui rekayasa komposisi kimia. Salah satu material perovskite yang banyak dikembangkan para peneliti yang biasa dilakukan dengan mensubstitusi ion pada material tersebut adalah $LaMnO_3$.

$LaMnO_3$ (*Lanthanum Manganite*) termasuk salah satu material perovskite yang digunakan dalam berbagai bidang aplikasi, termasuk lingkungan dan struktur (Sfirloaga et al., 2018) diantara lain banyak digunakan sebagai katalis, sensor kimia, elektroda sel bahan bakar oksida padat, penyimpanan *hydrogen* dan substitusi isomorfis logam dalam strukturnya (Özkan et al., 2021). Substitusi pada $LaMnO_3$ memiliki rumus umum yakni ABO_3 , dengan A merupakan ion *trivalent* tanah jarang contohnya La^{3+} , Pr^{3+} , Nd^{3+} , dll yang dapat disubstitusi oleh ion *divalent* seperti Sr^{2+} , Ba^{2+} , serta Ca^{2+} sehingga, dengan adanya substitusi dapat mempengaruhi sifat material tersebut. Sedangkan B termasuk ke dalam ion logam transisi seperti Mn^{3+} , Al^{3+} , Cr^{3+} , dll. Efek dari substitusi $LaMnO_3$ dapat diamati melalui perubahan struktur kristalnya (Admi, 2019).

Pada Penelitian terdahulu Hosseinejad et al. (2021) melakukan sintesis material $La_{0.6-x}Y_xSr_{0.4}MnO_3$ ($x = 0-0.3$) yang disintesis dengan metode sol-gel.

Analisis XRD yang dihasilkan menunjukkan struktur perovskite fasa tunggal dengan struktur rhombohedral dan *space group* R-3c. Kemudian, Hanna *et al.* (2022) melakukan penelitian sampel $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{MnO}_3$ dengan struktur perovskite berhasil disintesis mekanis. Perlakuan *milling* selama 10 jam diikuti dengan perlakuan panas pada suhu 1100°C menghasilkan pembentukan fasa *lanthanum strontium manganite* (LSMO) perovskite tunggal dengan struktur kristal rhombohedral dan simetri R-3c. Mohamed *et al.* (2016) mensubstitusikan Ba^{2+} pada LaMnO_3 menunjukkan adanya struktur kristal yang terbentuk adalah rhombohedral dengan grup ruang R-3c dan parameter kisi $a = b = 5.54368 \text{ \AA}$ dan $c = 13.483 \text{ \AA}$. Bahkan Hartati (2019), melakukan sintesis material $\text{La}_{0.7}(\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x)_{0.3}\text{MnO}_3$ melalui metode sol-gel menghasilkan struktur rombohedral dengan grup ruang R-3c. Substitusi ion Ba^{2+} berjari-jari ion lebih besar dibandingkan dengan ion Sr^{2+} yang berjari-jari ionik lebih kecil menyebabkan penurunan volume sel unit, mengindikasikan adanya distorsi pada kisi kristal.

Fokus utama penelitian ini adalah dilakukan sintesis LaMnO_3 variasi komposisi $(\text{La}_{0.7}\text{Y}_{0.05}\text{Sr}_{0.2}\text{Ba}_{0.05})\text{MnO}_3$ dan $(\text{La}_{0.7}\text{Y}_{0.10}\text{Sr}_{0.15}\text{Ba}_{0.05})\text{MnO}_3$ disintesis menggunakan metode yang sangat sederhana yaitu metode *Mechanical Alloying* dengan mencampurkan bahan-bahan berupa material secara mekanik kedalam sebuah alat *High Energy Milling* (HEM) agar tercampur secara homogen. Penelitian yang akan dilakukan ini dikategorikan sebagai *medium entropy oxide* karena memiliki 4 unsur (La Y Sr Ba) yang disubstitusi pada site A. Selanjutnya, dilakukan pengujian menggunakan *X-ray diffraction* (XRD). Dianalisis dengan metode *search-match* menggunakan *software Match!3* untuk mengidentifikasi fasa, Metode *Rietveld refinement* dengan *software* GSAS untuk mengetahui struktur kristal suatu material, menggunakan metode *Williamson-Hall* untuk menentukan ukuran kristal dan regangan kisi, serta memperlihatkan visualisasi struktur kristal dari sampel yang dibuat menggunakan *software* Vesta (*Visualization for Electronic and Structural Analysis*) berdasarkan data hasil difraksi sinar-X (XRD).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disebutkan, maka perumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana mensintesis material LaMnO_3 dengan variasi komposisi $(\text{La}_{0,7}\text{Y}_{0,05}\text{Sr}_{0,2}\text{Ba}_{0,05})\text{MnO}_3$ dan $(\text{La}_{0,7}\text{Y}_{0,10}\text{Sr}_{0,15}\text{Ba}_{0,05})\text{MnO}_3$ menggunakan metode *Mechanical Alloying* ?
2. Bagaimana fasa yang terbentuk pada material LaMnO_3 variasi komposisi $(\text{La}_{0,7}\text{Y}_{0,05}\text{Sr}_{0,2}\text{Ba}_{0,05})\text{MnO}_3$ dan $(\text{La}_{0,7}\text{Y}_{0,10}\text{Sr}_{0,15}\text{Ba}_{0,05})\text{MnO}_3$ dengan metode *search-match* menggunakan *software* “Match!3” ?
3. Bagaimana hasil parameter struktur kristal material LaMnO_3 variasi komposisi $(\text{La}_{0,7}\text{Y}_{0,05}\text{Sr}_{0,2}\text{Ba}_{0,05})\text{MnO}_3$ dan $(\text{La}_{0,7}\text{Y}_{0,10}\text{Sr}_{0,15}\text{Ba}_{0,05})\text{MnO}_3$ dengan metode *Rietveld* menggunakan *software* “GSAS” ?
4. Bagaimana hasil ukuran kristal dan regangan kisi material LaMnO_3 komposisi $(\text{La}_{0,7}\text{Y}_{0,05}\text{Sr}_{0,2}\text{Ba}_{0,05})\text{MnO}_3$ dan $(\text{La}_{0,7}\text{Y}_{0,10}\text{Sr}_{0,15}\text{Ba}_{0,05})\text{MnO}_3$ menggunakan metode *Williamson-Hall* ?
5. Bagaimana visualisasi struktur kristal hasil analisis *Rietveld refinement* material LaMnO_3 variasi komposisi $(\text{La}_{0,7}\text{Y}_{0,05}\text{Sr}_{0,2}\text{Ba}_{0,05})\text{MnO}_3$ dan $(\text{La}_{0,7}\text{Y}_{0,10}\text{Sr}_{0,15}\text{Ba}_{0,05})\text{MnO}_3$ menggunakan *software* “VESTA” dalam menunjukkan bentuk struktur tiga dimensi, posisi atom, serta arah orientasi kisi kristal ?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah di sebutkan, maka tujuan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Mensintesis material LaMnO_3 dengan variasi komposisi $(\text{La}_{0,7}\text{Y}_{0,05}\text{Sr}_{0,2}\text{Ba}_{0,05})\text{MnO}_3$ dan $(\text{La}_{0,7}\text{Y}_{0,10}\text{Sr}_{0,15}\text{Ba}_{0,05})\text{MnO}_3$ menggunakan metode *Mechanical Alloying*.
2. Menganalisis fasa yang terbentuk pada material LaMnO_3 variasi komposisi $(\text{La}_{0,7}\text{Y}_{0,05}\text{Sr}_{0,2}\text{Ba}_{0,05})\text{MnO}_3$ dan $(\text{La}_{0,7}\text{Y}_{0,10}\text{Sr}_{0,15}\text{Ba}_{0,05})\text{MnO}_3$ dengan metode *search-match* menggunakan *software* “Match!3”.
3. Melakukan *refinement* dengan metode *Rietveld* menggunakan *software* GSAS untuk mengetahui hasil dari parameter struktur kristal material LaMnO_3 dengan variasi komposisi $(\text{La}_{0,7}\text{Y}_{0,05}\text{Sr}_{0,2}\text{Ba}_{0,05})\text{MnO}_3$ dan $(\text{La}_{0,7}\text{Y}_{0,10}\text{Sr}_{0,15}\text{Ba}_{0,05})\text{MnO}_3$.

4. Menentukan ukuran kristal dan regangan kisi material LaMnO_3 variasi komposisi $(\text{La}_{0,7}\text{Y}_{0,05}\text{Sr}_{0,2}\text{Ba}_{0,05})\text{MnO}_3$ dan $(\text{La}_{0,7}\text{Y}_{0,10}\text{Sr}_{0,15}\text{Ba}_{0,05})\text{MnO}_3$ menggunakan metode *Williamson-Hall*.
5. Memvisualisasi struktur kristal hasil analisis *Rietveld refinement* material LaMnO_3 variasi komposisi $(\text{La}_{0,7}\text{Y}_{0,05}\text{Sr}_{0,2}\text{Ba}_{0,05})\text{MnO}_3$ dan $(\text{La}_{0,7}\text{Y}_{0,10}\text{Sr}_{0,15}\text{Ba}_{0,05})\text{MnO}_3$ menggunakan *software* “VESTA” dalam menunjukkan bentuk struktur tiga dimensi, posisi atom, serta arah orientasi kisi kristal.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang terdapat dalam penelitian yang akan dilakukan ini adalah sebagai berikut:

1. Proses sintesis material LaMnO_3 dengan dua variasi komposisi $(\text{La}_{0,7}\text{Y}_{0,05}\text{Sr}_{0,2}\text{Ba}_{0,05})\text{MnO}_3$ dan $(\text{La}_{0,7}\text{Y}_{0,10}\text{Sr}_{0,15}\text{Ba}_{0,05})\text{MnO}_3$ menggunakan metode *Mechanical Alloying* dengan waktu milling selama 5 jam dan dilakukan proses sintering menggunakan suhu 1100°C .
2. Data yang digunakan merupakan data sampel dengan komposisi $(\text{La}_{0,7}\text{Y}_{0,05}\text{Sr}_{0,2}\text{Ba}_{0,05})\text{MnO}_3$ dan $(\text{La}_{0,7}\text{Y}_{0,10}\text{Sr}_{0,15}\text{Ba}_{0,05})\text{MnO}_3$ yang dikarakterisasi dengan pengujian *X-ray diffraction* (XRD).

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil analisis yang diperoleh dari penelitian ini bermanfaat dalam memberikan informasi mengenai pengaruh variasi komposisi terhadap struktur kristal senyawa LaMnO_3 hasil sintesis. Melalui karakterisasi menggunakan X-ray Diffraction (XRD) dan analisis seperti *search-match*, *Rietveld refinement*, serta metode *Williamson-Hall*, diperoleh data yang akurat mengenai fasa kristal, parameter kisi, kristalinitas, dan regangan dalam material. Hasil ini dapat menjadi referensi atau dasar pertimbangan bagi peneliti selanjutnya yang ingin mengkaji lebih lanjut sifat fisis atau pengembangan aplikasi material berbasis LaMnO_3 dengan komposisi yang serupa.

DAFTAR PUSTAKA

- Admi, R. I. (2019). Analisis Sifat Absorpsi Gelombang Mikro Material Keramik Berbasis $\text{La}_{0,7}(\text{Ca}_{1-x}\text{Sr}_x)_{0,3}\text{MnO}_3$ ($x=0;0,1;0,2;\text{dan } 0,3$). 7, p. 78. <https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/handle/123456789/47458>
- Albedwawi, S. H., AlJaberi, A., Haidemenopoulos, G. N., & Polychronopoulou, K. (2021). High entropy oxides-exploring a paradigm of promising catalysts: A review. *Materials and Design*, p. 202, 109534. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2021.109534>
- Alfarisa, S., Rifai, D. A., & Toruan, P. L. (2018). Studi Difraksi Sinar-X Struktur Nano Seng Oksida (ZnO). *Risalah Fisika*, 2(2), pp. 53–57. <https://doi.org/10.35895/rf.v2i2.114>
- Amanda, M. V., Salma, N., Azizah, N., Laili, N., & Indah, E. (2023). Sintesis Kloropentaamin Kobalt (III) Klorida dengan Reaksi Langsung. 3(6), pp. 272–283. <https://doi.org/10.17977/um067v3i6p272-283>
- Anwar, N. (2011). Pembuatan Magnet Permanen Nd 2 Fe 14 B. p. 76. [https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/bitstream/123456789/4931/1/Nurul Anwar-Fst.pdf](https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/bitstream/123456789/4931/1/Nurul%20Anwar-Fst.pdf)
- Apriatin. (2023). Analisis Sifat Penyerap Gelombang Elektromagnetik Pada Material Lamno 3 Dengan Doping Ca, Ba, dan Sr. *Repository.Uinjkt.Ac.Id*, p. 77. <https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/bitstream/123456789/73466/1/Apriatin-Fst.pdf>
- Ardani, A. (2020). Analisis Peningkatan Substitusi unsur Nikel Terhadap Struktur Kristal Dan Sifat Magnet Material Lantanum Barium Manganat *Skripsi*. 2507(February), p. 92. [https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/bitstream/123456789/55496/1/Adinda Ardani-FST.pdf](https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/bitstream/123456789/55496/1/Adinda%20Ardani-FST.pdf)
- Axala, D. L. G. (2022). Analisis Parameter Struktur Kristal Nanokomposit Rgo-Tio2 Menggunakan Metode Numerik (Bragg’S Law Dan Williamson-Hall) Dan Metode Rietveld (Maud). p. 101. <http://etheses.uin-malang.ac.id/36614/>
- Azizah, A. (2020). Analisis Parameter Struktur pada Reduced Graphene Oxide dari Tempurung Kelapa Menggunakan Metode Scherrer dan Williamson-Hall. *Skripsi, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang*, p. 75. <http://etheses.uin-malang.ac.id/27256/>
- Behara, S., Poonawala, T., & Thomas, T. (2021). Crystal structure classification in ABO3 perovskites via machine learning. *Computational Materials Science*, 188(November), 110191. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2020.110191>
- Borowski, M. (2010). Perovskites Structure, Properties and Uses.

<https://www.scribd.com/document/341183430/Maxim-Borowski-Perovskites-Structure-Propertie-BookSee-org-pdf>

- Bratawan, D. S. P. (2023). Sintesis dan Karakterisasi $\text{Mg}_2\text{Si}_1\text{-Xsnx}$ ($\text{X} = 0, 6; 0, 65; 0, 7; 0, 75$) Sebagai Kandidat Material Termoelektrik Melalui Metode Reaksi Padat. p. 105. [https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/bitstream/123456789/73808/1/D.Salsabila Putri Bratawan-FST.pdf](https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/bitstream/123456789/73808/1/D.Salsabila%20Putri%20Bratawan-FST.pdf)
- Christianto, P., & Purwaningsih, H. (2013). Analisa Rietveld terhadap Transformasi Fasa ($\alpha \rightarrow \beta$) pada Solid Solution Ti-3 at .% Al pada Proses Mechanical Alloying dengan Variasi Milling Time. *Jurnal Teknik Pomits*, 2(1), pp. 2337–3539.
- Çoban Özkan, D., Türk, A., & Celik, E. (2021). Synthesis and characterizations of LaMnO_3 perovskite powders using sol–gel method. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32(11), pp. 15544–15562. <https://doi.org/10.1007/s10854-021-06104-0>
- Dobrzanski, L. A., Dobrzanska-Danikiewicz, A. D., Achteik-Franczak, A., Dobrzanski, L. B., Hajduczek, E., & Matula, G. (2017). Fabrication Technologies of the Sintered Materials Including Materials for Medical and Dental Application. In *Powder Metallurgy - Fundamentals and Case Studies* (Issue March, p. 38). InTech. <https://doi.org/10.5772/65376>
- Erwin, Salomo, Defrianto, M. G. dan M. R. R. (2014). Perhitungan Parameter Kisi Kristal Berstruktur Hexagonal Berdasarkan Pola Difraksi Elektron Dengan Bantuan Komputer Erwin, Salomo, Defrianto, Mbantun Ginting dan M. Rasyid Ridho. *Jurnal Komunikasi Fisika Indonesia*, p. 597. <https://kfi.ejournal.unri.ac.id/index.php/JKFI/article/view/2677>
- Fatimah, S., Ragadhita, R., Husaeni, D. F. Al, & Nandiyanto, A. B. D. (2021). How to Calculate Crystallite Size from X-Ray Diffraction (XRD) using Scherrer Method. *ASEAN Journal of Science and Engineering*, 2(1), pp. 65–76. <https://doi.org/10.17509/ajse.v2i1.37647>
- Fiqry, R., Kuswanto, H., & Ariswan, A. (2017). Struktur Kristal Dan Komposisi Kimia Semikonduktor $\text{Cd}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ Hasil Preparasi Dengan Metode Bridgman. *Spektra: Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 2(1), pp. 75–82. <https://doi.org/10.21009/SPEKTRA.021.11>
- Gomes, E., Ramasamy, D., Ferreira, A. A. L., & Abrantes, J. C. C. (2024). Effect of yttrium ion on the space charge potential across grain boundaries regions of gadolinia-doped ceria electrolytes. *Solid State Ionics*, 413(May), pp. 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.ssi.2024.116610>
- Habibie, K., Syifa, N. A., & Bahtiar, A. (2020). Pengaruh Penyisipan Ion Bromida Terhadap Sifat Optik Dan Struktur Kristal Lapisan Tipis Perovskite Halida

- Campuran MAPbBr_xI_{3-x}. *Jurnal Material Dan Energi Indonesia*, 9(02), p. 71. <https://doi.org/10.24198/jmei.v9i2.26275>
- Hanna, F. F., Ibrahim, P. N. G., & Hannora, A. E. (2022). Mechanochemical Synthesis of Soft Ferromagnetic Perovskite Lanthanum Strontium Manganite (La_{0.6}Sr_{0.4}MnO₃). *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 11(5), 053002. <https://doi.org/10.1149/2162-8777/ac6a78>
- Hartati, J. (2019). Analisis Struktur Kristal Dan Sifat Kelistrikan Bahan La_{0.7}(Ba_{1-x}Sr_x)_{0.3}MnO₃ Dengan Metode Sol-Gel. *Skripsi*, 7, p. 83. [https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/bitstream/123456789/47815/1/JULI HARTATI-FST.pdf](https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/bitstream/123456789/47815/1/JULI%20HARTATI-FST.pdf)
- Hosseinienejad, S. S., Ehsani, M. H., & Esmaeili, S. (2021). Structural and magnetic properties of yttrium-substituted La_{0.6-x}Y_xSr_{0.4}MnO₃ (x=0–0.3). *Ceramics International*, 47(8), 11536–11546. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.12.283>
- Koriba, I., Lagoun, B., Guibadj, A., Belhadj, S., Ameer, A., & Cheriet, A. (2021). Structural, electronic, magnetic and mechanical properties of three LaMnO₃ phases: Theoretical investigations. *Computational Condensed Matter*, 29(September), e00592. <https://doi.org/10.1016/j.cocom.2021.e00592>
- Kucharczyk, B. (2015). Catalytic Oxidation of Carbon Monoxide on Pd-Containing LaMnO₃ Perovskites. *Catalysis Letters*, 145(6), 1237–1245. <https://doi.org/10.1007/s10562-015-1518-3>
- Kurniawan, R. I., Saptari, B. A., Yudharm, S. A., & Munazat, G. (2024). Effect of Sintering Temperature on Phase Characteristic and Grain Size of La_{0.7}AE_{0.3}MnO₃ (AE=Ba/Ca/Sr) Ceramics Prepared by Sol-Gel Method. *Progress in Physics of Applied Materials*, 4(1), pp. 93–101. <https://doi.org/10.22075/PPAM.2024.33788.1096>
- Li, N., Chang, Y., Li, M., Chen, Y., Luo, X., Pei, S., & Yang, F. (2024). Enhanced mechanical property by introducing bimodal grains structures in Cu-Ta alloys fabricated by mechanical alloying. *Journal of Materials Science and Technology*, 172, pp. 104–112. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2023.06.056>
- Liu, J. W., Wang, J. J., & Gao, H. T. (2018). Infrared emissivities and microwave absorption properties of perovskite La_{1-x}CaxMnO₃ (0≤x≤0.5). *Materials Science Forum*, 914, pp. 96–101. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.914.96>
- Liu, Z. Y., Liu, Y., Xu, Y., Zhang, H., Shao, Z., Wang, Z., & Chen, H. (2023). Novel high-entropy oxides for energy storage and conversion: From fundamentals to practical applications. *Green Energy and Environment*, 8(5), 1341–1357. <https://doi.org/10.1016/j.gee.2023.04.007>

- Luo, H., Guo, J., Shen, T., Zhou, H., Liang, J., & Yuan, S. (2020). Study on the catalytic performance of LaMnO_3 for the RhB degradation. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 109, pp. 15–25. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2020.01.011>
- Mohamed, A. E.-M. A., Vega, V., Ipatov, M., Ahmed, A. M., & Hernando, B. (2016). Magnetoresistive and magnetocaloric response of manganite/insulator system. *Journal of Alloys and Compounds*, 657, pp. 495–505. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2015.10.095>
- Moto, K., Setiarini, L., & Abubakar, Z. (2003). *Analisis Komposisi Fasa Dengan Metode Rietveld Dan Pengaruhnya Terhadap Kekerasan Nanokomposit Ti-Si-N*. 7(1), pp. 10–14. <https://media.neliti.com/media/publications/147225-ID-analisis-komposisi-fasa-dengan-metode-ri.pdf>
- Nadiyyah, K., Aprianti, R., Khoirun Nisa, U., & Yekti Kwasaning Gusti, V. (2023). Student Scientific Attitudes To The Vesta Software As Learning Media Of Crystal Structure. *Jurnal Riset Fisika Edukasi Dan Sains*, 10(2), pp. 70–80. <https://doi.org/10.22202/jrfes.2023.v10i2.6583>
- Permatasari, I. (2018). Analisis Struktur Mikro Kristal pada Serbuk dan Lapisan Nicral dengan Elemen Reaktif (Si Dan Y) menggunakan Metode Scherrer. *Skripsi, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta*, p. 84. <https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/bitstream/123456789/55250/1/INDAH PERMATASARI ZUHDI-FST.pdf>
- Prasetyo, P. (2018). Analisis Struktur Kristal, Morfologi, Dan Sifat Magnetik Polikristal $\text{La}_{0.7}(\text{Ba}_{1-x}\text{Ca}_x)_0.3\text{Mn}_{1-y}\text{Ni}_y\text{O}_3$. *Skripsi, Fisika UIN*, 7, pp. 33–34. <https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/handle/123456789/48437>
- Putri, Y. E., Yusri, H., & Zulhadjri, D. (2015). Studi Hantaran Listrik Senyawa $\text{Sr N}_{+1} \text{Ti N O } 3\text{N}_{+1}$ ($\text{N} = 1$ Dan 2) Fasa Ruddlesden-Popper Yang Disintesis Dengan Metode Lelehan Garam. *Maret*, 8(2), pp. 176–181.
- Ramadani, A. I. W. S. (2015). *Karakterisasi Koreksi Pelebaran Puncak Dan Characterization of Line Broadening and 2θ Correction in X-Ray Diffraction Analysis*.
- Restiana, S., & Rini, A. S. (2018). *Perovskite Menggunakan Vesta*. 15(01), pp. 46–50. <http://ejournal.unri.ac.id/index.php/JKFI>
- Sahurni, A. (2022). *Sintesis dan Karakteristik Lapisan Tipis ZnO/Asam Stearat sebagai Material Slef Cleaning*. p.5.
- Saputri, E. D., Munir, R., & Natalisanto, A. I. (2022). Investigasi pola XRD dan ukuran kristal pada TiO_2 terdoping vanadium menggunakan aplikasi VESTA. *Progressive Physics Journal*, 3(1), p.125. <https://doi.org/10.30872/ppj.v3i1.909>

- Sfirloaga, P., Poienar, M., Malaescu, I., Lungu, A., & Vlazan, P. (2018). Perovskite type lanthanum manganite: Morpho-structural analysis and electrical investigations. *Journal of Rare Earths*, 36(5), pp. 499–504. <https://doi.org/10.1016/j.jre.2017.10.009>
- Sudjatmoko, S. (2009). Pengaruh Penambahan Suatu Elemen Reaktif Pada Pertumbuhan Kerak Alumina Dalam Material Paduan Suhu Tinggi. *GANENDRA Majalah IPTEK Nuklir*, 12(2), pp. 50–58. <https://doi.org/10.17146/gnd.2009.12.2.150>
- Sumadiyasa, M., & Manuaba, I. B. S. (2018). Determining Crystallite Size Using Scherrer Formula, Williamson-Hull Plot, and Particle Size with SEM. *Buletin Fisika*, 19(1), p. 28. <https://doi.org/10.24843/bf.2018.v19.i01.p06>
- Taran, S., Sun, C. P., Huang, C. L., Yang, H. D., Nigam, A. K., Chaudhuri, B. K., & Chatterjee, S. (2015). Electrical and magnetic properties of Y-doped La_{0.5}Sr_{0.5}MnO₃ manganite system: Observation of step-like magnetization. *Journal of Alloys and Compounds*, 644, pp. 363–370. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2015.05.050>
- Toby, B. H. (2006). R factors in Rietveld analysis: How good is good enough? . *Powder Diffraction*, 21(1), pp. 67–70. <https://doi.org/10.1154/1.2179804>
- Ukhtiyani, I., Darwis, D., & Iqbal, I. (2017). Purifikasi dan Karakterisasi Silika (SiO₂) Berbasis Pasir Kuarsa dari Desa Pasir Putih Kecamatan Pamona Selatan Kabupaten Poso. *Natural Science: Journal of Science and Technology*, 6(3), pp. 270–275. <https://doi.org/10.22487/25411969.2017.v6.i3.9201>
- Wang, Y., Zheng, Y., Wang, Y., Wang, H., Zhu, X., Wei, Y., Wang, Y., Jiang, L., Yang, Z., & Li, K. (2020). Evaluation of Fe substitution in perovskite LaMnO₃ for the production of high purity syngas and hydrogen. *Journal of Power Sources*, 449(November), 227505. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2019.227505>
- Widayatno, W. B. (2009). Studi Sintesis Paduan Mnbi Dengan Metode Mechanical Alloying Dan Karakterisasinya. *Matematika, Fakultas Ilmu, dan Alam, Pengetahuan Studi, Program Ilmu, Magister*, p.101. https://lib.ui.ac.id/file?file=digital/old26/20279983-T_29078-Studi_sintesis-full_text.pdf
- Zheng, J., Zhao, H., Guo, X., Jin, X., Wang, L., Dong, S., & Chen, J. (2023). Enhanced Electrochemical Performance of LaMnO₃ Nanoparticles by Ca/Sr Doping. *Coatings*, 14(1), p. 20. <https://doi.org/10.3390/coatings14010020>