

SINTESIS DAN KARAKTERISASI MATERIAL
 $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ SEBAGAI PENYERAP GELOMBANG MIKRO PADA
JANGKAUAN FREKUENSI C-BAND DENGAN METODE MILLING

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di
Bidang Studi Fisika Fakultas MIPA

OLEH:

ZUMRATUL HASANA

NIM. 08021182126014



JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2025

LEMBAR PENGESAHAN

SINTESIS DAN KARAKTERISASI MATERIAL

**$\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ SEBAGAI PENYERAP GELOMBANG MIKRO PADA
JANGKAUN FREKUENSI C-BAND DENGAN METODE MILLING**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains

Bidang Fisika Fakultas MIPA

Oleh:

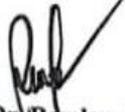
ZUMRATUL HASANA

NIM. 08021182126014

Indralaya, Februari 2025

Menyetujui,

Pembimbing I



Dr. Ramlan, M. Si
NIP. 196604101993031003

Pembimbing II



Mashadi, M. Si
NIP. 197103231995031002

Mengetahui

Ketua Jurusan Fisika



Dr. Friansyah Virgo, 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 : Zumratul Hasana

NIM : 08021182126014

Judul TA : Sintesis Dan Karakterisasi Material $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ Sebagai Penyerap Gelombang Mikro Pada Jangkauan Frekuensi C-Band Dengan Metode Milling

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun merupakan hasil karya sendiri 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.

Dengan 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, Maret 2025

Yang menyatakan



Zumratul Hasana

NIM. 08021182126014

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan ridho-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir ini yang berjudul **“Sintesis Dan Karakterisasi Material $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ Sebagai Penyerap Gelombang Mikro Pada Jangkauan Frekuensi C-Band Dengan Metode Milling”** ini dapat diselesaikan sebaik-baiknya. Skripsi ini dibuat sebagai laporan penelitian tugas akhir yang telah dilaksanakan di Pusat Material Maju (PRMM), Badan Riset Inovasi Negara (BRIN), Kawasan Puspitek Serpong, Tangerang Selatan. Skripsi ini diajukan dengan tujuan untuk melengkapi persyaratan kurikulum agar dapat memperoleh gelar Sarjana Sains di Jurusan Fisika Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya.

Penulis sangat bersyukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang memberikan kesehatan dan perlindungan-Nya sehingga dapat menyelesaikan penulisan laporan skripsi ini secara langsung terjun kelapangan. Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan masukan berupa kritik dan saran yang bersifat mendidik dan membangun. Dengan segala kerendahan hati, pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini terutama kepada dosen Dr. Ramlan, M.Si (Pembimbing I) dan Mashadi, M.Si (Pembimbing II) yang telah banyak memberikan bimbingan, nasihat, motivasi serta membantu dalam pelaksanaan penelitian skripsi. Penulis ucapkan terima kasih juga kepada yang terhormat:

1. Kepada cinta pertama dan pintu surgaku yaitu kedua orang tua saya Bapak Syukri dan Ibu Mardilam. Mereka memang tidak sempat merasakan bangku perkuliahan namun mereka bekerja keras, memberi motivasi, memberi dukungan baik itu moril dan material serta doa yang selalu mengiringi langkah penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan program studi sampai selesai.

2. Kepada kedua kakak saya Desma Kartini S.E. dan Selvi Eka Sari, S.Pd., Gr. serta tak lupa adik saya almarhum Muhammad Ikhwanul Muslim yang selalu diminta bantuan oleh penulis dimasa awal perkuliahan dan keluarga yang senantiasa memberikan dukungan selama menjalani perkuliahan hingga menyelesaikan skripsi.
3. Bapak Prof. Hermansyah, S.Si., M.T., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Dr. Frinsyah Virgo, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya yang telah memberikan izin untuk mengerjakan skripsi.
5. Bapak Drs. Octavianus Cakra Satya, M.T. selaku dosen pembimbing akademik dan dosen penguji penulis yang telah membantu, memberikan saran dan masukan untuk penulis selama perkuliahan dan dalam pengerjaan skripsi.
6. Bapak Dr. Akmal Johan, M.Si. selaku dosen penguji penulis yang telah memberikan saran dan masukan pada saat seminar proposal dan siding skripsi.
7. Ibu Dr. Menik Ariani, S.Si., M.Si. selaku dosen penguji penulis yang telah memberikan saran dan masukan pada saat siding skripsi
8. Bapak dan Ibu Dosen Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu dan wawasan yang membantu penulis dalam menyelesaikan laporan ini sebaik-baiknya.
9. Bapak Drs. Yunasfi, M.Eng. selaku Peneliti yang telah mendukung dan membantu menyelesaikan skripsi.
10. Bapak Dr. Jan Setiawan, S.Si., M.Si. selaku Peneliti yang telah mendukung dan membantu menyelesaikan skripsi.
11. Bapak Ade Mulyawan, S. Si., M. Eng., selaku peneliti yang telah mendukung dan membantu menyelesaikan skripsi.
12. Teman-teman seperjuangan Novita, Nurul, Intan, Atri, Melin, Jelin, Puja dan Aflah yang telah menemani dan saling mendukung dalam mengerjakan skripsi.
13. Bang Rizky selaku Research Assistant (RA), kak Mita dan kak eti serta bang Marzuki selaku kakak tingkat yang telah membantu, menemani dan mendukung penulis dalam menyelesaikan penelitian dan skripsi.

14. Semua pihak yang tidak dapat penulis tuliskan satu persatu, yang selalu memberikan semangat dan bantuannya hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
15. Almamater Penulis Universitas Sriwijaya yang saya cintai dan banggakan.
16. Terakhir, tak lupa kepada diriku sendiri Zumratul Hasana terima kasih sudah selalu kuat, semangat dalam menjalani hari-hari dan terima kasih sudah bertahan sampai selesai.

Demikian, semoga dengan terselesainya tugas akhir ini bisa bermanfaat untuk menambah wawasan kepada mahasiswa selanjutnya yang menjadikan tugas akhir ini sebagai acuan untuk mengembangkan pengetahuan selanjutnya. Akhir kata penulis ucapkan banyak terima kasih dan semoga hasil laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Indralaya, Maret 2025

Penulis



Zumratul Hasana

NIM.08021182126014

**SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ MATERIAL
AS A MICROWAVE ABSORBER IN THE C-BAND FREQUENCY RANGE
BY MILLING METHOD**

By:

**ZUMRATUL HASANA
NIM. 08021182126014**

ABSTRACT

Electromagnetic radiation due to the development of telecommunication technology can interfere with electronic devices, so microwave absorbing materials are a potential solution. This study synthesized and characterized $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ as a microwave absorber in the C-band frequency using a mechanical milling method with variations $x = 0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.0$. Characterization using XRD, SEM, and VNA showed that the synthesized material had a multiphase structure with impurity due to Cu^{2+} substitution by La^{3+} . SEM revealed non-uniform morphology with significant agglomeration, whereas VNA testing showed that absorption ability depends on x . Samples with $x = 0$ have the highest reflection loss of -7.06 dB at 6.05 GHz with an efficiency of 80.34% . These results show that La doping affects the structure and absorption effectiveness, with optimal performance at $x = 0$, making $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ a potential candidate as a microwave absorbing material.

Keywords: $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$, Microwave; Milling, C-band

Indralaya, Februari 2025

Menyetujui,

Pembimbing I



Dr. Ramlan, M. Si
NIP. 196604101993031003

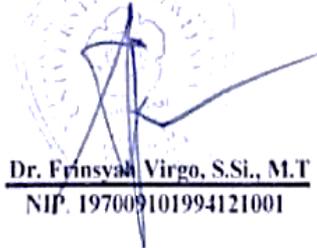
Pembimbing II



Mashadi, M. Si
NIP. 197103231995031002

Mengetahui

Ketua Jurusan Fisika


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

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI MATERIAL
La_xCu_(1-x)MnO₃ SEBAGAI PENYERAP GELOMBANG MIKRO PADA
JANGKAUN FREKUENSI C-BAND DENGAN METODE MILLING**

Oleh:

**ZUMRATUL HASANA
NIM. 08021182126014**

ABSTRAK

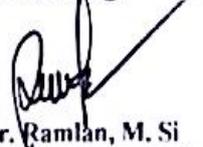
Radiasi elektromagnetik akibat perkembangan teknologi telekomunikasi dapat mengganggu perangkat elektronik, sehingga material penyerap gelombang mikro menjadi solusi potensial. Penelitian ini mensintesis dan mengkarakterisasi La_xCu_(1-x)MnO₃ sebagai penyerap gelombang mikro di frekuensi C-band menggunakan metode mechanical milling dengan variasi $x = 0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.0$. Karakterisasi menggunakan XRD, SEM, dan VNA menunjukkan bahwa material yang disintesis memiliki struktur multiphase dengan impuritas akibat substitusi Cu²⁺ oleh La³⁺. SEM mengungkap morfologi tidak seragam dengan aglomerasi signifikan, sedangkan pengujian VNA menunjukkan bahwa kemampuan penyerapan bergantung pada x . Sampel dengan $x = 0$ memiliki *reflection loss* tertinggi -7.06 dB pada 6.05 GHz dengan efisiensi 80.34%. Hasil ini menunjukkan bahwa doping La mempengaruhi struktur dan efektivitas penyerapan, dengan performa optimal pada $x = 0$, menjadikan La_xCu_(1-x)MnO₃ kandidat potensial sebagai material penyerap gelombang mikro.

Kata Kunci: La_xCu_(1-x)MnO₃, Gelombang Mikro, Milling, C-band

Indralaya, Februari 2025

Menyetujui,

Pembimbing I



Dr. Ramlan, M. Si

NIP. 196604101993031003

Pembimbing II



Mashadi, M. Si

NIP. 197103231995031002

Mengetahui

Ketua Jurusan Fisika



Dr. Fransyah Yirgo, S.Si., M.T

NIP. 197009101994121001

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRACT	vii
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR SINGKATAN.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Gelombang Mikro.....	5
2.2 Penyerapan Gelombang Mikro	7
2.3 Material CuMnO ₃	9
2.3.1 Material CuO	9
2.3.2 Material MnO ₂	10
2.4 Pengaruh Ion Lanthanum.....	12
2.5 Permittivitas dan Permeabilitas	13
2.6 Metode <i>Mechanical Milling</i>	16
2.7 Metode Karakterisasi	18
2.7.1 XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>).....	18
2.7.2 <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	21
2.7.3 VNA (<i>Vector Network Analyzer</i>).....	24

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Tempat Dan Waktu.....	27
3.2 Metode Penelitian.....	27
3.3 Alat Dan Bahan Penelitian	27
3.3.1 Alat Penelitian.....	27
3.3.2 Bahan Penelitian	28
3.4 Prosedur Percobaan	28
3.4.1 Preparasi Bahan	28
3.4.2 <i>Mechanical Milling</i>	29
3.4.3 Proses Pengeringan	29
3.4.4 Proses <i>Hydraulic Press</i>	30
3.4.5 Proses Sintering	30
3.4.6 Pengujian Bahan	30
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1 Sintesis Material $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ dengan Metode <i>Milling</i>	33
4.2 Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	34
4.3 Hasil Karakterisasi <i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	40
4.4 Hasil Karakterisasi <i>Vector Network Analyzer (VNA)</i>	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	52
5.1 Kesimpulan.....	52
5.2 Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	54
Lampiran 1: Perhitungan Stokiometri	59
Lampiran 2: Perhitungan % penyerapan gelombang mikro	63
Lampiran 3: Alat dan Bahan Penelitian.....	65
Lampiran 4: Dokumentasi Penelitian	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 (a) Skema perambatan gelombang elektromagnetik (Adi dkk., 2012)	5
Gambar 2.2 Diagram skematik dari (a) daya dan (b) pantulan yang terlibat dalam interaksi antara gelombang EM dan penyerap (Zeng dkk., 2020)	8
Gambar 2.3 Struktur Kristal CuO Monoklinik (Bhattacharya et al., 2011)	9
Gambar 2.4 (a) Struktur α -MnO ₂ Dengan Rantai Ganda Oktahedron (MnO ₆)... ..	11
Gambar 2.5 Struktur Material La ₂ O ₃ (Lasiman dkk., 2022)	12
Gambar 2.6 High Energy Milling (HEM)	18
Gambar 2.7 Difraksi sinar X pada XRD (Hakim dkk., 2019)	19
Gambar 2.8 Ilustrasi Difraksi Sinar-X (Hakim dkk., 2019)	20
Gambar 2.9 Alat X-Ray Diffraction	21
Gambar 2.10 Skema SEM	22
Gambar 2.11 Alat SEM	23
Gambar 2.12 Prinsip Kerja VNA (Burnikell, 2016)	24
Gambar 2.13 Alat VNA	25
Gambar 3.1 Tahapan Penelitian	31
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian	32
Gambar 4.1 Hasil Sintesis Sampel La _x Cu _(1-x) MnO ₃	33
Gambar 4.2 Pola Difraksi Sinar-X Dari Material La _x Cu _(1-x) MnO ₃	34
Gambar 4.3 Hasil Refinement Dari Material La _x Cu _(1-x) MnO ₃ (x=0.0)	36
Gambar 4.4 Hasil Refinement Dari Material La _x Cu _(1-x) MnO ₃ (x=0.25)	36
Gambar 4.5 Hasil Refinement Dari Material La _x Cu _(1-x) MnO ₃ (x=0.50)	37
Gambar 4.6 Hasil Refinement Dari Material La _x Cu _(1-x) MnO ₃ (x=0.75)	37
Gambar 4.7 Hasil Refinement Dari Material La _x Cu _(1-x) MnO ₃ (x=1.0)	38
Gambar 4.8 Morfologi Sampel La _x Cu _(1-x) MnO ₃ (x=0.0)	41
Gambar 4.9 Morfologi Sampel La _x Cu _(1-x) MnO ₃ (x=0.25)	41
Gambar 4.10 Morfologi Sampel La _x Cu _(1-x) MnO ₃ (x=0.50)	42
Gambar 4.11 Morfologi Sampel La _x Cu _(1-x) MnO ₃ (x=0.75)	42
Gambar 4.12 Morfologi Sampel La _x Cu _(1-x) MnO ₃ (x=1.0)	43

Gambar 4.13	Distribusi Ukuran Partikel Sampel $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ ($x=0.0$).....	43
Gambar 4.14	Distribusi Ukuran Partikel Sampel $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ ($x=0.25$).....	44
Gambar 4.15	Distribusi Ukuran Partikel Sampel $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ ($x=0.50$).....	44
Gambar 4.16	Distribusi Ukuran Partikel Sampel $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ ($x=0.75$).....	45
Gambar 4.17	Distribusi Ukuran Partikel Sampel $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ ($x=1.0$).....	45
Gambar 4.19	Kurva Penyerapan Gelombang Elektromagnetik Material.....	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi frekuensi gelombang mikro (Liao, 2011)	6
Tabel 2.2 Tabel Marki (Marki microwave, 2016)	15
Tabel 3.1 Alat Sintesis Material $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$	27
Tabel 3.2 Bahan Penelitian	28
Tabel 3.3 Perhitungan Massa Bahan	29
Tabel 4.1 Hasil Analisis Parameter Struktur Sampel Dari Pengujian XRD	39
Tabel 4.2 Komposisi Penyusun Unsur Pada Sampel $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$	48
Tabel 4.3 Hasil Penyerapan Gelombang Mikro	51

DAFTAR SINGKATAN

BJ	: Bacharuddin Jusuf
BSE	: Backscattered Electrons
CMR	: Colossal Magnetoresistance
CNC	: Computer Numerical Control
CRT	: Cathode Ray Tube
Cu	: Copper
dB	: Desibel
EDS	: Energy Dispersive Spectroscopy
EM	: Elektromagnetik
EMI	: Electromagnetic Interference
FED	: Field Emission Displays
GHz	: Gigahertz
GMR	: Giant Magneto Resistance
HEM	: High Energy Milling
KST	: Kawasan Sains Terpadu
La	: Lanthanum
LTJ	: Logam Tanah Jarang
MAM	: Microwave Absorbing Material
MHz	: Megahertz
Mn	: Mangan
O	: Oksida
PCA	: Process Control Agent
RADAR	: Radio Detection and Ranging
RAM	: Radar Absorbing Material
RL	: Reflection Loss
Rp	: Profil Factor
SE	: Elektron Sekunder
SEM	: Scanning Electron Microscopy
Tc	: Temperatur Curie

UHF : Ultra High Frequency
VNA : Vector Network Analyzer
wRp : Weighted Profil Factor
 X^2 : Chi-Square
XRD : X-Ray Diffraction

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan gelombang elektromagnetik dalam teknologi telah mengalami perkembangan yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir. Teknologi telekomunikasi adalah salah satunya. Perluasan radiasi gelombang elektromagnetik di atmosfer bumi sejalan dengan berkembangnya penyedia teknologi telekomunikasi. Masalah ini dapat menyebabkan gangguan atau kesalahan pada perangkat elektronik lain yang menggunakan teknologi yang sama. Beberapa penelitian menunjukkan kemungkinan adanya kaitan antara radiasi elektromagnetik dari ponsel dengan perkembangan sel kanker, meskipun demikian, temuan ini masih bersifat sementara dan membutuhkan kajian lebih lanjut. Diperkirakan juga bahwa masalah ini dapat diatasi dengan zat magnetik yang menyerap gelombang elektromagnetik berbahaya dan beresonansi pada frekuensi tertentu (Rumiyanti dkk., 2021). Masalah ini semakin memburuk dari waktu ke waktu karena penggunaan perangkat elektronik yang semakin sering juga dapat mengakibatkan polusi elektromagnetik yang tidak dapat dihindari (Wei dkk., 2020). Munculnya fenomena interferensi gelombang elektromagnetik, yang dapat mengganggu kinerja sistem dan menurunkan efisiensi transmisi sinyal, merupakan salah satu ilustrasi efek polusi gelombang mikro. Ketika dua atau lebih gelombang elektromagnetik bertabrakan dan berinteraksi di area dan waktu yang sama, fenomena yang dikenal sebagai interferensi gelombang elektromagnetik dapat terjadi. Hal ini dapat mengakibatkan kegagalan sistem secara keseluruhan dan mengganggu fungsional perangkat elektronik dan jaringan komunikasi (Mulyawan dkk., 2017; Mulyawan dkk., 2018). Karena kemampuannya untuk menghilangkan radiasi gelombang mikro tanpa menghasilkan polusi sekunder, mekanisme penyerapan telah menarik lebih banyak perhatian dalam mitigasi polusi elektromagnetik. Penggunaan bahan penyerap gelombang mikro (MAM) dianggap sebagai pengganti yang ampuh untuk

menghilangkan gangguan elektromagnetik di zaman modern ini (Pattanayak dkk., 2021).

Teknologi yang mampu menyerap gelombang elektromagnetik semakin diminati sebagai solusi efektif untuk mengurangi dampak negatif gangguan elektromagnetik terhadap perangkat elektronik dan sistem komunikasi. Radar *Absorbing Material* (RAM) adalah material hasil pengembangan teknologi ini. Dengan kemampuan menyerap gelombang radar, RAM membuat objek yang dilapisinya sulit dideteksi oleh sistem radar. Hal ini karena RAM mengurangi pantulan gelombang radar, sehingga sinyal yang diterima radar menjadi sangat lemah atau bahkan tidak terdeteksi sama sekali. Sangat penting untuk membuat bahan yang dapat menyerap dielektrik dan magnet karena peredam gelombang mikro tersusun atas dua komponen utama, yaitu peredam dielektrik yang berfungsi menyerap medan listrik dan peredam magnetik yang menyerap medan magnet (Syamsir & Astuti, 2012).

Material berbasis manganit dengan struktur perovskite seperti $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ dan $\text{Pr}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ sedang menjadi fokus pengembangan dalam bidang magnetoresistansi. Material ini memiliki komposisi umum $\text{A}_{1-x}\text{B}_x\text{MnO}_3$, di mana A mewakili ion trivalen (misalnya, La, Nd, atau Pr) dan B mewakili ion divalen (misalnya, Ca atau Sr). Material penyerap gelombang elektromagnetik berbasis manganit berhasil dibuat berdasarkan hasil pengujian sebelumnya. Perubahan material sistem LaMnO_3 dengan menambahkan atom strontium sebagai pengganti atom lantanum sesuai dengan komposisi empiris $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$. Peningkatan kopling $\text{Mn}^{3+} / \text{Mn}^{2+}$ dapat terjadi ketika ada strontium. Senyawa perovskite dengan komposisi $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{Mn}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_3$, di mana y adalah variabel komposisi untuk unsur besi digunakan untuk memodifikasi bahan sistem MnO_3 yang didoping Fe^{3+} (La, Sr). Penelitian menunjukkan bahwa keberadaan Sr dan Fe dalam material ini ternyata sangat berpengaruh terhadap interaksi antara ion mangan yang berbeda. Jumlah ikatan antara ion Mn^{3+} dan Mn^{2+} yang terbentuk akan berubah sesuai dengan kadar Sr dan Fe, sehingga secara langsung memengaruhi sifat magnetik material. Dengan menambahkan Fe, rugi refleksi material dapat ditingkatkan

sebesar 34 dB pada $y = 0,14$, sehingga material ini lebih efektif dalam meredam gelombang (X dkk., 2013).

Berdasarkan kajian diatas, penelitian ini termotivasi oleh hasil penelitian sebelumnya untuk mengembangkan material penyerap gelombang mikro yang lebih efisien. Melalui modifikasi struktur perovskite CuMnO_3 dengan substitusi ion lantanum (La) dengan ion tembaga (Cu), diharapkan dapat diperoleh material $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_2$ dengan sifat magnetik yang lebih baik. Metode milling akan digunakan untuk mensintesis material ini. Karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Scanning Electron Microscope (SEM)*, dan *Vector Network Analyzer (VNA)* akan dilakukan untuk mengungkap struktur kristal, morfologi permukaan, serta kemampuan material dalam menyerap gelombang mikro. Analisis lebih lanjut akan difokuskan pada pengaruh substitusi La terhadap jumlah pasangan elektron yang ditukar antara ion Mn^{3+} dan Mn^{2+} , yang diharapkan akan berkontribusi pada peningkatan sifat magnetik material.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang, adapun rumusan masalah dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana proses sintesis material $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ dengan variasi $x=0.0$, 0.25 , 0.50 , 0.75 , dan 1.0 dengan metode milling sebagai kandidat bahan penyerap gelombang mikro?
2. Bagaimana menganalisa fasa yang terbentuk dan morfologi kristal pada sistem $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ dengan nilai $x=0.0$, 0.25 , 0.50 , 0.75 , dan 1.0 menggunakan metode milling?
3. Bagaimana kemampuan penyerapan gelombang mikro oleh bahan $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ dengan variasi $x=0.0$, 0.25 , 0.50 , 0.75 , dan 1.0 hasil sintesis dengan metode milling?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui proses sintesis material $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ dengan variasi $x=0.0, 0.25, 0.50, 0.75,$ dan 1.0 sebagai kandidat bahan penyerap gelombang mikro dengan metode milling.
2. Mengetahui dan menganalisa fasa yang terbentuk dan morfologi kristal pada sistem $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ dengan nilai $x=0.0, 0.25, 0.50, 0.75,$ dan 1.0 menggunakan metode milling.
3. Mengetahui dan menganalisa kemampuan penyerapan gelombang mikro oleh bahan $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ dengan variasi $x=0.0, 0.25, 0.50, 0.75,$ dan 1.0 hasil sintesis dengan metode milling.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki Batasan masalah sebagai berikut:

1. Sintesis kandidat material penyerap gelombang mikro dengan bahan yang digunakan adalah $\text{La}_2\text{O}_3, \text{CuO},$ dan MnO_2 untuk membentuk komposisi $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$.
2. Sintesis dilakukan dengan menggunakan metode Milling selama 5 jam.
3. Karakterisasi yang digunakan adalah *X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscope (SEM)* dan *Vektor Network Analyzer (VNA)*.

1.5 Manfaat Penelitian

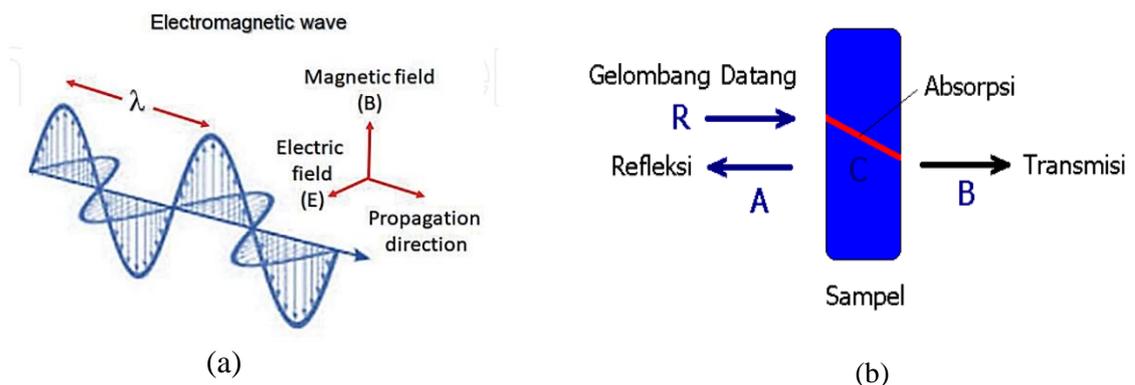
Melalui penelitian ini, diharapkan dapat memberikan dampak signifikan terhadap pemahaman mengenai sintesis $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ dengan metode milling. Pemahaman terkait sintesis material ini akan menjadi dasar penting dalam pengembangan material oksida kompleks dengan karakteristik yang lebih baik. Selain itu, hasil penelitian ini juga dapat dijadikan sebagai acuan bagi penelitian selanjutnya, khususnya dalam eksplorasi material fungsional untuk berbagai aplikasi di bidang teknologi material dan elektromagnetik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gelombang Mikro

Gelombang mikro merupakan bagian dari spektrum elektromagnetik dengan frekuensi di atas rata-rata. Frekuensi UHF berkisar antara 300 MHz hingga 30 GHz (umumnya 1-3 GHz) merupakan bagian dari sistem transmisi gelombang elektromagnetik. Skala mikrometer merupakan ciri khas dari panjang gelombang yang dimiliki oleh gelombang ini. Ketika suatu benda memanfaatkan gelombang mikro sebagai penyerap, energi panas yang dihasilkan akan merambat ke dalam benda tersebut. Panas ini, yang merupakan bentuk energi elektromagnetik, mampu dengan cepat meningkatkan suhu material. Panas yang dihasilkan dari gelombang mikro dapat membuat partikel berputar dan berpindah tempat, terutama karena pengaruh medan magnet yang terbentuk. Gelombang mikro, dengan frekuensinya yang tinggi, berperan sebagai penghantar energi yang efisien antar berbagai materi (Kurnia & Sudarti, 2021).



Gambar 2.1 (a) Skema perambatan gelombang elektromagnetik (Adi dkk., 2012)
(b) Proses penyerapan gelombang oleh microwave absorbing material (Wardiyati dkk., 2018)

Gelombang mikro memberikan banyak manfaat, seperti kemampuan untuk memanaskan dan mendinginkan benda. Pemanasan dengan gelombang mikro merupakan salah satu metode pemanasan yang memanfaatkan energi gelombang

elektromagnetik berfrekuensi tinggi. Salah satu manfaat dari pemanasan ini adalah kemampuannya untuk mengurangi kemungkinan penumpukan panas yang berlebihan di permukaan material. Perpindahan panas sama dengan perpindahan energi, yang menyebabkan gradien termal berkurang secara relatif cepat sehingga efek termal dapat dibalikkan lagi. Ukuran internalnya adalah tempat asal panas. Penggunaan gelombang mikro melampaui penggunaan yang dimaksudkan, sebagaimana dibuktikan oleh prosesnya yang cepat dan terkendali, distribusi panas yang merata, dan biaya yang tidak mahal, karena kurangnya konsumsi energi yang sangat besar (Kurnia & Sudarti, 2021).

Tabel 2.1 Klasifikasi frekuensi gelombang mikro (Liao, 2011)

Pita	Frekuensi (GHz)	Panjang Gelombang (cm)
P	0,230 – 1,000	1,30 – 30,0
L	1,000 – 2,000	30,0 – 15,0
S	2,000 – 4,000	15,0 – 7,50
C	4,000 – 8,000	7,50 – 3,75
X	8,000 – 12,000	3,75 – 2,40
Ku	12,000 – 18,000	2,40 – 1,67
K	18,000 – 26,00	1,67 – 1,13
Ka	26,00 – 40,000	1,13 – 0,75
Milimeter	40,000 – 300,0	0,75 – 0,10
Submiimeter	>300,0	0,10 – 0,01

Frekuensi C-band adalah salah satu jenis gelombang radio yang sering dipakai dalam berbagai teknologi. Pita frekuensi C, khususnya rentang 5.250-5.725 GHz, umum digunakan dalam sistem radar cuaca. Frekuensi ini memberikan kemampuan deteksi hujan yang baik hingga jarak 200 km, serta memberikan informasi mengenai intensitas hujan. Selain radar cuaca, frekuensi C-band juga dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi lain seperti komunikasi satelit dan Wi-Fi. Penggunaan frekuensi C-band tetap populer karena pengalaman luas dalam merancang komunikasi satelit pada rentang frekuensi ini. Walaupun frekuensi pita

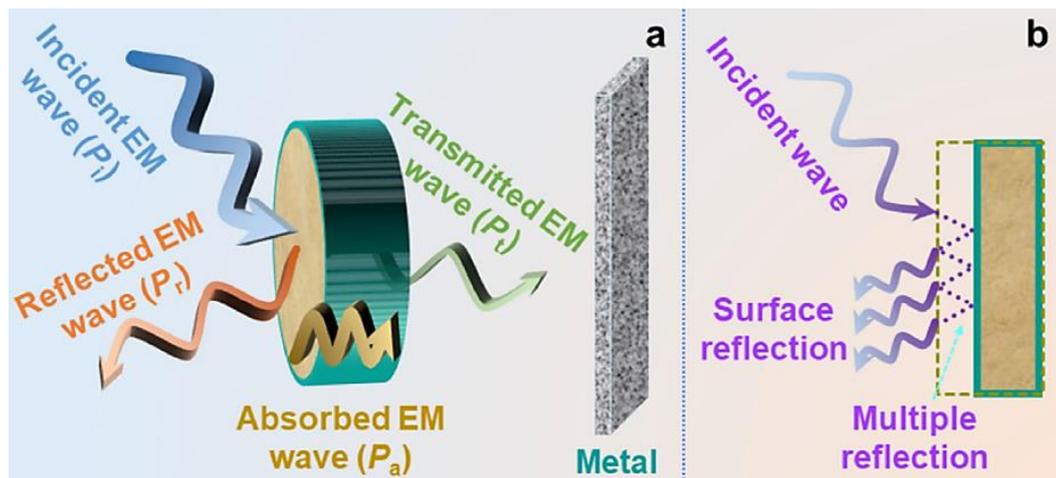
C lebih rendah dibandingkan pita-pita frekuensi yang lebih modern, seperti Ku atau Ka, keunggulan utamanya terletak pada kemampuannya untuk beroperasi dengan baik dalam kondisi cuaca ekstrem, termasuk hujan deras dan badai (Madiawati dkk., 2023). C-band juga banyak digunakan untuk aplikasi Radar, yang merupakan singkatan dari *Radio Detection and Ranging*, adalah sistem deteksi yang menggunakan gelombang elektromagnetik untuk menentukan jarak, sudut, atau kecepatan objek. Cara kerjanya dimulai dengan pemancar radar yang menghasilkan pulsa gelombang mikro atau gelombang radio. Pulsa ini kemudian dipancarkan melalui antena ke ruang angkasa. Ketika pulsa ini mengenai objek, sebagian dari energi gelombang dipantulkan kembali ke antena radar. Pantulan ini, yang disebut gema, kemudian diterima oleh penerima radar. Dengan mengukur waktu yang dibutuhkan pulsa untuk melakukan perjalanan pergi-pulang, radar dapat menghitung jarak objek. Selain itu, dengan menganalisis perubahan frekuensi gema, radar dapat menentukan kecepatan objek (efek Doppler). Informasi ini kemudian diolah dan ditampilkan pada layar radar, memberikan gambaran tentang posisi dan gerakan objek di sekitar radar. Radar sangat penting dalam berbagai aplikasi, termasuk navigasi udara dan laut, pengawasan lalu lintas, prakiraan cuaca, dan aplikasi militer (Kurnia & Sudarti, 2021).

2.2 Penyerapan Gelombang Mikro

Peredam gelombang mikro, atau material penyerap gelombang dengan frekuensi penyerapan yang berbeda, merupakan subjek yang sangat menarik karena dianggap sebagai cara yang efisien untuk mengurangi efek gangguan elektromagnetik (EMI). Sejumlah faktor perlu dipertimbangkan ketika memproduksi bahan yang menyerap gelombang mikro, seperti ketebalan, jenis dan kandungan pengisi, kekuatan mekanis, dan ketahanan terhadap lingkungan. Ketika gelombang datang mengenai sample bahan penyerap gelombang mikro, gelombang tersebut dapat mengalami tiga hal berikut ini: gelombang tersebut dapat diserap oleh bahan yang bertindak sebagai penyerap, dipantulkan, atau ditransmisikan. Bahan yang menyerap gelombang mikro akan terserap semua oleh gelombang, tidak ada yang ditransfer (transmisikan). Agar dapat mengetahui berapa banyak

persentase dari gelombang yang diserap gelombang mikro dengan menghitung *reflection loss* (RL), yang dimana nilai *reflection loss* ini akan menunjukkan kemampuan serap dari bahan tersebut (Wardiyati dkk., 2018).

Melalui interaksi medan elektromagnetik dengan molekul material dan struktur elektronik, radiasi gelombang mikro yang datang dapat menyebabkan timbulnya panas pada material. Hal ini dapat mengakibatkan konsumsi energi karena gelombang EM yang datang diubah menjadi energi panas. Pemantulan permukaan dan pemantulan berganda adalah dua jenis pemantulan gelombang EM, seperti yang terlihat pada (Gambar 2.2b). Secara umum, banyak pantulan ditafsirkan sebagai dampak penyebaran ketidakhomogenan material. Dengan memodifikasi struktur material (misalnya, berpori, berongga, inti-cangkang, multi-layer, dan hierarkis), banyak refleksi dapat dicapai, yang akan memperpanjang rute perambatan gelombang EM dan meningkatkan kapasitas penyerapan penyerap gelombang EM. Selain itu, kapasitas penyerapan EM intrinsik juga dapat ditingkatkan dengan memodifikasi pengaturan elektromagnetik (Zeng dkk., 2020).

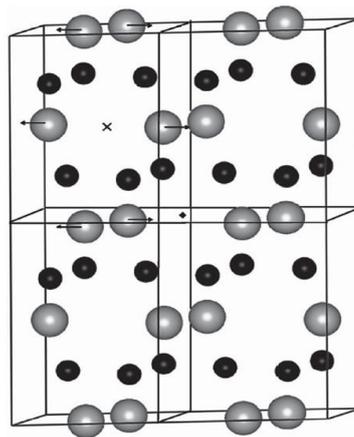


Gambar 2.2 Diagram skematik dari (a) daya dan (b) pantulan yang terlibat dalam interaksi antara gelombang EM dan penyerap (Zeng dkk., 2020)

2.3 Material CuMnO_3

2.3.1 Material CuO

Tembaga(II) oksida (CuO) adalah bahan semikonduktor tipe-p yang sangat menjanjikan dengan celah pita energi yang relatif sempit, sekitar 1,2 eV. Celah pita energi ini membuatnya sangat sensitif terhadap cahaya tampak, memungkinkan penyerapan spektrum cahaya matahari yang luas. Sifat-sifat unik ini menjadikan CuO cocok untuk berbagai aplikasi teknologi canggih, seperti sel surya, fotodetektor, fotokatalis, dan layar FED (*field emission displays*). Dalam aplikasi sel surya, CuO menonjol karena biaya produksinya yang rendah, penyerapan cahaya yang kuat, emisi termal yang rendah, keamanan lingkungan, dan kemudahan produksi. Stabilitas kimia dan konduktivitas listrik yang baik membuatnya andal untuk perangkat elektronik. Selain itu, CuO juga menjadi dasar bagi pengembangan superkonduktor suhu tinggi dan material GMR (*giant magneto resistance*), menunjukkan potensinya dalam teknologi masa depan (Sundari dkk., 2018).



Gambar 2.3 Struktur Kristal CuO Monoklinik (Bhattacharya et al., 2011)

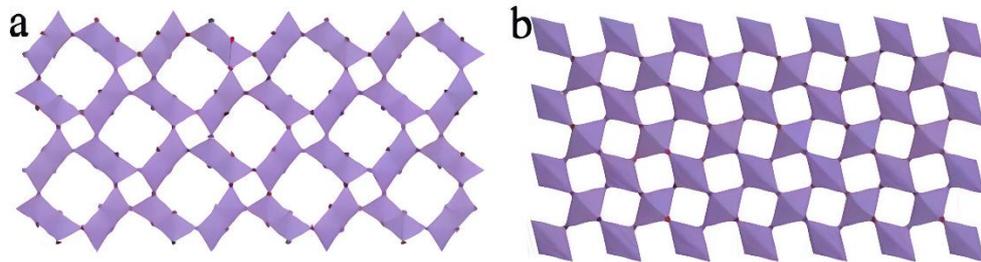
CuO menarik perhatian luas dalam ilmu material dengan struktur kristal monokliniknya yang khas, dengan kelompok simetri $-C 2/c$ dan konstanta kisi yang spesifik, yang menjadi landasan bagi beragam sifat uniknya. Sifat antiferromagnetiknya, yang membedakannya dari material magnetik konvensional, dipadukan dengan potensinya yang baik sebagai material fotokonduktif, fototermal, katalis, dan sensor gas, menjadikan CuO kandidat yang sangat menjanjikan untuk

berbagai aplikasi teknologi canggih. Sebagai semikonduktor oksida, CuO menawarkan alternatif yang menjanjikan untuk sel surya berbasis silikon yang dominan, terutama karena kemampuannya menyerap optik yang tinggi dalam spektrum cahaya tampak dan biaya produksi yang relatif rendah, yang membuka jalan bagi solusi energi surya yang lebih terjangkau (Yoon dkk., 2000). Dalam berbagai penelitian, CuO telah diimplementasikan sebagai lapisan transfer muatan positif dan lapisan penghalang untuk DSSC, material aktif dalam berbagai jenis sel surya, serta lapisan pasif pada permukaan selektif surya. Karakteristik CuO yang memiliki penyerapan cahaya matahari tinggi dan emisi panas rendah menjadikannya kandidat ideal sebagai lapisan penyerap yang selektif (Raksa dkk., 2009).

2.3.2 Material MnO₂

Dalam ranah industri besi-baja, mangan memegang peranan krusial sebagai elemen logam paduan. Penambahan mangan pada baja bukan sekadar langkah penting, melainkan suatu strategi rekayasa material yang bertujuan untuk meningkatkan karakteristik mekanis secara signifikan. Hal ini mencakup peningkatan kekuatan tarik, kekerasan permukaan yang optimal, serta ketahanan korosi yang sangat diperlukan dalam aplikasi konstruksi dan manufaktur. Lebih lanjut, mangan dimanfaatkan secara luas dalam produksi baterai, khususnya baterai litium-ion yang umum digunakan dalam perangkat elektronik portabel dan kendaraan listrik, serta dalam pembuatan baja tahan karat yang mampu bertahan dalam kondisi lingkungan yang ekstrem. Selain itu, mangan juga berperan sebagai pigmen yang memberikan nuansa warna yang kaya dan stabil dalam industri kaca dan paduan logam khusus (Hidayat & Suprpto, 2017). Senyawa oksida mangan menunjukkan variasi yang sangat beragam, baik dalam struktur kristal maupun sifat kimia dan fisika. Salah satu senyawa yang paling dikenal dan dipelajari secara mendalam adalah mangan dioksida (MnO₂), yang berwujud padatan berwarna hitam legam dengan struktur kristal yang kompleks. MnO₂ merupakan salah satu mineral mangan yang secara alami ditemukan dalam bentuk oksida di berbagai deposit mineral di seluruh dunia, dan memiliki sifat magnetik yang cukup

signifikan, sehingga menjadikannya bahan yang menjanjikan untuk aplikasi dalam teknologi magnetik dan elektronik (Sasongko, 2022).



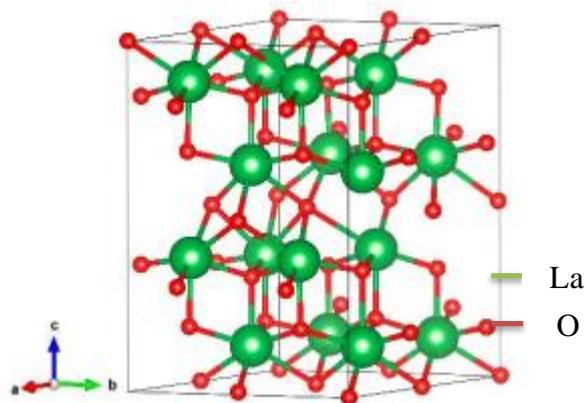
Gambar 2.4 (a) Struktur α -MnO₂ Dengan Rantai Ganda Oktahedron (MnO₆) dan (b) β -MnO₂ Dengan Tantai Tunggal Oktahedron (MnO₆) (Xu & Bao, 2011)

Mangan dioksida (MnO₂), sebagai oksida logam fungsional yang penting, merupakan salah satu material anorganik yang paling menarik karena sifat fisika dan kimianya, serta aplikasinya yang luas dalam katalisis, pertukaran ion, adsorpsi molekuler, biosensor, dan terutama penyimpanan energi. MnO₂ adalah representasi terbaik dari kelas material umum yang menunjukkan kekayaan kimiawi. MnO₂ merupakan material yang sangat menarik karena keragaman struktur kristalnya dan kekayaan valensi mangan (Mn). Secara umum, MnO₂ adalah oksida kompleks sering kali mengandung kation asing, molekul air terfisisorpsi dan struktural, serta kekosongan struktural. Kehadiran spesies asing ini menyebabkan valensi rata-rata Mn dalam MnO₂ umumnya berada di antara 3 dan 4. Namun, variasi struktur dan valensi MnO₂ berasal dari satu unit struktural dasar, yaitu oktahedron MnO₆. Dalam dunia MnO₂, oktahedron MnO₆ yang kecil ini memungkinkan pembentukan lingkup yang beragam dan berwarna, di mana setiap variasi hanyalah kombinasi dari oktahedron MnO₆. Kombinasi oktahedron MnO₆ menyediakan ketersediaan berbagai elemen dapat dimanfaatkan yang memungkinkan perancangan, optimasi, dan sintesis MnO₂ spesifik untuk tujuan tertentu. Oleh karena itu, diperlukan tinjauan singkat mengenai struktur kristal MnO₂. Gambar 2.4 mengilustrasikan struktur skematik α -MnO₂ dan β -MnO₂. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4a, α -MnO₂ terdiri dari rantai ganda oktahedron MnO₆ yang saling terhubung dan celah sempit yang terdiri dari saluran satu dimensi. Struktur skematik β -MnO₂

berbeda dengan α -MnO₂, karena β -MnO₂ tersusun dari rantai tunggal oktahedron (MnO₆) (Gambar 2.4b) dengan dimensi relatif (2×2) dan (1×1) yang memanjang searah sumbu c sel satuan tetragonal (Xu & Bao, 2011).

2.4 Pengaruh Ion Lanthanum

Perkembangan pesat teknologi material saat ini tidak terlepas dari peran penting Logam Tanah Jarang (LTJ) sebagai komponen utama. LTJ telah membuka jalan bagi terciptanya material-material baru yang lebih canggih dan efisien. Logam tanah jarang memainkan peran krusial dalam mendukung perkembangan teknologi modern. Penerapannya yang meluas di sektor energi, pertahanan, dan industri telah membuktikan betapa pentingnya unsur ini bagi kemajuan manusia. Ketergantungan ekonomi negara-negara maju pada elemen tanah jarang telah begitu besar sehingga baik Amerika Serikat maupun Uni Eropa telah mengklasifikasikannya sebagai material kritis. Sebagai salah satu logam tanah jarang yang paling melimpah, lantanum telah menemukan berbagai aplikasi dalam pengembangan teknologi terbaru. Salah satu penggunaan utama lantanum saat ini adalah sebagai komponen dalam baterai kendaraan *hybrid*, di mana ia berpadu dengan logam nikel. Selain itu, lantanum merupakan komponen penting dalam paduan logam yang digunakan untuk menghasilkan baja berkekuatan tinggi. Lanthanum juga berperan sebagai katalis dalam berbagai proses kimia, terutama di industri petrokimia (Hendriana dkk., 2023).



Gambar 2.5 Struktur Material La₂O₃ (Lasiman dkk., 2022)

Ilmuwan Carl Gustav Mosander berhasil menemukan unsur lanthanum pada tahun 1839. Namun, butuh waktu cukup lama hingga tahun 1923 untuk berhasil mengisolasi lanthanum dalam bentuk murni. Lanthanum merupakan unsur yang tersebar luas di permukaan bumi. Kelimpahannya cukup signifikan, yaitu sekitar 18 bagian per juta dari total massa kerak bumi. Lanthanum biasanya ditemukan dalam mineral seperti monasit, senotim, dan serit (Hastiawan dkk., 2016). Lanthanum oksida (La_2O_3) merupakan senyawa logam yang sering dipilih untuk aplikasi biomedis. Hal ini dikarenakan sifatnya yang *non-toksik*, tidak menyebabkan iritasi atau sensitivitas pada sel tubuh, serta tidak menimbulkan efek samping akut atau mutasi genetik (Hutabarat dkk., 2019). Lanthanum, salah satu unsur logam tanah jarang dengan permitivitas tinggi, sangat cocok sebagai bahan penyerap gelombang mikro, dan merupakan unsur yang paling banyak diteliti untuk aplikasi tersebut (Basir, 2015). Pada penelitian yang dilakukan oleh Sarwanto dkk (2019) dengan menambahkan ion lanthanum sebagai doping pada material $\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{TiO}_5$ dimana Ion Lanthanum (La) memiliki pengaruh signifikan terhadap struktur dan sifat refleksi gelombang mikro dari material Pseudobrookite $\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{TiO}_5$. Penambahan La menyebabkan pembentukan fase baru, seperti Fe_2TiO_5 dan La_2TiO_7 , yang meningkatkan kemampuan serapan gelombang mikro. Doping dengan nilai $x = 0,04$ menghasilkan fase Fe_2TiO_5 yang paling banyak, mencapai 86,7% dan serapan gelombang mikro sebesar 94%. Selain itu, morfologi partikel menunjukkan adanya aglomerasi dengan variasi bentuk dan ukuran, yang juga mempengaruhi sifat material tersebut (Sarwanto dkk., 2019).

2.5 Permittivitas dan Permeabilitas

Polarisasi yang mengikuti arah medan listrik terjadi apabila energi gelombang elektromagnetik diserap oleh bahan dielektrik. Karena arah polarisasi bergeser seiring waktu bersama dengan denyut elektromagnetik, gesekan yang menghasilkan panas muncul di antara molekul-molekul. Permittivitas menggambarkan sejauh mana suatu bahan mudah mengalami polarisasi dielektrik dalam menanggapi medan listrik. Semakin tinggi permittivitas suatu bahan, semakin efisien bahan tersebut merespon medan listrik dan cocok digunakan sebagai

penyerap gelombang elektromagnetik. Demikian pula, bahan ferromagnetik menunjukkan fenomena yang sama. Energi gelombang elektromagnetik digunakan untuk mengoreksi momen magnetik ketika gelombang tersebut menumbuk bahan ferromagnet. Permeabilitas adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan kemampuan material untuk mengalir melintasi medan magnet. Bahan dengan permeabilitas tinggi cocok untuk digunakan sebagai penyerap gelombang elektromagnetik karena mudah diserap oleh medan (Ahmiatri Saptari, 2015).

Permitivitas listrik dan permeabilitas magnetik adalah dua sifat yang menentukan peredam gelombang. Istilah “permeabilitas” dan “permitivitas” mengacu pada sejauh mana suatu bahan mempengaruhi medan magnet dan listrik yang membentuk gelombang elektromagnetik dan komponen magnetik itu sendiri. Kompresi panjang gelombang dalam material dipengaruhi oleh koefisien permeabilitas dan permitivitas. Energi dalam gelombang elektromagnetik akan melemah sebagai akibat dari kedua faktor ini yang menyebabkan hilangnya medan listrik atau medan magnet (Dixon, 2012). Untuk mengukur besarnya permitivitas dan permeabilitas menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\mu = \mu' - j\mu'' \quad (2.1)$$

$$\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon'' \quad (2.2)$$

Untuk dielektrik rumus menghitung loss tangent suatu material sebagai berikut:

$$\tan\delta_e = \varepsilon''/\varepsilon' \quad (2.3)$$

Material dengan nilai loss tangent yang tinggi cenderung lebih mudah menyerap energi. Untuk menghitung magnetik loss tangent, kita dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\tan\delta_e = \mu'' / \mu' \quad (2.4)$$

(Ahmiatri Saptari, 2015)

Kemampuan suatu material dalam menyerap gelombang elektromagnetik dilihat dari nilai *reflection loss*-nya. Permitivitas dan permeabilitas adalah dua parameter penting yang menentukan interaksi gelombang elektromagnetik dengan

material. Keduanya secara langsung mempengaruhi besarnya *reflection loss* suatu material. Nilai *reflection loss* yang tinggi menunjukkan penyerapan yang baik, dan sebaliknya. Koefisien refleksi gelombang mikro (RL) yang dinyatakan dalam dB dapat dihitung menggunakan parameter permeabilitas relatif (μ), permitivitas relatif (ϵ), frekuensi gelombang, dan ketebalan material. Penyerapan gelombang elektromagnetik oleh suatu material sangat dipengaruhi oleh kesesuaian impedansi antara material tersebut dengan lingkungannya. Koefisien refleksi, yang menggambarkan hubungan antara impedansi udara (Z_0) dan impedansi permukaan (Z_{in}), dapat digunakan untuk menentukan tingkat penyerapan gelombang elektromagnetik (Hady et al., 2019). Penyerapan energi gelombang elektromagnetik optimal ketika impedansi *input* material (Z_{in}) sama dengan impedansi karakteristik ruang bebas (Z_0), nilai RL akan mendekati tak hingga, mengindikasikan penyerapan gelombang yang sempurna.

$$RL = 20 \log \left| \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \right| \quad (2.5)$$

(Adi dkk., 2012)

Di bawah ini terdapat tabel *return-loss* (marki) yang berisi data mengenai kemampuan material dalam menyerap gelombang mikro. Tabel ini memungkinkan kita untuk mengevaluasi sejauh mana material yang diuji dapat menyerap gelombang mikro secara efektif:

Tabel 2.2 Tabel Marki (Marki microwave, 2016)

Return Loss (dB)	VSWR	Reflection Coefficient, Γ	Mismatch Loss (dB)	Reflected Power (%)	Through Power (%)
1	17.39	0.891	6.868	79.43	20.57
2	8.72	0.794	4.329	63.10	36.90
3	5.85	0.708	3.021	50.12	49.88
4	4.42	0.631	2.205	39.81	60.19
5	3.57	0.562	1.651	31.62	68.38
6	3.01	0.501	1.256	25.12	74.88
7	2.61	0.447	0.967	19.95	80.05
8	2.32	0.398	0.749	15.85	84.15
9	2.10	0.355	0.584	12.59	87.41
10	1.92	0.316	0.458	10.00	90.00

11	1.78	0.282	0.359	7.94	92.06
12	1.67	0.251	0.283	6.31	93.69
13	1.58	0.224	0.223	5.01	94.99
14	1.50	0.200	0.176	3.98	96.02
15	1.43	0.178	0.140	3.16	96.84
16	1.38	0.158	0.110	2.51	97.49
17	1.33	0.141	0.088	2.00	98.00
18	1.29	0.126	0.069	1.58	98.42
19	1.25	0.112	0.055	1.26	98.74
20	1.22	0.100	0.044	1.00	99.00
21	1.20	0.089	0.035	0.79	99.21
22	1.17	0.079	0.027	0.63	99.37
23	1.15	0.071	0.022	0.50	99.50
24	1.13	0.063	0.017	0.40	99.60
25	1.12	0.056	0.014	0.32	99.68
26	1.11	0.050	0.011	0.25	99.75
27	1.09	0.045	0.009	0.20	99.80
28	1.08	0.040	0.007	0.16	99.84
29	1.07	0.035	0.005	0.13	99.87
30	1.07	0.032	0.004	0.10	99.90
31	1.06	0.028	0.003	0.08	99.92
32	1.05	0.025	0.003	0.06	99.94
33	1.05	0.022	0.002	0.05	99.95
34	1.04	0.020	0.002	0.04	99.96
35	1.04	0.018	0.001	0.03	99.97
36	1.03	0.016	0.001	0.03	99.97
37	1.03	0.014	0.001	0.02	99.98
38	1.03	0.013	0.001	0.02	99.98
39	1.02	0.011	0.001	0.01	99.99
40	1.02	0.010	0.000	0.01	99.99

2.6 Metode *Mechanical Milling*

Teknik penggilingan yang digunakan untuk membuat material menjadi lebih kecil dengan mengurangi ukuran partikelnya disebut *milling*. Karakteristik bahan magnetit dan kemampuannya menyerap gelombang mikro dapat dipengaruhi oleh ukuran partikelnya (Lestari & Mashuri, 2015). Metode yang efisien dan berhasil untuk menghasilkan partikel yang sangat halus adalah *mechanical milling*. Terdapat beberapa peralatan *milling* yaitu *planetary machines*, *high energy milling* dan vibrasional *mills*. Produk akhirnya adalah senyawa reaktif, katalis dengan luas permukaan tinggi, amorf, dan kristal nano. Saat proses *milling* terjadi deformasi

berulang yang menghancurkan bubuk terjadi selama proses penggilingan. Tabrakan bola-serbuk-bola adalah salah satu peristiwa penggilingan berenergi tinggi. Di antara bola-bola alumina yang bertabrakan terdapat partikel-partikel serbuk sampel. Selain itu, proses fraktur diterapkan pada bubuk, menghasilkan pengurangan ukuran butir. Sampel yang besar dapat digiling menjadi bubuk halus menggunakan *ball milling*. Karena tidak menghasilkan limbah dan beroperasi dengan zat padat tanpa memerlukan pelarut, proses ini menjadi semakin populer untuk memproduksi bahan serbuk berukuran nanometer (Wigayati & Purawiardi, 2015).

Dalam sintesis material yang sering digunakan dalam proses *ball mill* dan milling CNC. Salah satu jenis peralatan pemrosesan material adalah *ball mill*, yang menggunakan bola *stainless steel* dalam tabung penghalus untuk menghaluskan formula material. Karena logam membentuk *ball mill*, maka logam tersebut harus kuat, tahan terhadap korosi, dan mampu menahan beban saat material digiling. Hasil dari proses penggilingan ini dipengaruhi oleh sejumlah variabel, termasuk komposisi berat serbuk, PCA (*Process Control Agent*) %, kecepatan, waktu, suhu, tekanan, dan ukuran bola (Awalliyah dkk., 2018). Fase baru dapat dibentuk dengan menerapkan proses pemanasan, yang merupakan keuntungan dari teknik penggilingan. Untuk produksi skala besar dengan butiran berukuran nano, teknik penggilingan merupakan proses yang paling hemat biaya. Sifat struktural dan morfologi dari semua komposisi dilaporkan. Pendekatan *top-down* menyatakan bahwa teknik penggilingan telah banyak dieksploitasi untuk sintesis berbagai bahan nano, nanograin, dan bahan nano- quasicrystalline (Yunasfi dkk., 2020). Bola-bola *stainless steel* dan vial digunakan dalam teknik ini, yang diantisipasi menyebabkan pelepasan elemen *stainless steel* ke dalam bahan objek. Dengan mengetahui apakah ada pengotor dalam sampel penggilingan dan kemudian menentukan tingkat kemurniannya, akan mengungkapkan penerapan proses penggilingan (Awalliyah dkk., 2018).



Gambar 2.6 *High Energy Milling (HEM)*
Sumber: Dokumen Pribadi

2.7 Metode Karakterisasi

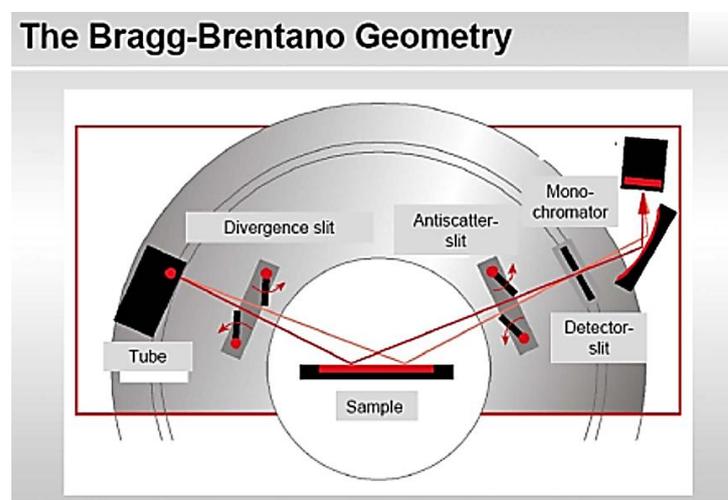
2.7.1 XRD (*X-Ray Diffraction*)

Difraksi sinar-X adalah teknik yang sangat berguna untuk mengkarakterisasi material karena sifatnya yang non-destruktif dan memberikan informasi yang sangat detail tentang struktur kristal. Pembiasan atau pembelokan gelombang ketika melewati celah, seperti kisi kristal dikenal sebagai difraksi. Hal ini menyebabkan terjadinya interferensi, yang dimana gelombang menyebar ke segala arah dan bisa saling konstruktif (menguatkan) maupun destruktif (melemahkan). Salah satu teknik untuk mengetahui kristalinitas material, mengukur ukuran partikel, dan mengetahui parameter struktur kristal adalah difraksi sinar-X. Sinar-X monokromatik yang ditembakkan pada sampel akan berinteraksi dengan atom-atom dalam kristal, menyebabkan sinar-X tersebut menyebar ke berbagai arah. Ketika sinar-X yang menyebar ini bertemu, terjadi interferensi yang menghasilkan pola titik-titik terang dan gelap yang khas, yang disebut pola difraksi (Muttaqin dkk., 2023).

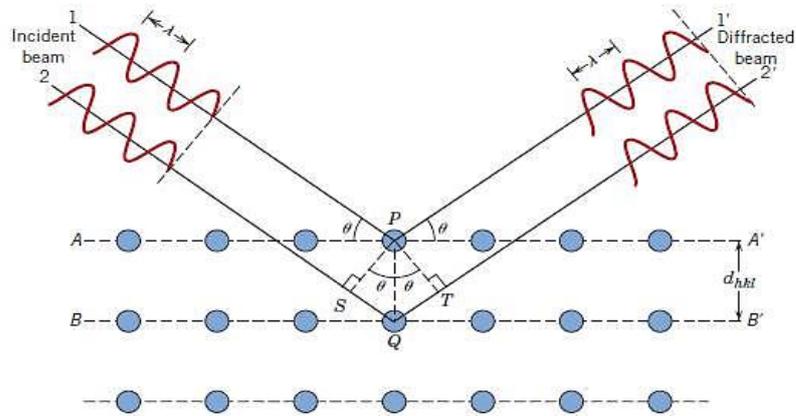
XRD adalah teknik yang memanfaatkan sinar-X untuk mengidentifikasi material yang bersifat kristal. Contoh analisis ini meliputi identifikasi kuantitatif dan kualitatif dari fase material dan struktur kristalit. Selain itu, analisis ini juga digunakan untuk memastikan informasi tambahan termasuk konfigurasi spesies

atom yang beragam di dalam kristal, keberadaan ketidaksempurnaan, keselarasan, dan ketidaksempurnaan kristalografi. Kualitas dan atribut umum dari suatu bahan berasal dari atom-atom di dalam kristalnya. Salah satu kegunaan XRD adalah untuk mengidentifikasi jenis kristal dan proporsi masing-masing komponen dalam suatu bahan. Selain itu, XRD juga dapat memberikan informasi mengenai ukuran dan bentuk kristal. Cahaya yang terdifraksi melalui celah kristal adalah ide dasar di balik reflektometri sinar-X. Difraksi cahaya terjadi ketika panjang gelombang radiasi sebanding dengan jarak antar atom dalam kisi kristal. Sinar-X, dengan panjang gelombang dalam rentang 0,5 hingga 2,5 Angstrom, merupakan radiasi yang umum digunakan dalam difraksi karena energi fotonnya yang cukup tinggi untuk berinteraksi dengan elektron dalam atom (Hakim dkk., 2019).

Proses dasar XRD melibatkan penyebaran sinar-X oleh materi dan interaksi antara sinar-X yang tersebar ini. Instrumen XRD akan mengidentifikasi hamburan ini yang dimana interferensi yang terjadi dapat bersifat melemahkan dan memperkuat. Ada yang saling melemahkan dan ada pula saling menguatkan hal ini disebabkan fase yang berbeda-beda sama pada gelombangnya. Karena fasa yang bervariasi, terjadi interferensi yang saling melemahkan. Salah satu cara untuk mendekati proses interferensi konstruktif adalah dengan menggunakan persamaan Hukum Bragg (Rani, 2022).



Gambar 2.7 Difraksi sinar X pada XRD (Hakim dkk., 2019)



Gambar 2.8 Ilustrasi Difraksi Sinar-X (Hakim dkk., 2019)

Ketika sinar-X mengenai suatu bahan, sebagian sinar akan mengalami refleksi pada bidang kristal material tersebut dengan sudut pantul mengikuti arah sudut datang. Sinar-X yang tidak terpantul akan diteruskan melalui material. Difraksi sinar-X yang signifikan hanya terjadi jika kondisi Bragg terpenuhi:

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (2.6)$$

dengan : d = jarak antar bidang dalam kristal

θ = sudut sumber radiasi

n = orde (0,1,2,3,.....)

λ = panjang gelombang

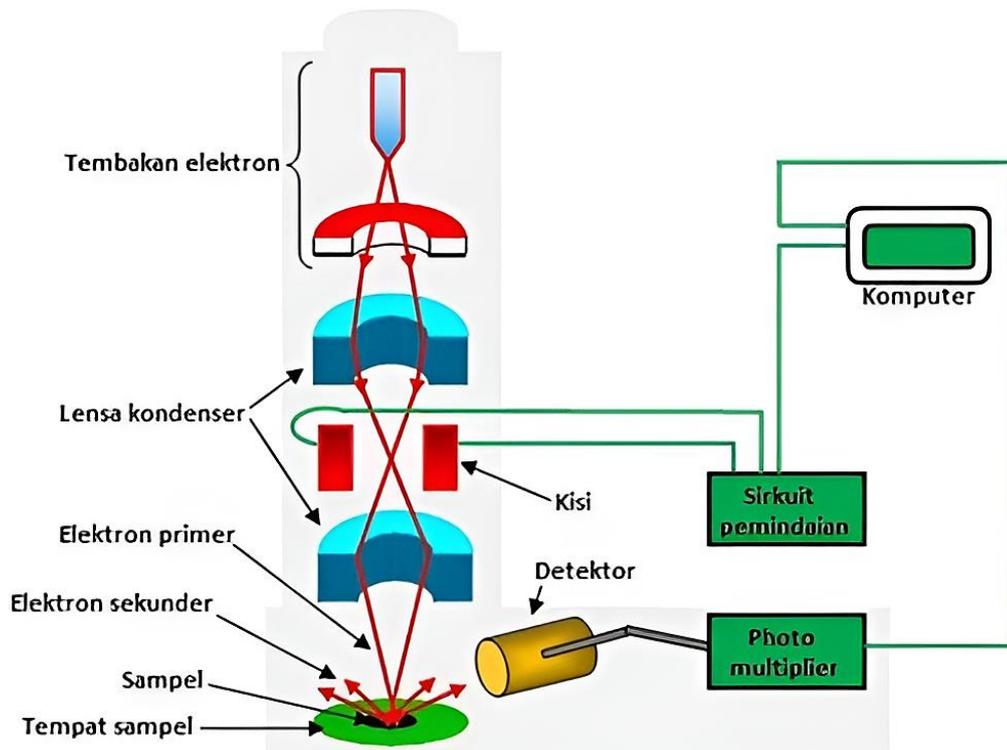
Jika elektron berenergi tinggi ditembakkan ke target logam, elektron ini akan berinteraksi dengan atom-atom dalam logam tersebut. Saat elektron mendekati inti atom, gaya tarik menarik antar yang bermuatan positif dan bermuatan negatif elektron menyebabkan elektron melambat. Perlambatan ini mengakibatkan elektron kehilangan energi, dan energi yang hilang ini dipancarkan dalam bentuk radiasi elektromagnetik yang kita kenal sebagai sinar-X (Waseda dkk., 2011).



Gambar 2.9 Alat X-Ray Diffraction
Sumber: Dokumen Pribadi

2.7.2 Scanning Electron Microscope (SEM)

SEM menghasilkan gambar permukaan sampel dengan resolusi tinggi melalui proses pemindaian menggunakan berkas elektron yang sangat kecil. Sinar elektron yang mengenai permukaan sampel akan berinteraksi dengan atom-atomnya, menghasilkan sinyal yang dapat dideteksi dan diubah menjadi gambar tiga dimensi yang sangat detail, serta informasi tentang jenis atom penyusun sampel. Berikut ini adalah prinsip kerja SEM: Anoda mempercepat senapan elektron, yang memancarkan berkas elektron. Elektron difokuskan ke arah sampel dengan menggunakan lensa magnetik. Berkas elektron yang terkonsentrasi terlihat sampel lengkap dengan mengikuti petunjuk pemindai. Sampel akan melepaskan elektron baru saat elektron menumbuknya ini akan diambil oleh detektor dan diteruskan ke monitor (CRT) (Wijayanto & Bayuseno, 2014). Berikut adalah skema dasar dari SEM



Gambar 2.10 Skema SEM

Sumber: <https://www.microsystemy.ru/info/articles/Scanning-Electron-Mikroskope/>

Ukuran butiran kristal juga dapat diukur dengan mikroskop elektron pemindaian (SEM). SEM adalah sejenis mikroskop elektron di mana ukuran butiran atau profil permukaan digambar menggunakan berkas elektron. SEM dapat digunakan untuk melihat struktur suatu zat. Ide dasar di balik cara kerja SEM adalah menggunakan sinar elektron berenergi tinggi untuk meledakkan permukaan objek guna menentukan apakah objek tersebut konduktif atau tidak. Ide dasar di balik cara kerja SEM adalah menggunakan sinar elektron berenergi tinggi untuk meledakkan permukaan objek guna menentukan apakah objek tersebut konduktif. Oleh karena itu, permukaan objek harus konduktif untuk mengidentifikasi bahan non-konduktif; oleh karena itu, bahan konduktif harus diterapkan terlebih dulu. Biasanya, bahan Au atau Au-Pt digunakan sebagai bahan konduktivitas. Ketika berkas elektron menumbuk sebuah objek, permukaannya akan memantulkan elektron kembali atau menghasilkan elektron sekunder yang menyebar ke segala arah. Namun, pantulan terkuat dari sinar tersebut terjadi pada satu arah. Detektor SEM menempatkan posisi

sinar pantulan dengan intensitas tertinggi dengan mendeteksi elektron yang dipantulkan. kekuatan maksimum (Didik, 2020).



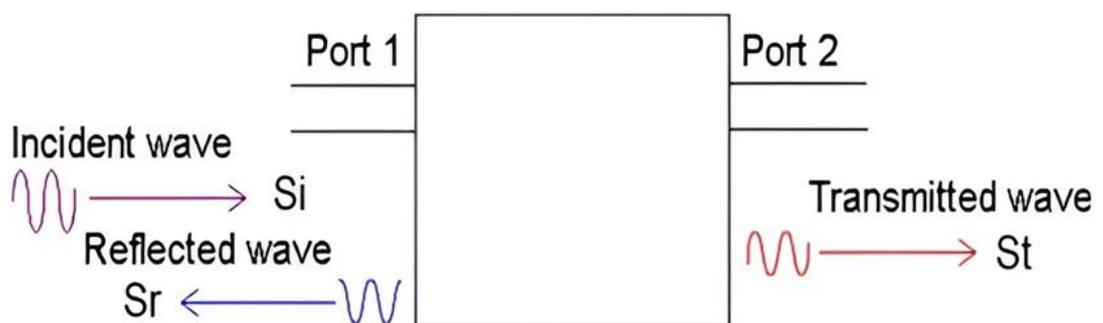
Gambar 2.11 Alat SEM
Sumber: Dokumen Pribadi

Bagian utama dari instrumen SEM ini adalah dua pasang kumparan pemindai yang memindai permukaan sampel pada frekuensi yang berbeda, diikuti oleh tiga pasang lensa elektromagnetik yang berfungsi untuk memusatkan berkas elektron ke dalam suatu titik yang sangat kecil. Resolusi lateral yang diperoleh meningkat dengan berkurangnya ukuran fokus sinar. Perangkat stigmator mengoreksi astigmatisme, ketidaksempurnaan fisik pada lensa elektromagnetik. Sumber elektron adalah komponen kedua, yang biasanya berupa filamen kawat tungsten atau jarum yang terbuat dari lantanum heksaborida LaB₆ atau cerium heksaborida CeB₆. Tujuannya adalah untuk menghasilkan berkas elektron dengan satu energi monokromatik secara teoretis. *Imaging detector* adalah komponen ketiga, dan mengubah sinyal elektron menjadi gambar. SEM ini memiliki dua jenis detektor yang berbeda: Detektor BSE dan detektor SE, yang didasarkan pada jenis elektron. Atom-atom pada permukaan sampel dan di bawahnya berinteraksi dengan elektron ketika berkas elektron dipindai melintasi permukaannya. Ketika elektron menembus

material, sebagian energinya akan ditransfer ke elektron-elektron atom dalam material tersebut. Akibatnya, elektron-elektron atom ini akan tereksitasi dan kemudian dipancarkan keluar dari permukaan material sebagai elektron sekunder (SE). Elektron-elektron yang memantul ini kita sebut sebagai elektron pantul (*Backscattered Electrons* atau BSE). Atom-atom pada permukaan bawah sampel mengalami proses pembentukan BSE. Akibat perbedaan massa yang signifikan antara proton dan elektron, sebagian besar elektron yang berinteraksi dengan inti atom akan mengalami hamburan elastis dengan sudut hamburan mendekati 180 derajat. Dengan kata lain, sebagian akan memantul kembali ke bagian luar material, atau ke arah dari mana mereka berasal. Atom dan ikatannya di dalam fase diwakili oleh elektron BSE ini (Sujatno dkk., 2017).

2.7.3 VNA (*Vector Network Analyzer*)

Karakterisasi VNA digunakan untuk mengukur seberapa baik suatu bahan menyerap gelombang elektromagnetik pada frekuensi tertentu. VNA dapat mengukur frekuensi gelombang elektromagnetik dalam berbagai pita, seperti E-band C-band, X-band, K-band, dan Ku-band. Prinsip kerjanya berdasarkan pengukuran parameter-parameter seperti koefisien refleksi, transmisi, dan absorpsi gelombang yang mengenai material tersebut.



Gambar 2.12 Prinsip Kerja VNA (Burnikell, 2016)

Gambar 2.12 menjelaskan bagaimana VNA bekerja. Ketika gelombang elektromagnetik (S_i) mengenai suatu material, perilakunya akan berbeda-beda tergantung jenis materialnya. Jika materialnya logam, gelombang akan dipantulkan kembali. Jika materialnya transparan, gelombang akan diteruskan. Namun, jika

materialnya bisa menyerap gelombang, maka energi gelombang akan berubah menjadi bentuk energi lain, misalnya panas. Kuantitas gelombang yang dipantulkan ini disebut sebagai *reflection loss*, dan nilainya dapat digunakan untuk menghitung berapa banyak energi gelombang yang diserap oleh material. *Reflection loss* adalah parameter yang menunjukkan seberapa banyak daya gelombang yang tidak terpantul kembali dari suatu beban. Nilai ini biasanya dinyatakan dalam satuan desibel (dB). Semakin kecil nilai *reflection loss*, semakin banyak daya yang dipantulkan (Agilent, 2004).

VNA merupakan alat yang digunakan untuk menganalisis gelombang elektromagnetik yang menggabungkan gelombang sumber ke dalam satu instrumen untuk mencegah pergeseran fasa selama pengukuran. Hasilnya, pengukuran perangkat ini jauh lebih unggul daripada peralatan lain, seperti penganalisis spektrum, pemeriksa spektrum. Alat ini memungkinkan untuk menghitung permitivitas kompleks dan variabel fisis lainnya dengan lebih akurat.



Gambar 2.13 Alat VNA
Sumber: Dokumen Pribadi

Prinsip dasar dari VNA ini adalah mengukur gelombang yang datang saat bergerak di sepanjang jalur transmisi dan kemudian memantulkannya kembali. Satu port atau lebih port dapat memberikan parameter hamburan (S-Parameter), yang merupakan parameter elektromagnetik sumber. Untuk memastikan permitivitas kompleks

suatu bahan pada rentang frekuensi yang diinginkan, teknik jalur transmisi dapat digunakan untuk memastikan sifat-sifat gelombang elektromagnetik serta untuk mengamati fenomena lintasan gelombang dalam bahan. Hal ini cukup untuk mengukur koefisien refleksi dan transmisi dari sistem dua port dengan menggunakan empat *output* parameter-S, S11 dan S21, sedangkan S12 dan S22 hanya digunakan sebagai perbandingan (Priyono dkk., 2019).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat Dan Waktu

Penelitian ini dilakukan pada bulan Mei 2024 – Februari 2025 di KST BJ. Habibi, BRIN, Gedung 440, Kawasan Puspitek Setu Serpong, Muncul, Kec. Setu Kota, Tangerang Selatan, Banten 15314 dan Laboratorium Fisika Sains Material, Jurusan Fisika, Universitas Sriwijaya.

3.2 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini untuk sintesis $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ dengan 5 variasi x , yaitu $x=0=0.25=0.50=0.75=1$ menggunakan metode *Milling*.

3.3 Alat Dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat Penelitian

Tabel 3.1 terdapat informasi mengenai alat-alat yang digunakan saat proses sintesis $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$.

Tabel 3.1 Alat Sintesis Material $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$

No.	Alat Penelitian	Fungsi
1.	Neraca Analitik	Untuk mengukur massa suatu bahan dengan tingkat akurasi yang tinggi
2.	Spatula	Untuk mengambil bahan kimia dalam jumlah kecil
3.	Botol Vial	Untuk menyimpan sampel atau bahan kimia dalam jumlah kecil
4.	<i>Furnace</i>	Untuk memanaskan bahan kimia pada suhu tinggi
5.	Oven	Untuk memanaskan bahan kimia atau sampel pada suhu yang lebih rendah daripada <i>furnace</i>
6.	<i>Crucible</i>	Untuk memanaskan bahan kimia pada suhu tinggi
7.	Kertas Timbang	Sebagai tempat atau wadah untuk menimbang sampel
8.	Mesh 200	Untuk menyaring sampel serbuk menjadi lebih halus

9.	<i>High Energy Milling</i> (HEM)	Untuk memperkecil ukuran partikel
10.	<i>Hydraulic Press</i>	Untuk membuat atau mengkompaksi sampel
11.	Mortar dan Alu	Untuk menghaluskan sampel yang sudah dikeringkan di oven dan furnace
12.	<i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	Untuk mengidentifikasi struktur kristal dari sampel
13.	<i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	Agar mengetahui morfologi yang terdapat di sampel
14.	<i>Vector Network Analyzer</i> (VNA)	Digunakan untuk menguji kemampuan penyerapan sampel

3.3.2 Bahan Penelitian

Terdapat beberapa bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

Tabel 3.2 Bahan Penelitian

No	Nama	Formula Kimia	Mr	Produk	Kemurnian
1.	Lanthanum Oxide	La ₂ O ₃	325,82	Aldrich	99.9%
2.	Copper Oxide	CuO	79,55	Aldrich	99.9%
3.	Manganese Oxide	MnO ₂	86,94	Aldrich	99.9%
4.	Ethanol	C ₂ H ₅ OH	46.07	Aldrich	96%

3.4 Prosedur Percobaan

3.4.1 Preparasi Bahan

Berikut prosedur preparasi bahan:

- Melakukan perhitungan stokiometri untuk mendapatkan massa bahan dengan menggunakan variasi sampel sebagai berikut:



dari persamaan reaksi di atas sehingga di dapatkan nilai variasi x pada tabel dibawah ini

Tabel 3.3 Perhitungan Massa Bahan

X	Massa Bahan Dasar (gram)		
	La ₂ O ₃	CuO	MnO ₂
0,0	0,0000	4,7781	5,2219
0,25	2,1993	3,2218	4,6948
0,50	3,9832	1,9450	4,2510
0,75	5,4738	0,8910	3,8949
1,0	6,7363	0,000	3,5950

2. Proses menimbang bahan dasar

Setelah didapatkan perhitungan massa bahan, langkah selanjutnya adalah menimbang bahan menggunakan neraca digital. Bahan di timbang sesuai komposisi dengan variasi x yang akan diuji.

3.4.2 Mechanical Milling

Pada proses milling ini dilakukan guna untuk pencampuran masing-masing bahan agar tercampur secara sempurna, selain itu juga untuk penghalusan bahan-bahan tersebut. Sampel ditempatkan pada vial *stainless steel* berdiameter 10 mm untuk analisis lebih lanjut. Alat yang digunakan adalah HEM *spex* 8000 dengan pengaturan kecepatan normal 90 menit, waktu istirahat 30 menit, dan 1 siklus penggilingan. Masing-masing sampel yang telah ditimbang dipindahkan ke dalam vial yang berisi 12 butir *ball milling* (4 gram/butir) dengan perbandingan massa 1:5. Selanjutnya diberikan etanol agar mempermudah gerak *ball milling* selama proses milling. Proses ini berlangsung selama 5 jam menggunakan alat HEM dengan jeda pendinginan 30 menit setiap siklus.

3.4.3 Proses Pengeringan

Proses ini dilakukan setelah sampel telah melalui proses penggilingan (*milling*), yang dimana sampel ditempatkan dalam oven pada suhu 80°C selama 24 jam. Tujuan utama dari tahap ini adalah untuk memastikan bahwa tidak ada sisa etanol yang tertinggal dalam sampel

setelah proses selesai. Pengeringan pada suhu tinggi ini akan menghilangkan kandungan air dan pelarut organik. Setelah kering, sampel digerus dengan mortar dan alu hingga berbentuk serbuk halus.

3.4.4 Proses *Hydraulic Press*

Sampel yang sudah digerus kemudian melalui proses *Hydraulic Press*, yang dimana mesin ini memanfaatkan tekanan yang diberikan untuk menekan atau membentuk sampel. Proses ini dilakukan dengan 3 variasi, tekanan yaitu pertama sampel di *press* dengan waktu 3 menit dengan tekanan 4 ton. Variasi kedua, tekanan 2 ton dengan waktu 1 menit, sedangkan untuk variasi ketiga tekanan yang digunakan adalah sampai mesin *press*-nya tidak bisa diberikan tekanan lagi dan sampel yang *press* membentuk sebuah kepingan.

3.4.5 Proses Sintering

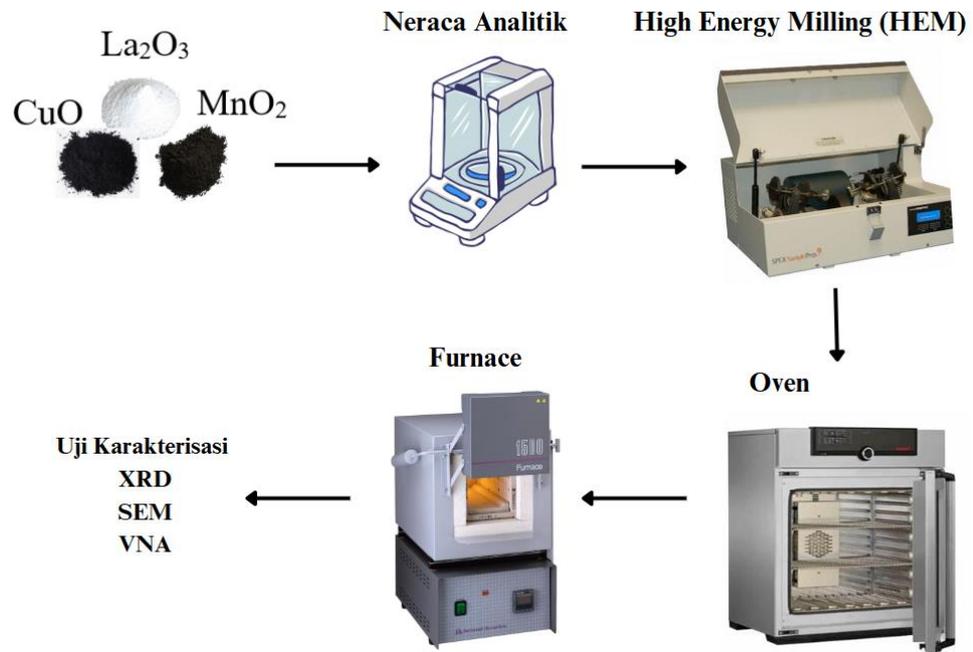
Sampel yang sudah dalam bentuk kepingan diletakkan kedalam *crusibel* dan dilakukan proses sintering menggunakan *furnace*. Suhu yang digunakan pada *furnace* adalah 250°C, 500°C, 750°C, 1000°C setiap kenaikan suhu ditahan selama 10 menit per kenaikan, kemudian ditahan selama 5 jam pada suhu 1000°C, dan diakhiri dengan pendinginan dengan suhu ruang. Sampel yang sudah melalui proses sintering ini selanjutnya di gerus menggunakan mortar dan alu, sehingga tidak terdapat gumpalan dan di saring menggunakan *mesh* 200. Sampel yang sudah siap disaring kemudian dilakukan karakterisasi.

3.4.6 Pengujian Bahan

Pengujian bahan pada penelitian ini menggunakan 3 karakterisasi yaitu, karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD), karakterisasi *Scanning Electron Microscope* (SEM), dan karakterisasi *Vector Network Analyzer* (VNA). Karakterisasi XRD berfungsi untuk mengetahui struktur dari sampel. Morfologi sampel dapat diidentifikasi dengan menggunakan SEM. Dan karakterisasi VNA berfungsi untuk menganalisis karakteristik

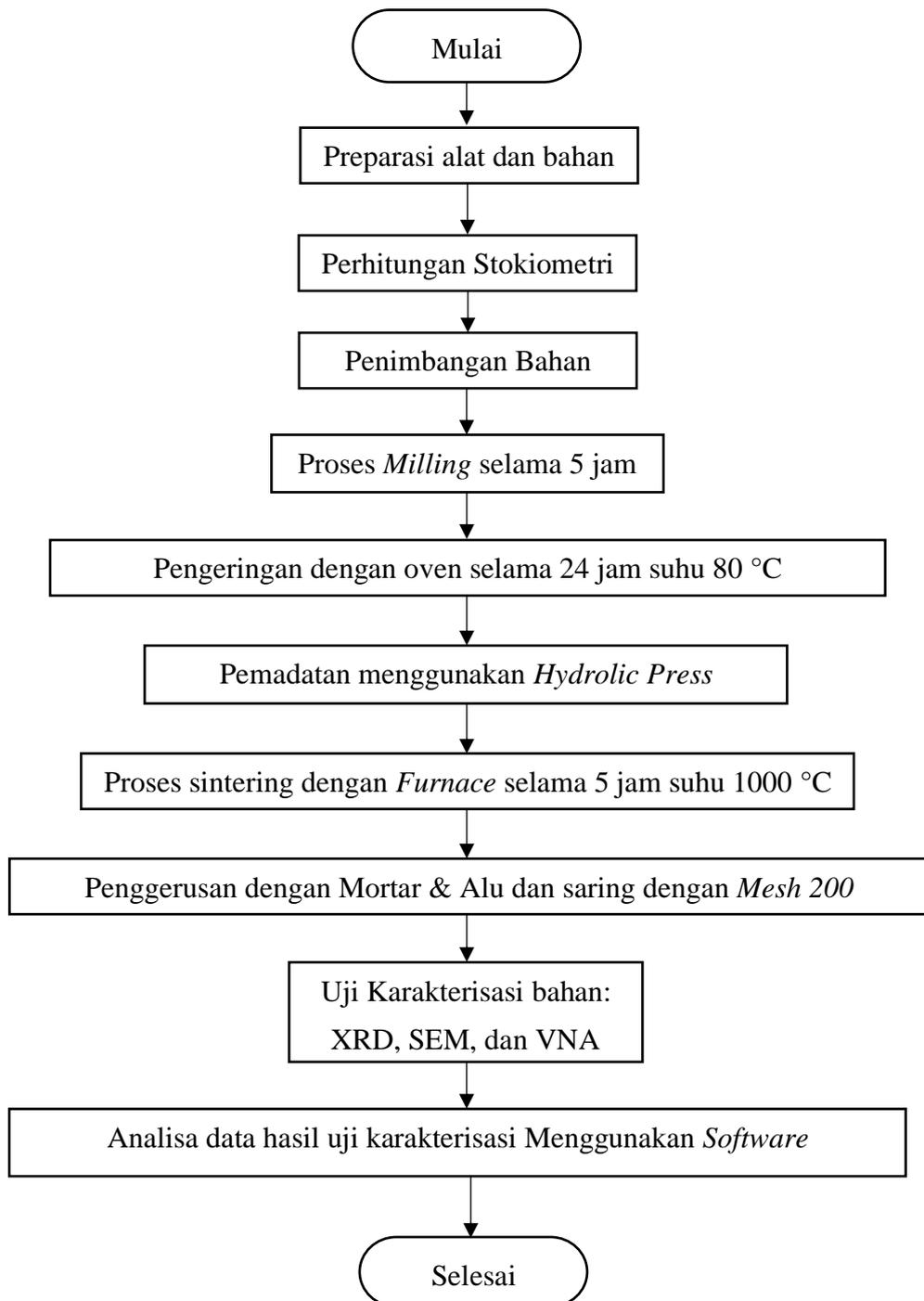
dari *reflection loss* pada sampel dan untuk mengetahui daya serap gelombang elektromagnetik.

3.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Tahapan Penelitian

Diagram alir penelitian dapat dilihat padagambar 3.2 dibawah ini:



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sintesis Material $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ dengan Metode *Milling*

Sintesis material $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ menggunakan metode *milling* merupakan salah satu teknik yang efektif untuk menghasilkan material dengan ukuran partikel yang lebih halus dan distribusi ukuran partikel yang lebih seragam. Dalam penelitian ini, telah berhasil mensintesis sampel CuMnO_3 dengan doping Lantanum $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ dimana variasi nilai x yang digunakan yakni $x=(0; 0.25; 0.50; 0.75; \text{ dan } 1)$. Gambar 4.1 di bawah ini merupakan sampel yang telah dibuat:



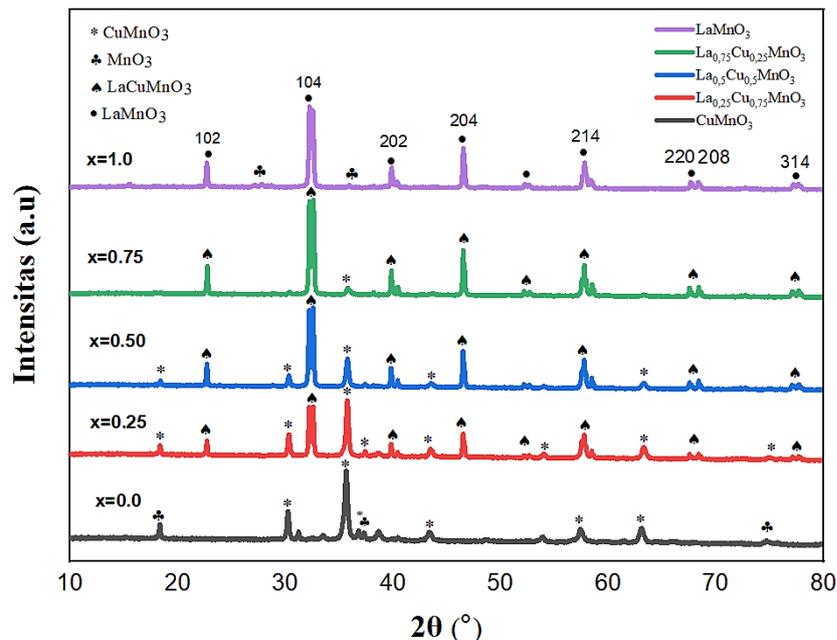
Gambar 4.1 Hasil Sintesis Sampel $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$

Pada Gambar 4.1 diatas menunjukkan sampel yang telah di sintesis menggunakan metode *milling*. Sampel tersebut terdiri dari 5 variasi x dimana saat x ; 0.0 sampel terdiri dari CuMnO_3 , pada x ; 0.25 sampel tersusun dari $\text{La}_{0.25}\text{Cu}_{0.75}\text{MnO}_3$, x ;0.50 terdiri dari $\text{La}_{0.50}\text{Cu}_{0.50}\text{MnO}_3$ dan x ; 0.75 tersusun dari $\text{La}_{0.75}\text{Cu}_{0.25}\text{MnO}_3$ serta pada x ; 1.0 tersusun dari material LaMnO_3 . Metode *milling*, atau penggilingan mekanik, bekerja dengan cara menghancurkan bahan baku menjadi serbuk dengan ukuran yang lebih kecil menggunakan media penggiling, seperti bola-bola logam, yang bergerak dalam wadah penggiling. Proses ini menyebabkan terjadinya tumbukan antara partikel yang mengakibatkan pengurangan ukuran partikel dan pencampuran yang lebih homogen. Proses *milling* dilakukan selama 5 jam dengan suhu sintering 1000°C selama 5 jam dengan hasil sampel berupa serbuk halus. Hasil akhir sampel berupa serbuk berwarna hitam

dikarenakan terdapat kandungan dari bahan MnO_2 . Material yang sudah berhasil disintesis ini kemudian akan diuji karakterisasi menggunakan XRD untuk mengetahui fasa yang terbentuk dan struktur kristalnya. SEM juga digunakan untuk mengetahui morfologi dan ukuran partikelnya, serta menggunakan VNA untuk mengetahui kemampuan penyerapan gelombang elektromagnetik.

4.2 Hasil Karakterisasi X-Ray Diffraction (XRD)

Uji karakterisasi XRD ini dilakukan untuk mengetahui informasi yang berisikan tentang sistem kristal, fasa yang terbentuk, *space* grup dan parameter kisi serta lainnya dari sampel yang sudah di sintesis. Dalam penelitian ini material $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ di sintesis dengan 5 variasi x yaitu 0, 0.25, 0.50, 0.75, dan 1.0 dengan menggunakan metode *mechanical milling*. Setiap sampel dideskripsikan menggunakan panjang gelombang sinar-X dan sudut 2θ . Setelah dilakukan pengujian diperoleh data hasil pola difraksi sinar-X ditunjukkan pada Gambar 4.2 dibawah ini.

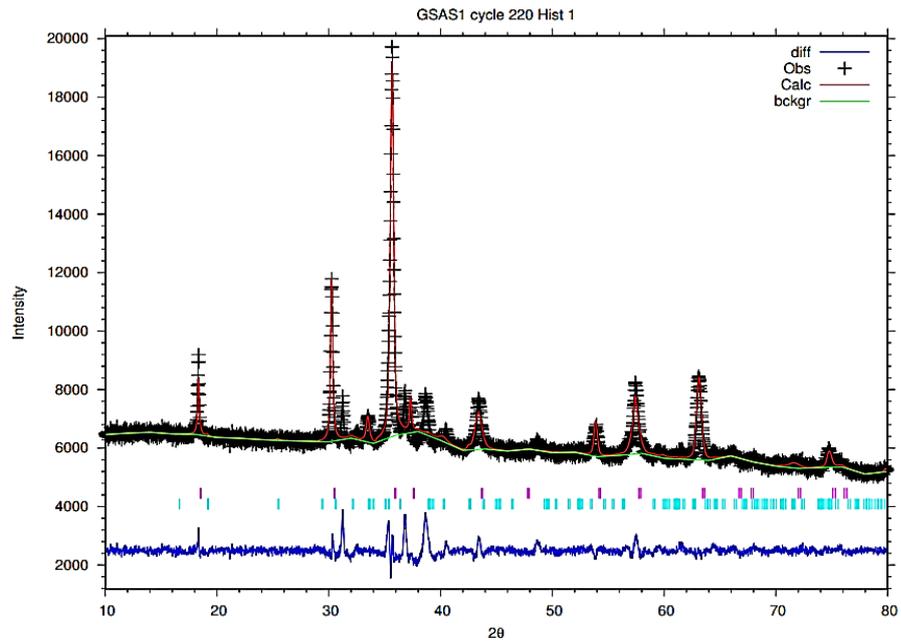


Gambar 4.2 Pola Difraksi Sinar-X Dari Material $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$
($x=0.0$; 0.25; 0.50; 0.75 dan 1.0)

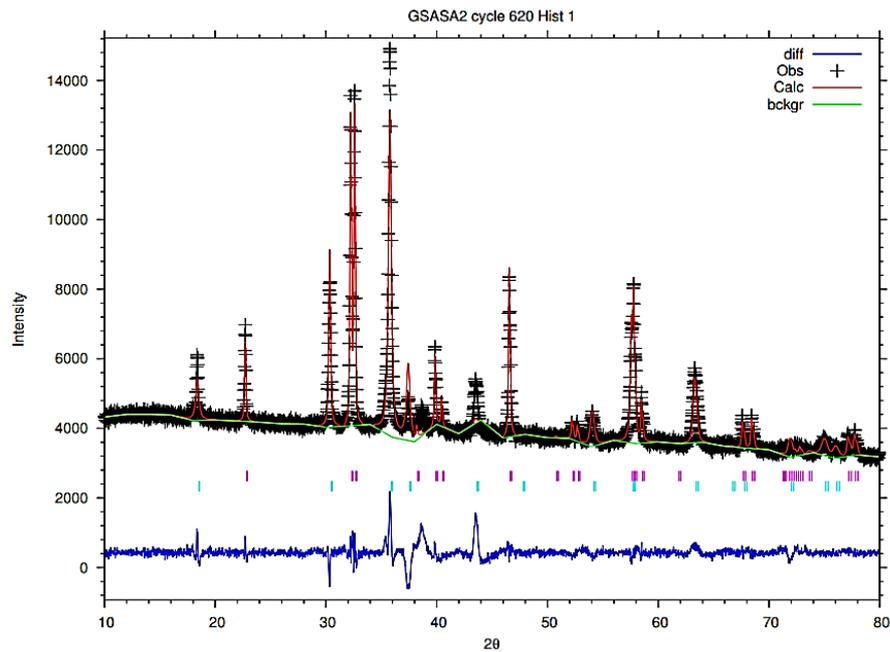
Dari Gambar 4.2 diatas puncak difraksi menunjukkan pergeseran dan perubahan intensitas seiring bertambahnya variasi x. Dari gambar pola XRD

tersebut, terlihat bahwa dengan meningkatnya nilai x , sebagian besar puncak difraksi mengalami pergeseran ke arah 2θ yang lebih kecil. Pergeseran puncak ke arah 2θ yang lebih kecil menunjukkan adanya peningkatan parameter kisi. Ketika x meningkat, puncak bergeser ke arah kiri yang mengindikasikan adanya peningkatan jarak antar bidang kristal akibat substitusi ion Cu^{2+} dengan La^{3+} , yang berukuran lebih besar hal ini sesuai dengan prinsip Hukum Bragg (Admi dkk., 2021). Pergeseran ke sudut 2θ yang lebih rendah ini mencerminkan perubahan parameter kisi yang terjadi karena penggantian ion, menghasilkan distorsi struktur kristal. Perubahan posisi dan intensitas puncak ini mencerminkan dampak substitusi Cu dengan La terhadap struktur material, yang memengaruhi sifat fisik, termasuk efektivitas material sebagai penyerap gelombang mikro.

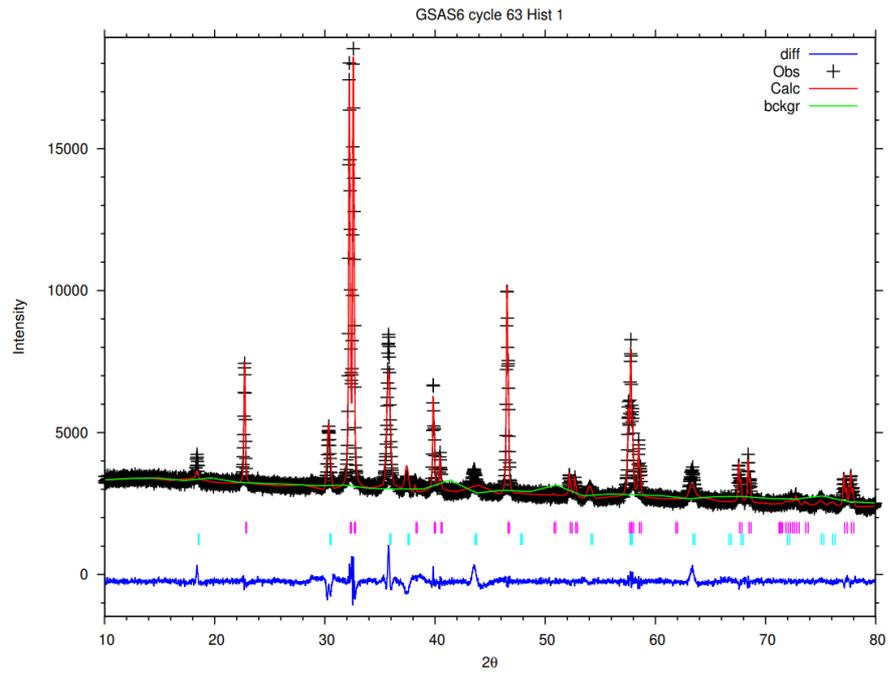
Dari pengukuran XRD sampel akan diolah menggunakan *software Match* yang nantinya akan mendapatkan *entry* data yaitu CIF untuk mengetahui fasa yang terbentuk. Selanjutnya CIF tersebut akan diolah menggunakan *software* GSAS-EXPGUI digunakan untuk analisis kuantitatif, penyempurnaan struktur kristal, dan penghalusan data menggunakan metode Rietveld. Metode Rietveld adalah teknik yang digunakan untuk menganalisis data difraksi sinar-X. Dalam metode ini, pola difraksi yang diamati dibandingkan dengan pola difraksi teoritis yang dihitung berdasarkan model struktur kristal. Parameter-parameter model, seperti faktor skala, pergeseran titik nol, latar belakang, orientasi, bentuk puncak, dan faktor suhu. Kemudian disesuaikan hingga pola difraksi teoritis cocok dengan pola difraksi yang diamati. Proses penyesuaian ini biasanya dilakukan dengan menggunakan metode kuadrat terkecil (*least-square*) (Apriatin, 2023). Dari pengolahan data menggunakan metode rietveld *refinement* ini menghasilkan informasi pada Gambar 4.3 sampai Gambar 4.7.



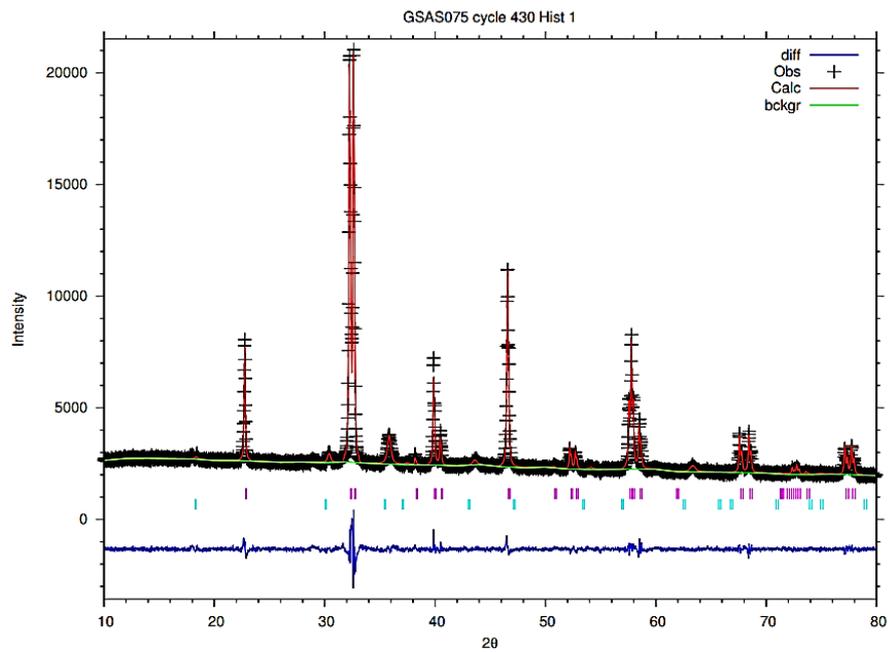
Gambar 4.3 Hasil Refinement Dari Material $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ ($x=0.0$)



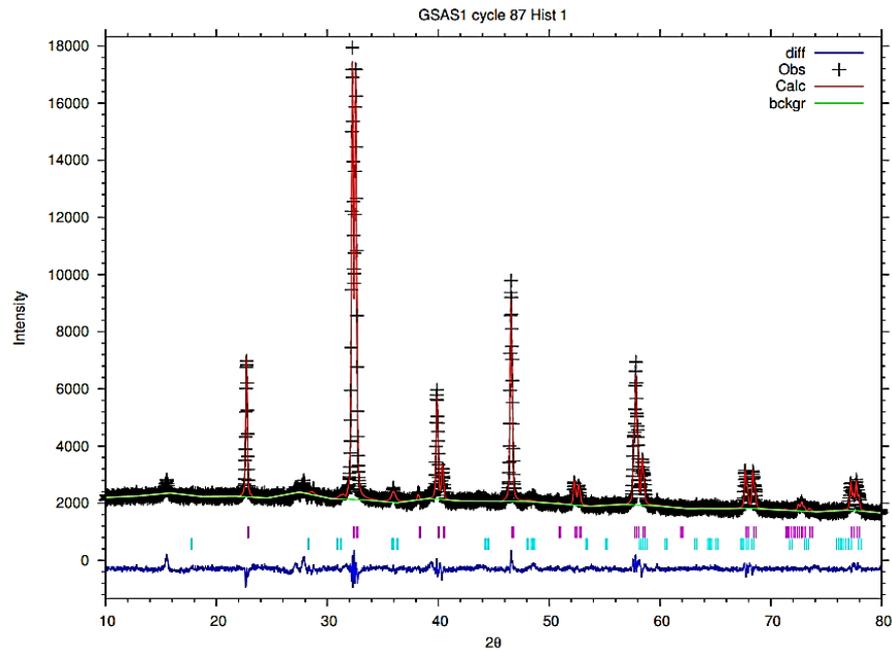
Gambar 4.4 Hasil Refinement Dari Material $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ ($x=0.25$)



Gambar 4.5 Hasil Refinement Dari Material $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ ($x=0.50$)



Gambar 4.6 Hasil Refinement Dari Material $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ ($x=0.75$)



Gambar 4.7 Hasil Refinement Dari Material $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ ($x=1.0$)

Gambar 4.3 sampai 4.7 menunjukkan hasil analisis XRD yang diproses menggunakan perangkat lunak GSAS. Dalam gambar-gambar ini, empat parameter kunci ditampilkan: Obs, Calc, Diff, dan bckgr. Obs mewakili data eksperimen yang diperoleh dari pengukuran XRD, ditandai dengan simbol (+) pada puncak-puncak grafik. Calc adalah pola difraksi yang dihitung secara teoritis berdasarkan model struktur kristal yang digunakan dalam proses *refinement*, dan ditampilkan sebagai garis merah yang mengikuti pola data Obs. Diff menunjukkan selisih antara pola observasi (Obs) dan pola yang dihitung (Calc), dihitung dengan rumus $\text{Obs} - \text{Calc}$, dan ditandai dengan garis biru yang menunjukkan seberapa baik model yang dihitung sesuai dengan data eksperimen. Terakhir, bckgr mewakili intensitas latar belakang yang diperkirakan dan diperhitungkan dalam proses *refinement*, dan ditampilkan sebagai garis hijau. Tabel 4.1 dibawah ini berisikan informasi yang ditampilkan dari hasil *refinement*.

Tabel 4.1 Hasil Analisis Parameter Struktur Sampel Dari Pengujian XRD

Komposisi (x)	x = 0	x = 0.25	x = 0.50	x = 0.75	x = 1.0
	Phasa CuMnO ₃	Phasa LaCuMnO ₃	Phasa LaCuMnO ₃	Phasa LaCuMnO ₃	Phasa LaMnO ₃
Space Group	F d-3 m	R -3 c	R -3 c	R -3 c	R -3 c
Sistem Kristal	Cubic	Trigonal	Trigonal	Trigonal	Trigonal
Parameter Kisi (Å)					
a	8.288245	5.532809	5.533252	5.531647	5.526284
b	8.288245	5.532809	5.533252	5.531647	5.526284
c	8.288245	13.339677	13.335128	13.332563	13.360701
Sudut (°)	$\alpha=\beta=\gamma= 90^\circ$	$\alpha=\beta= 90^\circ$ $\gamma= 120^\circ$	$\alpha=\beta= 90^\circ$ $\gamma= 120^\circ$	$\alpha=\beta= 90^\circ$ $\gamma= 120^\circ$	$\alpha=\beta= 90^\circ$ $\gamma= 120^\circ$
Volume (Å ³)	569.361	353.645	353.876	353.308	353.367
Densitas (g/cm ³)	5.518	10.749	6.542	7.788	6.819
	Phasa MnO ₃	Phasa CuMnO ₃	Phasa CuMnO ₃	Phasa CuMnO ₃	Phasa MnO ₃
Space Group	P m a b	F d-3 m	F d-3 m	F d-3 m	I 41/a m d
Sistem Kristal	Ortorombik	Cubic	Cubic	Cubic	Tetragonal
Parameter Kisi (Å)					
a	9.273378	8.286340	8.291044	8.401403	5.771917
b	10.757041	8.286340	8.291044	8.401403	5.771917
c	3.021464	8.286340	8.291044	8.401403	9.761518
Sudut (°)	$\alpha=\beta=\gamma= 90^\circ$	$\alpha=\beta=\gamma= 90^\circ$	$\alpha=\beta=\gamma= 90^\circ$	$\alpha=\beta=\gamma= 90^\circ$	$\alpha=\beta=\gamma= 90^\circ$
Volume (Å ³)	301.404	568.968	569.793	593.001	325.205
Densitas (g/cm ³)	5.076	9.618	5.031	5.508	3.622
χ^2	4.133	5.495	3.613	2.755	2.697
wRp (%)	0.0257	0.0364	0.0336	0.0322	0.0344
Rp(%)	0.0167	0.0225	0.0233	0.0227	0.0263

Dari Tabel 4.1 di atas menunjukkan material La_xCu_(1-x)MnO₃ memiliki beberapa fasa atau multifasa yang salah satunya disebabkan karena adanya pengaruh substitusi ion Cu²⁺ dengan La³⁺, yang menyebabkan perubahan struktur dan parameter kisi. Pada x = 0.0, fasa yang dominan adalah CuMnO₃ dan fasa kedua MnO₃. Untuk variasi x=1.0, fasa utama yang terbentuk adalah LaMnO₃ dan fasa kedua nya MnO₃. Sedangkan, pada nilai x antara 0.25 hingga 0.75, terjadi transisi

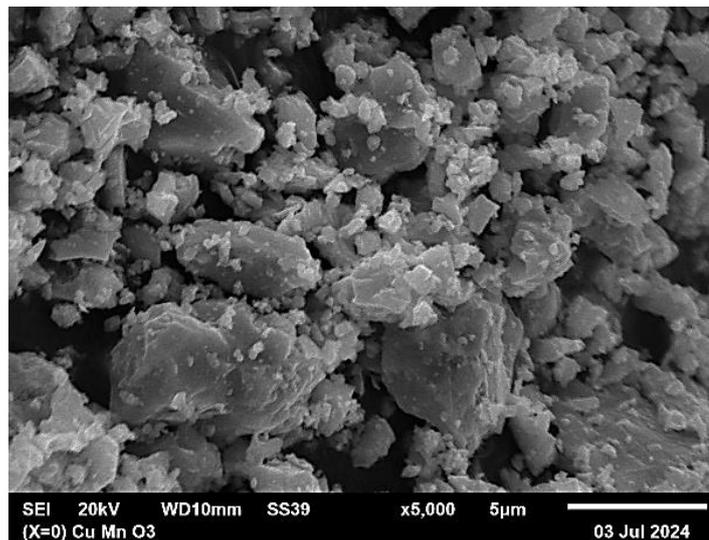
antara kedua fasa tersebut, menghasilkan lebih dari satu fasa yang dimana fasa utama adalah LaCuMnO_3 dan fasa kedua CuMnO_3 . Perbedaan ukuran ionik antara La^{3+} dan Cu^{2+} juga berkontribusi, karena ion La^{3+} yang lebih besar menyebabkan distorsi kisi kristal saat menggantikan Cu^{2+} . Distorsi ini tercermin pada perubahan parameter kisi a, b, dan c yang terlihat pada tabel. Selain itu, nilai χ^2 yang ideal mendekati 1, menunjukkan bahwa perbedaan antara pola difraksi hasil eksperimen dan model teoritis yang diperoleh dari refinement sangat kecil. Nilai χ^2 yang lebih tinggi, seperti 5.495, menandakan bahwa ada faktor-faktor tertentu yang menyebabkan hasil *refinement* ini. χ^2 ini cukup akurat dalam merepresentasikan struktur kristal sebenarnya dan kemungkinan munculnya fasa minor atau ketidaksempurnaan struktur akibat transisi fasa. Nilai χ^2 yang lebih tinggi pada x tertentu dapat disebabkan oleh cacat kristal, ketidaksempurnaan penyebaran unsur, atau ketidakcocokan model dengan struktur aktual.

Terbentuknya multifasa dalam sistem $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ tidak hanya dipengaruhi oleh variasi x, tetapi juga oleh beberapa faktor lain yang berkaitan dengan sifat material, kondisi sintesis, serta stabilitas kristalografi. Multifasa pada material ini terjadi karena transisi struktur yang dipengaruhi oleh perbedaan ukuran ion, stabilitas termodinamika fasa, dan perubahan parameter kisi selama substitusi ion Cu^{2+} dengan La^{3+} . Kombinasi faktor-faktor ini menciptakan lebih dari satu fasa kristal dalam material pada nilai x tertentu. Faktor lain yang tidak kalah penting adalah kondisi alat dan kebersihannya. Jika alat seperti *crucible*, *milling jar*, atau spatula tidak disterilkan dengan baik, sisa material dari eksperimen sebelumnya dapat menjadi kontaminan, sehingga membentuk fasa yang tidak diinginkan. Selain itu, jika bahan baku memiliki tingkat kemurnian atau ukuran partikel yang berbeda, kemungkinan terbentuknya multifasa semakin tinggi.

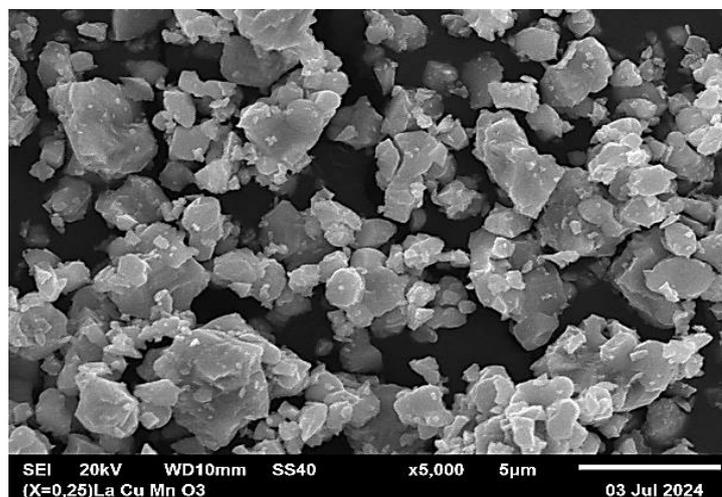
4.3 Hasil Karakterisasi *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Karakterisasi SEM ini dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan sampel dan struktur mikro material dengan resolusi tinggi. Pengamatan SEM memberikan informasi yang mendalam terkait ukuran partikel, distribusi, porositas, serta potensi aglomerasi dalam material. Pada penelitian ini, SEM digunakan untuk

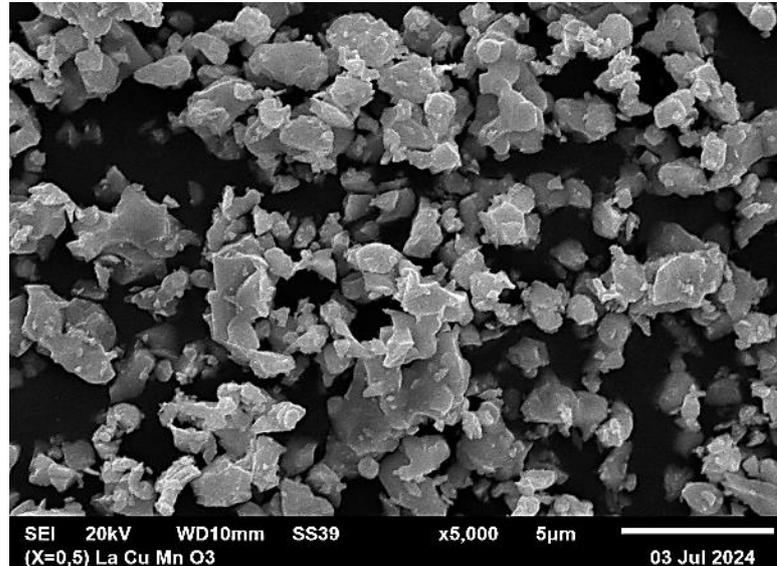
mempelajari pengaruh variasi komposisi material $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ terhadap struktur mikro yang terbentuk. Dengan analisis ini, diharapkan dapat diperoleh gambaran tentang hubungan antara karakteristik morfologi material dengan sifat fungsionalnya, seperti kemampuan penyerap gelombang elektromagnetik dan sifat-sifat lainnya. Berikut ini disajikan hasil gambar SEM dari sampel dengan berbagai variasi komposisi x .



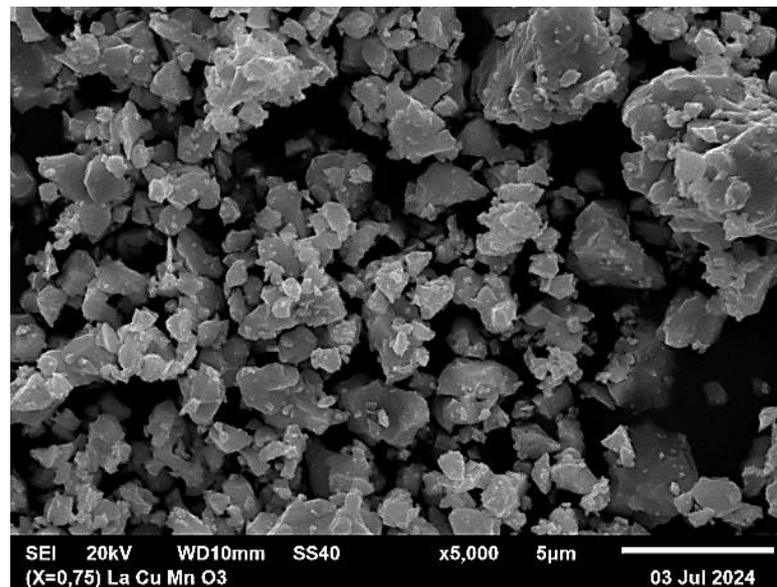
Gambar 4.8 Morfologi Sampel $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ ($x=0.0$)



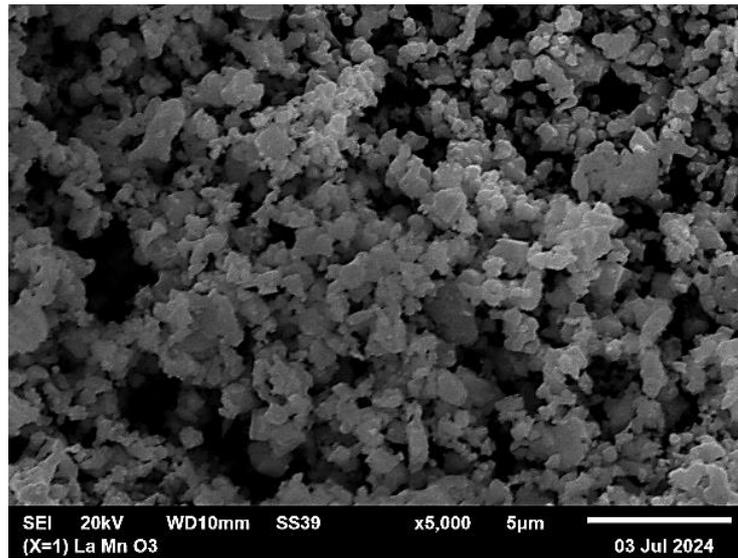
Gambar 4.9 Morfologi Sampel $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ ($x=0.25$)



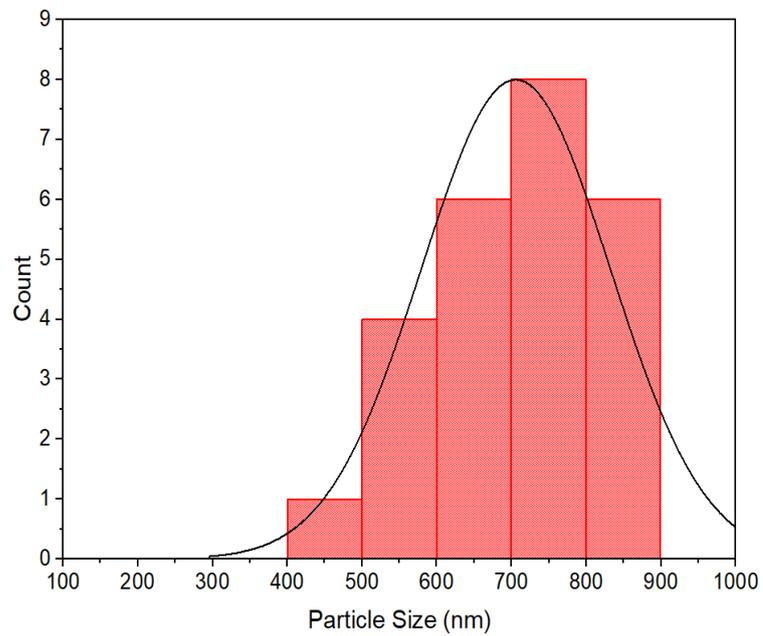
Gambar 4.10 Morfologi Sampel $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ ($x=0.50$)



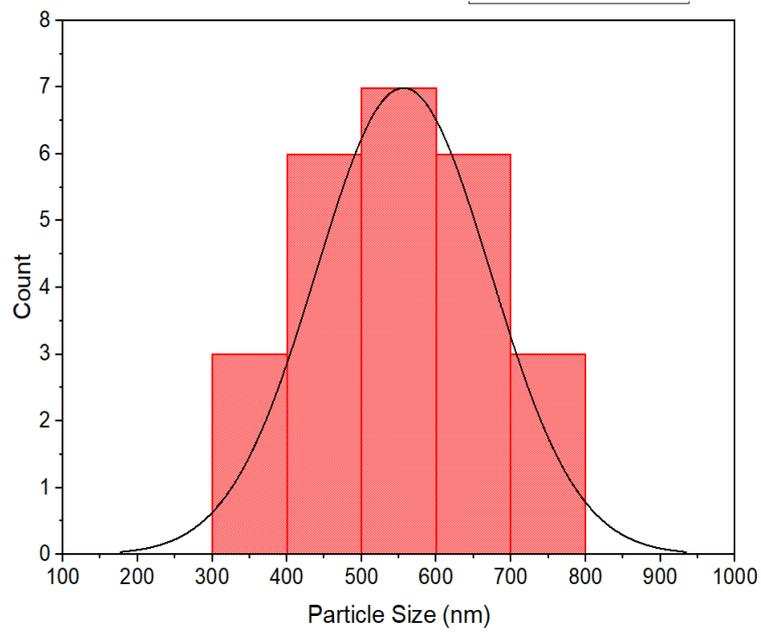
Gambar 4.11 Morfologi Sampel $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ ($x=0.75$)



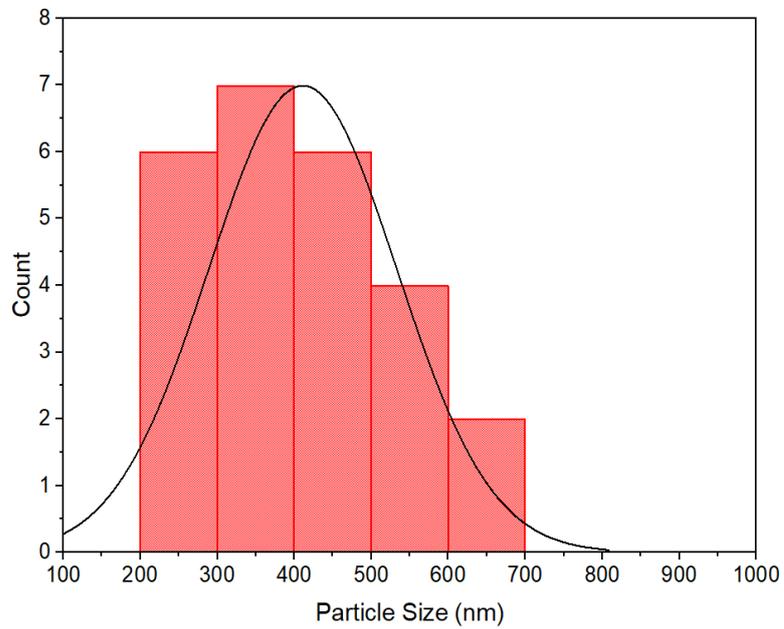
Gambar 4.12 Morfologi Sampel $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ ($x=1.0$)



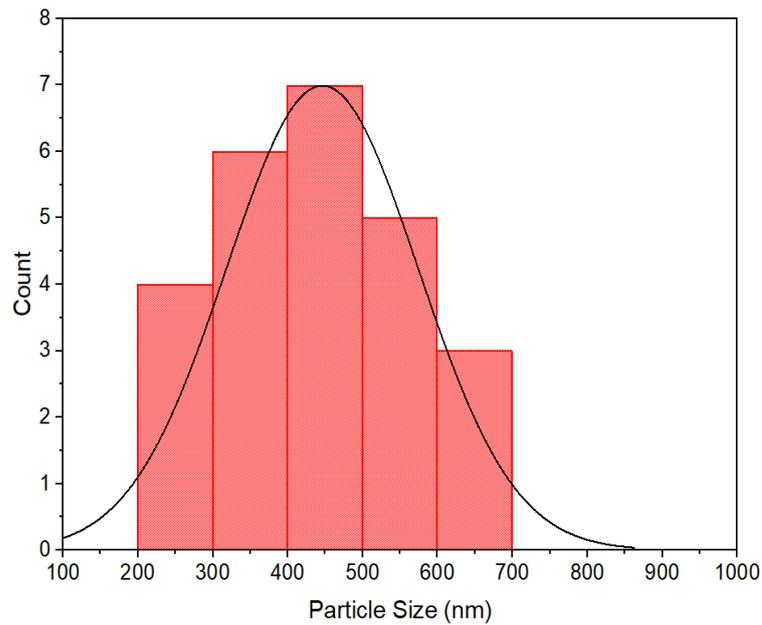
Gambar 4.13 Distribusi Ukuran Partikel Sampel $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ ($x=0.0$)



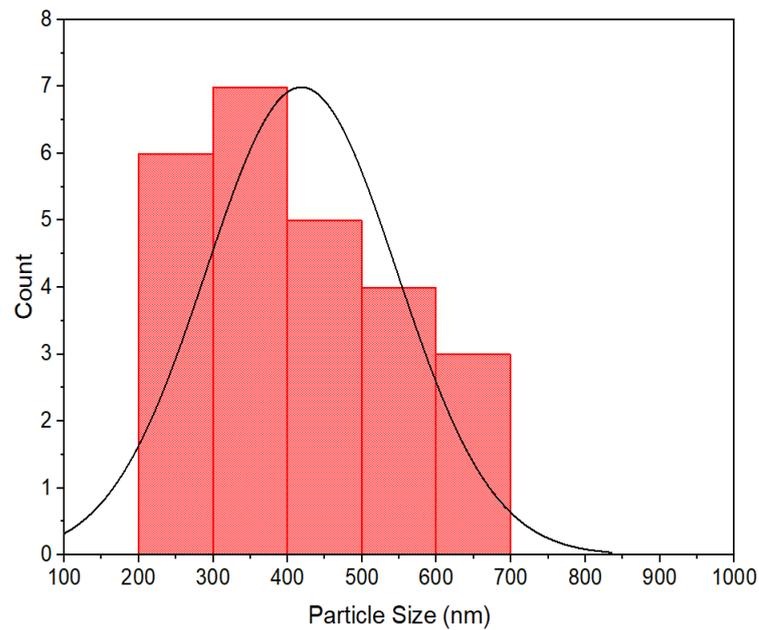
Gambar 4.14 Distribusi Ukuran Partikel Sampel $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ ($x=0.25$)



Gambar 4.15 Distribusi Ukuran Partikel Sampel $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ ($x=0.50$)



Gambar 4.16 Distribusi Ukuran Partikel Sampel $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ ($x=0.75$)



Gambar 4.17 Distribusi Ukuran Partikel Sampel $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ ($x=1.0$)

Pada Gambar 4.8 sampai 4.12 menggunakan perbesaran 5000x dengan variasi sampel x ; 0.0; 0.25; 0.50; 0.75; 1.0 untuk mengetahui ukuran-ukuran partikel setiap butirnya. Gambar diatas menampilkan morfologi dari permukaan setiap sampel yang dimana partikel-partikel yang terdapat pada sampel tidak teratur. Setiap

variasi sampel memiliki ukuran partikel yang berbeda-beda dan terdapat distribusi ukuran partikel yang cukup lebar. Pengukuran partikel sangat kecil menunjukkan bahwa campuran bahannya sudah homogen. Untuk menentukan ukuran partikel rata-rata, data dari pengukuran SEM (JEOL, JED-2300AS) dianalisis sebanyak 25 butir partikel yang tersebar secara acak pada permukaan sampel menggunakan perangkat lunak *ImageJ* dan *Origin*. Berdasarkan analisis *ImageJ* pada Gambar 4.13 sampai 4.17 menunjukkan bahwa pada variasi $x=0.0$ berukuran 706.111 nm, $x=0.25$ berukuran 555.928 nm, $x=0.50$ berukuran 449.771 nm, $x=0.75$ berukuran 446.590 nm dan $x=1.0$ berukuran 419.001 nm. Ketidakteraturan ini terjadi kemungkinan disebabkan karena terjadinya aglomerasi pada proses *milling*, yang mana partikel-partikel tersebut tercampur dan mengalami *impact*, kemudian terdeformasi yang menyebabkan partikel yang dihasilkan terlihat kecil.

Dari hasil SEM ini sejalan dengan analisis XRD, yang menunjukkan keberadaan lebih dari satu fasa dalam material ini. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi hasil SEM tersebut, salah satunya variasi komposisi sampel dapat mempengaruhi mekanisme pertumbuhan kristal selama proses sintesis, sehingga menghasilkan morfologi partikel yang berbeda. Morfologi partikel yang berbeda dapat mempengaruhi sifat fisik dan kimia material seperti luas permukaan spesifik, porositas, kepadatan serta reaktivitas, dan kemampuan adsorpsi. Penyerapan gelombang mikro dalam material menjadi lebih efisien seiring dengan berkurangnya ukuran partikel. Fenomena ini dapat dijelaskan oleh dua faktor utama: pertama, peningkatan luas permukaan efektif yang memungkinkan interaksi gelombang mikro yang lebih intensif; dan kedua, peningkatan konduktivitas efektif yang mempermudah pergerakan muatan dan konversi energi gelombang mikro menjadi energi termal di dalam material (Crane dkk., 2014). Variasi x disini juga mempengaruhi bentuk dan ukuran partikel. Dimana semakin meningkatnya nilai x menunjukkan bentuk dan ukuran yang mulai seragam. Pada proses *milling* dapat mempengaruhi ukuran partikel yang dihasilkan, disebabkan adanya tumbukan yang terjadi terus-menerus sehingga lama-kelamaan akan mengikis ukuran partikel yang besar menjadi serpihan partikel yang lebih kecil. Begitu pun sebaliknya dapat

terjadi aglomerasi karena adanya penggabungan partikel kecil menjadi struktur yang lebih besar.

Dari hasil penelitian terhadap material $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ sebagai penyerap gelombang mikro, ditemukan bahwa variasi $x = 0.0$ memiliki penyerapan terbaik, sementara $x = 1.0$ memiliki ukuran partikel paling kecil tetapi dengan penyerapan yang rendah. Fenomena ini dapat dijelaskan melalui beberapa faktor utama, yaitu ukuran partikel, sifat listrik, dan pencocokan impedansi material terhadap gelombang mikro. Secara umum, ukuran partikel yang lebih kecil seharusnya meningkatkan luas permukaan dan interaksi dengan gelombang mikro. Namun, pada $x = 1.0$, partikel yang lebih kecil justru menyebabkan peningkatan refleksi gelombang mikro dibandingkan absorpsi, yang menurunkan efektivitas material dalam menyerap energi gelombang. Selain itu, komposisi material juga mempengaruhi sifat listriknya. Pada $x = 0.0$, material didominasi oleh CuMnO_3 , yang memiliki konduktivitas listrik lebih tinggi, sehingga meningkatkan kehilangan dielektrik dan memungkinkan gelombang mikro lebih efektif dikonversi menjadi panas. Sebaliknya, pada $x = 1.0$, doping La yang lebih tinggi dapat menurunkan konduktivitas listrik karena berkurangnya ion Cu^{2+} yang memiliki mobilitas elektron tinggi, sehingga mekanisme absorpsi menjadi lebih lemah. Pada $x = 0.0$, kemungkinan impedansi lebih sesuai, sehingga penyerapan lebih tinggi, sementara pada $x = 1.0$, ketidaksesuaian impedansi menyebabkan gelombang lebih banyak dipantulkan dari pada diserap.

Selain dilakukan pengujian menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), sampel juga dianalisis dengan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS). Pengujian EDS bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis distribusi unsur-unsur dalam raw material yang terdapat di dalam sampel, sehingga memberikan informasi mengenai komposisi kimia yang diuji. Pengujian ini juga digunakan untuk menganalisis distribusi unsur-unsur penyusun material $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ di dalam sampel. EDS bekerja dengan mendeteksi sinar-X karakteristik yang dipancarkan oleh atom-atom dalam sampel ketika ditembakkan dengan berkas elektron, sehingga memungkinkan identifikasi kualitatif dan kuantitatif dari unsur-unsur yang hadir. EDS memungkinkan analisis distribusi unsur-unsur penyusun

material di dalam sampel, sehingga dapat dilihat bagaimana perubahan nilai x mempengaruhi homogenitas dan komposisi material. Berikut ini informasi yang diberikan dari pengujian EDS ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Komposisi Penyusun Unsur Pada Sampel $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$

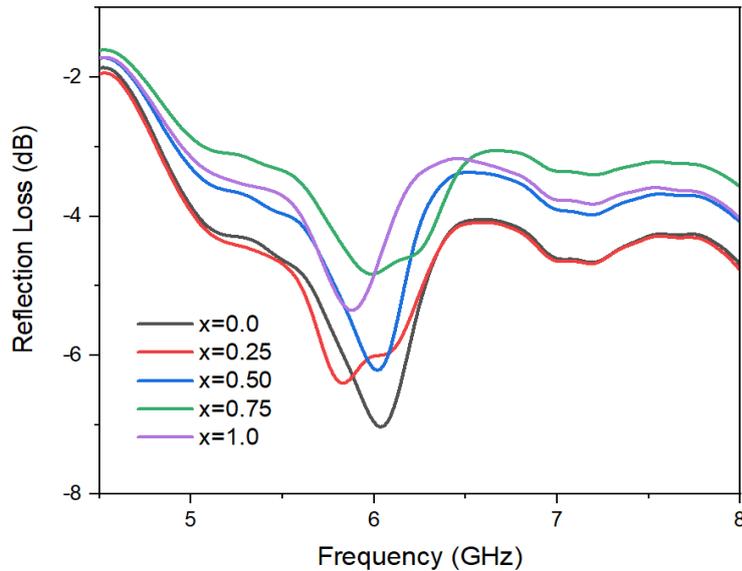
Sampel	Unsur	Berat %	Atom %
CuMnO_3	Cu	38.18	20.53
	Mn	37.98	23.62
	O	16.89	36.07
	C	6.95	19.77
Total		100	100
$\text{La}_{0.25}\text{Cu}_{0.75}\text{MnO}_3$	La	26.42	7.54
	Cu	26.11	16.27
	Mn	26.52	19.14
	O	14.68	36.37
	C	6.26	20.66
Total		100	100
$\text{La}_{0.50}\text{Cu}_{0.50}\text{MnO}_3$	La	38.17	9.23
	Cu	14.89	7.87
	Mn	17.54	10.72
	O	14.42	30.28
	C	14.98	41.90
Total		100	100
$\text{La}_{0.75}\text{Cu}_{0.25}\text{MnO}_3$	La	34.29	8.50
	Cu	10.19	5.52
	Mn	25.85	16.20
	O	21.36	45.97
	C	8.31	23.82
Total		100	100
LaMnO_3	La	58.59	20.25
	Mn	22.62	19.77
	O	15.19	45.58
	C	3.60	14.40
Total		100	100

Dari Tabel 4.2 Hasil analisis EDS yang diperoleh memberikan informasi terperinci mengenai komposisi unsur dalam sampel $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ untuk setiap

variasi nilai x . Data yang disajikan menunjukkan rentang nilai x dari 0 hingga 1, dengan tren perubahan komposisi yang konsisten. Seiring dengan meningkatnya nilai x , terjadi penurunan kandungan Cu secara bertahap, sementara kandungan La meningkat secara proporsional. Pola ini mengindikasikan bahwa substitusi ion La terhadap Cu dalam struktur material berlangsung sesuai dengan variasi komposisi yang dirancang, sehingga mengonfirmasi keberhasilan sintesis material dengan proporsi yang dapat dikendalikan.

4.4 Hasil Karakterisasi *Vector Network Analyzer* (VNA)

Penyerapan gelombang mikro merupakan salah satu sifat penting yang menjadi perhatian dalam karakterisasi material, terutama untuk aplikasi seperti peredam gelombang elektromagnetik (*microwave absorber*). Material $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ memiliki potensi besar dalam aplikasi ini karena struktur kristalnya yang unik, yang dapat dimodifikasi melalui variasi komposisi x untuk mengoptimalkan sifat penyerapan gelombang. Pada penelitian ini, karakterisasi menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA) dilakukan untuk menentukan hubungan antara nilai *Reflection Loss* (RL) dalam dB dan frekuensi gelombang mikro (GHz) dalam rentang 5–8 GHz. Grafik yang dihasilkan memberikan gambaran tentang efisiensi material dalam menyerap gelombang elektromagnetik berdasarkan variasi komposisi La dan Cu. Ketika gelombang mikro berinteraksi dengan material, tidak seluruh gelombang akan diserap melainkan sebagian ada yang melewatinya (Nasution & Astuti, 2012). Serapan gelombang mikro disebabkan oleh kecocokan impedansi, yang ditunjukkan oleh *reflection loss*. Mekanisme resonansi spin magnetik terjadi antara gelombang mikro dan bahan (Yunasfi dkk., 2018). Nilai RL yang lebih negatif menunjukkan efisiensi penyerapan yang lebih tinggi, dengan posisi puncak resonansi memberikan informasi mengenai frekuensi kerja optimal material tersebut. Berikut ini disajikan grafik hubungan antara *Reflection Loss* (RL) dan frekuensi untuk material $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ dengan variasi nilai x dari 0 hingga 1.



Gambar 4.18 Kurva Penyerapan Gelombang Elektromagnetik Material $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ ($x=0.0; 0.25; 0.50; 0.75$ dan 1.0)

Gambar 4.19 menunjukkan bahwa setiap variasi terjadi penurunan yang rentang frekuensinya hampir sama meski nilai *reflection loss* nya berbeda. Pada gambar diatas dapat dilihat penyerapan maksimumnya berada pada rentang yang hampir sama yaitu 5-6 GHz. Dalam pengujian, setiap sampel diuji pada jangkauan pita C dengan rentang frekuensi 4-8 GHz dan *reflection loss* yang diambil di S_{22} . Hasil karakterisasi VNA pada material $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ menunjukkan bahwa variasi nilai x mempengaruhi sifat penyerapan gelombang elektromagnetik, yang direpresentasikan melalui *reflection loss*. Dari pola tersebut, dapat dilihat bahwa pada $x=0.0$ material memiliki nilai RL di $-7,06$ dB, menunjukkan bahwa persen absorpsi (*through power*) material ini mampu menyerap hingga 80.33% gelombang mikro. Ketika nilai x meningkat menjadi 0.25 , nilai RL sedikit menurun menjadi -6.49 dB dimana persen absorpsi (*through power*) material ini mampu menyerap hingga 77.58% gelombang mikro. Saat variasi $x=0.50$ RL menjadi -6.47 dB dengan persen absorpsi (*through power*) dimana mampu menyerap hingga 77.47% . Pada $x=0.75$, nilai RL lebih rendah lagi di -5.03 dB, dilihat dari persen absorpsi (*through power*) material ini mampu menyerap hingga 67% gelombang mikro. Dari setiap kenaikan variasi x menunjukkan bahwa dominasi La semakin mengurangi efisiensi kemampuan material untuk menyerap gelombang mikro. Namun, pada

$x=1.0$ dimana tidak terdapat ion Cu nilai RL nya lebih sebesar dibandingkan $x=0.75$ yaitu -6.09 dB, dimana persen absorpsi (*through power*) material ini mampu menyerap hingga 74% gelombang mikro meskipun tetap lebih rendah dibandingkan $x=0$.

Tabel 4.3 Hasil Penyerapan Gelombang Mikro

Komposisi (x)	Frekuensi (GHz)	<i>Reflection Loss</i> (dB)	<i>Through Power</i> (%)
0.0	6.05	-7.06	80.33
0.25	5.89	-6.49	77.58
0.50	6	-6.47	77.47
0.75	5.99	-5.03	68.60
1.0	5.97	-6.09	75.40

Secara keseluruhan, data ini menunjukkan bahwa CuMnO_3 ($x=0$) memiliki kemampuan penyerapan gelombang elektromagnetik terbaik dengan struktur kristal yang lebih sederhana dan ukuran partikel yang lebih besar. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun ukuran partikel kecil dapat meningkatkan luas permukaan, struktur kristal dan parameter kisi yang stabil atau lebih teratur juga berperan penting dalam meningkatkan efisiensi penyerapan gelombang mikro. Sedangkan campuran La dan Cu cenderung menurunkan efisiensi penyerapan. Dominasi La pada x tinggi ($x=0,75$ dan $x=1,0$) menghasilkan sifat penyerapan gelombang yang lebih rendah dibandingkan dengan CuMnO_3 . Hal ini mengindikasikan bahwa komposisi Cu berperan penting dalam meningkatkan sifat penyerap gelombang pada material ini. Berdasarkan hasil karakterisasi menggunakan VNA pada material $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$, variasi nilai x memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai *Reflection Loss* (RL) pada rentang frekuensi 5–8 GHz.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis hasil dan pembahasan yang telah dikaji pada bab sebelumnya, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Sintesis material $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ dengan variasi $x=0.0, 0.25, 0.50, 0.75,$ dan 1.0 sebagai kandidat bahan penyerap gelombang mikro telah berhasil dilakukan menggunakan metode *milling*. Dari hasil *refinement* data XRD menunjukkan bahwa material $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ memiliki struktur kristal yang bervariasi tergantung pada nilai x . Pada $x=0.0$, fasa yang dominan adalah CuMnO_3 dengan struktur kubik. Dengan meningkatnya nilai x , fasa LaCuMnO_3 dengan struktur trigonal menjadi lebih dominan, dan pada $x=1.0$, fasa LaMnO_3 dengan struktur trigonal yang terbentuk.
2. Morfologi partikel yang diamati dengan SEM menunjukkan distribusi ukuran partikel yang tidak seragam dengan kecenderungan penurunan ukuran partikel seiring meningkatnya kandungan La. Dari hasil analisis SEM didapatkan ukuran partikel dengan rentang 400-700 nm, dimanaa ukuran paling kecil berada pada $x=1.0$ yaitu 419.001 nm.
3. Pengujian VNA menunjukkan bahwa kemampuan penyerapan gelombang mikro material $\text{La}_x\text{Cu}_{(1-x)}\text{MnO}_3$ sangat dipengaruhi oleh variasi x . Material dengan $x=0.0$ (CuMnO_3) menunjukkan kemampuan penyerapan terbaik dengan nilai *reflection loss* (RL) mencapai -7.06 dB dan material ini mampu menyerap hingga 80.33% gelombang mikro. Peningkatan nilai x secara umum menurunkan kemampuan penyerapan, dengan nilai RL terendah -5.03 dB pada $x=0.75$. Namun, pada $x=1.0$, kemampuan penyerapan sedikit meningkat menjadi -6.09 dB.

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa substitusi La pada CuMnO_3 belum mencapai peningkatan penyerapan gelombang mikro yang

signifikan. Yang dimana substitusi La pada material CuMnO_3 ini mengurangi efisiensi penyerapan gelombang mikro. Hal ini ditunjukkan oleh serangkaian data eksperimental yang diperoleh, di mana terjadi penurunan signifikan pada nilai koefisien penyerapan gelombang mikro seiring dengan peningkatan konsentrasi Lantanum yang disubstitusikan

5.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya, disarankan untuk menggunakan substitusi selain ion La guna membandingkan serta meningkatkan kemampuan penyerapan gelombang mikro. Untuk memaksimalkan hasil sintesis disarankan menggunakan metode lain selain milling seperti kopresipitasi. Dan juga ditambahkan dengan menggunakan karakterisasi lain seperti TEM untuk mengetahui defek atau ketidaksempurnaan yang dapat mempengaruhi sifat penyerapannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, W. A., Yunasfi, Y., Mashadi, M., Winatapura, D. S., Mulyawan, A., Sarwanto, Y., Gunanto, Y. E., & Taryana, Y. (2012). We are IntechOpen , The World ' s Leading Publisher Of Open Access Books Built by Bcientists , For Ccientists TOP 1 % . *Intech, i(tourism)*, 13.
<https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2011.12.014>
- Admi, R. I., Saptari, S. A., Tjahjono, A., Rahman, I. N., & Adi, W. A. (2021). Synthesis and characterization microwave absorber properties of $\text{La}_{0.7}(\text{Ca}_{1-x}\text{Sr}_x)_{0.3}\text{MnO}_3$ prepared by Sol-Gel method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1816(1), 0–7. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1816/1/012091>
- Agilent. (2004). Agilent Network Analyzer Basics. USA: Agilent Technologies, Inc., 1–94. <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5965-7917E.pdf>
- Ahmiatri Saptari, S. (2015). Permeabilitas dan Permitivitas $(\text{La,Ba})(\text{Mn,Ti})\text{O}_3$ sebagai bahan penyerap gelombang mikro. In *Al-Fiziya: Journal of Materials Science, Geophysics, Instrumentation and Theoretical Physics* (Vol. 10, Issue 1, pp. 34–39).
- Apriatin. (2023). *Analisis Sifat Penyerap Gelombang Elektromagnetik Pada Material LaMnO_3 Dengan Doping Ca, Ba, dan Sr*. 77.
- Awalliyah, A., Ikhwan, H., Nugiasari, V., & Zainul, R. (2018). Prinsip Dasar Milling Dalam Sintesis Material. *Laboratorium Kimia, FMIPA, Universitas Negeri Padang, Indonesia*, 1(21), 1–15. <https://osf.io/preprints/inarxiv/9xsqe/>
- Basir, N. D. (2015). *The transport membrane permeability in a mixture of rare earth elements (La, Nd, Gd, Lu) using the carrier (TBP: D2EHPA) through Supported Liquid Membrane technique*. 57, 1–11.
- Bhattacharya, P., Fornari, R., & Kamimura, H. (2011). Comprehensive semiconductor science and technology. *Comprehensive Semiconductor Science and Technology*, 1–6, 1–647. <https://doi.org/10.1016/c2009-1-28364-x>
- Burnikell, J. (2016). S-parameter an introduction. *Www.Polarinstruments.Com*,. <https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>
- Crane, C. A., Pantoya, M. L., Weeks, B. L., & Saed, M. (2014). The effects of particle size on microwave heating of metal and metal oxide powders. *Powder Technology*, 256, 113–117. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.02.008>
- Didik, L. A. (2020). Penentuan Ukuran Butir Kristal $\text{CuCr}_{0.98}\text{Ni}_{0.02}\text{O}_2$ Dengan Menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) dan Scanning Electron Microscope (SEM). *Indonesian Physical Review*, 3(1), 6–14.
<https://doi.org/10.29303/ipr.v3i1.37>
- Dixon. (2012). Theory and Application of RF/Microwave Absorbers. *New York: Emerson & Cuming Microwave Products*.

- Hady, D. D., Nugroho, B. S., & Nur, L. O. (2019). Analisis Penyerap Gelombang Elektromagnetik Berbagai Bentuk Patch Berbasis Artificial Magnetic Conductor. *E-Proceeding of Engineering: Vol. 6, No. 2, 6(2)*, 3301–3306.
- Hakim, L., Dirgantara, M., & Nawir, M. (2019). Karakterisasi Struktur Material Pasir Bongkahan Galian Golongan C Dengan Menggunakan X-Ray Diffraction (X-RD) Di Kota Palangkaraya. *Jurnal Jejaring Matematika Dan Sains, 1(1)*, 44–51. <https://doi.org/10.36873/jjms.v1i1.136>
- Hastiawan, I., Firmansyah, F., Juliandri, J., Eddy, D. R., & Noviyanti, A. R. (2016). Pemisahan Lanthanum Dari Limbah Hasil Pengolahan Timah Dengan Menggunakan Metode Pengendapan Bertingkat. *Chimica et Natura Acta, 4(2)*, 93. <https://doi.org/10.24198/cna.v4.n2.10678>
- Hendriana, P., Anggraeni, A., Hardianto, A., & Bahti, H. H. (2023). Penggunaan Agen Pengendap terhadap Pengendapan Lantanum dan Neodimium. *Jurnal Sains Dan Kesehatan, 5(3)*, 420–429. <https://doi.org/10.25026/jsk.v5i3.1723>
- Hidayat, M. I., & Suprpto, S. (2017). Limbah Pasta Baterai dengan Metode Elektrolisis. *Jurnal Sains Dan Seni ITS, 6(2)*, 2–6.
- Hutabarat, G. S., Qodir, D. T., Setiawan, H., Akbar, N., & Noviyanti, A. R. (2019). Sintesis Komposit Hidroksiapatit-Lantanum Oksida (HA-La₂O₃) dengan Metode Hidrotermal secara In-Situ dan Ex-Situ. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia, 15(2)*, 287. <https://doi.org/10.20961/alchemy.15.2.32062.287-301>
- Kurnia, A., & Sudarti. (2021). Analisis Keuntungan Dan Kendala Pemanfaatan Gelombang Mikro (Micro Wave) Pada Pesawat Radar. *Jurnal Ikatan Alumni Fisika Universitas Negeri Medan, 8(3)*, 36–41.
- Lasiman, E. T., Naufal, F. D., Anshor, M. F., Syafira, A. Z. F., Setianto, D., Ubaidillah, A., Rendy, B., Komalig, R. W. M., Nuruddin, A., Saputro, A. G., & Shukri, G. (2022). DFT study of lithium diffusion in pristine La₂O₃. *Journal of Physics: Conference Series, 2243(1)*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2243/1/012108>
- Lestari, W., & Mashuri. (2015). Penyerap Gelombang Mikro pada X-Band Berbahan Magnetit (Fe₃O₄) yang Dibuat dengan Metode Penggilingan. *Jurnal Sains Dan Seni, 2(23)*, 1–5.
- Liao, S. Y. (2011). Microwave Devices and Circuits. *Electronics and Power, 26(7)*, 592. <https://doi.org/10.1049/ep.1980.0308>
- Madiawati, H., Rahmansyah, R., & Simanjuntak, A. B. (2023). Antena Mikrostrip Multilayer Parasitik pada Frekuensi C Band Radar Cuaca. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika, 11(4)*, 933. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v11i4.933>
- Marki microwave. (2016). *Return Loss to VSWR Conversion Table. 100*, 95037. [https://www.markimicrowave.com/Assets/data/return loss to vswr.pdf](https://www.markimicrowave.com/Assets/data/return%20loss%20to%20vswr.pdf)
- Mulyawan, A., Ari Adi, W., & Yunasfi. (2018). Raman spectroscopy study, magnetic and microwave absorbing properties of modified barium strontium

- monoferrite $Ba_{(1-x)}Sr_xFe_2O_4$. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 14(1), 73–77.
- Mulyawan, A., Yusnafi, & Adi, wisnu ari. (2017). Pengaruh Waktu Milling Terhadap Mikrostruktur dan Sifat Magnetik Komposit $NiFe_2O_4$ - $NdFeO_3$. *Metalurgi*, 3(2017), 4–6.
- Muttaqin, R., Sakti, W., Prayitno, & Nurbaiti, U. (2023). Pengembangan Buku Panduan Teknik Karakterisasi Material: X-ray Diffractometer (XRD) Panalytical Xpert3 Powder. *Indonesian Journal of Laboratory*, 6(1), 9–16.
- Nasution, E. L. Y., & Astuti. (2012). *Sintesis Nanokomposit PANi/Fe₃O₄ Sebagai Penyerap Magnetik Pada Gelombang Mikro*. 1(1), 37–44.
- Pattanayak, S. S., Laskar, S. H., & Sahoo, S. (2021). Progress on agricultural residue-based microwave absorber: a review and prospects. *Journal of Materials Science*, 56(6), 4097–4119. <https://doi.org/10.1007/s10853-020-05557-8>
- Priyono, Abidin, N., & Nurhasanah, I. (2019). Pengukuran permitivitas kompleks material magnetik menggunakan metode S-parameter dengan pendekatan Nicolson Rose-Weir. *Berkala Fisika*, 22(2), 56–61.
- Raksa, P., Nilphai, S., Gardchareon, A., & Choopun, S. (2009). Copper oxide thin film and nanowire as a barrier in ZnO dye-sensitized solar cells. *Thin Solid Films*, 517(17), 4741–4744. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2009.03.027>
- 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), 16–22. <https://doi.org/10.24252/jft.v9i1.25470>
- Rumiyanti, L., Wandira, I., Adi, W. A., Junaidi, & Sembiring, S. (2021). Structure Analysis Of Electromagnetic Waves Absorbing Material a Lanthanum Manganite System Of $(La_{0.8}Ba_{0.2})(Mn_{(1-x)}Zn_xFe_{(1-x)/2})O_3$. *Journal of Physics: Conference Series*, 1751(1), 2–10. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1751/1/012069>
- Sarwanto, Y., Anggraini, T., Adi, W. A., & Yunasfi, Y. (2019). Pengaruh Penambahan La Terhadap Struktur Dan Reflection Loss Gelombang Mikro Pada Pseudobrookite $Fe_{2-x}La_xTiO_5$. *Jurnal Sains Dan Teknologi Nuklir Indonesia*, 20(2), 79. <https://doi.org/10.17146/jstni.2019.20.2.5381>
- Sasongko, M. I. N. (2022). *Karakterisasi Fasa dan Morfologi Serbuk Nano Manganese Oxide (MnO) dengan Variasi Sintering Time*. 18, 38–47.
- Sujatno, A., Salam, R., Bandriyana, B., & Dimiyati, A. (2017). Studi Scanning Electron Microscopy (Sem) Untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir*, 9(1), 44. <https://doi.org/10.17146/jfn.2015.9.1.3563>
- Sundari, C. D. D., Rahayu, R. F., & Windayani, N. (2018). Sintesis dan Karakterisasi Nanostruktur Tembaga Oksida dengan Metode Hidrotermal. *Al-Kimiya*, 5(1), 48–51. <https://doi.org/10.15575/ak.v5i1.3725>

- Syamsir, A., & Astuti. (2012). Sintesis Nanokomposit PANi/TiO₂/karbon sebagai penyerap gelombang mikro. *Jurnal Fisika Unand*, 1(1), 45–52.
- Wardiyati, S., Ari Adi, W., Didin Sahidin Winatapura Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju, dan, Puspiptek, K., & selatan, T. (2018). Sintesis dan Karakterisasi Microwave Absorbing Material Berbasis Ni-SiO₂ dengan Metode Sol-Gel. *Jurnal Fisika*, 8(2), 51–59.
- Waseda, Y., Shinoda, K., & Eiichiro Matsubara. (2011). X-ray Diffraction Crystallography. In *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*.
- Wei, B., Zhou, J., Yao, Z., Haidry, A. A., Qian, K., Lin, H., Guo, X., & Chen, W. (2020). Excellent microwave absorption property of nano-Ni coated hollow silicon carbide core-shell spheres. *Applied Surface Science*, 508(September 2019), 145261. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.145261>
- Wigayati, E. M., & Purawiardi, R. I. (2015). Analisis Pengaruh Mechanical Milling Menggunakan Planetary Ball Terhadap Struktur Kristal dan Struktur Mikro Senyawa LiBOB. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 16(3), 126–132.
- Wijayanto, S. O., & Bayuseno, A. . (2014). Analisis Kegagalan Material Pipa Ferrule Nickel Alloy N06025 Pada Waste Heat Boiler Akibat Suhu Tinggi Berdasarkan Pengujian : Mikrografi Dan Kekerasan. *Jurnal Teknik Mesin Undip*, 2(1), 33–39.
- X, B. L. X. M., Manaf, A., & Adi, A. (2013). Analisis Struktur Single Phase Sistem Ba_{1-x}La_xMnO₃ (0 < x < 0,3) (Azwar Manaf). 14(2), 136–141.
- Xu, M., & Bao, S. (2011). *Nanostructured MnO 2 for Electrochemical Capacitor*.
- Yoon, K. H., Choi, W. J., & Kang, D. H. (2000). Photoelectrochemical properties of copper oxide thin films coated on an n-Si substrate. *Thin Solid Films*, 372(1), 250–256. [https://doi.org/10.1016/S0040-6090\(00\)01058-0](https://doi.org/10.1016/S0040-6090(00)01058-0)
- Yunasfi, Y., Awaliyah, N., Awaliyah, N., & Hendrawati, H. (2018). Karakterisasi Sifat Magnetik Dan Serapan Gelombang Mikro Ni_(0,5-x)La_xFe_{2,5}O₄ Hasil Sintesis Dengan Metode Ko-Presipitasi. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 19(4), 169. <https://doi.org/10.17146/jsmi.2018.19.4.4962>
- Yunasfi, Y., Mashadi, M., Mulyawan, A., & Adi, W. A. (2020). Synthesis of NiLa_xFe_(2-x)O₄ System as Microwave Absorber Materials by Milling Technique. *Journal of Electronic Materials*, 49(12), 7272–7278. <https://doi.org/10.1007/s11664-020-08489-w>
- Zeng, X., Cheng, X., Yu, R., & Stucky, G. D. (2020). Electromagnetic Microwave Absorption Theory and Recent Achievements in Microwave Absorbers. *Carbon*, 168, 606–623. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2020.07.028>

LAMPIRAN

Lampiran 1: Perhitungan Stokiometri

Elemen	Ar
La	138.91
Cu	63.55
Mn	54.94
O	16

1. CuMnO_3

$$\begin{aligned}\text{Mol} &= \frac{10 \text{ gram}}{MR \text{ Cu} + \text{Mn} + \text{O}_3} \\ &= \frac{10 \text{ gram}}{63.55 + 54.94 + 16(3)} \\ &= \frac{10 \text{ gram}}{166.49} = 0.0601\end{aligned}$$

a. CuO

$$\begin{aligned}\text{Berat} &= \frac{1}{1} \times a \text{ mol} \times MR \text{ CuO} \\ &= 1 \times 0.0601 \times 63.55 + 16 \\ &= 4.7781 \text{ Gram}\end{aligned}$$

b. MnO_2

$$\begin{aligned}\text{Berat} &= \frac{1}{1} \times a \text{ mol} \times MR \text{ MnO}_2 \\ &= 1 \times 0.0601 \times 54.94 + 16(2) \\ &= 5.2219 \text{ Gram}\end{aligned}$$

2. $2\text{La}_{0.25}\text{Cu}_{0.75}\text{MnO}_3$

$$\begin{aligned}\text{Mol} &= \frac{10 \text{ gram}}{MR \text{ La}_{0.25} + \text{Cu}_{0.75} + \text{Mn} + \text{O}_3} \\ &= \frac{10 \text{ gram}}{34.7275 + 47.6625 + 54.94 + 16(3)} \\ &= \frac{10 \text{ gram}}{185.33} = 0,0540\end{aligned}$$

a. La_2O_3

$$\begin{aligned}\text{Berat} &= \frac{0.25}{2} \times a \text{ mol} \times \text{MRLa}_2\text{O}_3 \\ &= 0.125 \times 0.054 \times 138.91(2) + 16(3) \\ &= 2.1993 \text{ Gram}\end{aligned}$$

b. CuO

$$\begin{aligned}\text{Berat} &= \frac{1.5}{1} \times a \text{ mol} \times \text{MR CuO} \\ &= 0.75 \times 0.0540 \times 63.55 + 16 \\ &= 3.2218 \text{ Gram}\end{aligned}$$

c. MnO_2

$$\begin{aligned}\text{Berat} &= \frac{2}{2} \times a \text{ mol} \times \text{MR MnO}_2 \\ &= 1 \times 0.054 \times 54.94 + 16(2) \\ &= 4.6948 \text{ Gram}\end{aligned}$$

3. $2\text{La}_{0.5}\text{Cu}_{0.5}\text{MnO}_3$

$$\begin{aligned}\text{Mol} &= \frac{10 \text{ gram}}{\text{MRLa}_{0.5} + \text{Cu}_{0.5} + \text{Mn} + \text{O}_3} \\ &= \frac{10 \text{ gram}}{69.455 + 31.775 + 54.94 + 16(3)} \\ &= \frac{10 \text{ gram}}{204.17} = 0.0489\end{aligned}$$

a. La_2O_3

$$\begin{aligned}\text{Berat} &= \frac{0.5}{2} \times a \text{ mol} \times \text{MR La}_2\text{O}_3 \\ &= 0.25 \times 0.0489 \times 138.91(2) + 16(3) \\ &= 3.9832 \text{ Gram}\end{aligned}$$

b. CuO

$$\text{Berat} = \frac{1}{2} \times a \text{ mol} \times \text{MR CuO}$$

$$= 0.5 \times 0.0489 \times 63.55 + 16$$

$$= 1.9450 \text{ Gram}$$

c. MnO₂

$$\text{Berat} = \frac{2}{2} \times a \text{ mol} \times MR \text{ MnO}_2$$

$$= 1 \times 0.0489 \times 54.94 + 16(2)$$

$$= 4.251 \text{ Gram}$$

4. 2La_{0.75}Cu_{0.25}MnO₃

$$\text{Mol} = \frac{10 \text{ gram}}{MR_{La_{0.75} + Cu_{0.25} + Mn + O_3}}$$

$$= \frac{10 \text{ gram}}{104.1825 + 15.8875 + 54.94 + 16(3)}$$

$$= \frac{10 \text{ gram}}{223.01} = 0.0448$$

a. La₂O₃

$$\text{Berat} = \frac{0.75}{2} \times a \text{ mol} \times MR_{La_2O_3}$$

$$= 0,375 \times 0.0448 \times 138.91(2) + 16(3)$$

$$= 5.4738 \text{ Gram}$$

b. CuO

$$\text{Berat} = \frac{0.25}{2} \times a \text{ mol} \times MR \text{ CuO}$$

$$= 0.125 \times 0.0448 \times 63.55 + 16$$

$$= 0.8910 \text{ Gram}$$

c. MnO₂

$$\text{Berat} = \frac{2}{2} \times a \text{ mol} \times MR \text{ MnO}_2$$

$$= 1 \times 0.0448 \times 5494 + 16(2)$$

$$= 3.8949 \text{ Gram}$$

5. 2LaMnO_3

$$\begin{aligned} \text{Mol} &= \frac{10 \text{ gram}}{MR \text{ La} + \text{Mn} + \text{O}_3} \\ &= \frac{10 \text{ gram}}{138.91 + 54.94 + 16(3)} \\ &= \frac{10 \text{ gram}}{241.81} = 0.04135 \end{aligned}$$

a. La_2O_3

$$\begin{aligned} \text{Berat} &= \frac{1}{2} \times a \text{ mol} \times MR \text{ La}_2\text{O}_3 \\ &= 1 \times 0.04135 \times 138.91(2) + 16(3) \\ &= 6.7363 \text{ Gram} \end{aligned}$$

b. MnO_2

$$\begin{aligned} \text{Berat} &= \frac{2}{2} \times a \text{ mol} \times MR \text{ MnO}_2 \\ &= 1 \times 0.04135 \times 54.94 + 16(2) \\ &= 3,5950 \text{ Gram} \end{aligned}$$

Lampiran 2: Perhitungan % penyerapan gelombang mikro

1. X= 0

$$\begin{aligned} \text{RL} &= 20 \text{ Log } \left| \frac{Z_{in}-Z_0}{Z_{in}+Z_0} \right| & \% &= (1 - Z^2) \times 100 \\ -7.06 &= 20 \text{ Log } |Z| & \% &= (1 - 0.4436^2) \times 100 \\ \text{Log } |Z| &= \frac{-7.06}{20} & \% &= (1 - 0.1967) \times 100 \\ |Z| &= 10^{-0.353} & \% &= 0.8033 \times 100 \\ |Z| &= 0.4436 & \% &= 80.33 \end{aligned}$$

2. X= 0.25

$$\begin{aligned} \text{RL} &= 20 \text{ Log } \left| \frac{Z_{in}-Z_0}{Z_{in}+Z_0} \right| & \% &= (1 - Z^2) \times 100 \\ -6.49 &= 20 \text{ Log } |Z| & \% &= (1 - 0.4736^2) \times 100 \\ \text{Log } |Z| &= \frac{-6.49}{20} & \% &= (1 - 0.2242) \times 100 \\ |Z| &= 10^{-0.3245} & \% &= 0.7758 \times 100 \\ |Z| &= 0.4736 & \% &= 77.58 \end{aligned}$$

3. X= 0.50

$$\begin{aligned} \text{RL} &= 20 \text{ Log } \left| \frac{Z_{in}-Z_0}{Z_{in}+Z_0} \right| & \% &= (1 - Z^2) \times 100 \\ -6.47 &= 20 \text{ Log } |Z| & \% &= (1 - 0.4747^2) \times 100 \\ \text{Log } |Z| &= \frac{-6.47}{20} & \% &= (1 - 0.2253) \times 100 \\ |Z| &= 10^{-0.3235} & \% &= 0.7747 \times 100 \\ |Z| &= 0.4747 & \% &= 77.47 \end{aligned}$$

4. X= 0.75

$$\begin{aligned} \text{RL} &= 20 \text{ Log } \left| \frac{Z_{in}-Z_0}{Z_{in}+Z_0} \right| & \% &= (1 - Z^2) \times 100 \\ -5.03 &= 20 \text{ Log } |Z| & \% &= (1 - 0.5604^2) \times 100 \\ \text{Log } |Z| &= \frac{-5.03}{20} & \% &= (1 - 0.3140) \times 100 \\ |Z| &= 10^{-0.2515} & \% &= 0.6860 \times 100 \\ |Z| &= 0.5604 & \% &= 68.60 \end{aligned}$$

5. $X=1$

$$RL = 20 \text{ Log } \left| \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \right|$$

$$-6.09 = 20 \text{ Log } |Z|$$

$$\text{Log } |Z| = \frac{-6.09}{20}$$

$$|Z| = 10^{-0.3045}$$

$$|Z| = 0.4960$$

$$\% = (1 - Z^2) \times 100$$

$$\% = (1 - 0.4960^2) \times 100$$

$$\% = (1 - 0.2460) \times 100$$

$$\% = 0.7540 \times 100$$

$$\% = 75.40$$

Lampiran 3: Alat dan Bahan Penelitian



Spatula



Kertas Timbang



Neraca Analitik



Jar



Ball Milling



High Energy Milling (HEM)



Oven



Hydraulic Press



Furnace



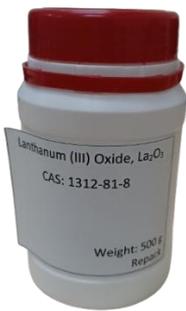
Crucible



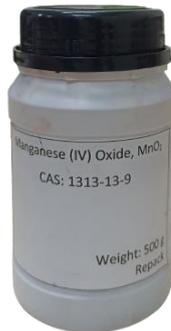
Mortar dan Alu



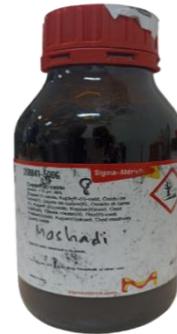
Mesh 200



Lanthanum Oxide



Manganese Oxide



Copper Oxide



Ethanol



Alkohol



VNA
(Vector Network Analyzer)



XRD
(X-Ray Diffraction)



SEM
(Scanning Electron
Microscope)

Lampiran 4: Dokumentasi Penelitian



