

**EFEK KONSETRASI La TERHADAP STRUKTUR DAN
KARAKTERISTIK SERAPAN GELOMBANG MIKRO SISTEM
 $\text{MnLa}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$**

(Skripsi)

Oleh

Desi Nurhayani



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

ABSTRAK

EFEK KONSENTRASI La TERHADAP STRUKTUR DAN KARAKTERISTIK SERAPAN GELOMBANG MIKRO SISTEM $\text{MnLa}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$

Oleh

Desi Nurhayani

Telah dilakukan analisis fasa sistem $\text{MnLa}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$ ($x = 0,010; 0,015; 0,020; \text{ dan } 0,025$) sebagai bahan penyerap gelombang mikro hasil sintesis dengan menggunakan metode reaksi padatan. Sistem $\text{MnLa}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$ disintesis dengan mencampurkan serbuk MnO_2 , Fe_2O_3 dan La_2O_3 dalam perbandingan molnya dengan menggunakan metode reaksi padatan dan kemudian disintering pada suhu $1200\text{ }^\circ\text{C}$ selama 5 jam. Identifikasi fasa menggunakan XRD (*X-ray diffraction*) menunjukkan terbentuknya fasa tunggal untuk semua komposisi mangan ferit yang didoping dengan atom La yaitu struktur spinel dengan *space group* $Fd3m$. Pengamatan morfologi dengan SEM menunjukkan bahwa penambahan atom La menyebabkan ukuran partikel antara 200-400 nm. Serapan gelombang mikro yang diukur dengan VNA (*Vector Network Analyzer*) menunjukkan bahwa mangan ferit yang didoping dengan atom La dapat meningkatkan kemampuan menyerap gelombang mikro dari 94.55% sampai 96.50%. Dengan demikian, komposisi $x = 0,025$ ($\text{MnLa}_{0,025}\text{Fe}_{1,975}\text{O}_4$) merupakan komposisi terbaik yang dapat dipromosikan sebagai material baru untuk diaplikasikan sebagai bahan penyerap gelombang mikro.

Kata Kunci: Mangan Ferit, Metode Reaksi Padatan, Teknik *Milling*, penyerapan gelombang.

ABSTRACT

EFFECT OF La CONCENTRATION ON STRUCTURE AND MICROWAVE ABSORPTION CHARACTERISTIC OF MnLa_xFe_(2-x)O₄ SYSTEM

By

Desi Nurhayani

Phase analysis of MnLa_xFe_(2-x)O₄ system as candidate of microwave absorber materials have been carried out. MnLa_xFe_(2-x)O₄ (x = 0,010; 0,015; 0,020; and 0,025) using the solid reaction method. System MnLa_xFe_(2-x)O₄ was synthesized by mixing the power MnO₂, Fe₂O₃ and La₂O₃ in mole ratio using the solid state reaction method and then sintering at 1200 °C for 5 h. Phase identification with XRD (X-ray diffraction) shows that a single phase of manganese ferrite doped by lanthanum has been formed in all compositions, it has spinel structure with space group Fd3m and lattice parameter decrease with increasing x composition. Morphological observation by Scanning Electron Microscope (SEM) show that the increase of La atom the particle size of the compound powder rapidly becomes bigger, homogeneous and not uniform powder with particle size of 200-400 nm. The result of microwave absorbing properties which measured by using VNA (Vector Network Analyzer) shows that manganese ferrite doped by lanthanum will enhance the ability to absorb microwave from 94.55% up to 96.50%. Thus, the composition of x = 0,025 (MnLa_{0,025}Fe_{1,975}O₄) posses to be the best composition as a promising new material in microwave absorbing material application.

Keywords: Manganese Ferrite, solid state reaction method, milling technique, microwave absorption

**EFEK KONSENTRASI La TERHADAP STRUKTUR DAN
KARAKTERISTIK SERAPAN GELOMBANG MIKRO SISTEM
 $\text{MnLa}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$**

Oleh

Desi Nurhayani

Skripsi

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar
SARJANA SAINS**

pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

Judul Skripsi : **EFEK KONSENTRASI La TERHADAP STRUKTUR DAN KARAKTERISTIK SERAPAN GELOMBANG MIKRO SISTEM $\text{MnLa}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$**

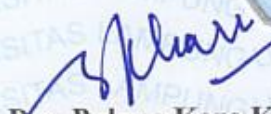
Nama Mahasiswa : **Desi Nurhayani**

Nomor Induk Mahasiswa : 1517041002

Jurusan : Fisika

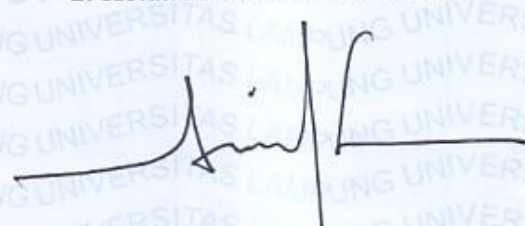
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam




Drs. Pulung Karo Karo, M.Si.
NIP. 19610723 198603 1 003


Drs. Yunasfi, M.Eng.
NIP. 19620604 198801 1 001

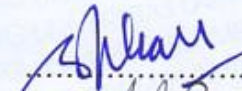
2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA


Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.
NIP. 19710909 200012 1 001

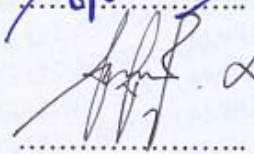
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Drs. Pulung Karo Karo, M.Si.



Sekretaris : Drs. Yunasfi, M.Eng.



**Penguji
Bukan Pembimbing : Prof. Posman Manurung, Ph.D.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Drs. Suratman, M.Sc.
NIP. 19640604 199003 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 02 Oktober 2019

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disebut dalam daftar pustaka, selain itu saya menyatakan skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 02 Oktober 2019



Desi Nurhayani
NPM. 1517041002

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Desi Nurhayani dilahirkan di Jakarta pada tanggal 04 Desember 1997. Penulis merupakan putri pertama dari dua bersaudara pasangan Bapak Mumu Mulyadi dan Erni Yusnita.

Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SDN 1 Gunung katun, Way Kanan pada tahun 2009, Sekolah Menengah Pertama di SMPN 2 Baradatu, Way Kanan pada tahun 2012, Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Baradatu, Way Kanan pada tahun 2015. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui SNMPTN tahun 2015.

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dikegiatan kampus yaitu Himpunan Mahasiswa Fisika Unila. Penulis pernah menjadi asisten praktikum Fisika Eksperimen. Penulis melakukan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PSTBM BATAN Serpong dengan judul “Uji Ketahanan Bahan Reaktor Suhu Tinggi SS430”. Kemudian penulis melakukan penelitian “Efek Konsentrasi La terhadap Struktur dan Karakteristik Serapan Gelombang Mikro Sistem $MnLa_xFe_{(2-x)}O_4$ ” sebagai tugas akhir di jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNILA.

MOTTO

Banyak kegagalan dalam hidup ini dikarenakan orang-orang tidak menyadari betapa dekatnya mereka dengan keberhasilan saat mereka menyerah

(Thomas Alva Edison)

Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai kesanggupannya

(Q.S Al-Baqarah: 286)

In the middle of difficulty lies opportunity

(Albert Einstein)

A person who never made a mistake never tried anything new

(Albert Einstein)

PERSEMBAHAN

*Dengan Mengharapkan Ridha Allah dan Syafa'at Nabi
Muhammad SAW*

Kupersembahkan Karyaku ini untuk

*Bapak dan Ibuku tercinta
Mumu Mulyadi dan Erni Yusnita*

*Adikku Tersayang
Muhammad Ivan Firmansyah*

*Para Sahabat dan Teman-Teman Seperjuangan
Fisika Angkatan 2015*

*Almamater Tercinta
Universitas Lampung*

Terimakasih atas Pelajaran Hidup yang Kalian Berikan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan kesehatan, rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Efek Konsentrasi La terhadap Struktur dan Karakteristik Serapan Gelombang Mikro Sistem $\text{MnLa}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$. Tujuan penulisan skripsi ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar S1 dan melatih mahasiswa untuk berpikir cerdas dan kreatif dalam menulis karya ilmiah.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam skripsi ini, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua.

Bandar Lampung, 02 Oktober 2019

Desi Nurhayani

SANWACANA

Penulisan skripsi ini tentu tidak terlepas dari bantuan semua pihak yang tulus membantu, membimbing dan mendoakan. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Drs. Pulung Karo Karo, M.Si sebagai pembimbing 1 skripsi yang tulus mengajari dan membantu penulis dalam penelitian, membimbing dan memberikan pemahaman.
2. Bapak Drs. Yunasfi, M.Eng sebagai pembimbing 2 yang telah memberikan masukan dan nasehat dalam penyelesaian skripsi ini.
3. Bapak Prof. Posman Manurung, Ph.D sebagai dosen penguji yang telah memberikan masukan dan koreksi dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Bapak Drs. Suratman, M.Sc selaku Dekan FMIPA Unila.
5. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng, selaku pembimbing akademik dan Ketua Jurusan Fisika FMIPA Unila.
6. Bapak Mashadi, M.Si dan Bapak Dr. Wisnu Ari Adi yang senantiasa memberikan masukan, membimbing, dan serta memberikan motivasi dalam menyelesaikan skripsi.
7. Bapak Dr. Abu Khalid Rivai dan seluruh staf BSBM, PSTBM - BATAN Serpong yang telah banyak membantu, mengarahkan, dan membimbing selama proses penelitian.

8. Dinda Rizki Amelia, Nurul Hasanah dan Tri Agustinus dan Ketut Putra Wijaya yang menjadi tempat bertukar pikiran selama proses pengerjaan skripsi.
9. Maulina sebagai sahabat dan sekaligus saudara seperjuangan dirantau yang selalu membantu, memberi semangat, dan dukungan selama diperkuliahan.
10. Ayu Lestari adik yang selalu membantu, menghibur, dan memberi semangat selama kuliah dan dalam mengerjakan skripsi ini.
11. Terimakasih “Kece Badai” Dinda, Nurul, Anggi, Lekat, Delfi, Sri, dan Yunita teman seperjuangan yang telah membantu dan memberi dukungan dari awal kuliah sampai sekarang.
12. Terimakasih “Himamis” Dinda, Nurul, Ayu, Adel, Ami, Yosi, Desi, Nanda, Lilik dan Kiki yang telah menjadi teman selama diperkuliahan.
13. Semua pihak yang terlibat dalam penyelesaian skripsi ini.

Semoga atas segala bantuan, doa, motivasi, dan dukungan menjadi yang terbaik untuk penulis, dan kiranya semua diridhoi Allah SWT. Penulis berharap kiranya skripsi ini bermanfaat bagi semuanya.

Bandar Lampung, 02 Oktober 2019

Desi Nurhayani

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Manfaat Penelitian	6

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1	Mangan Ferit $MnLa_xFe_{(2-x)}O_4$	7
2.1.1	Karakteristik Mangan Ferit $MnLa_xFe_{(2-x)}O_4$	8
2.1.2	Struktur Kristal Mangan Ferit ($MnFe_2O_4$)	8
2.2	Lantanum	9
2.2.1	Karakteristik Lantanum	10
2.3	Gelombang Mikro	10
2.4	Penyerapan Gelombang Elektromagnetik	12
2.5	Metode <i>Solid State Reaction</i>	15
2.6	Teknik <i>Milling</i>	15
2.7	<i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	16
2.8	<i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	19
2.9	<i>Vector Network Analyzer</i> (VNA)	21

III. METODELOGI PENELITIAN

3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	23
3.2	Alat dan Bahan	23
3.2.1	Alat	23
3.2.2	Bahan	23
3.3	Prosedur Penelitian	24
3.3.1	Preparasi Bahan	24
3.3.2	Proses <i>Milling</i>	24
3.3.3	Proses Pengeringan	25
3.3.4	Proses Sintering	25
3.4	Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	26
3.5	Karakterisasi <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	26
3.6	Karakterisasi <i>Vector Network Analyzer</i> (VNA)	27
3.7	Diagram Alir Penelitian	28

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Hasil Analisis Fasa <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) dengan Variasi Nilai (0,010-0,025)	29
4.1.1	Hasil Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) dengan variasi nilai $x = 0,010$	31
4.1.2	Hasil Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) dengan variasi nilai $x = 0,015$	33
4.1.3	Hasil Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) dengan variasi nilai $x = 0,020$	35
4.1.4	Hasil Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) dengan variasi nilai $x = 0,025$	37
4.2	Hasil Uji <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	39
4.3.1	Hasil <i>Energy Dispersive Spectroscopy</i> (EDS)	41
4.3	Hasil Analisis <i>Vector Analyze Network</i> (VNA)	42

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran	46

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Struktur kubik MnFe_2O_4	8
Gambar 2.2 Spektrum gelombang elektromagnetik.....	11
Gambar 2.3 Proses pembentukan sinar-X dalam tabung elektron	17
Gambar 2.4 Proses pembentukan sinar-X	18
Gambar 2.5 Difraksi sinar-X pada bidang atom.....	18
Gambar 2.6 Skema <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	20
Gambar 2.7 <i>Vector Network Analyzer</i> (VNA).....	21
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	28
Gambar 4.1 Pola difraksi sinar-X $\text{MnLa}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$ ($x=0,0; 0,010; 0,015;$ $0,020$ dan $0,025$) hasil sintesis dengan teknik <i>milling</i>	29
Gambar 4.2 Pola difraksi sinar-X sampel $\text{MnLa}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$ ($x=0,010$)	31
Gambar 4.3 <i>Refinement</i> pola difraksi sinar-X $\text{MnLa}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$ ($x = 0,010$).....	32
Gambar 4.4 Pola difraksi sinar-X sampel $\text{MnLa}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$ ($x=0,015$)	33
Gambar 4.5 <i>Refinement</i> pola difraksi sinar-X $\text{MnLa}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$ ($x = 0,015$).....	34
Gambar 4.6 Pola difraksi sinar-X sampel $\text{MnLa}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$ ($x=0,020$)	35
Gambar 4.7 <i>Refinement</i> pola difraksi sinar-X $\text{MnLa}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$ ($x = 0,020$).....	36
Gambar 4.8 Pola difraksi sinar-X sampel $\text{MnLa}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$ ($x=0,025$)	37
Gambar 4.9 <i>Refinement</i> pola difraksi sinar-X $\text{MnLa}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$ ($x = 0,025$).....	38
Gambar 4.10 Foto SEM sampel $\text{MnLa}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$ dengan nilai $x =$ (a) 0,010; (b) 0,015; (c) 0,020 dan (d) 0,025 pada perbesaran 5000x	

yang disintering dengan suhu 1200 °C.....	39
Gambar 4.11 Hasil EDX sampel $\text{MnLa}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$ dengan variasi nilai (a) 0,010; (b) 0,015; (c) 0,020 dan (d) 0,025.....	41
Gambar 4.12 Grafik kehilangan refleksi serbuk $\text{MnLa}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$ dengan nilai ($x = 0,010; 0,015; 0,020$ dan $0,025$).....	42

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Karakteristik sifat fisik lantanum	10
Tabel 2.2 Pembagian pita frekuensi gelombang mikro	12
Tabel 3.1 Hasil perhitungan massa bahan dasar.....	24
Tabel 4.1 Perbandingan fasa berupa parameter kisi, volume, Rwp, Rp, dan χ^2 $MnLa_xFe_{(2-x)}O_4$ nilai ($x=0,010$; $0,015$; $0,020$ dan $0,025$)	39
Tabel 4.2 Perbandingan komposisi unsur $MnLa_xFe_{(2-x)}O_4$	42
Tabel 4.3 Penyerapan gelombang mikro pada material $MnLa_xFe_{(2-x)}O_4$	44

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Akhir-akhir ini perkembangan teknologi yang menggunakan gelombang elektromagnetik berkembang sangat pesat terutama pada bidang teknologi telekomunikasi seperti telepon genggam (ponsel) (Kumar *et al.*, 2013). Hal ini mengakibatkan semakin banyak gelombang elektromagnetik yang terpancar dalam bentuk radiasi gelombang elektromagnetik (An *et al.*, 2008). Jika tidak dikontrol akan berdampak buruk pada alat elektronik yang menggunakan sistem yang sama, mulai dari gangguan hingga tidak berfungsinya suatu alat (Zare, 2011). Untuk itu, dibutuhkan material penyerap gelombang elektromagnetik yang berfungsi sebagai penyerap dari banyaknya radiasi gelombang yang tidak diinginkan (Janis, 2017).

Jika gelombang elektromagnetik dilewatkan dalam suatu material, maka gelombang elektromagnetik itu sebagian akan dipantulkan, dihamburkan, diteruskan dan diserap. Sehingga rekayasa suatu material pada intinya adalah memanipulasi jumlah material penyerap gelombang elektromagnetik yang dipantulkan, dihamburkan, diteruskan maupun diserap dengan kehadiran material baru tersebut. Adapun material yang dibuat sebagai bahan penyerap (absorber) menjadi fokus dalam penelitian ini, yaitu material yang dapat menyerap lebih

banyak gelombang elektromagnetik daripada yang dipantulkan (Pratitajati, 2012). Prasyarat yang harus dipenuhi material untuk aplikasi absorber adalah material harus memiliki permeabilitas tinggi (μ), permitivitas (ϵ) tinggi, koersitivitas (H_C) rendah, resistivitas tinggi dan saturasi magnetik (M_S) yang tinggi (Dho *et al.*, 2005).

Bahan penyerap gelombang yang sedang dikembangkan saat ini adalah material magnet berbasis ferit. Material ferit menjadi bahan yang banyak diminati peneliti dalam pengembangan bahan absorber karena permeabilitasnya yang tinggi (Singh *et al.*, 1999). Salah satu material yang telah banyak menjadi objek penelitian dibidang absorber adalah material mangan ferit ($MnFe_2O_4$) (Hossein dan Asadnia, 2013). Mangan ferit merupakan salah satu senyawa *spinel* ferit yang bersifat *soft magnetic* dan memiliki medan anisotropi yang sangat kecil (Ahmed *et al.*, 2008). Mangan ferit ini mempunyai sifat permeabilitas kemagnetan tinggi, koertivitas rendah, magnetisasi saturasi tinggi dan tahan korosi (Mullai *et al.*, 2012). Untuk memenuhi syarat menjadi absorber, maka sifat permitivitas mangan ferit harus ditingkatkan. Salah satu cara yang banyak digunakan yaitu mensubstitusi (*dopping*) dengan unsur lain (Pratitajati, 2012).

Lantanum (La) merupakan logam tanah jarang yang masuk ke dalam golongan lantanida, dengan nomor atom 57 (Supriyanto, 1996). Pada umumnya lantanum berada pada kulit bumi (Top, 1965). Lantanum ditemukan di alam pada mineral-mineral seperti *apatite*, *monazite*, *calcite* dan *fluorspar* dan biasanya digunakan sebagai bahan layar sinar-X, lensa gelas, *fiber optic*, baterai dan kapasitor (Herlani, 2011). Substitusi sejumlah kecil ion logam tanah jarang ke dalam ferit

dapat mendistorsi struktur karena jari-jari ioniknya menjadi besar sehingga menginduksi *strain* dan secara signifikan akan merubah sifat listrik, magnet dan struktur mikro (Shinde *et al.*, 2012). Sehingga dapat meningkatkan kemampuan penyerapannya karena efek pertukaran ion La^{3+} menggantikan ion unsur lain dalam struktur *spinel inverse* yang merupakan kontributor utama sifat magnetiknya (Mullai *et al.*, 2012). Substitusi ion La^{3+} yang bersifat paramagnetik yang disubstitusikan ke dalam struktur *spinel inverse* akan meningkatkan nilai koersivitas (H_c) sedangkan magnetisasi (M_s) semakin kecil seiring bertambahnya lantanum (nilai x semakin besar). Hal ini disebabkan oleh lantanum bersifat paramagnetik yang memiliki sifat listrik dan magnet dengan nilai permeabilitas dan permitivitas yang tinggi (Yunasfi *et al.*, 2017).

Metode umum yang digunakan untuk sintesis material absorber gelombang elektromagnetik seperti metode sol gel (Gatelyte *et al.*, 2011), teknik *milling* (Nabiyouni *et al.*, 2010), Metode kopresipitasi (Muflihatun *et al.*, 2015), *hydrothermal* (Sinthiya *et al.*, 2015), dan reaksi padatan (Zappata and Herrera, 2013). Pada penelitian sebelumnya, Mashadi *et al.* (2018) telah berhasil mensintesis senyawa MnFe_2O_4 yang memiliki fase tunggal dengan serapan gelombang mikro sekitar 80%. Untuk meningkatkan daya serap gelombang mikro oleh senyawa MnFe_2O_4 maka dilakukan modifikasi dengan menambahkan logam tanah jarang. Yunasfi *et al.* (2018) telah melakukan substitusi ion Nd^{3+} pada MnFe_2O_4 dengan metode kopresipitasi menunjukkan serapan gelombang mikro maksimum 91%, sedangkan substitusi ion Nd^{3+} pada MnFe_2O_4 dengan metode sol gel menunjukkan serapan gelombang mikro maksimum sekitar 93% (Yunasfi *et al.*, 2018). Pada penelitian ini dilakukan substitusi logam tanah jarang yaitu ion

lantanium pada senyawa MnFe_2O_4 untuk membentuk sistem $\text{MnLa}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$ (dengan $x = 0,010; 0,015; 0,020$ dan $0,025$) dengan menggunakan metode padatan dan suhu sintering 1200°C . Keunggulan dari reaksi padatan yaitu metode ini mudah, efektif untuk dilakukan dan murah dari metode lainnya (Zhang *et al.*, 2015), karena cukup mencampurkan bahan, kemudian digiling untuk mendapatkan butiran serbuk yang halus dan dilanjutkan dengan proses pemanasan untuk menyempurnakan proses kristalisasi (Sukirman *et al.*, 2012).

Sampel $\text{MnLa}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$ yang terbentuk dikarakterisasi menggunakan alat *X-Ray Diffraction* (XRD) merk PHILLIPS Panalytical Empyrean PW1710 untuk mengetahui fase yang terbentuk, *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS) untuk mengetahui mikrostruktur dan pengukuran serapan gelombang mikro diukur menggunakan alat *Vector Network Analyzer* (VNA). Kegiatan preparasi sampel dan peralatan karakterisasi dengan XRD dan SEM yang dilakukan di Bidang Sains Bahan Maju (BSBM), PSTBM-BATAN Serpong. Sedangkan, pengukuran serapan gelombang mikro dengan VNA dilakukan di PUSLITBANG KEMHAN, Pondok Labu, Jakarta Selatan.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana fasa yang terbentuk pada sistem $\text{MnLa}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$ hasil sintesis dengan metode reaksi padatan?
2. Bagaimana pengaruh variasi nilai x terhadap struktur kristal $\text{MnLa}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$?
3. Bagaimana morfologi sistem $\text{MnLa}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$ yang terbentuk dari hasil sintesis dengan metode reaksi padatan?

4. Bagaimana kemampuan penyerapan gelombang mikro oleh sistem $\text{MnLa}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$ hasil sintesis dengan metode reaksi padatan?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui fasa yang terbentuk pada sistem $\text{MnLa}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$ ($x = 0,010; 0,015; 0,020$ dan $0,025$) hasil sintesis dengan metode reaksi padatan.
2. Mengetahui pengaruh variasi nilai x terhadap struktur kristal $\text{MnLa}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$.
3. Mengetahui morfologi pada sistem $\text{MnLa}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$ hasil sintesis dengan metode reaksi padatan.
4. Mengetahui kemampuan penyerapan gelombang mikro oleh sistem $\text{MnLa}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$ ($x = 0,010; 0,015; 0,020$ dan $0,025$) hasil sintesis dengan metode reaksi padatan.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bahan yang digunakan adalah MnO_2 , Fe_2O_3 , dan La_2O_3 dengan variasi nilai $x = 0,010; 0,015; 0,020$ dan $0,025$.
2. Sintesis dilakukan dengan menggunakan metode reaksi padatan.
3. Sintering dilakukan pada suhu 1200°C selama 5 jam.
4. Karakterisasi sampel dilakukan menggunakan *X-Ray Diffractometer* (XRD), *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS) dan *Vector Network Analyzer* (VNA).

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Memberikan informasi tentang pembuatan bahan penyerap gelombang mikro berbasis mangan ferit yang disubstitusi dengan lantanum.
2. Mengetahui pembentukan fasa, struktur kristal, struktur mikro dan kemampuan penyerapan gelombang mikro sistem $\text{MnLa}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$ ($x = 0,010; 0,015; 0,020$ dan $0,025$) hasil sintesis dengan reaksi padatan.
3. Menjadi bahan acuan bagi penelitian lain untuk mensintesis bahan penyerap gelombang mikro berbasis ferit yang berasal dari mangan ferit yang disubstitusi dengan logam tanah jarang lainnya.
4. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai alternatif dalam pemilihan bahan dasar pembuatan bahan penyerap gelombang mikro berbasis ferit.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mangan Ferit (MnFe_2O_4)

Salah satu bahan ferit yang banyak digunakan sebagai bahan absorber adalah mangan ferit (Hossein, 2013). Mangan ferit memiliki struktur MnFe_2O_4 di mana pembuatannya menggunakan serbuk mineral mangan. Mangan ferit memiliki titik leleh yang tinggi yaitu 1244°C sehingga dapat bertahan jika diberi perlakuan panas yang tinggi. Mangan ferit mengkristal dalam suhu spinel (AB_2O_4) dengan dua situs kation divalent: 8 situs tetrahedral A sekitar 80% ion Mn^{2+} dan situs B oktahedral hanya 20% dan banyak digunakan karena elektromagnetik yang tinggi serta mempunyai sifat mekanik yang kuat dan tidak mudah terkorosi dengan tingkat kestabilan terhadap pengaruh medan luar dan temperatur yang cukup baik (Zipare, 2015). Sebagian besar *device* yang ada menggunakan nanopartikel berbahan ferit lunak, yang salah satunya adalah mangan ferit.

Menurut Lee *et al* (2006) dalam penelitian mereka bahwa susepsibilitas magnet dari MnFe_2O_4 lebih tinggi dari ferit lainnya seperti Fe_3O_4 , CoFe_2O_4 dan NiFe_2O_4 dengan *spin* magnetik sebesar 5 μb . Hal ini dikarenakan momen magnetik mangan ferit sesuai dengan skema kopling *Neel* (Takadate *et al.*, 1998). Selain itu, resistivitasnya yang jauh lebih rendah dari pada CoFe_2O_4 dan NiFe_2O_4 (Lotger, 1960), biokompabilitasnya yang tinggi (Tomsdorf *et al.*, 2007) dibandingkan

dengan Fe_3O_4 , $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, CoFe_2O_4 , dan NiFe_2O_4 jika diaplikasikan untuk *magnetic resonance imaging* (MRI).

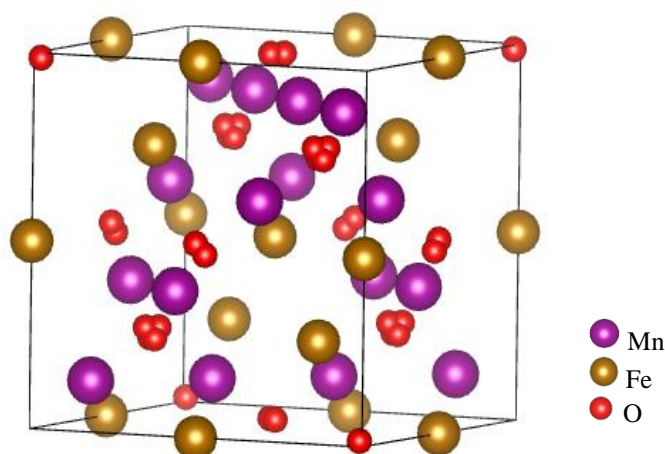
2.1.1 Karakteristik Mangan Ferit

Mangan ferit mengkristal dalam struktur *invers spinel* (AB_2O_4) Semua ion Mn^{2+} menempati ruang B dengan bentuk oktahedral dan ion Fe^{3+} terbagi rata menempati ruang A dan B yang terbentuk tetrahedral (Zuo *et al.*, 2005).

Mangan Ferit merupakan logam transisi bervalensi dua dengan permeabilitas magnet yang tinggi (Sam dan Nessaraj, 2011). Mangan ferit banyak digunakan karena elektromagnetik yang tinggi serta mempunyai sifat mekanik yang kuat dan tidak mudah terkorosi dengan tingkat kestabilan terhadap pengaruh medan luar dan temperatur yang cukup baik (Zipare *et al.*, 2015).

2.1.2 Struktur Kristal Mangan Ferit (MnFe_2O_4)

Mangan ferit merupakan salah satu jenis *soft* ferit yang bersifat magnetik dan memiliki stuktur *spinel* kubik (Sunaendar dan Dharma, 2007). Struktur MnFe_2O_4 dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Struktur Kubik MnFe_2O_4

Pada Gambar 2.1 terdapat struktur MnFe_2O_4 yang terdiri dari atom-atom Mn yang berwarna ungu, Fe yang berwarna *orange*, dan O yang berwarna merah. Struktur MnFe_2O_4 memiliki sistem kristal kubik, tipe kisi F, nama *space group* $Fd3m$, nomor *space group* 227, volume sel satuan = 601.660376 \AA^3 , densitas $4,96900 \text{ g/cm}^3$, parameter $a = 8.51100 \text{ \AA}$, $b = 8.51100 \text{ \AA}$, $c = 8.51100 \text{ \AA}$ dan nilai sudut $\alpha = 90^\circ$, $\beta = 90^\circ$, $\gamma = 90^\circ$.

2.2 Lantanum (La)

Lantanum ditemukan pada tahun 1893 oleh seorang kimiawan dari Swedia yang bernama Carl Gustav Mosander, ketika ia menguraikan sebagian sampel cerium nitrat dengan memanaskan dan memberi garam yang dihasilkan dengan asam nitrat encer. Dari larutan yang dihasilkan dia mengisolasi tanah jarang baru yang disebut lantana. Lantanum selalu terdapat diantara produk pembelahan uranium, torium, dan plutonium. Lantanum ditemukan di alam pada mineral-mineral seperti *apatite*, *monazite*, *calcite* dan *fluorspar* (Herlani, 2011).

Lantanum merupakan salah satu unsur tanah jarang yang banyak dipakai dalam industri pesawat televisi. Memisahkan unsur ini dari alam harus dengan teknik yang spesifik dan dalam bidang kimia nuklir dan lantanum merupakan salah satu unsur logam transisi golongan III B yang terdapat dalam deret unsur lantanida. Telah banyak dikembangkan teknik untuk mendeteksi lantanum dengan menggunakan instrumen seperti spektrofotometer UV-VIS, spektrofotometer serapan atom (AAS), *Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrophotometer* (ICP-MS) dan *Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrophotometer* (ICP-AES) (Sukarna, 1995).

2.2.1 Karakteristik Lantanum

Unsur-unsur logam tanah jarang dengan konsentrasi relatif tinggi antara lain lantanum dan serium. Lantanum berupa logam putih kebiruan yang lunak. Lantanum biasanya digunakan sebagai bahan layar sinar-X, lensa gelas, *fiber optic*, baterai dan kapasitor (Herlani, 2011). Karakteristik sifat fisik lantanum dapat dilihat pada Tabel 2.1

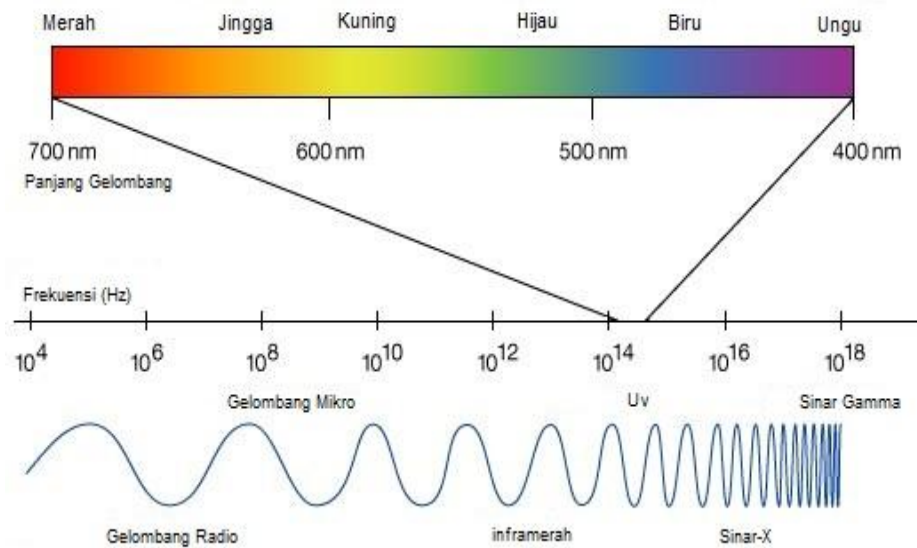
Tabel 2.1 Karakteristik Sifat Fisik Lantanum (Sumber: <http://mastah.org>).

Sifat Lantanum	
Nomor Atom	57
Konfigurasi Elektron Terluar	$5d^1 6s^2$
Massa Atom	138,9
Kemagnetan	Paramagnetik
Tingkat oksidanya	+2 dan +3
Jari-Jari Logam	187 pm
Jari-jari Ion	La^{3+}
Titik didih	3737 °C
Titik Leleh	1191 °C
Massa Jenis	6,1545 g/cm ³

2.3 Gelombang Elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang dapat merambat tanpa membutuhkan zat perantara dengan kecepatan tinggi, yaitu sekitar 3×10^8 m/s dan berada pada jangkauan 0.3–300 GHz dengan panjang gelombang antar 1m–1mm. Gerak gelombang elektromagnetik melibatkan osilasi medan listrik dan medan magnet yang saling tegak lurus satu sama lain. Arah rambat gelombang elektromagnetik juga tegak lurus dengan arah getarnya (Umar, 2008). Gelombang elektromagnetik yang dilewatkan dalam suatu material, maka gelombang elektromagnetik itu sebagian akan dipantulkan (refleksi), diserap (absorpsi) dan dibiarkan atau transmisi (Young dan Freedman, 2003). Spektrum gelombang

elektromagnetik dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Spektrum Gelombang Elektromagnetik
(Sumber: [canstockphoto.com/visible-light-diagram-color](https://www.canstockphoto.com/visible-light-diagram-color) 62371936)

Spektrum gelombang elektromagnetik adalah jangkauan panjang gelombang elektromagnetik yang dapat diurutkan mulai dari panjang gelombang pendek (frekuensi tinggi) ke panjang gelombang yang besar (frekuensi rendah). Urutan tersebut adalah sinar gamma, sinar-X, sinar ultraviolet dan sinar tampak, sinar inframerah, gelombang mikro dan gelombang radio (Chang, 2005).

Serapan gelombang mikro terjadi akibat interaksi gelombang dengan material yang menghasilkan efek *Reflection Loss* energi yang umumnya didisipasikan dalam bentuk panas. Hal tersebut dapat dipahami dengan membagi komponen gelombang elektromagnetik ke dalam komponen elektrik dan magnetik. Gelombang mikro dibagi dalam beberapa daerah jangkauan yang telah ditetapkan Secara internasional. Karakteristik pembagian pita frekuensi gelombang mikro dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Pembagian pita frekuensi gelombang mikro (Sisodia, 2007).

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	8,000-12,00	3,75-2,50
Ku	12,00-18,00	2,50-1,67
K	18,00-26,00	1,67-1,15
Ka	26,00-40,00	1,15-0,75
Milimeter	40,00-300,0	0,75-0,01
Submilimeter	>300,0	0,01-0,10

2.4 Penyerap Gelombang Elektromagnetik

Penyerap gelombang elektromagnetik adalah material yang digunakan untuk menyerap atau mengurangi intensitas radiasi elektromagnetik (Umar, 2008). Karakteristik suatu material penyerap gelombang mikro yang baik yaitu memiliki sifat magnet dan listrik yang baik pula. Material tersebut harus memiliki nilai impedansi tertentu, nilai permeabilitas relatif (μ_r) dan permitivitas relatif (ϵ_r) sesuai dengan nilai μ dan ϵ udara atau vakum agar terjadi resonansi impedansi, sehingga nilai dari *reflection loss* yang dihasilkan bahan cukup besar.

Selain permeabilitas, permitivitas dan magnetisasi material penyerap harus memiliki nilai resistivitas listrik yang tinggi atau isolator yang baik. Kombinasi sifat intrinsik material antara sifat magnetik dan sifat listrik dapat menempatkan material magnet sebagai penyanggah gelombang mikro pada frekuensi tertentu. Semakin tinggi frekuensi semakin tinggi energi radiasinya. Radiasi ultraviolet, sinar-X dan sinar- γ adalah radiasi berenergi tinggi (Chang, 2005).

Kemampuan penyerapan gelombang suatu material penyerap diukur dari besarnya reduksi refleksi transmisi gelombang elektromagnetik, yang dapat dilakukan oleh material tersebut dengan nilai reduksi dan disebut sebagai *reflection loss*. Besarnya RL, menurut teori saluran transmisi akan bergantung pada nilai-nilai permitivitas dan permeabilitas material penyerap pada frekuensi tertentu dan ketebalan absorber tertentu. permitivitas dan permeabilitas ini memiliki kontribusi terhadap kompresi panjang gelombang di dalam material. Kedua komponen ini akan menyebabkan adanya *loss* yang terjadi pada medan magnetik atau medan listrik, yang kemudian melemahkan energi di dalam gelombang elektromagnetik (Dixon, 2012).

Dalam kasus penyekat logam *single layer*, nilai RL dihitung dengan menggunakan rumus:

$$RL (db) = -20 \log \left[\frac{(Z_{in} - Z_0)}{(Z_{in} + Z_0)} \right] \quad (2.1)$$

Dimana Z_{in} merupakan impedansi gelombang E_M datang dan Z_0 merupakan impedansi dalam ruang bebas (Zare, 2011).

Penyerap gelombang ditandai melalui permitivitas elektrik dan permeabilitas magnetik. Permitivitas merupakan ukuran pengaruh material terhadap medan listrik yang terdapat didalam gelombang elektromagnetik, dan permeabilitas merupakan ukuran pengaruh material terhadap komponen magnetik yang terdapat di dalam gelombang elektromagnetik. Permitivitas kompleks secara umum dirumuskan sebagai berikut:

$$\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon'' \quad (2.2)$$

Permittivitas muncul karena adanya polarisasi dielektrik pada material. ϵ' merupakan dielektrik konstan yang dapat berubah-ubah secara signifikan dengan adanya frekuensi ϵ merupakan ukuran penyerapan pada medan listrik yang disebabkan oleh suatu material. *Dielectric loss tangent* pada suatu material dirumuskan sebagai berikut:

$$\tan \delta_e = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \quad (2.3)$$

Semakin besar *loss tangent* pada suatu material, maka semakin besar pula kemampuan penyerapannya. Seperti permitivitas elektrik, permeabilitas magnetik juga dirumuskan sebagai berikut.

$$\mu^* = \mu' - j\mu'' \quad (2.4)$$

Sedangkan *magnetic loss tangent* pada suatu material dirumuskan sebagai berikut:

$$\tan \delta = \frac{\mu''}{\mu'} \quad (2.5)$$

Satuan permitivitas adalah farad/meter dan permeabilitas adalah henri/meter. Permittivitas dan permeabilitas ini memiliki kontribusi terhadap kompresi panjang gelombang di dalam material. Kedua komponen ini akan menyebabkan adanya *loss* yang terjadi pada medan magnetik atau medan listrik, yang kemudian melemahkan energi di dalam gelombang elektromagnetik (Dixon, 2012).

Parameter dalam penyerap gelombang mikro yang digunakan sebagai hasil dari pengukuran tingkat efektifitas sebuah penyerap yang di rancang sesuai dengan karakteristik yang dibutuhkan. Parameter tersebut yaitu frekuensi kerja, *bandwidth*, dan penyepadanan impedansi yang di representasikan oleh nilai koefisien refleksi.

2.5 Metode Reaksi Padatan

Metode reaksi padatan merupakan salah satu teknik yang secara luas telah digunakan dalam penyediaan padatan polikristalin, dimana padatan kristalin disintesis secara langsung dari pereaksi-pereaksinya yang berwujud padat. Teknik ini biasanya menggunakan suhu yang tinggi bahkan mencapai 1000 °C hingga 1500 °C. Suhu ini dipilih karena dalam kenyataannya padatan-padatan tidak akan bereaksi pada suhu kamar, sementara pada suhu tinggi reaksi padatan-padatan itu akan cukup tinggi (Ismunandar, 2006).

Metode reaksi padatan digunakan karena mempunyai beberapa keuntungan yaitu mudah dalam pembuatannya, cukup sederhana, dan tidak membutuhkan biaya besar dalam mensintesa bahan. Proses sintesa menggunakan reaksi padatan diharapkan hasil homogenitasnya tinggi (Zhang *et al.*, 2015). Proses sintesa metode reaksi padatan diawali dengan penimbangan bahan, penggerusan, penghalusan, homogenisasi, dan reaksi padatan yang menghasilkan serbuk, kemudian dilanjutkan dengan proses kalsinasi untuk menghilangkan kontaminasi. Reaksi padatan diharapkan terjadi pada saat proses sintering dilakukan, dimana terbentuk senyawa baru dari bahan dasar (Febriani *et al.*, 2010).

2.6 Teknik *Milling*

Teknik *Milling* adalah proses reaksi padatan serbuk dengan teknik menyertakan pengulangan, penggabungan, penghancuran, dan penggabungan kembali (*rewelding*) untuk butiran serbuk pada *high energy ball mill*. Teknik *Milling* dapat digunakan untuk sintesis larutan padatan, nanopartikel, paduan *amorf*, intermetalik, dan komposisi kimia, biasanya dilakukan di bawah *atmosfer inert*

dalam *ball mill* (Ozkaya *et al.*, 2008). Teknik *Milling* yaitu teknik pencampuran yang berfungsi memperkecil partikel baik logam maupun dalam bentuk oksida. Proses teknik *milling* berbeda dengan teknik konvensional, misalkan proses penggerusan atau proses secara kimia. Derajat deformasi yang dicapai pada teknik konvensional jauh lebih rendah dibandingkan teknik *milling* (Adi *et al.*, 2008).

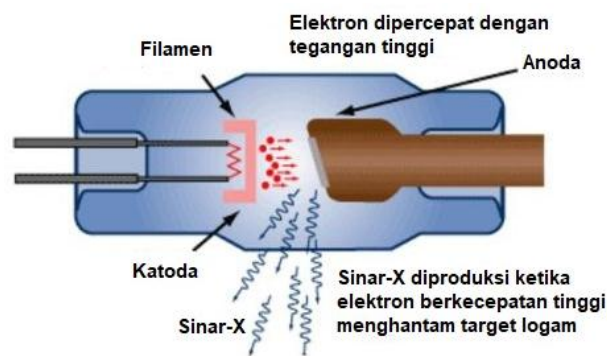
Teknik *milling* merupakan proses penguraian material yang menghasilkan bentukan bidang datar yang biasanya menggunakan proses dengan menggunakan bantuan mesin. Secara mekanik *milling* merupakan teknik yang sederhana dan efektif untuk membuat ukuran kristal padat yang cukup besar menjadi lebih kecil tanpa melalui fasa penguapan atau reaksi kimia yang mana biasanya diperlukan dalam proses sintesa lainnya (Groover, 2010).

Pada awalnya campuran hanya terdiri dari serbuk yang masih berdiri sendiri. Selama proses *milling* sampel (serbuk) secara periodik terjebak diantara bola-bola yang saling bertumbukan secara plastis terdeformasi. Bola-bola yang saling bertumbukan tersebut menyebabkan pepatahan, kemudian terjadi penyatuan dingin (*cold welding*) dari serbuk-serbuk secara elementer. Penggunaan teknik *milling* dapat diketahui dengan mendapatkan keberadaan unsur pengotor dalam sampel hasil proses *milling*. Maka didapatkan tingkat kemurnian dari sampel hasil proses *milling* tersebut (Harris, 2002).

2.7 X-Ray Diffraction (XRD)

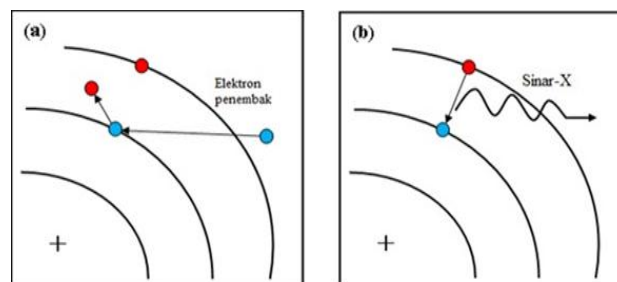
Sinar-X ditemukan pertama kali oleh Wilhem Roentgen (1845-1923). Pada tahun 1895 yang kemudian disebut sebagai sinar *roentgen* sesuai dengan nama penemunya. Sinar-X adalah radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang

penemunya. Sinar-X adalah radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang (λ) berkisar 0,1 nm. Radiasi yang dipancarkan ini memiliki energi yang khas sesuai dengan transisi elektron yang terjadi. Sinar-X dapat diproduksi di dalam sebuah wadah (tabung) kedap udara dengan cara memanaskan *filament* sehingga mengeksitasikan elektronnya yang kemudian diakselerasi (dipercepat) dengan listrik bertegangan tinggi sehingga elektron memiliki energi kinetik yang tinggi. Elektron bermuatan negatif, maka elektron akan bergerak menuju sebuah plat logam yang diletakan pada bagian anoda yang bermuatan positif. Skemanya dapat dilihat pada Gambar 2.3.



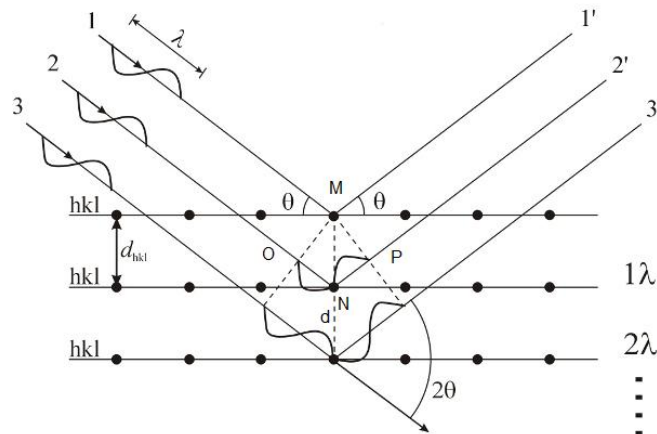
Gambar 2.3 Proses pembentukan sinar-X dalam tabung elektron
(Sumber: <https://www.designworldonline.com/x-rays-and-ionizing-radiation/>)

Radiasi sinar-X dapat terjadi karena transisi elektron dari orbital yang memiliki tingkat energi lebih tinggi menuju orbital dengan tingkat energi yang lebih rendah dengan melalui tahapan berikut. Peristiwa pembentukan sinar-X pada tabung elektron dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Proses pembentukan sinar-X

- Sebuah elektron yang terletak di kulit bagian dalam terpental ke luar atom karena adanya berkas cahaya atau berkas elektron dari luar.
- Elektron atom kulit terluar mengisi kekosongan dengan memancarkan sinar-X.



Gambar 2.5 Difraksi sinar-X pada bidang atom

(Sumber: <https://fys.kuleuven.be/iks/nvsf/experimental-facilities/x-ray-diffraction-2013-bruker-d8-discover>)

Sinar-X dibiaskan dan ditangkap oleh detektor kemudian diteruskan sebagai sebuah puncak difraksi. Tiap puncak yang muncul pada pola difraktogram mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi.

Seberkas sinar-X pertama dengan panjang gelombang λ yang mengenai atom A pada bidang pertama dan sinar-X kedua dengan panjang gelombang λ jatuh pada kristal dengan sudut θ terhadap permukaan bidang kristal yang jaraknya adalah d . Seberkas sinar-X pertama yang mengenai atom A pada bidang pertama dan sinar-X kedua yang mengenai atom A pada bidang pertama dan sinar-X kedua yang mengenai atom B pada bidang berikutnya mengakibatkan masing-masing atom menghambur dalam arah rambat. Sinar yang berinterferensi saling menguatkan terjadi ketika sinar-sinar yang terdifraksi beda lintasannya sebesar kelipatan bulat

dari panjang gelombang. Difraksi akan saling menguatkan jika memenuhi persamaan bragg sebagai berikut:

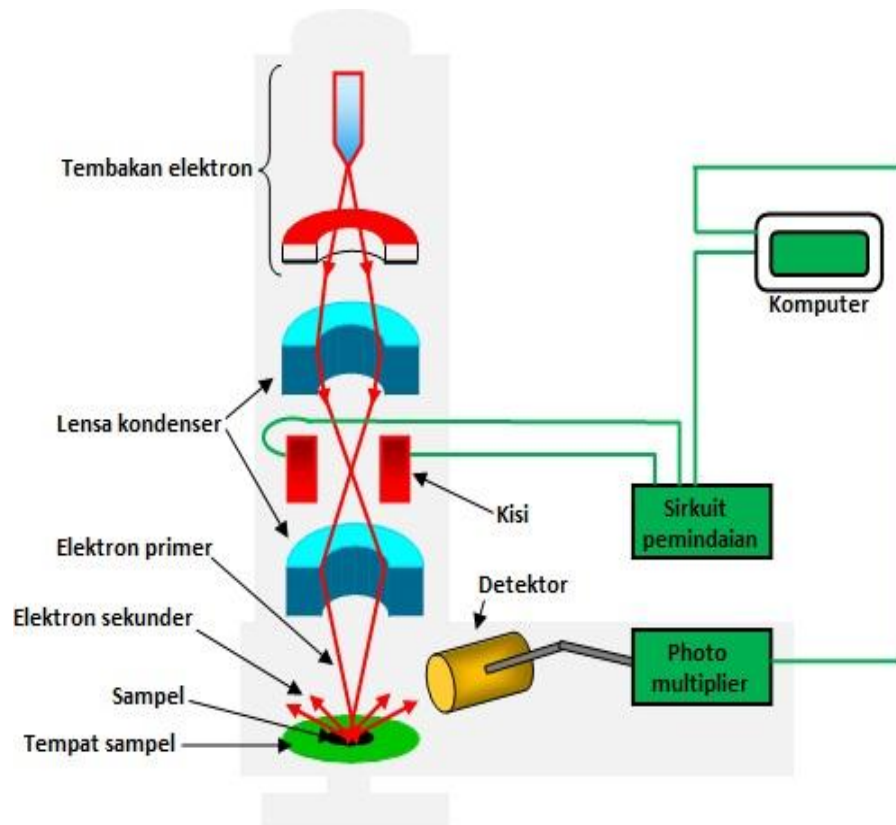
$$\lambda = 2d \sin \theta \quad (2.6)$$

dengan d adalah jarak antar bidang atom dalam kristal, λ adalah panjang gelombang sinar-X (Cullity, 1978).

2.8 Scanning Electron Microscopy (SEM) – Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS)

Scanning Electron Microscopy adalah mikroskop elektron yang dapat digunakan untuk melihat struktur mikro dan morfologi yang tidak dapat dilihat dengan mikroskop optik, karena perbesaran yang dihasilkan jauh lebih tinggi yaitu mencapai 100.000x. Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada cahaya. Cahaya hanya mampu mencapai 200 nm sedangkan elektron bisa mencapai resolusi sampai 0,1 – 0,2 nm. Disamping itu, dengan menggunakan elektron, juga bisa mendapatkan beberapa jenis pantulan yang berguna untuk keperluan karakterisasi. Jika elektron mengenai suatu benda maka akan timbul dua jenis pantulan yaitu pantulan elastis dan pantulan non elastis (Beiser, 2003).

Prinsip kerja SEM adalah dengan menembak permukaan sampel dengan berkas elektron yang dihasilkan oleh tembakan elektron sampai pada permukaan spesimen, berkas elektron bekerja memindai permukaan seperti gerakan menyapu atau menscan permukaan *specimen* tersebut. Tembakan berkas elektron menimbulkan reaksi berupa refleksi *Secondary Electron (SE)* dan *Back Scatter Electron (BSE)* seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Skema SEM

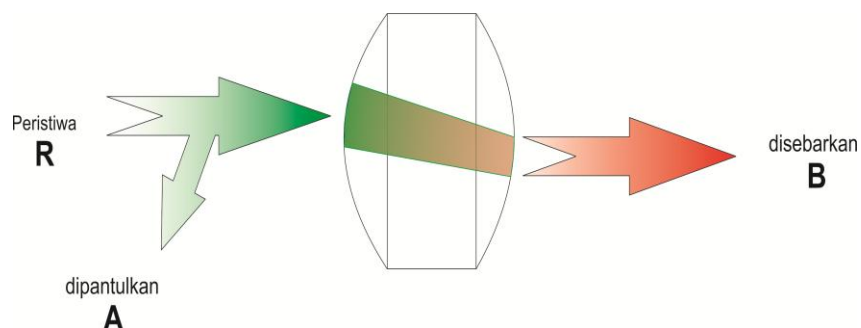
Pantulan berkas elektron SE dan BSE ini ditangkap oleh detektor sehingga struktur mikro daerah permukaan sampel akan pada layar monitor. Selain untuk mendapatkan gambar struktur mikro, SEM bisa juga digunakan untuk menentukan komposisi unsur. Penentuan komposisi unsur menggunakan EDS (Beiser, 2003).

Sistem analisis EDS bekerja sebagai fitur yang terintegrasi dengan SEM dan tidak dapat bekerja tanpa SEM. Prinsip kerja dari teknik ini adalah menangkap dan mengolah sinyal *fluoresensi* sinar-X yang keluar apabila berkas elektron mengenai daerah tertentu pada bahan. Sinar-X tersebut dideteksi oleh detektor zat padat, yang dapat menghasilkan intensitas sebanding dengan panjang gelombang sinar-X. EDS dihasilkan yaitu dengan menembakkan sinar-X pada posisi yang ingin diketahui komposisinya. Sinar-X ditembakkan pada posisi yang diinginkan

maka akan muncul puncak-puncak tertentu yang mewakili suatu unsur (Friel, 2003).

2.9 Vector Network Analyzer (VNA)

Karakterisasi VNA dilakukan untuk menentukan penyerapan suatu material terhadap gelombang elektromagnetik pada frekuensi tertentu. Frekuensi gelombang elektromagnetik yang dapat diukur pada VNA adalah frekuensi 1-*band* yaitu antara 1-4 GHz, *c-band* antara 4-8 GHz, *x-band* antara 8-12 GHz, *k-band* antara 10-15 GHz, dan *ku-band* antara 14-24 GHz. Frekuensi yang digunakan dalam pengukuran gelombang mikro yaitu frekuensi *x-band*. Prinsip kerja VNA adalah dengan melihat nilai refleksi, transmisi, dan absorpsi terhadap material (Agilent, 2004). Skema prinsip kerja pada *Vector Network Analyzer* (VNA) seperti pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Prinsip Kerja VNA (Agilent, 2004)

Gelombang elektromagnetik (R) yang mengenai suatu material akan diabsorpsi, sebagian lalu ditransmisikan (B) dan direfleksikan kembali (A). Gelombang yang direfleksikan mempunyai nilai yang disebut *reflection loss*. Nilai *reflection loss* dinyatakan dalam satuan dB (Agilent, 2004). Nilai *reflection loss* yang dihasilkan kemudian dikonversikan menjadi persen absorpsi dengan rumus :

$$RL = -20 \log |Z| \quad (2.7)$$

$RL = \text{reflection loss (dB)}$

$Z = \text{impedansi}$

Reflection loss adalah parameter yang digunakan untuk mengetahui berapa banyak daya yang hilang pada beban dan tidak kembali sebagai pantulan. Nilai *reflection loss* biasanya dinyatakan dalam satuan dB. *Vector Network Analyzer* (VNA) bekerja berdasarkan parameter hamburan (*scattering parameter, S-parameter*) yang digunakan untuk mengukur gelombang elektromagnetik dengan frekuensi yang tinggi (Dunsmore, 2012).

III. METODELOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini telah dilakukan pada bulan Februari s.d Juli 2019 di Laboratorium Preparasi Kimia dan Laboratorium Perlakuan Panas yang berlokasi di Gedung 42 PSTBM-BSBM BATAN. Uji XRD, dan Uji SEM-EDS akan dilakukan di Laboratorium Sains Bahan Maju, BSBM-PSTBM BATAN, sedangkan Uji VNA akan dilakukan di Balitbang KEMHAN, Jakarta.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Peralatan yang digunakan dibagi atas 2 kategori yakni yang terkait dalam proses pembuatan sampel dan peralatan karakterisasi. Peralatan yang digunakan dalam proses sintesa adalah neraca digital, spatula, vial, bola-bola baja, mortar dan pastel, *furnace*, krusibel, *High Energy Milling* (HEM) sedangkan peralatan karakterisasi adalah XRD (PANalytical), SEM - EDS (JED-2300) dan VNA (KEYSIGNHT N5232A).

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari bahan oksida dengan tingkat kemurnian yang tinggi yaitu MnO_2 *Aldrich* (> 99%), Fe_2O_3 *Aldrich* (>99%), dan La_2O_3 (Produk PSTA-BATAN, Yogyakarta dengan kemurnian > 99%).

3.3 Prosedur Penelitian

Sintesis bahan menggunakan metode reaksi padatan dengan teknik *milling*. Prosedur kerja yang dilakukan dimulai dari tahap preparasi bahan berupa penimbangan bahan dasar, pencampuran bahan dengan HEM, sintering, dan dikarakterisasi dengan XRD, SEM - EDS dan VNA.

3.3.1 Preparasi Bahan

Adapun prosedur preparasi bahan sebagai berikut:

1. Melakukan perhitungan stoikiometri untuk mendapatkan massa bahan dasar, sehingga diperoleh massa dari masing-masing bahan dasar seperti yang terdapat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Hasil perhitungan massa bahan dasar.

X	Senyawa	Massa bahan dasar (gram)		
		MnO ₂	Fe ₂ O ₃	La ₂ O ₃
0,010	MnLa _{0.01} Fe _{1.99} O ₄	3,8095	6,8061	0,0698
0,015	MnLa _{0.015} Fe _{1.985} O ₄	3,8027	6,7769	0,1045
0,020	MnLa _{0.02} Fe _{1.98} O ₄	3,7960	6,7479	0,1391
0,025	MnLa _{0.025} Fe _{1.975} O ₄	3,7893	6,7189	0,1735

2. Menimbang massa masing-masing bahan dasar.

Menimbang bahan tersebut dengan menggunakan neraca digital, dengan masing-masing variasi nilai $x = 0,010; 0,015; 0,020$ dan $0,025$.

3.3.2 Proses *Milling*

Proses *milling* merupakan proses pencampuran dan penghalusan bahan. Proses dalam penggilingan ini menggunakan alat *High Energy Milling (HEM) spex 8000* dengan spesifikasi normal *speed = 60* menit, *of time = 30* menit dan *on of cycle 1* kali. Pada penelitian ini proses *milling* dilakukan untuk semua sampel. Setelah bahan dasar ditimbang, lalu dimasukkan kedalam vial beserta 12 bola baja dengan

perbandingan massa sampel terhadap bola baja sebesar 1:5 dimana berat masing-masing sampel adalah 10 gram sedangkan masing-masing bola baja memiliki massa 4 gram. Sehingga total massa bola baja ini adalah 48 gram, kemudian diberikan etanol yang bertujuan untuk mempermudah gerak bola-bola baja selama proses penggilingan. Setelah itu dilakukan proses penggilingan menggunakan HEM selama 5 jam dengan jeda waktu 30 menit untuk pendinginan dingin.

3.3.3 Proses Pengeringan

Setelah proses *milling* selesai, sampel dilepaskan dari HEM lalu tutup vial dibuka, selanjutnya dilakukan proses pengeringan dengan memasukkan sampel ke dalam oven dengan suhu 100 °C selama 5 jam. Proses pengeringan bertujuan untuk menguapkan etanol yang ada pada sampel. Setelah sampel kering kemudian dikeluarkan dari vial lalu digerus menggunakan mortal dan pastel hingga sampel tidak ada gumpalan lagi dan menjadi serbuk.

3.3.4 Proses Sintering

Proses sintering ini menggunakan *furnace*. Sampel yang telah digerus halus diletakkan pada krusibel kemudian dimasukkan ke dalam *furnace*. Selanjutnya proses sintering ini dilakukan dengan kenaikan suhu 400°C dan ditahan pada suhu 1200 °C selama 5 jam, kemudian dilakukan pendinginan melalui proses *furnace cooling*. Setelah proses sintering selesai kemudian krusibel yang berisi sampel dikeluarkan lalu digerus kembali menggunakan mortal dan pastel hingga serbuk tidak terdapat gumpalan lagi dan menjadi lebih halus.

3.3.5 Karakterisasi XRD

Karakterisasi menggunakan XRD dilakukan untuk mengetahui struktur kristal bahan. Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses XRD adalah:

1. Menyiapkan sampel yang akan dianalisis, kemudian merekatkannya pada kaca dan memasang pada tempatnya berupa lempeng tipis berbentuk persegi panjang (*sampel holder*) dengan lilin perekat.
2. Memasang sampel yang telah disimpan pada *sampel holder* kemudian meletakkannya pada *sampel stand* dibagian *goniometer*.
3. Memasukkan parameter pengukuran pada *software* pengukuran melalui komputer pengontrol, yaitu meliputi penentuan *scan mode*, penentuan rentang sudut, kecepatan *scan* cuplikan, memberi nama cuplikan dan memberi nomor urut file data.
4. Mengoperasikan alat difraktometer dengan perintah “*start*” pada menu computer, dimana sinar-X akan meradiasi sampel yang terpancar dari target Cu dengan panjang gelombang $1,5406 \text{ \AA}$.
5. Melihat hasil difraksi pada komputer dan intensitas difraksi pada sudut 2θ
6. Mengambil sampel setelah pengukuran cuplikan selesai.
7. Data yang terekam berupa sudut difraksi (2θ), besarnya intensitas (I), dan waktu pencatatan perlangkah (t).
8. Setelah data diperoleh analisis kualitatif dengan menggunakan *search match analysis*, kemudian data di *refinement* dengan menggunakan *software* GSAS.

3.3.6 Karakterisasi SEM-EDS

Karakterisasi SEM-EDS dilakukan untuk mengetahui mikrostruktur bahan. Langkah-langkah dalam proses SEM-EDS adalah:

1. Memasukkan sampel yang akan dianalisa ke *vacuum column*, dimana udara akan dipompa keluar untuk menciptakan kondisi vakum. Kondisi vakum ini diperlukan agar tidak ada molekul gas yang dapat mengganggu jalannya elektron selama proses berlangsung.
2. Elektron ditembakkan dan akan melewati berbagai lensa yang ada menuju ke satu titik di sampel.
3. Sinar elektron tersebut akan dipantulkan ke detektor lalu ke *amplifier* untuk memperkuat signal sebelum masuk ke komputer untuk menampilkan gambar yang diinginkan.

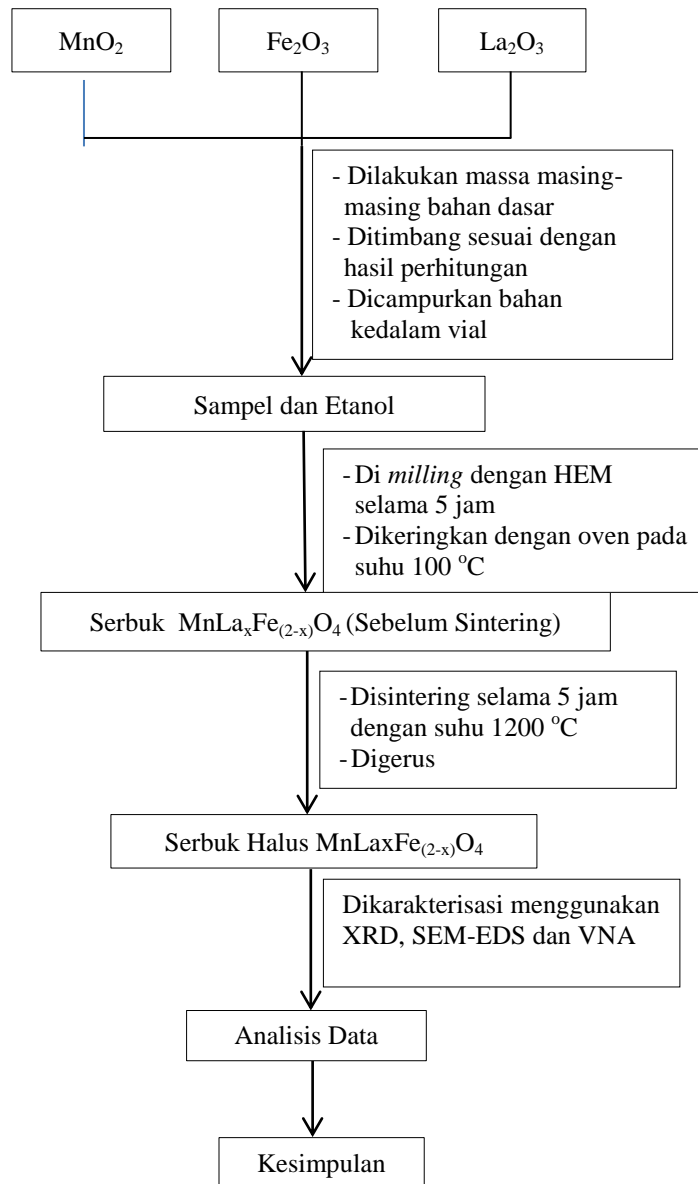
3.3.7 Karakterisasi VNA

Uji VNA digunakan untuk mengetahui daya serap material terhadap gelombang elektromagnetik. Adapun langkah-langkah dalam uji VNA adalah:

1. Memasukkan sampel ke dalam tempat berbahan akrilik berukuran 2,5 x 1,5 cm dengan lebar 2 mm.
2. Melakukan kalibrasi menggunakan metode TRL (*Transmission Reflection Loss*) pada sampel.
3. Meletakkan material uji diantara probe S_{11} dan S_{12} , S_{11} terukur sebagai koefisien refleksi dan nilai S_{12} terukur sebagai koefisien transmisi sehingga pada layar monitor dapat diketahui nilai frekuensi yang direfleksikan, ditranmisikan, dan diabsorpsi oleh material uji.
4. Mendapatkan hasil.

3.4 Diagram Alir Penelitian

Adapun proses penelitian secara keseluruhan ditunjukkan pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisis XRD bahwa mangan ferit yang disubstitusi ion La^{3+} pada sampel nilai $x = 0,010; 0,015; 0,020$ dan $0,025$ dengan metode padatan pada suhu sintering $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ menghasilkan fasa tunggal yaitu fasa MnFe_2O_4 .
2. Berdasarkan hasil *refinement* pada serbuk $\text{MnLa}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$ semakin tinggi substitusi nilai x maka densitasnya semakin meningkat.
3. Berdasarkan hasil analisis SEM bahwa mangan ferit yang disubstitusikan ion La^{3+} menghasilkan bentuk bulat. Hasil EDS menunjukkan massa atom La semakin bertambah sedangkan atom Mn dan Fe semakin berkurang seiring dengan bertambahnya nilai x .
4. Berdasarkan hasil analisis VNA bahwa substitusi ion La^{3+} terhadap serbuk mangan ferit dapat meningkatkan serapan gelombang mikro. Serapan gelombang mikro ini meningkat seiring dengan peningkatan kandungan ion La^{3+} dengan serapan maksimum ditunjukkan oleh substitusi ion La^{3+} dengan nilai $x = 0,025$ pada frekuensi $10,384\text{ GHz}$ dengan nilai RL sebesar $-14,565\text{ dB}$ yang menghasilkan penyerapan sebesar $96,50\%$.

5.2 Saran

Besar penyerapan gelombang elektromagnetik pada sampel $\text{MnLa}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$ pada nilai $x = 0,025$ sudah cukup baik, karena penyerapan yang dihasilkan cukup besar. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk mensubstitusi logam La dengan nilai x yang lebih besar sehingga diperoleh nilai x maksimum yang menghasilkan senyawa $\text{MnLa}_x\text{Fe}_{(2-x)}\text{O}_4$ fasa tunggal dan serapan gelombang mikro paling tinggi. Disarankan juga untuk penelitian selanjutnya menggunakan bahan yang disubstitusi dengan logam tanah jarang lainnya, untuk menghasilkan serapan gelombang yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, W.A., Suwarno, H., Insani A, S Nusin. 2008. Analisis Struktur Kristal Paduan Mg₂Ni Hasil Mechanical Alloying. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 9(2): 125-130.
- Agilent. 2004. *Network Analyzer Basics*. Agilent Technologies, Inc. New York.
- Ahmed, M.A., Okasha, N. dan El-Dek, S.I. 2008. Preparation and Characterization of Nanometric Mn Ferrite Via Different Methods. *Nanotechnology*. 19: 1-6.
- An, Y.J., Nishida, K., Yamamoto, T., Ueda, S. dan Deguchi, T. 2008. Characteristic Evaluations of Microwave Absorbers Using Dielectric and Magnetic Composite Materials. *Journal of ceramic Processing Research*. 9(4): 430-436.
- Beiser, Arthur. 2003. *Concepts of Modern Physics*. McGraw-Hill Kogakusha, Inc. Japan.
- Chang R. 2005. *Kimia Dasar Konsep-konsep Inti Edisi Ketiga Jilid 1*. Erlangga. Jakarta.
- Cullity, B.D. 1978. *Element of X-Ray Diffraction*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. New York.
- Dho, J., Lee, E.K., Park, J.Y. dan Hur, N.H. 2005. Effect of the Grain Boundary on the Coercitivity of Barium Ferrite BaFe₁₂O₁₉. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 285(2): 164-168.
- Dixon, P. 2012. *Theory and Application of RF/Microwave Absorbers*. Emerson & Cuming Microwave Products. New York.
- Dunsmore JP. 2012. *Handbook of Microwave Component Measurements with Advanced VNA Techniques*. John Wiley & Sons, Ltd. New Delhi.
- Febriani, S,S., Yolanda, T., Arianti, V.A. dan Zainul, R. *Solid Stated: Principle and Methode*.
- Friel J.J. 2003. *X-Ray and Image Analysis In Electron Microscopy*. Priceton

Gamma-Tech. New York.

- Gatelyte, A., Beganskiene, A. dan Kareiva, A. 2011. Sol Gel Synthesis and Characterization of Selected Transition Metal Nano-Ferrites. *Materials Science*. 17(3): 302-307.
- Groover. M.P. 2010. *Fundamentals of Modern Manufacturing Fourth Edition*. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey. New Jersey.
- Janis, A., Olsson, R.T., Savage, S.J., Geddeb, U.W. dan Klement, U. 2017. Microwave Absorbing Properties of Ferrite-Based Nanocomposites. *Proc of SPIE*. 6526 65261P-1.
- Harris, J.R. 2002. Mathematical Modelling of Mechanical Alloying. *Tesis*. The University of Nottingham
- Herlani, R., Muljono., Widiyati, S. dan Mujari. 2011. Mempelajari Pengaruh Logam Tanah Jarang Serium (Ce) dan Lantanum (La) pada Analisis Torium dengan Metoda Pendar Sinar-X. *Prosiding Seminar Penelitian dan Pengelolaan Perangkat Nuklir*. 237-248. ISSN: 1410-8178.
- Hossein, S. dan Asadnia, A. 2013. Polyaniline/Fe₃O₄ Coated on MnFe₂O₄ Nanocomposite: Preparation, Characterization, and Application in Microwave Absorption. *International Journal of Physical Science*. 8(22): 1209-1217.
- Ismunandar. 2006. *Padatan Oksida Logam: Struktur, Sintesis, dan Sifat-Sifatnya*. ITB. Bandung.
- Kumar, S., Shinde, T.J. dan Vasambekar, P.N. 2013. Microwave Synthesis and Characterization of Nanocrystalline Mn-Zn Ferrite. *Adv Mater Lett*. 4(5): 373-377.
- Lee, J.H., Huh, Y.M., Jun, Y.W., Seo, J.W., Jang, J.T., Song, H.T., Kim, S., Cho, E., Yoon, H.J., Suh, J.S. dan Cheon. 2006. Artificially Engineered Magnetic Nanoparticles for Ultra Sensitive Molecular Imaging. *Nature Medicine*. 13: 95-99.
- Lotgering. F.K. 1960. *Anisotropy Properties of Hexagonal Ferrimagnetic Oxides*. 31(5): 137-141
- Marki Microwave, "Return Loss Conversion Table", 215 Vineyard Court, Morgan Hill, CA 95037. www.markimicrowave.com.
- Mashadi., Yunasfi. dan Mulyawan, A. 2018. Microwave Absorption Study of Manganese Ferrite in X-Band Range Prepared by Solid State Reaction Method. *Jurnal Teknologi Universiti Teknologi Malaysia*. 80(2): 147-151.

- Muflihatun., Shopiah, S. dan Suharyadi, E. 2015. Sintesis Nanopartikel Nickel Ferrite (NiFe_2O_4) dengan Metode Kopresipitasi dan Karakterisasi Sifat Kemagnetannya. *Jurnal Fisika Indonesia*. XIX(55): 20-25.
- Mullai, R.U., Pradeep, P.P. dan Chandrasekaran, G. 2012. Synthesis and Characterization of Lanthanum Doped Mg-Zn Ferrite Nanoparticles Prepared by Sol-Gel Method. *International Journal of Recent Trends in Science and Technology*. 5(2): 78-85.
- Nabiyouni, G., Fesharaki, M.J., Mozafari, M. dan Amighian. 2010. Characterization and Magnetic Properties of Nickel Ferrite Nanoparticles Prepared by Ball Milling Technique. *Chinese Physics Letters*. 27(12): 126401.
- Pratitajati, E. 2012. Karakterisasi Mikrostruktural Material Penyerap Gelombang Elektromagnetik Senyawa $\text{La}_x\text{Ba}_{(1-x)}\text{Fe}_{0,25}\text{Mn}_{0,5}\text{Ti}_{0,25}\text{O}_3$ ($x=0, 0,25, 0,75$). *Tesis*. Universitas Indonesia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
- Sam, S. dan Nesaraj, A.S. 2011. Preparation of MnFe_2O_4 Nanoceramic Particles by Soft Chemical Routes. *International Journal of Applied Science and Engineering*. 9(4): 223-239.
- Shinde T.J., Gadkarib, A.B. dan Vasambekar, P.N. 2012. Influence of Nd^{3+} Substitution on Structural, Electrical and Magnetic Properties of Nanocrystalline Nickel Ferrites. *Journal of Alloys and Compounds*. 513: 80-85.
- Singh, P., Babbar, V.K., Raz, A., Srivastava, S.L. dan Puri, R.K. 1999. Complex Permeability and Permittivity, and Microwave Absorption Studies of $\text{Ca}(\text{CoTi})_x\text{Fe}_{12-2x}\text{O}_{19}$ Hexaferrite Composites in X-Band Microwave Frequencies. *Materials Science and Engineering*. 67: 132-138.
- Sinthiya, M.M.A., Ramamurthi, K., Mathuri, S., Manimozhi, T., Kumaresan, N., Margoni, M.M. dan Karthika, P.C.. 2015. Synthesis of Zinc Ferrite (ZnFe_2O_4) Nanoparticles with Different Capping Agents. *International Journal Chemical Technology Research*. 7(5): 2144-2149.
- Sisodia, M.L. dan Gupta V.L. 2007. *Microwaves: Introduction to Circuit, Devices and Antennas*. New Age International. New Delhi.
- Sonia, M.L., Blessi, S. dan Pauline, S. 2014. Role of Lanthanum Substitution on the Structural and Magnetic Properties of Nanocrystalline Nickel Ferrite. *International Journal of Advance Research In Science and Engineering*. 7(3): 360-367.
- Sukarna, I.M. 1995. Studi Selektifitas Pemisahan Lantanum dari Logam Tanah Jarang Serium, Neodinium, Samarium dan Galium dalam Sistem Ekstraksi

Pelarut Cair-Cair. *Tesis*. Institut Teknologi Bandung.

- Sukirman, E., Adi, W.A. dan Purwamargapratal, Y. 2012. Struktur Kristal dan Magnetoresistance Perovskit $\text{La}_{0,7}\text{La}_{0,3}\text{MnO}_3$ pada Suhu Kamar. *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia*. 13(2): 61-72.
- Sunaendar, B. dan Dharma, H.G. 2007. Pengaruh Komposisi terhadap Sifat Magnetik dari Serbuk Ferit Mn-Zn. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 9(1): 24-29.
- Supriyanto, R. 1996. Ekstraksi Lantanum (III) dengan dengan Teknik Membran Cair Berpendukung. *Tesis*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Takadate, K., Yamamoto, Y., Makino, A., Yamaguchi, T. dan Sasada, I. 1998. Fine grained Mn-Zn Ferrite for high frequency driving. *Journal of Applied Physics*. 83(1): 6861-6863.
- Tomsdorf, U.I., Bigall, N.C., Kaul, M.G., Bruns, O.T., Nikolic, M.S., Mollwitz, B., Sperling, R.A., Reimer, R., Hohenberg, H., Parak, W.J., Forster, S., Beisiegel, U., Adam, G. dan Weller, H. 2007. Size and Surface Effect on the MRI Relaxitivity of Manganase Ferrite Nanoparticle Contrast Agents. *Nano Letters*. 7(8): 2422-2427.
- Topp, N.E. 1965. *The Chemistry of The Rare Earth Elements*. Elsevier Publishing Company. New York.
- Tripathi, K.C., Abbas, S.M., Alegaonkar, P.S., dan Sharma, R.B. 2015. Microwave Absorption Properties of Ni-Zn Ferrite Nano-Particle based Nano Composite. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*. 2(2): 463-468.
- Umar, E. 2008. *Buku Pintar Fisika*. Media Pusindo. Jakarta.
- Young, H.D. dan Frredman R.A. 2003. *Fisika Universitas Edisi Kesepuluh Jilid 2*. Erlangga. Jakarta.
- Yunasfi., Adha, M. dan Nurhasni. 2018. Sifat Magnet dan Serapan Gelombang Mikro $\text{Mn}_{(1-x)}\text{Nd}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ Hasil Sintesis dengan Metode Ko-Presipitasi. *Jurnal ILMU DASAR*. 19(1): 17-22.
- Yunasfi, Indri Racmawati, Mashadi, Wisnu Ari Adi dan Nurmaya Arofah. 2018. Analisis Fasa Sistem $\text{Mn}_{(1-x)}\text{Nd}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ sebagai Kandidat Bahan Penyerap Gelombang Mikro. *Meralurgi*. 33(2): 55-60.
- Yunasfi., Adi, W.A., Mashadi. dan Rahmy, P.A. 2017. Magnetic and Microwave Absorption Properties of Nickel Ferrite ($\text{Ni}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$) by HEM Technique. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Science*. 13(3): 203-206.

- Zappata, A. dan Herrera, G. 2013. Effect of Zinc Concentration on the Microstructure and Relaxation Frequency of Mn-Zn Ferrite synthesized by Solid State Reaction. *Ceramics International*. 39: 7853-7860.
- Zare, F. 2011. *Electromagnetic Inteference Issues in Power Electronics and Power Systems*. Bentham Science Publisher. Netherlands.
- Zeng, M., Liu, J., Yue, M., Yang, H., Dong, H., Tang, W., Jiang, H., Liu, X. dan Yu, R. 2015. High-Frequency Electromagnetic Properties of the Manganese Ferrite Nanoparticles. *Journal of Applied Physics*.
- Zhang, Z., Yao, G., Zhang, X., Ma, J. dan Lin, H. 2015. Synthesis and Characterization of Nickel Ferrite Nonoparticles Via Planetary Ball Milling Assisted Solid-State Reaction. *Ceramics Inteternational*. 41: 4523-4530.
- Zipare, K., Dhumal J., Bandgar, S., Mathe, V. dan Shahane, G. 2015. Superparamagnetic Manganese Ferrite Nanoparticles: Synthesis and Magnetic Properties. *Journal of Nanoscience and Nonoengineering*. 1(3): 178-182.
- Zuo, X., Yang, A., Yoon, S.D., Christodoulides, J.A., Harris, V.G. dan Vittoria, Carmine. 2005. Magnetic Properties of Manganase Ferrite Films Grown at Atomic Scale. *Journal of Applied Physics*. 97: 2505-2507.