



UNIVERSITAS INDONESIA

EFEK SUBSTITUSI PARSIAL ION La PADA MATERIAL SISTEM $\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{O}_6(\text{Fe}_{1,5}\text{Mn}_{0,25}\text{Ti}_{0,25}\text{O}_3)$ TERHADAP SIFAT ABSORPSI GELOMBANG MIKRO

TESIS

Oleh :

Qodri Fitrothul Khasanah

1006733303

PROGRAM STUDI ILMU MATERIAL
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS INDONESIA

DEPOK

2012

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar

Qodri Fitrothul Khasanah

1006733303



Juni 2012

Universitas Indonesia

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh

Nama : Qodri Fitrothul Khasanah
NPM : 1006733303
Program Studi : Ilmu Material
Judul : Efek Substitusi Parsial Ion La Pada Material Sistem La,Sr,
 $D_6(Fe_{1-x}Mn_{0.25}Ti_{0.25}O_3)$ Terhadap Sifat Absorpsi Gelombang
Mikro

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Sains pada Program Fisika Murni dan Terapan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

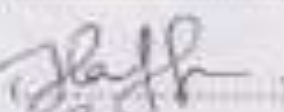
Ketua Jurusan : Dr. Bambang Soegijono



Pembimbing : Dr. Azwar Manaf, M.Met



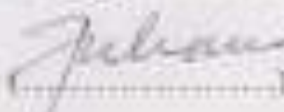
Penguji I : Dr. Muhamad Hikam



Penguji II : Dr. Suhartjo Poetandji



Penguji III : Dr. Dede Djahana



Ditetapkan di : Jakarta
Tanggal :

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT, tuhan semesta alam yang telah melimpahkan karunia dan rahmat kepada hamba-Nya. Sholawat dan salam semoga tercurah bagi Nabi besar Muhammad SAW satu-satunya manusia yang patut menjadi teladan. Karena berkat bimbingan dan kasih-Nya penulis dapat menyelesaikan tesis ini. Manisnya rintangan telah mewarnai penyusunan ini dan alhamdulillah dapat dilaluinya.

Penulisan tesis ini dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Sains Jurusan Ilmu Material pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Azwar Manaf , M.Met selaku pembimbing dengan penuh kesabaran memberikan inspirasi, motivasi, bimbingan dan semangat.
2. Orang tua, Adik, kakak dan keluarga besar yang turut memberikan bantuan dan dukungan.
3. Grup Penelitian Absorber, Hexaferite dan Manganate yang telah banyak memberikan masukan, diskusi dan bantuan teknis. Pak Erfan Handoko, pak meykel, pak wisnu, pak vecky, Endyas yang banyak membantu dalam diskusi dan karakterisasi sampel.
4. Sahabat dan teman SMK farmasi Sari farma yang selalu memberikan kelonggaran waktu mengajar.
5. Bu Siti dan Staf TU program *Material Science* yang membantu dalam segala hal administrasi.
6. Teman-teman seangkatan yang unik dan selalu ceria.
7. Dan semua pihak yang tidak mungkin saya sebutkan satu demi satu

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMISI

Sebagai civitas akademik Universitas Indonesia, saya bertanda tangan dibawah ini:

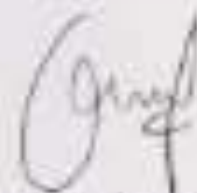
Nama : Qodri Fitrothul Khasanah
NPM : 1006733303
Program Studi : Ilmu Material
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalty Non-Eksklusif (**Non-exclusive Royalty Free Right**) atas karya ilmiah saya yang berjudul: "Efek Substitusi Parsial Ion La Pada Material Sistem $\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{O}_6(\text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_{0,25}\text{Th}_{0,25}\text{O}_3)$ Terhadap Sifat Absorpsi Gelombang Mikro" beserta perangkat yang ada (bila diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalty Non-Eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendescribaskannya dan menampilkan / mempublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin penulis sebagai pemilik Hak Cipta. Segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah ini menjadi tanggung jawab saya pribadi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta
Pada tanggal : Juni 2012
Yang menyatakan

(Qodri Fitrothul Khasanah)



Universitas Indonesia

ABSTRAK PENELITIAN

Nama : Qodri Fitrothul Khasanah
Program Studi : Ilmu Material
Judul : Efek Substitusi Parsial Ion La Pada Material Sistem $\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{O}_6(\text{Fe}_{1,5}\text{Mn}_{0,25}\text{Ti}_{0,25}\text{O}_3)$ Terhadap Sifat Adsorpsi Gelombang Mikro

Telah dilakukan sintesa dan karakterisasi terhadap efek substitusi parsial ion La terhadap sistem senyawa $\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{O}_6(\text{Fe}_{1,5}\text{Mn}_{0,25}\text{Ti}_{0,25}\text{O}_3)$ sebagai material penyanggah radiasi gelombang mikro dengan x adalah 0,3:0,5:0,7. Proses pembentukan dengan High Energy Milling/mekanikal alloying dari senyawa dasar La_2O_3 , SrCO_3 , Fe_2O_3 , MnO_3 , TiO_2 . Tahapan kristalisasi dilakukan dengan waktu pemanasan 4 jam suhu 1050 °C. Untuk x=0,3 dihasilkan 1 fasa $\text{La}_{0,3}\text{Sr}_{0,7}\text{O}_6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$, pola difraksi mengikuti pola $\text{SrO}_6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$. *Loop hysteresis* menunjukkan magnet permanent dengan hasil remanen 1258 emu/gr, koersivitas 0.1489 Oe. Untuk x= 0,5 dan 0,7 memiliki nilai remanen berkurang karena adanya fasa kedua dan ketiga sebesar 1251,46 emu/gr dan 1241,58 emu/gr, dengan nilai coersivitas 0,045 dan 0.146 Oe. Pada saat y = 1,5 substitusi Mn dan Ti untuk sistem $\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{O}_6(\text{Fe}_{1-y}\text{Mn}_{y/2}\text{Ti}_{y/2}\text{O}_3)$ pada hasil XRD menunjukkan 3 fasa dan *loop hysteresis* menunjukkan sifat feromagnetik, dengan nilai remanen tidak jauh berbeda dan koersifitas yang menurun dari sistem untuk x 0,3-0,7. Karakterisasi magnetik sistem $\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{O}_6(\text{Fe}_{1,5}\text{Mn}_{0,25}\text{Ti}_{0,25}\text{O}_3)$ menghasilkan nilai intensitas *reflection loss* paling optimal sebesar -6.73 dB pada frekuensi optimal 14,9 GHz. Dengan adanya substitusi Mn dan Ti sifat magnetik sistem berkurang sehingga menurunkan nilai absorpsi.

Kata Kunci : $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{O}_6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$, $\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{O}_6(\text{Fe}_{1,5}\text{Mn}_{0,25}\text{Ti}_{0,25}\text{O}_3)$, milling, sifat magnetik, *reflection loss*
Xi + 68 halaman : 35 gambar, 15 tabel
Daftar Pustaka : (1990-2012)

ABSTRACT

Name : Qodri Fitrothul Khasanah
Program Study : Material Science
Title : Parsial Substitution Effect Of Ion La Material Systems
 $\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{O}_6(\text{Fe}_{1.5}\text{Mn}_{0.25}\text{Ti}_{0.25}\text{O}_3)$ Characteritacion as
Microwave Absorbance

Synthesis and characterization has been done on the effects of partial substitution of ion La to the system $\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{O}_6(\text{Fe}_{1.5}\text{Mn}_{0.25}\text{Ti}_{0.25}\text{O}_3)$ as a material absorber of microwave radiation with x 0,3:0,5:0,7. Design process with Hight Energy Milling / mechanical alloying basic compounds La_2O_3 , SrCO_3 , Fe_2O_3 , MnO_3 , TiO_2 . Stages of crystallization with the heating temperature of 1050°C 4 hours. For x = 0.3 produced a phase $\text{La}_{0,3}\text{Sr}_{0,7}\text{O}_6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$, following of diffraction patterns $\text{SrO}_6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$. Loop Hysteresis shows a permanent magnet with the remanent 1258 emu / g, and coercivity 0.1489 Oe. For x = 0.5 and 0.7 have a remanent value reduced because of the second and third phases is 1251.46 emu / g and 1241.58 emu / g, with a coercivity value 0.045Oe and 0146 Oe. y = 1.5 substitution of Mn and Ti system of $\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{O}_6(\text{Fe}_{1-y}\text{Mn}_{y/2}\text{Ti}_{y/2}\text{O}_3)$ for XRD results indicate 3 phase a ferromagnetic characteristic. Loop hysteresis show is not much different the value of remanent, and the coercivity decrease of system $\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{O}_6(\text{Fe}_1, 5\text{Mn}_0, 25\text{Ti}_0, 25\text{O}_3)$. for x 0.3 to 0.7. Magnetic characterization of the reflection loss systems $\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{O}_6(\text{Fe}_{1.5}\text{Mn}_{0.25}\text{Ti}_{0.25}\text{O}_3)$ optimal value of -6.73 dB at a optimal frequency of 14.9 GHz. The substitution of Mn and Ti of the system is reduced magnetic characteristic in lower absorption values.

Keywords : $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{O}_6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$, $\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{O}_6(\text{Fe}_{1.5}\text{Mn}_{0.25}\text{Ti}_{0.25}\text{O}_3)$, milling, Magnetic, reflection loss
Xi + 68 Pages : 35 Pictures, 15 tables
References : (1990-2012)

DAFTAR ISI

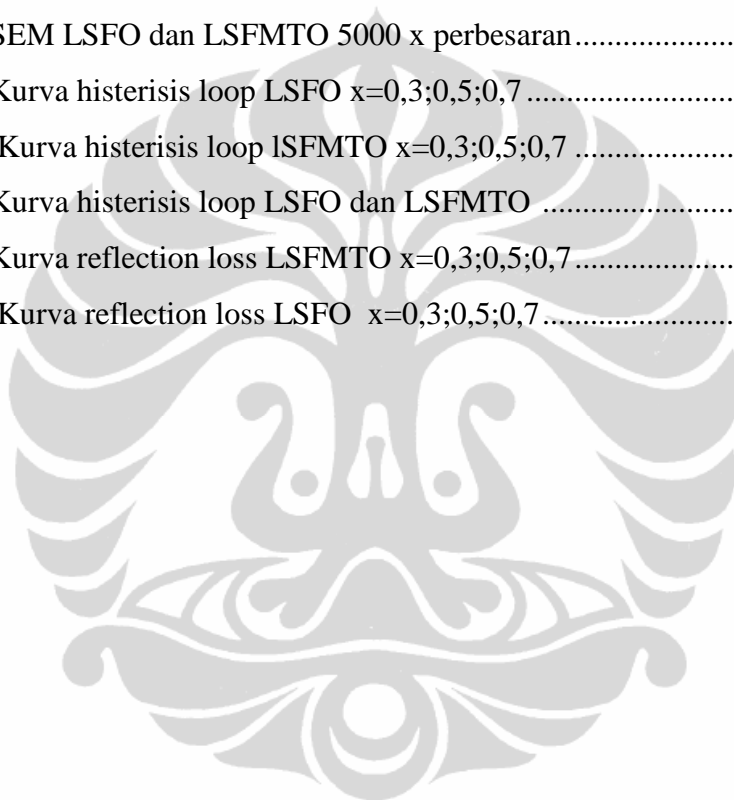
HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	iv
ABSTRAK.....	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
DAFTAR ISI.....	8
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Metodologi Penelitian	4
1.7 Sistematika Penulisan	5
2. TINJAUAN PUSAKA.....	6
2.1 Kisi Kristal Barium Hexaferite	6
2.2 Sifat Magnetik $MO_6(Fe_2O_3)$	10
2.3 Mekanikal milling dan Sintering.....	12
2.4 Loop Histerisis-sifat magnetik senyawa Ferite.....	15
2.5 Material Penyerap Gelombang Mikro (Material Absorber)	17

3. METODOLOGI PENELITIAN DAN PROSEDUR PERCOBAAN.....	22
3.1 Diagram Alir Penelitian	22
3.2 Preparasi Pembentukan Material Sistem $LaxSr_{1-x}O_6(FeMnTiO_3)$..	23
3.3 Proses Pembuatan Senyawa Sistem LSFO dan LSFMTO	24
3.4 Karakterisasi Sampel dengan difraksi sinar X.....	26
3.5 Karakterisasi mikrostruktur Sampel dengan SEM.....	27
3.6 Karakterisasi absorpsi gelombang mikro dengan VNA.....	28
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1 Karakterisasi Senyawa LSFO	30
4.1.1 Analisa XRD dan MATCH sebelum sintering.....	29
4.1.2 Analisa Ukuran Partikel LSFO $x=0,5$	36
4.1.3 Struktur Mikro Sistem LSFO $x=0,5$	37
4.2 Identifikasi fasa LSFO $x=0,3$ dan $0,7$	38
4.3 Analisa XRD LSFO variasi waktu milling dan suhu.....	45
4.4 Identifikasi Difraksi Sinar X sistem LSFMTO $x=0,3;0,5;0,7$	47
4.4. 1 Analisa SEM sistem LSFO dan LSFMTO.....	52
4.5 Analisa Sifat Magnetik.....	52
4.6 Analisis Reflection Loss Menggunakan VNA.....	55
5. KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran.....	61
DAFTAR REFERENSI	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Struktur Barium Hexaferite.....	6
Gambar 2.2. Kurva Histerisis senyawa Feromagnetik dan Feroelektrik	15
Gambar 2.3. Model Kurva Histerisis pada berbagai material magnetik.....	16
Gambar 2.4. Perbandingan Kurva Histerisis Magnet keras dan Magnet lunak	16
Gambar 2.5. Jenis Interaksi Material Pada Gelombang.....	21
Gambar 3.1. Diagram alir metodologi penelitian	22
Gambar 3.2. Alat Planetary Ball Milling.....	25
Gambar 3.3. Alat Furnace Thermolyne 6000 Untuk Sintering Sampel.....	26
Gambar 3.4. Alat Uji XRD Diffractometer Philips PANALYTICAL PW 2256 dan Skematik Difraktometer	26
Gambar 3.5. Alat Uji SEM Jeol JSM 5310 LV	28
Gambar 3.6. Seperangkat Alat VNA Tipe ADVANTEST R 3770	29
Gambar 4.1. Hasil Analisis XRD sampel LSFO.....	30
Gambar 4.2. Analisa LSFO perbandingan MATCH	31
Gambar 4.3. Pola difraksi XRD Bahan penyusun LSFO dan LSFMT0.....	31
Gambar 4.4. Analisa XRD LSFO Sintering 80 jam	35
Gambar 4.5. Ukuran partikel LSFO $x=0,5$	36
Gambar 4.6. Foto Analisis SEM LSFO	38
Gambar 4.7. Identifikasi XRD LSFO $x=0,7$	39
Gambar 4.8. Identifikasi XRD LSFO $x=0,3$	39
Gambar 4.9. Hasil XRD $\text{SrO} \cdot 6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ duong dkk	40
Gambar 4.10. Refind GSAS LSFO $x=0,3$	40
Gambar 4.11. Perubahan $x=0,3;0,5;0,7$ terhadap parameter kisi a.....	43
Gambar 4.12. XRD LSFO perbedaan waktu sintering 24 jam dan 4 jam	45
Gambar 4.13. XRD LSFO Perbandingan suhu sintering 1200 dan 1050 °C.....	46

Gambar 4.14. Perbandingan XRD LSFMTO $x=0,3;0,5;0,7$	47
Gambar 4.15. XRD LSFMTO $x=0,3$	48
Gambar 4.16. XRD LSFMTO $x=0,5$	48
Gambar 4.17. XRD LSFMTO $x=0,7$	49
Gambar 4.18. Pengaruh nilai x terhadap parameter kisi a	51
Gambar 4.19. SEM LSFO dan LSFMTO 5000 x perbesaran	52
Gambar 4.20. Kurva histerisis loop LSFO $x=0,3;0,5;0,7$	53
Gambar 4.21. Kurva histerisis loop LSFMTO $x=0,3;0,5;0,7$	53
Gambar 4.22. Kurva histerisis loop LSFO dan LSFMTO	54
Gambar 4.23. Kurva reflection loss LSFMTO $x=0,3;0,5;0,7$	56
Gambar 4.24. Kurva reflection loss LSFO $x=0,3;0,5;0,7$	56



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Posisi dan arah momen magnet Fe^{3+} pada sturktur tipe M	8
Tabel 2.2. Perbandingan berbagai teknik pengukuran.....	19
Tabel 2.3. Pembagian daerah jangkauan gelombang mikro	21
Tabel 3.1 Fraksi berat LSFO.....	23
Tabel 3.2 Fraksi berat LSFMTO.....	24
Tabel 4.1 Hasil perbandingan nilai d senyawa LSFO $x = 0,5$ dengan nilai ICDD pada program PCPDFwin.....	32
Tabel 4.2 Posisi Wycoff senyawa $SrO.6(Fe_2O_3)$	33
Tabel 4.3. Posisi Wycoff sampel LSFO $x=0,5$	33
Tabel 4.4 Nilai parameter kisi.....	34
Tabel 4.5. Nilai stokiometri LSFO	34
Tabel 4.6. Nilai stokiometri LSFO $x=0,3;0,5;0,7$	41
Tabel 4.7. Parameter kisi LSFO $x=0,3;0,7$	42
Tabel 4.8. Posisi atom $SrO.6(Fe_2O_3)$ sistem LSFO $x=0,3;0,5;0,7$	43
Tabel 4.9. Nilai parameter kisi LSFO suhu $1200\text{ }^{\circ}C$, $1050\text{ }^{\circ}C$	47
Tabel 4.10. Nilai stokiometri LSFMTO $x=0,3;0,5;0,7$	49
Tabel 4.11. Perbandingan parameter kisi LSFMTO $x=0,3;0,5;0,7$	49
Tabel 4.12. Hasil pengukuran sifat magnetik LSFO dan LSFMTO	54
Tabel 4.13. Datapenyerapan gelombang mikro LSFO dan LSFMTO.....	57
Tabel 4.14. Analogi nilai reflection loss	59
Tabel 4.15. Nilai intensitas penyerapan senyawa LSFO dan LSFMTO.....	60

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sejalan dengan perkembangan teknologi elektronik dan informasi yang begitu pesat diperkirakan ruang sekitar akan terpolusi oleh pembawa gelombang elektromagnetik (EM) dengan frekuensi ultra tinggi (GHz). Hal ini dapat mengancam tidak saja berbagai sistem peralatan berbasis elektronik seperti sistem control elektronik dan sistem keamanan peralatan yang sangat vital tetapi juga mengancam kesehatan dan keamanan manusia. Sebagai contoh berbagai peralatan elektronik dan telekomunikasi seperti komunikasi nir kabel (wireless communication), jaringan era terbatas, maupun aplikasi pada pertahanan militer (deteksi RADAR) dapat terganggu melalui interferensi gelombang elektromagnetik (elektromagnetik Interferensi) berupa interupsi yang menyebabkan tidak berfungsinya atau terganggunya sistem. Gelombang mikro dalam rentang frekuensi 1-20 GHz^[1]. Telah umum digunakan untuk komunikasi nir kabel dan masa-masa mendatang penggunaan frekuensi tersebut akan makin intensif. Untuk mengimbangi dampak dari perkembangan TI yang pesat tersebut diperlukan sistem material yang dapat berperan sebagai penyanggah gelombang mikro termasuk ultra tinggi (UHF) dari radiasi EM yang dipancarkan.

Material Lantanum Stronsium Hexaferrite telah menjadi bahan riset yang menarik dan merupakan salah satu senyawa penting yang masih diteliti sejak beberapa dekade belakangan ini. Terutama aplikasi yang luas dalam bidang industri material elektronik dan magnetik^[1]. Senyawa ini memiliki magnetisasi total dan medan anisotropi yang relatif tinggi, serta ketahanan terhadap korosi dan stabilitas

kimia yang baik ^[2]. Sifat semacam ini sangat diperlukan untuk produk-produk industri antara lain sebagai media penyimpanan data atau *devise microwave*. Oleh karena itu tidak berlebihan jika senyawa Stronsium Hexaferrite dikategorikan sebagai salah satu material strategis di dunia industri yang merupakan material permanen magnetik^[3].

Stronsium Heksaferrit dapat disintesa dengan beberapa metode seperti kristalisasi gas, presipitasi hidrotermal, sol-gel, aerosol, copresipitasi dan pemaduan mekanik^[4]. Diantara metode ini pemaduan mekanik adalah ekonomis dan relatif sederhana^[5]. Selain itu penanganan material untuk produksi skala besar dapat diimplementasikan dengan mudah.

1.2 Perumusan Masalah

Kemampuan penyerapan gelombang elektromagnetik berkaitan dengan sifat elektrik dan magnetik suatu material. Sifat tersebut dipengaruhi oleh struktur Kristal^[4]. Bahan magnet yang berbasis Hexaferite sampai saat ini menjadi primadona bahkan menguasai pasar hingga 52% sebagai magnet permanen^[2]. Sedangkan Stronsium heksaferite memiliki kelebihan sebagai magnet permanen, magnetik rekaman media, perangkat microwave, dengan kelebihan nilai koersivitasnya besar, stabilitas kimia yang baik, tahan korosi^[3]. Oleh karena itu perlu adanya penelitian lebih lanjut dari sifat ini.

Salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk aplikasi sebagai bahan penyerap gelombang elektromagnetik adalah material harus memiliki nilai koersivitas serendah mungkin dengan saturasi magnet yang tinggi. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan dibuat bahan magnetik dan elektrik dengan doping bahan elektrik sebagai material magnetik dan elektrik dengan struktur sistem $\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{O}_6(\text{Fe}_{1,5}\text{Mn}_{0,25}\text{Ti}_{0,25}\text{O}_3)$. Hal ini didasarkan pada mudahnya stronsium hexaferite untuk di substitusi dengan lanthanum ^{[1] [5]} dan pendopingan Fe^{3+} dengan kation Co,

Mn, dan Ru ^[2]. Sehingga diharapkan dapat mempengaruhi baik struktur maupun sifat magnetnya. Namun sejauh mana pengaruh adanya ion Mn dan Ti terhadap karakter penyerap gelombang elektromagnetik belum diteliti lebih jauh.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian ini dibuat untuk mengetahui beberapa hal yang sebelumnya belum dilakukan, yaitu :

1. Mempelajari efek substitusi Sr oleh La dan Mn Ti oleh Fe pada sistem $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{O}_6(\text{Fe}_{1,5}\text{Mn}_{0,25}\text{Ti}_{0,25}\text{O}_3)$ dengan metode serbuk pada variasi $x = 0,3; 0,5; 0,7$.
2. Melakukan pengukuran sifat magnetik dan absorpsi pada sistem $\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{O}_6(\text{Fe}_{1,5}\text{Mn}_{0,25}\text{Ti}_{0,25}\text{O}_3)$.

1.4 Manfaat Penelitian

Material Stronsium Hexaferite sudah dikenal sebagai magnet kuat yang memiliki peranan besar dalam teknologi komunikasi. Bahan magnetik berbasis ferrite tersebut mampu mereduksi gelombang elektromagnetik hingga skala MHz bahkan GHz dengan sedikit *magnetic loss*. Oleh karena itu, bahan magnet berbasis ferrite yang didoping dengan Mn dan Ti melalui metode rekayasa struktur akan memberikan wawasan yang luas tentang rekayasa bahan guna aplikasi tertentu sesuai kebutuhan. Selain itu diharapkan dapat menjadi landasan sebagai pengembangan material penyerap lebih lanjut.

1.5 Batasan Masalah

Dengan begitu luasnya cakupan penelitian pada bahan yang berbasis Lantanum Stronsium, Maka penulis membatasi permasalahan pada beberapa parameter berikut:

1. Sintesa senyawa sistem Sistem $\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{O}_6(\text{Fe}_{1,5}\text{Mn}_{0,25}\text{Ti}_{0,25}\text{O}_3)$ ($x=0,3;0,5;0,7$) yang berasal dari bahan dasar La_2O_3 , SrCO_3 , MnCO_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 .
2. Pengukuran Pola difraksi XRD untuk komposisi x yang berbeda waktu pemanasan yang berbeda, suhu berbeda dan waktu milling berbeda
3. Karakterisasi Magnetik, elektrik dan absorpsi senyawa sistem $\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{O}_6(\text{Fe}_{1,5}\text{Mn}_{0,25}\text{Ti}_{0,25}\text{O}_3)$ dan mengetahui nilai *reflection loss* material.

1.6 Metodologi Penelitian

Sampel sistem $\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{O}_6(\text{Fe}_{1,5}\text{Mn}_{0,25}\text{Ti}_{0,25}\text{O}_3)$ dipreparasi dengan beragam variasi wt% La_2O_3 , SrCO_3 , Fe_2O_3 , MnO_3 , TiO_2 , dimana nilai x bervariasi dari $x=0,3;0,5; 0,7$. Kemudian sampel dimasukkan ke dalam vial dan dimilling sampai waktu 10 jam. Sampel yang sudah di milling dikarakterisasi dengan XRD, hal ini dilakukan untuk melihat kehomogenan dari sampel yang dihasilkan. Sampel kemudian di furnace selama 4 jam suhu 1050°C setelah itu dikarakterisasi kembali dengan XRD. Sifat magnetik diukur dengan Permeagraf sedangkan sifat serapan gelombang mikro material diukur menggunakan VNA (*Vector Network Analyzer*) pada frekuensi 8-16GHz.

1.7 Sistematika Penelitian

Sistematika penelitian tugas akhir ini terdiri dari lima bab. Meliputi BAB I hingga BAB V yang mengacu pada pedoman teknis penulisan tugas akhir mahasiswa Universitas Indonesia sesuai dengan surat Keputusan Rektor Universitas Indonesia No.628/SK/R/UI/2008. Masing-masing terdiri dari beberapa sub-bab untuk mempermudah penjelasan. Penulisan bab dilakukan sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Merupakan bagian yang menjelaskan secara umum yang menjadi latar belakang penelitian, tujuan penelitian, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penelitian.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Merupakan bagian yang menjelaskan teori yang mendasari dan mendukung proses penelitian. Teori yang akan dibahas mengenai sifat bahan Hexaferite dan aplikasinya, sifat magnetik dan sifat intrinsik hexaferit, kisi Kristal, parameter kisi, dan ukuran butir.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Merupakan bagian yang berisi tentang tata laksana dalam mencapai tujuan penelitian, mulai dari penentuan diagram alur penelitian, metode preparasi material, variasi parameter, dan karakterisasi yang diperlukan.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Merupakan bagian yang membahas mengenai data hasil karakterisasi material yang telah divariasikan, pembahasan tentang pengaruh variasi suhu, waktu milling, waktu sintering, serta pembahasan tentang sifat absorbs sampel.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

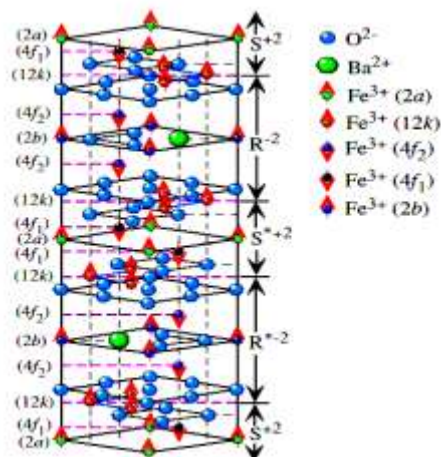
Merupakan bagian yang berisi tentang kesimpulan penelitian yang telah dilakukan dan saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN LITERATUR

2.1 Kisi Kristal Barium Hexaferite

Cara paling sederhana untuk memahami kisi kristal adalah dengan membayangkan atom-atom dalam kristal berupa titik-titik. Setiap titik-titik mempunyai lingkungan yang serba sama, sehingga satu sama lain tidak dapat dibedakan walaupun dipandang dari segala arah. Bila tiap-tiap titik tersebut dihubungkan maka akan diperoleh kisi-kisi yang teratur dan periodik memenuhi ruang. Berikut ilustrasi yang menunjukkan kisi sebuah sistem Kristal Stronsium Hexaferite seperti pada gambar 2.1:



Gambar 2.1. Struktur Barium Hexaferite (sumber www.springerimages.com)

$\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ tergolong pada hexaferite tipe M. struktur kristal paduan ini bersifat iso-struktur dengan magnetoplumbit^[4]. Ion Fe tersusun secara tetrahedral (FeO_4)

secara trigonal Bipiramida (FeO_5) secara Oktahedral (FeO_6) dengan ion Oksigen, ion Fe pada $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ tersusun pada bidang trigonal bipiramida (2b) dan Oktahedral (2a,12k) dengan orientasi spin paralel terhadap Fe pada bidang 4f^[8]. Nilai Space group p 63/m m c dengan parameter kisi adalah $a= 0.58836$ nm dimana $a=b$ dan $c= 2.3076$ nm pada temperature ruangan. Sedangkan densitas Kristal melalui pengukuran dengan X-ray diperoleh $5,33 \text{ gr/cm}^3$. Terdapat satu unit formula dalam satu unit cell^[6].

Struktur kristal $\text{MO}_6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ pertama kali ditemukan oleh *Adelskold* pada tahun 1938, dipreparasi dengan memanaskan campuran hingga mengendap dari larutan nitrat. Ion O_2^- membentuk kisi *hexagonal close packed* (HCP), sehingga lapisan lapisan yang tegak lurus dengan arah [001] adalah ABAB... atau ACAC... Setiap lima lapisan oksigen, satu ion O_2^- digantikan dengan M dan ini dikarenakan kesamaan jari-jari ionik keduanya. Lima buah lapisan membentuk satu molekul dan dua molekul sel unit. ion Fe pada $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ tersusun pada bidang trigonal bipiramida (2b) dan oktahedral (2a, 12k) dengan orientasi spin paralel terhadap ion Fe pada bidang 4f. Fang juga meneliti struktur elektronik dan magnetik dari $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ menggunakan metoda *locallized spherical wave (LSW)* memakai *density functional theory (DFT)* dalam *spin-polarized local density approximation (SP-LDA)*. Hexaferrite $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ memiliki struktur kristal Hexagonal seperti terlihat dalam gambar 2.1. Oksigen terletak *close packed* dengan ion Sr dan Fe di dalam sisi interstisi. Terdapat 10 lapisan atom Oksigen sepanjang axis *c*. Struktur dibangun dari unit yang lebih kecil sebuah blok S kubik, mempunyai tipe struktur Spinel, dan sebuah blok R hexagonal, mengandung ion-ion Sr. Atom-atom Fe terletak pada lima bidang yang berbeda secara kristalografi.

Tabel 2.1 Posisi atom dan arah momen magnet Fe^{3+} pada struktur tipe-M ^[11]

Coordination number	Number of positions	Wyckoff's notation	Direction of magnetic moment per mole	Remarks
6 (Octahedral site)	12	k	$\uparrow \uparrow \uparrow \uparrow \uparrow \uparrow$	I (a)
	4	f_2	$\downarrow \downarrow$	III (d)
	2	a	\uparrow	V (b)
4 (Tetrahedral site)	4	f_1	$\downarrow \downarrow$	II (c)
5 (Trigonal bipyramidal site)	2	b	\uparrow	IV (e)

Struktur garnet dalam bentuk mineral dan sering dijumpai di alam terbentuk dalam $\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$. Pada tahun 1996, struktur garnet ditemukan dalam bentuk $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ yang lazim disebut dengan Yttrium Iron Garnet^[6]. Garnet memiliki struktur yang sangat kompleks. Dalam satu unit sel kubus terdapat 160 atom yang terdiri dari 96 ion O^{2-} bertindak sebagai anion, 24 ion Y^{3+} yang bertindak sebagai kation, 24 ion Fe^{3+} tersusun secara tetrahedral, dan 16 ion Fe^{3+} tersusun secara oktahedral^[4]. Semua ion-ion tersebut membentuk satu struktur yang hampir mirip dengan spinel, namun karena Yttrium memiliki jari-jari atom yang sangat besar, maka mampu mendistorsi kisi membentuk struktur garnet.

Bahan hexaferit bila ditinjau dari struktur kristalnya dapat dibedakan menjadi enam tipe yaitu tipe M, W, Y, Z, X dan U^[4]. Tipe M disebut juga dengan struktur magnetoplumbit, tersusun atas 2 blok spinel untuk membentuk struktur Fe_6O_8 dalam susunan S dan S*, dan blok R yang berisi ion Barium dan ion Oksigen membentuk struktur $\text{BaFe}_6\text{O}_{11}$ ^[2]. Sehingga struktur kristal tipe M ini berisi ion-ion yang tersusun secara RSR*S*. Jumlah perbandingan antara SrO dan Fe_2O_3 tipe M konvensional ini memiliki rasio sebesar 1:6 dengan senyawa empiris $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$. Hexaferrite tipe M ini juga memiliki *medan anisotropi* (Ha) sangat tinggi hingga mencapai 35 KG dan *konstanta anisotropi* kristal sebesar $3,3 \times 10^5 \text{ Jm}^{-3}$ ^[4]. Sehingga memiliki peluang

untuk digunakan sebagai magnet permanen dengan menghasilkan energi produk maksimum magnet sebesar $45,26 \text{ kJm}^{-3}$.

Hexaferrite tipe W memiliki perbandingan mol antara MeO dengan Fe_2O_3 sebesar 3:8 dengan membentuk senyawa $\text{BaFe}_{18}\text{O}_{27}$. Tipe W ini memiliki temperatur Curie dan saturasi magnetic total paling tinggi dibandingkan kelima keluarga hexagonal ferrite yang lain^[4]. Walaupun tipe W ini memiliki magnetisasi total paling tinggi, namun nilai koersivitasnya sangat kecil, hanya beberapa ratus Oersted, sehingga hexaferrite tipe W ini digolongkan sebagai keluarga kelas soft magnetic material.

Hexaferrite tipe Y memiliki bentuk konvensional 2 MeW yang tersusun atas blok 3(ST). Setiap unit selnya terdiri dari $\text{Ba}_2\text{Me}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$. Blok S dan blok T masing-masing memiliki struktur Fe_6O_8 dan $\text{Ba}_2\text{Fe}_8\text{O}_{14}$. Struktur Fe_6O_8 merupakan dua lapisan spinel yang dihubungkan dengan blok T yang memiliki dua buah ion barium dengan struktur hexagonal dalam bentuk $\text{Ba}_2\text{Fe}_8\text{O}_{14}$. Dengan demikian tipe Y ini memiliki susunan STST dan seterusnya tanpa terjadi pencerminan bidang kristal seperti pada tipe M. Namun kelemahan hexaferrite tipe Y ini memiliki stabilitas termal yang sangat rendah^[5].

Hexaferrite tipe Z memiliki perbandingan $(\text{BaO} + \text{MeO})$ dengan Fe_2O_3 sebesar 5:12^[6]. Tipe Z ini memiliki komposisi $\text{Ba}_3\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$ dengan permeabilitas paling tinggi juga stabilitas termal yang baik dan merupakan bahan yang paling banyak digunakan untuk aplikasi pada frekuensi tinggi hingga ratusan MHz^[7]. Tipe Z ini memiliki struktur yang lebih kompleks dibandingkan kelima keluarga hexaferrite yang lain sehingga jauh lebih rumit dan sangat bergantung pada komposisi kimia, mikrostruktur maupun proses preparasinya.

2.2 Sifat Magnetik $\text{MO.6}(\text{Fe}_2\text{O}_3)$

Sifat magnetik senyawa ini, pada umumnya ferrit keras, sangat bergantung pada nilai-nilai intrinsiknya. Nilai-nilai ini meliputi *magnetisasi saturasi* M_s , *medan anisotropi* H_A dan *temperature Curie* θ_c .

Magnetisasi saturasi M_s menunjukkan nilai magnetisasi sisa yang masih ada saat material tersebut tidak lagi diberi medan magnet luar ($H=0$). Adapun *temperature Curie* θ_c dapat didefinisikan sebagai temperatur kritis dimana fase magnetik bertransisi dari konfigurasi struktur magnetik yang teratur menjadi tidak teratur. Para peneliti telah menentukan nilai-nilai ini dalam eksperimen mereka. Walaupun hasil penelitian mereka berbeda-beda akan tetapi H. Kojima berhasil merangkum sebagai berikut:

1. Magnetisasi saturasi menjadi lebih kecil nilainya sesuai dengan urutan SrM, BaM dan PbM.
2. Temperature Curie makin kecil nilainya dengan temperature menyerupai garis lurus pada range 200 - 600 K.

Nilai *magnetisasi saturasi* M_s , pada temperature 293 K, yang diperoleh sebesar 390 Gauss. Sedangkan *temperature curie* θ_c , sebesar 740 K. kedua nilai ini mengikuti pengukuran yang dilakukan oleh Shirk dan Buessem pada tahun 1969^{[8][9]}.

Medan anisotropi (H_A), juga merupakan nilai intrinsik yang sangat penting dari material ferit keras karena nilai ini biasa di definisikan dengan *koersifitas maksimum* yang menunjukkan besar medan magnet luar yang diberikan dengan arah berlawanan untuk menghilangkan medan magnet permanen^[2]. Dari pengukuran yang dilakukan oleh Shirk dan Buessem pada tahun 1969 diperoleh nilai H_A sebesar 17,55 kOe pada suhu ruang 300K. sifat material magnetik lunak (*Soft magnetic material*)

yang diharapkan terjadi adalah terjadinya penurunan nilai koersivitas (H_c) dan peningkatan saturasi magnetisasi (M_s)^[6].

Penelitian yang intensif sudah dilakukan peneliti untuk memodifikasi parameter magnetik Stronsium Hexaferrite dengan mensubstitusi ion Fe^{3+} dengan kation Mn dan Ti^[1,2]. penelitian lain yang dilakukan dengan peneliti yang sama mensubstitusi ion Fe^{3+} dengan kation lainnya atau kombinasi kation seperti Mn-Co, Co-Ti^[2]. dimana dengan melakukan substitusi diperoleh fasa tunggal dan mendapatkan keunggulan dalam fungsinya sebagai penyerapan gelombang terutama dalam aplikasi dengan frekuensi tinggi. Penelitian lain mensubstitusi Fe^{3+} dengan Zr-Cu^[10] pada penelitian ini diperoleh perbaikan terhadap sifat intrinsik material diantaranya terjadi penurunan koersivitas sehingga bisa menjadi kandidat dalam aplikasi sebagai media perekam data (*data recording*).

Contoh di atas membuktikan bahwa rekayasa material magnetik *strontium hexaferrite* dengan merubah sifat instrinsiknya akan meningkatkan kemampuan material tersebut dalam aplikasinya diberbagai bidang. Meskipun demikian rekayasa struktur ferrite baik pada skala sel satuan kristalnya maupun struktur materialnya akan menghasilkan informasi baru terhadap aplikasi material ferrite basis $SrFe_{12}O_{19}$.^[2] Terutama bagaimana memperlebar *bandwidth* frekuensi serapan serta intensitas gelombang mikro yang mampu terserap.

Perkembangan teknologi penyerap gelombang elektromagnetik saat ini sudah menghasilkan material yang secara efektif mengurangi refleksi signal elektromagnetik dan mempunyai performa fisik yang baik^[9]. Bahan feromagnet dengan permeabilitas yang sangat tinggi dapat digunakan sebagai penyerap gelombang elektromagnetik frekuensi rendah. Dalam rangka kebutuhan terhadap kemampuan penyerapan gelombang elektromagnetik dengan frekuensi yang lebih tinggi, bahan tersebut digantikan dengan bahan magnet berbasis ferrite yang mampu mereduksi gelombang elektromagnetik hingga skala MHz bahkan sampai GHz. Senyawa ferrite memiliki

aplikasi yang sangat luas. Penggunaannya telah dimulai sejak abad 12 yaitu senyawa primitif ferrite yang dikenal sebagai *lodestone* (Fe_3O_4) digunakan sebagai kompas untuk tujuan navigasi. Namun sejak abad ke 19, senyawa-senyawa ferrite lain dipelajari secara intensif terhadap sifat-sifat elektronik, magnetik, serta strukturnya sehingga material berbasis ferrite kini telah menemukan aplikasinya pada bidang-bidang yang relatif luas. Barium Hexaferrite ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) atau Strontium Hexaferrite ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$)^[4]. Verma, A (2002) telah melakukan penelitian dalam aplikasi material tersebut sebagai penyerap gelombang elektromagnetik. Penelitian terhadap barium hexaferrite termasuk modifikasi dengan melakukan substitusi terhadap Ba dan Fe dalam rangka meningkatkan performansinya sebagai penyerap gelombang sudah banyak dilakukan^[8].

Adanya variasi material penyerap gelombang elektromagnetik dapat digunakan tergantung pada interferensi gelombang elektromagnetik (*Electromagnetic Interference, EMI*) yang sesuai untuk aplikasi dengan frekuensi rendah atau tinggi. Bahan magnetik berbasis ferrite yang sering digunakan adalah spinel ferrite dan hexaferrite, tetapi dibandingkan spinel ferrite bahan hexaferrite dengan unisotropi magnetik planar lebih banyak digunakan sebagai disipasi energi elektromagnetik pada rentang GHz^[11]. Penelitian lain menyebutkan jenis ferrite spinel Mn-Zn dapat digunakan sebagai penyerap gelombang mikro pada rentang frekuensi 1-3 GHz (Kang, D.W. et.al, 2001). Sedangkan ferrite jenis Garnet digunakan pada aplikasi frekuensi-frekuensi yang lebih tinggi mencapai 6 G^[19]. Penyerap gelombang elektromagnetik frekuensi tinggi menggunakan material ferrite jenis $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ ^[8].

2.3 *Mechanical Milling dan Sintering*

Sampai saat ini beberapa teknik sudah dikembangkan terhadap persiapan bahan pada substitusi hexagonal ferrite untuk aplikasi perekam maupun peralatan

gelombang elektromagnetik, diantaranya metode *micro emulsion*^[12], *chemical coprecipitation*^[5], *sol-gel*^[1], *self combustion*^[4]. Metoda preparasi lain yang cukup banyak digunakan oleh peneliti adalah menggunakan metoda *mechanical milling* dan *mechanical alloying*^[2].

Teknik *Mechanical milling*/penggerusan memberi banyak kemudahan secara teknis, disamping peralatannya yang sederhana juga memungkinkan untuk dilaksanakan. Prinsip fisika dari metode ini adalah larutan padat dari paduan magnetik yang akan dibuat berupa serbuk material penyusun paduan dipadukan secara mekanik sehingga memungkinkan diperoleh paduan dengan fasa amorf^[9]. Melalui proses kristalisasi dengan pemanasan pada temperatur dan waktu yang dapat dikontrol, memungkinkan untuk mendapatkan serbuk paduan magnetik dengan struktur baik dalam skala nanometer maupun mikrometer.

Menurut Lu, *Mechanical alloying* /penggerusan biasanya dilakukan dalam lingkungan *inert* dalam sebuah *ball mill*, dan sebuah teknik alternatif untuk memproduksi serbuk logam dan keramik dalam kondisi padat. Penggunaan metoda ini bisa dilakukan untuk paduan dan fasa *non-equilibrium*. Partikel serbuk selama *mechanical alloying* akan terjadi energi tumbukan tinggi, yang menyebabkan *cold weld* secara bersama dan *fracture*^[9]. Secara mikrostruktur proses Penggerusan dapat dibagi menjadi tiga tahapan: tahap pertama, partikel serbuk akan terjadi *cold weld* bersama membentuk struktur lapisan (*laminated*). Komposisi kimia dari partikel komposit sangat bervariasi dalam partikel dan partikel ke partikel. Pada tahap kedua, Struktur *laminated* akan semakin halus dikarenakan terjadi *fracture*^[9]. Ketebalan *laminated* akan menipis meskipun terjadi disolusi tetapi komposisi kimia masih belum homogen, ukuran kristal yang halus sudah terlihat. Pada tahap akhir, lapisan akan semakin halus dan hampir tidak terlihat. Komposisi kimia sudah homogen dan sudah terbentuk paduan baru yang berbeda dari campuran serbuk awal^[2].

Menurut Suryanarayana, pada *proses mechanical alloying* dan *milling* peralatan yang biasa digunakan seperti: *SPEX shaker mill, planetary ball mill, attritor mill, commercial mill*. *Mechanical alloying* merupakan proses yang kompleks membutuhkan optimalisasi dari sejumlah variabel untuk memperoleh fasa produk dan mikrostruktur yang diharapkan. Beberapa parameter penting yang berpengaruh terhadap hasil akhir adalah: *type of mill, milling container, milling speed, milling time, type, size, and size distribution of the grinding medium, ball-to-powder weight ratio, extent of filling ration, milling atmosphere, process control agent, temperature of milling*^[11].

Pentingnya beberapa parameter di atas diantaranya mengenai *milling time*, merupakan parameter yang paling penting karena dipilih untuk mencapai *steady state* antara *fracturing* dan *cold welding* partikel serbuk. *Milling time* yang dibutuhkan tergantung tipe alat yang digunakan, intensitas *milling*, *ball-to-powder ration*, *temperature of milling*. Jika terlalu lama maka tingkat kontaminasi akan meningkat dan fasa yang tidak diinginkan akan terbentuk. *Ball-to-powder weight ratio*, bervariasi pada peneliti yang berbeda mulai 1:1 sampai dengan 220:1, pada umumnya 10:1 biasa digunakan^[2].

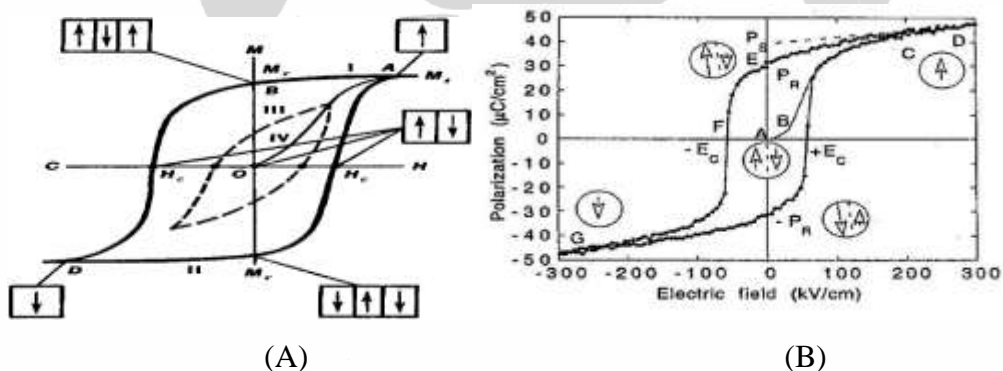
Selain beberapa keunggulan dari proses *mechanical alloying*, terdapat beberapa permasalahan seperti; kontaminasi serbuk yang berasal dari kondisi *milling* (*grinding medium, grinding vessel, time of milling, intensity of milling*) dan lingkungan pada proses *milling* juga akan mempengaruhi. Hal lain adalah keterbatasan pengetahuan tentang *mechanical alloying* dan aplikasi yang masih terbatas^[12]. Hasil penelitian lain menyimpulkan bahwa atmosfer *milling* tidak berpengaruh terhadap struktur dan sifat magnetik material^[4].

Proses sintering yang dilakukan setelah *milling*, bertujuan untuk memperoleh fasa yang diharapkan dengan terjadinya difusi pada proses tersebut^[2] Beberapa peneliti menggunakan variabel *milling* dan temperatur sintering yang berbeda seperti :

pada material Strontium Hexaferrite $\text{SrFe}_9\text{Mn}_{1.5}\text{Ti}_{1.5}\text{O}_{19}$ menggunakan milling selama 8 jam dan disinter pada 1250°C selama 3 jam^[9]. Hexaferrite $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ menggunakan *high energy ball milling* selama 0.5-2 jam dan disinter pada $750\text{-}1100^\circ\text{C}$ selama 1 jam dan dinyatakan bahwa proses sinter dapat meningkatkan sifat magnetik dari material [4].

2.4 Loop Histerisis –Sifat Magnetik Senyawa Ferite

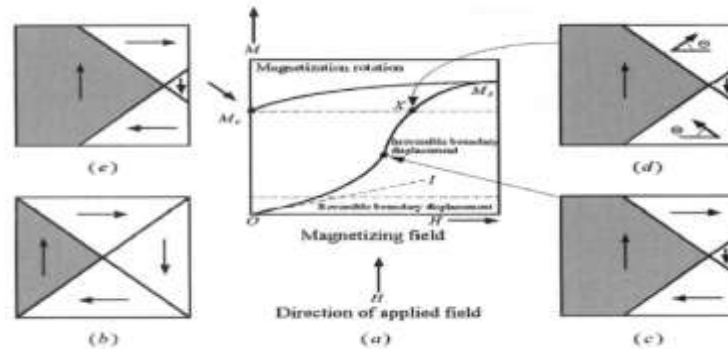
kurva histerisis pada bahan merupakan bentuk disipasi energi yang terjadi selama proses pembentukan kurva B-H. Besarnya energi yang didisipasikan pada frekuensi rendah umumnya dipengaruhi oleh porositas, ukuran grain dan impuritas^[8]. Fenomena ini dikenal sebagai refleksi histerisis yang mempunyai hubungan tidak linear antara induksi magnetik H dan magnetisasi M yang terjadi dalam material. Dua parameter penting yang menghasilkan disipasi adalah saturasi magnetik dan koersifitas.



Gambar 2.2. Kurva histerisis senyawa (A) Feromagnetik) dan (B) Feroelektrik

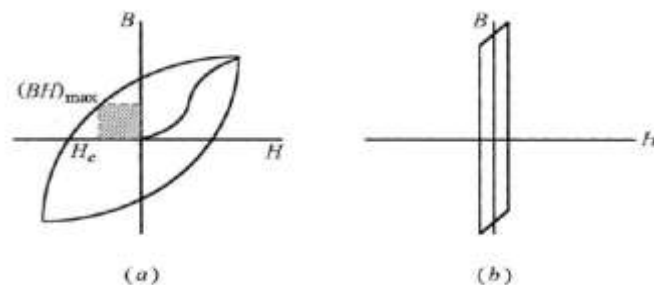
Saat pemberian medan listrik dengan kenaikan potensial yang konstan maka akan terjadi polarisasi yang dimulai pada arah polarisasi yang searah dengan medan kemudian memperbesar domain polarisasi lewat induksi terhadap dipol listrik yang

belum searah. Mekanisme ini disebut dengan *electric domain wall* seperti tampak pada gambar 2.2 (A) dan (B). Pada gambar 2.2 (A) untuk senyawa feromagnetik sedangkan gambar (b) untuk senyawa feroelektrik.



Gambar 2.3. Model kurva histerisis pada berbagai material Magnetik.

domain yang searah dengan medan H seperti terlihat dalam gambar 2.3 akan membesar oleh pergerakan *irreversible* dari *domain wall* sampai pada poin x . (d) diatas nilai x , nilai magnetisasi terjadi oleh karena perubahan sudut domain sisa yang *reversible*. (e) Ketika medan magnet eksternal dihilangkan, *irreversibility* akibat pergerakan *domain wall* menghasilkan remanen magnet yang memberikan sifat magnet permanen pada material.



Gambar 2.4. Perbandingan kurva histerisis (a) Magnet keras. (b) Magnet lunak.

Dengan menghilangkan medan magnetik H , nilai M tidak akan mengikuti pergerakan kurva originalnya namun akan mengikuti kurva $M_s - M_r$ dan memotong sumbu Y pada nilai M_r yang disebut sebagai remanen magnet. Berdasarkan bentuk kurva histerisis, pada gambar 2.4. material magnetik dapat diklasifikasi menjadi magnet keras ($H_c > 10$ kA/m) dan magnet lunak ($H_c < 1$ kA/m). Selain itu bentuk kurva pada gambar 2.4. dapat digunakan untuk memperkirakan energi magnet yang tersimpan per satuan volume pada magnet permanen yang didapat dari $(BH)_{\max}$ seperti pada gambar 2.4. Nilai dari H saat $M = 0$ disebut dengan intensitas medan koersif H_c . Cara untuk menghilangkan remanen magnet secara total adalah dengan membalikan arah magnetisasi medan magnet eksternal.

2.5 Material Penyerap Gelombang Mikro (Material Absorber)

Berkembangnya teknologi informasi dan komunikasi memberikan dampak meningkatnya penggunaan frekuensi gelombang mikro pada jangkauan 8.2 – 12.4 GHz (X-band). Umumnya perangkat komunikasi; seperti ponsel (GSM, 3G, HSDPA), jaringan internet terbatas (WLAN, Wi-Fi), signal TV, GPS bahkan RADAR menggunakan daerah frekuensi ini^[13]. Hal tersebut mengakibatkan terjadinya polusi gelombang mikro yang makin meningkat setiap saat, sehingga para peneliti didesak untuk mengembangkan material yang dapat menyerap radiasi ini. Telah terbukti bahwa secara klinis radiasi gelombang mikro yang berasal dari signal ponsel dapat memicu terjadinya sel kanker. Selain itu radiasi ini dapat mengganggu kinerja instrumen-instrumen analisis.

Jenis penyerap gelombang mikro dapat dibagi atas:

- Rekayasa teknik
- Rekayasa material

Rekayasa secara teknik lebih mengutamakan pada rekayasa geometri, dimana material dengan konduktivitas tinggi dapat digunakan untuk menghasilkan interferensi destruktif antara gelombang datang dan gelombang pantul oleh bidang-bidang bersesuaian dengan panjang gelombang yang akan diserap. Metode ini sangat efektif namun memiliki keterbatasan karena syarat geometri memerlukan dimensi tertentu.

Rekayasa material lebih fleksibel secara aplikasi karena faktor bentuk dan ketebalan yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan rekayasa teknik. Parameter fisis yang digunakan adalah *reflection loss* dengan satuan desibel (dB). Besar *reflection loss* bergantung pada parameter kekasaran, tebal lapisan, permitivitas, permeabilitas dan ukuran partikel^[9].

Karakteristik suatu material absorber gelombang mikro yang baik yaitu memiliki sifat magnetik dan listrik yang baik pula. Material tersebut harus memiliki nilai impedansi tertentu nilai *permeabilitas relative* (μ_r) dan *permitivitas relative* nya (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^[8]. Selain permeabilitas, permitivitas, dan magnetisasi spontan, material penyerap harus memiliki nilai resistivitas listrik yang tinggi atau isolator yang baik^[9]. Kombinasi sifat intrinsik material antara sifat magnetik dan sifat listrik dapat menempatkan material magnet sebagai penyanggah gelombang mikro pada frekuensi tertentu^[13].

Perhitungan nilai *reflection loss* RL yaitu dengan menggunakan persamaan :

$$RL = 20 \log (Z_{in}-Z_0) : (Z_{in} + Z_0)$$

Z merupakan impedansi material dan Z_0 merupakan impedansi udara. Hasil penelitian Cheng dkk (2010) menjelaskan bahwa nilai RL absorpsi material Hexaferite memiliki nilai serapan material mencapai -12,4 dB pada frekuensi optimum 10.5GHz dengan ketebalan 0.8 mm. pada nilai reflektansi tersebut kemampuan material untuk menyerap frekuensi atau pancaran gelombang EM yang datang yaitu sebesar 76% sedangkan frekuensi yang direfleksikan yaitu 24%. Hal

tersebut dapat terjadi ketika nilai impedansi material dengan pancaran frekuensi yang datang sesuai atau nilainya sama, sehingga akan terjadi resonansi gelombang dimana akan terjadi interaksi antar atom dalam struktur material dengan frekuensi yang datang^[13].

Pengukuran sifat absorpsi material dikarakterisasi menggunakan alat *Vector Network Analyzer* (VNA) dibutuhkan kemampuan koreksi vector kesalahan akurasi pengukuran. Pada dasarnya analisis jaringan pemancar frekuensi yang dipancarkan pada material akan direfleksikan dan ditransmisikan sepanjang jalur transmisinya. Ketika, panjang gelombang RF dan sinyal gelombang mikro berbeda, maka dengan prinsip yang sama jaringan akan membaca secara akurat frekuensi yang datang kemudian direfleksikan, dan ditransmisikan. Energi atau sinyal yang ditransmisikan akan dipantulkan kembali ke bawah jalur transmisi menuju sumber (impedansi yang cocok) dan ditransmisikan ke perangkat akhir^[14]

Tabel 2.2 Perbandingan berbagai teknik pengukuran

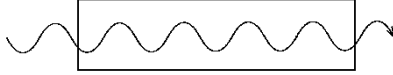


Teknik Pengukuran	<i>Material Under Test</i> (MUT)	S-parameter	Parameter Dielektrik
<i>Transmission/ Reflection Line (TRL)</i>	Ditempatkan pada posisi koaksial, atau menggunakan pembatas gelombang (<i>waveguide</i>)	S11, S21	ϵ_r, μ_r
<i>Open and Ended Coaxial Probe (OECP)</i>	Terutama untuk sampel berbentuk cair, specimen biologis, material semisolid	S11	ϵ_r
<i>Free Space (FS)</i>	Umumnya digunakan pada sampel berupa material bertemperatur tinggi, lempengan padatan yang besar, gas, cairan panas	S11, S21	ϵ_r, μ_r
<i>Resonant</i>	Untuk sampel berupa gulungan (rod shape solid), cairan dan menggunakan pembatas	Frekuensi, Faktor Q	ϵ_r, μ_r

	gelombang (<i>waveguide</i>)		
--	--------------------------------	--	--

(Rohde & Scwarz Measurement of Dielectric Material Properties Application Note, 2006)

Pengukuran dengan metode TRL menempatkan sampel (*Material Under Test* atau MUT) pada *waveguide* atau pada posisi koaksial. Pengukuran dilakukan pada dua *port* kompleks parameter hamburan melalui alat VNA (*Vector Network Analyzer*). Parameter yang diukur yakni sinyal yang terefleksikan (S11) dan sinyal yang ditranmisikan (S21).

Gelombang mikro adalah gelombang elektromagnet yang berada pada jangkauan 0.3 – 300 GHz dengan panjang gelombang antara 1m – 1mm. ^[19] Gelombang mikro mematuhi hukum-hukum optik; transmisi, absorpsi dan atau refleksi yang bergantung pada jenis material seperti pada gambar 2.5. berikut:

	Material Type	Penetration
	Transparent (no Heat)	Total Transmission
	Conductor (no Heat)	None
	Absorber (material are heated)	Partial to total absorption

Gambar 2.5. Jenis interaksi gelombang pada material ^[19]

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 (tabel 2.2).

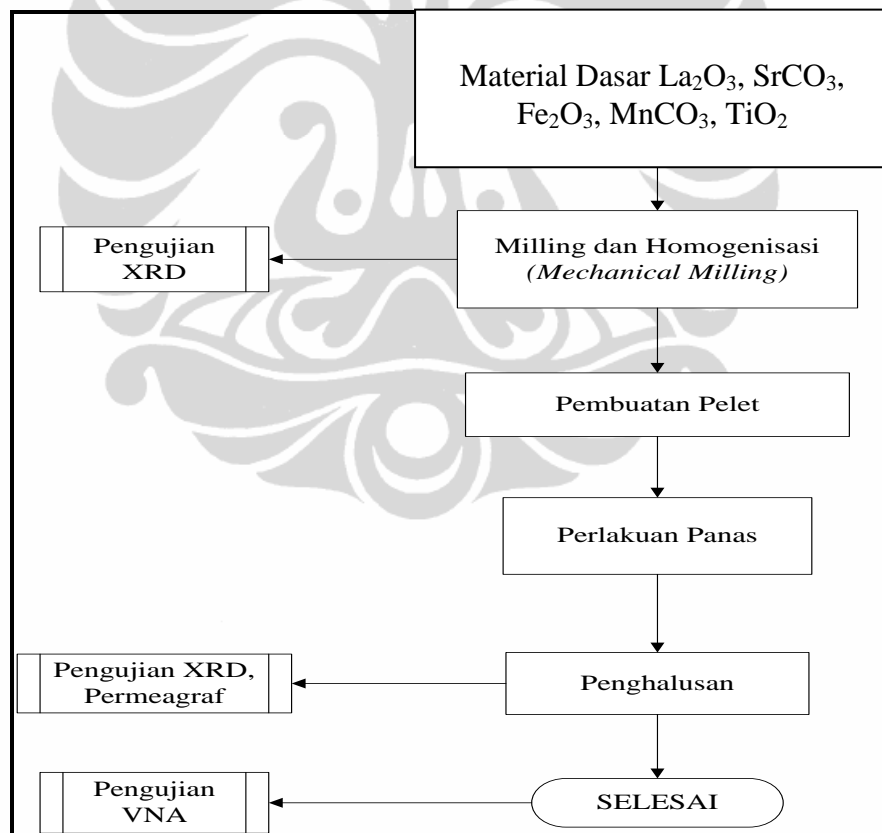
Tabel 2.3 Pembagian daerah jangkauan gelombang mikro ^[16].

Designation	Frequency Range (GHz)
L	1.22 - 1.70
R	1.70 - 2.60
S	2.60 - 3.95
H	3.95 - 5.85
C	5.85 - 8.20
X	8.20 - 12.4
Ku	12.4 - 18.0
K	18.0 - 26.5
Ka	26.5 - 40.0
U	40.0 - 60.0
E	60.0 - 90.0
F	90.0 - 140.0
G	140.0 - 220.0

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini meliputi preparasi material berbasis $\text{SrO} \cdot 6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ yang disubstitusi oleh ion La^{2+} , Mn^{2+} dan Ti^{2+} . Material dibuat dengan proses pencampuran bahan-bahan dasar melalui pengadukan mekanik (*mechanical milling*) dan perlakuan panas sehingga terbentuk material baru. Proses penelitian ditunjukkan dalam diagram alir gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram alir metodologi penelitian

3.2 Preparasi Pembentukan Material Sistem $\text{LaSrO}_6(\text{Fe}_{1.5}(\text{Mn}_{0.25}\text{Ti}_{0.25})\text{O}_3)$

Preparasi material dilakukan di laboratorium departemen Fisika FMIPA UI. Masing-masing serbuk material dasar dengan komposisi tertentu dicampur melalui pencampuran padat menggunakan proses mechanical milling selama 10 jam. Pada penelitian ini material yang dipreparasi yaitu:

1. $\text{La}_{0.3}\text{Sr}_{0.7}\text{O}_6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ (LSFO -37)
2. $\text{La}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{O}_6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ (LSFO -55)
3. $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{O}_6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ (LSFO 73)
4. $\text{La}_{0.3}\text{Sr}_{0.7}\text{O}_6(\text{Fe}_{1.5}\text{Mn}_{0.25}\text{Ti}_{0.25}\text{O}_3)$ (LSFMTO 37)
5. $\text{La}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{O}_6(\text{Fe}_{1.5}\text{Mn}_{0.25}\text{Ti}_{0.25}\text{O}_3)$ (LSFMTO 55)
6. $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{O}_6(\text{Fe}_{1.5}\text{Mn}_{0.25}\text{Ti}_{0.25}\text{O}_3)$ (LSFMTO 73)

$\text{La}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{O}_6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ (LSFO 55) dipreparasi sebagai referensi material $\text{SrO}_6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ yang akan disubstitusi dengan Mn dan Ti membentuk sistem $\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{O}_6(\text{Fe}_{1.5}\text{Mn}_{0.25}\text{Ti}_{0.25}\text{O}_3)$. Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 menunjukkan fraksi berat masing-masing material dasar dalam pembuatan ke enam material tersebut.

Tabel 3.1 Fraksi Berat LSFO

Material	Fraksi Berat wt %		
	(LSFO -37)	LSFO -55)	(LSFO 73)
La_2O_3	4.53	8.88	10.39
SrCO_3	9.59	10.29	4.03
Fe_2O_3	88.95	86.37	87.29

Material	Fraksi Berat wt %		
	(LSFMTO -37)	LSFMTO -55)	(LSFMTO 73)
La ₂ O ₃	6.87	4.59	10.52
SrCO ₃	7.58	9.71	4.08
Fe ₂ O ₃	66.90	67.55	66.27
MnCO ₃	16.05	16.21	15.90
TiO ₂	11.15	11.26	11.05

Tabel 3.2 Fraksi Berat LSFMT0

3.3 Proses Pembuatan Senyawa Sistem LSFO dan LSFMT0

Pada penelitian ini menggunakan metode *mechanical alloying* dengan milling / penggerusan. Bahan material dasar LSFO (La_xSr_{1-x}O.6(Fe₂O₃)) maupun yang sudah di doping dengan Mn dan Ti menjadi LSFMT0 (La_xSr_{1-x}O.6((Fe_{1.5}Mn_{0.25}Ti_{0.25}O₃)) dipreparasi dimana x =0.3;0.5;0,7 dengan berat tertentu, setelah itu dilakukan penggerusan dengan alat *planetary ball milling*.

Bahan dasar ditimbang dengan timbangan digital kemudian dicampur sesuai komposisi sampel yang akan dibuat. Kemudian masing-masing sampel dimasukkan ke dalam vial, setiap vial dipasangkan pada alat Ball High Energy bertemperatur 37⁰C (suhu kamar), proses milling dilakukan dengan waktu milling 80 jam. Bahan dimasukkan ke dalam vial baja dan dimilling beserta ball mill dengan perbandingan berat 1:10 dimana 1 gram bahan ball mil yang digunakan 10 gram. Proses milling selama 10 jam dengan kecepatan 200 rpm dalam rentang waktu 30 menit, jeda waktu istirahat 5 menit untuk 30 menit awal miling dan 30 menit miling berikutnya.

Peralatan High Energy Milling pada penelitian ini adalah *Planetary Ball Milling* dengan kecepatan sekitar 4500 rpm, 60 menit, of time 30 menit untuk 1 kali siklus. Vial terbuat dari low carbon stainless steel dengan ukuran tinggi 7,6 cm dan diameter dalam 5,1 cm, sedangkan bola terbuat dari stainless steel dengan ukuran diameter 0,8 mm.



Gambar 3. 2. Alat *Planetary Ball Milling*

Proses milling berfungsi agar bahan mengalami reaksi penggabungan partikel pada waktu tertentu, yang kemudian diikuti dengan proses destruktif ukuran partikel sampai pada deformasi struktur Kristal material menjadi quasi Kristal. Proses penggerusan dilakukan sampai bahan dari berbagai komposisi tersebut tercampur sempurna dan tidak ada Kristal yang berdiri sendiri atau dominan dan material tersebut menjadi amorf.

Saat selesai proses milling, sampel dikompaksi dengan alat kompaksi. Sebelum dilakukan pemanasan dengan Carnolite Furnace, sampel dimasukkan dalam alumina. Pemanasan pertama pada suhu 1050⁰C dengan penahanan selama 4 jam.

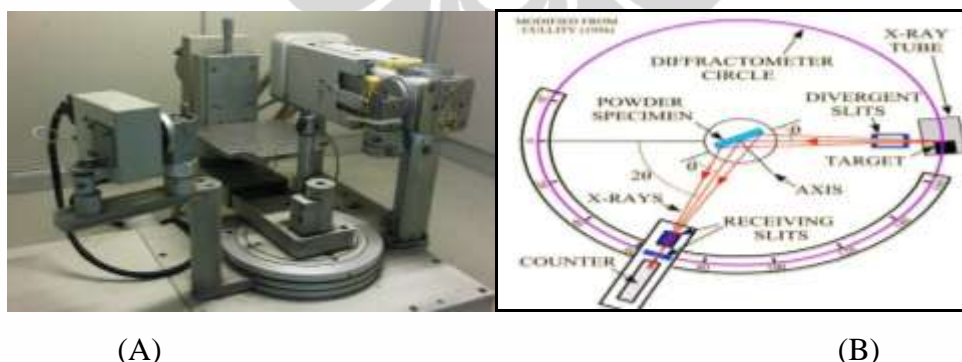


Gambar 3.3. Alat Furnace Thermolyne 6000 digunakan untuk sintering sampel

Saat sintering sampel akan mengalami penyusutan massa akibat lepasnya oksigen yang digunakan dalam proses pemanasan. Sampel saat proses sintering akan memadat dan rapat, yang akan menumbuhkan Kristal-kristal dan akhirnya akan mengubah fasa dan sifat dari material tersebut, sehingga didapatkan Kristal grain yang sesuai dengan fasa yang diharapkan.

3.4 Karakterisasi Sampel dengan difraksi Sinar X

Sampel berupa pelet dengan diameter 2,5 cm dan tebal 2,5 mm ditempelkan pada tempat pengujiannya yang kemudian siap diuji coba sebagai sampel uji pada mesin XRD.



Gambar 3. 4. Alat Uji XRD dengan (A) Diffractometer Philips PANALYTICAL PW 2256-20 (B) Skematik X ray Difraktometer

Data yang didapat adalah data antara intensitas dan 2θ . Untuk mengetahui komposisi sampel secara kualitatif dan kuantitatif dilakukan komputerisasi. Struktur Kristal karakterisasi sampel dan fasa pada sampel akan terlihat dari puncak-puncak yang dihasilkan pada alat ukur XRD. Dari gambar 3.4 terlihat alat akan mengeluarkan sinar X-Ray Co yang akan memantulkan intensitas cahaya disetiap difraksi kisi sampel pada sudut yang berbeda, kemudian pantulan intensitas tersebut ditangkap oleh detector cahaya yang kemudian puncak dari material yang dominan tersebut akan menunjukkan apakah material yang dominan tersebut sudah tercampur dengan baik atau tidak. Puncak dari grafik yang dihasilkan dari XRD menunjukkan nilai antara intensitas dan 2θ . Data dari hasil pengukuran XRD dimasukkan ke program APD (*Automated Powder Diffraction*). Hal ini untuk mengubah extension file menjadi udf. Selanjutnya konversi data udf ke raw dalam Bella. Selanjutnya dilakukan analisis program GSAS dengan memasukkan beberapa parameter seperti parameter fasa, space group, parameter kisi, posisi atom yang didapat dari program MATCH dan ICDD. Dengan melakukan berulang-ulang refinement maka akan didapatkan hasil parameter kisi, fasa, fraksi fasa, dan bidang hkl dari Kristal sampel.

3.5 Karakterisasi Mikrostruktur Sampel Dengan SEM

Sebelum material dikarakterisasi menggunakan SEM, material sebaiknya dipreparasi kembali melalui proses etsa material, preparasi material menggunakan larutan etsa berguna untuk menghasilkan tampilan pada gambar tiga dimensi SEM lebih jelas dan fokus. Larutan etsa merupakan suatu larutan yang fungsinya sebagai katalisator pembuka struktur mikro material dengan memutus ikatan antar atom. Sampel direndam dalam larutan asam HF selama 30 menit sehingga permukaan kistal dapat terbuka dan meregang. Selanjutnya material pellet dikeringkan dan diletakkan di suatu lempengan uji plat logam tempat sampel material. Sampel kemudian

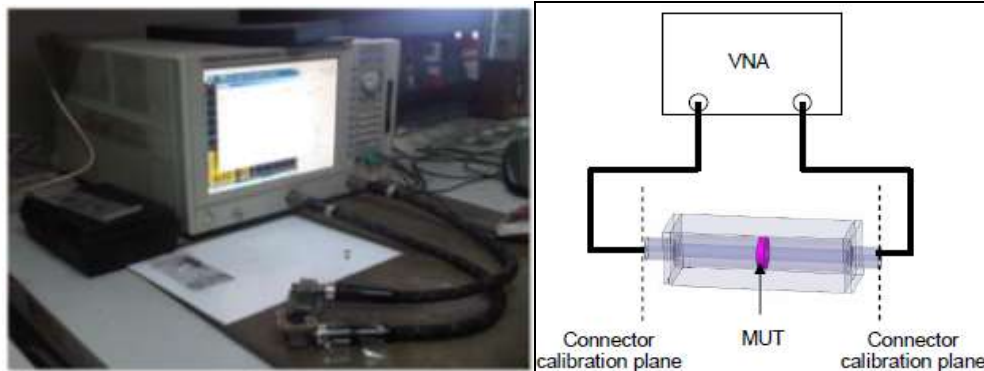
dicoating menggunakan lapisan emas sehingga saat material yang disinari energi tinggi elektron dapat dengan tepat mengenai permukaan sampel, topografi, komposisi dari sampel yang memiliki konduktivitas listrik. Penampakan tiga dimensi dari bayangan yang diperoleh berasal dari kedalaman yang besar yang ditembus oleh medan SEM seperti juga efek bayangan dari elektron sekunder. Signal-signal yang lain berguna untuk keperluan karakterisasi yang lain.



Gambar 3.5. Alat Uji SEM (Scanning Electron Microscope) JEOL JSM-5310 LV

3.6 Karakterisasi absorpsi gelombang mikro dengan VNA (*Vector Network Analyzer*)

Sifat absorpsi material merupakan suatu sifat material dalam menyerap gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh pemancar gelombang pada suatu rentang frekuensi tertentu. Karakterisasi sifat absorpsi ini dilakukan dengan menggunakan VNA (*vector Network Analyzer*) 300KHz-20 KHz Advantest R-3770, yang tujuannya adalah untuk mengukur nilai absorpsi material $\text{LaSrO}_6(\text{Fe}_{1,5}\text{Mn}_{0,25}\text{Ti}_{0,25})\text{O}_3$ dan juga nilai *reflection loss*. Cara kerja alat ini yaitu dengan melihat nilai refleksi, transmisi, dan absorpsi yang diterima oleh probe adapter.



Gambar 3. 6. Seperangkat Alat VNA (*Vector Network Analyzer*) Type
ADVANTEST R3770

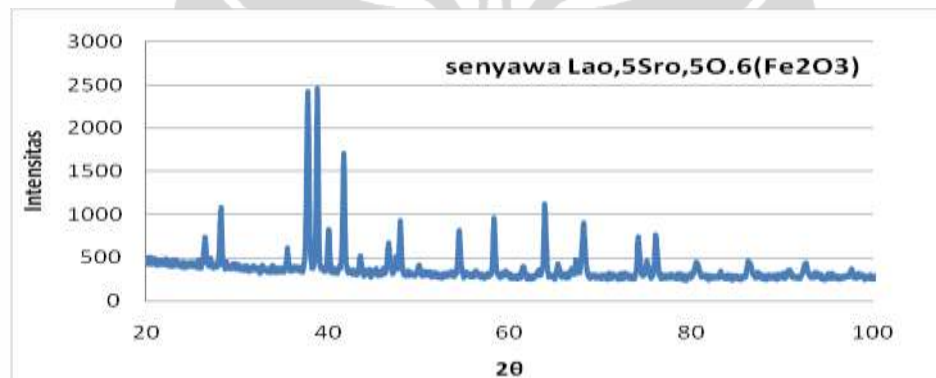
Material uji diletakkan di antara probe S11 dan S21 sehingga pada layar monitor kita dapat mengetahui nilai frekuensi yang direfleksikan, di transmisikan, dan diabsorpsi oleh material uji. Pada alat ini dipancarkan sejumlah gelombang dengan frekuensi 300 KHz yang kemudian dialirkan pada probe S11 dan pancarannya diterima oleh probe S21. Kemampuan setiap adapter membaca frekuensi yang di absorb berbeda-beda sesuai dengan spesifikasi adapternya, namun untuk adapter WR75 kemampuan membacanya yaitu 5GHz-15GHz. Prinsipnya yaitu dengan melihat nilai refleksi, transmisi, dan absorpsi yang diterima oleh material melalui probe adapter, sehingga didapatkan suatu kurva RL (*Reflection Loss*) sebagai fungsi frekuensi. Polarisasi gelombang elektromagnetik di dalam *waveguide* sangat berguna untuk menganalisis sifat listrik dalam bahan setebal d . Untuk mendapatkan akurasi data pada pengukuran koefisien refleksi dan transmisi perlu dilakukan kalibrasi menggunakan metode TRL (*Transmission Reflection Loss*) terhadap sampel berbentuk pelet/bulk dengan diameter 2,5 cm dan ketebalan 2mm dengan rentang frekuensi 6 -16 GHz.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi senyawa LSFO

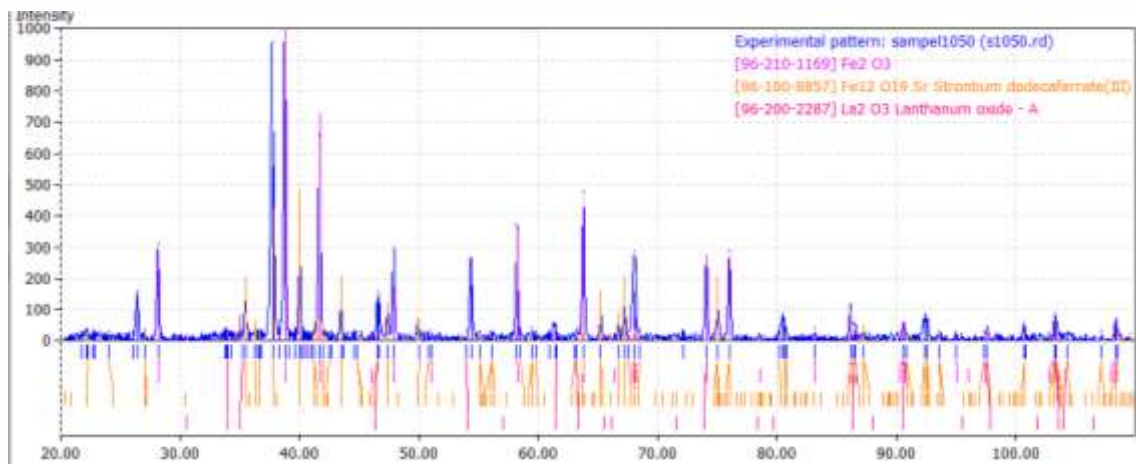
Setelah dilakukan sintesa material dengan $X = 0.5$ sehingga terbentuk $\text{La}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{O}_{0.6}(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ dengan waktu milling 80 jam suhu sintering $1050\text{ }^\circ\text{C}$, waktu penahanan sintering 4 jam dengan alat XRD difraksi sinar x dihasilkan grafik 4.1. sebagai berikut :



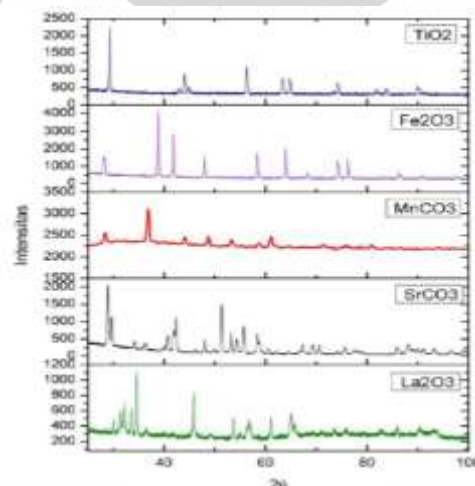
Gambar 4.1. Hasil analisis XRD sampel LSFO sintering $1050\text{ }^\circ\text{C}$, 4 jam.

Sampel $\text{La}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{O}_{0.6}(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ memiliki 19 puncak dari nilai 2θ 20 sampai 100. Hal ini dapat dilihat dari gambar 4.1. sampel pellet yang di XRD menghasilkan puncak puncak dengan intensitas yang berbeda. Sidik jari tiap-tiap molekul dapat dicocokkan terlebih dahulu dengan data MATCH dan hasil jurnal yang sudah dipublikasikan dari penelitian yang terkait untuk mengetahui struktur Kristal, parameter kisi, dan space groupnya^[15]. Profil difraksi sinar x yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan profil difraksi sinar x dari senyawa dasar La_2O_3 , SrCO_3 dan Fe_2O_3 yang ada di dalam program MATCH, hal ini dilakukan untuk

mengetahui apakah senyawa $\text{La}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{O} \cdot 6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ sudah satu fasa seperti yang diharapkan.



Gambar 4.2. Analisa XRD sampel LSFO sintering 4 jam suhu $1050\text{ }^\circ\text{C}$ perbandingan MATCH untuk senyawa Fe_2O_3 , La_2O_3 , $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$



Gambar 4.3. Pola difraksi XRD bahan dasar penyusun LSFO dan LSFMT0

Setelah dilakukan MATCH antara hasil XRD dengan data yang terdapat pada program MATCH dihasilkan pola difraksi seperti pada gambar 4.2. Sampel $\text{La}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{O}_6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ yang terbentuk adalah sampel dengan karakterisasi yang sama dengan karakterisasi dari $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$, La_2O_3 dan Fe_2O_3 yang masih terdapat puncak ketiga senyawa tersebut. Tetapi satu pola dari nilai 2θ terdapat pergeseran puncak difraksi. Dengan analisa ICDD PCPDFWIN dihasilkan data tabel 4.1 seperti di bawah ini :

Tabel 4.1. Hasil perbandingan nilai d senyawa LSFO $x = 0,5$ dengan nilai ICDD pada program PCPDFwin.

No	Nilai d		senyawa	ICDD
	Eksperimen	Database ICDD		
1	3.70907	3.5684	Fe_2O_3	63-1341
2	2.72118	2.7772	Fe_2O_3	63-1341
3	2.53849	2.5462	$\text{SrO} \cdot 6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$	33-1340
4	2.22156	2.2584	$\text{SrO} \cdot 6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$	33-1340
5	1.84626	1.8436	$\text{SrO} \cdot 6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$	33-1340
6	1.70176	1.7155	$\text{SrO} \cdot 6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$	33-1340
7	1.60647	1.6072	La_2O_3	83-1348
8	1.48818	1.5375	Fe_2O_3	63-1341
9	1.45757	1.4517	La_2O_3	83-1348

Taembl 4.1. dan gambar 4.2. menunjukkan bahwa sampel LSFO $x=0,5$ belum menghasilkan satu fasa sistem $\text{SrO} \cdot 6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$. Hal ini menunjukkan bahwa tidak semua ion Sr mampu tersubstitusi ion La.

Dari Tabel Hanawalt^[16], untuk struktur Kristal $\text{SrO} \cdot 6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ adalah $p63/m\ m\ c$ hexagonal dengan parameter kisi $a=b$ tidak sama dengan c dimana $a= 5.8821 \text{ \AA}$ dan $c = 23.0230 \text{ \AA}$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ dan $\gamma = 120^\circ$.

Tabel 4.2. Posisi Wycoff untuk senyawa SrO.6(Fe₂O₃)

Space Group	Parameter Kisi (Å)			Atom	Posisi Atom (Å)		
	a	b	c		x	y	z
P 63/mmm	5.882100	5.882100	23.023000	Sr	0.333000	0.667000	0.750000
				Fe	0.000000	0.000000	0.000000
				Fe	0.000000	0.000000	0.256000
				Fe	0.330000	0.667000	0.027000
				Fe	0.333000	0.667000	0.191000
				Fe	0.169000	0.338000	-0.109000
				O	0.000000	0.000000	0.152000
				O	0.333000	0.667000	-0.550000
				O	0.183000	0.366000	0.250000
				O	0.156000	0.313000	0.052000
				O	0.505000	0.010000	0.151000
				La	-	-	-

Tabel 4.3. Posisi Wycoff Sampel LSFO x= 0,5

komposisi	Space Group	Parameter Kisi (Å)		Atom	Posisi Atom (Å)			
posisi Wycoff	a	b	c		x	y	z	
x = 0.5	P 63/mmm	5.6763	5.6763	23.1450	Sr	0.667000	0.333000	0.250000
					Fe	0.000000	0.000000	0.000000
					Fe	0.000000	0.000000	0.254000
					Fe	0.333000	0.667000	0.027000
					Fe	0.333000	0.667000	0.027000
					Fe	0.333000	0.667000	0.191000
					O	0.000000	0.000000	0.152000
					O	0.333000	0.667000	-0.550000
					O	0.182000	0.363000	0.250000
					O	0.156000	0.313000	0.053000
					O	0.505000	1.009000	0.151000
					La	0.667000	0.333000	0.250000

senyawa La₂O₃ yang menggantikan posisi Sr dan adanya sisa La₂O₃ yang tidak mampu memsubstitusi Sr. Sehingga menghasilkan nilai parameter kisi yang berubah.

Tabel 4.4. Nilai Parameter kisi

Sistem senyawa	Parameter Kisi (Å)		
	a (Å)	b (Å)	c (Å)
LSFO 55	5.6763	5.6763	23.1450
SrO.6(Fe ₂ O ₃)	5.8821	5.8821	23.0230

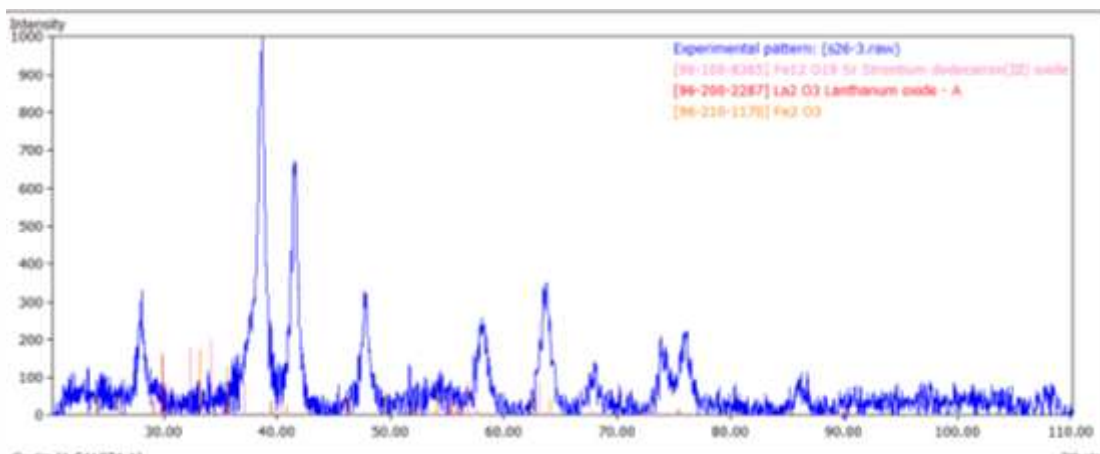
Perubahan parameter kisi antara senyawa LSFO dengan SrO.6(Fe₂O₃) dari tabel 4.3. menunjukkan bahwa pola difraksi dari senyawa LSFO antara observasi dengan perhitungan terjadi perubahan. Parameter kisi a,b, dan c Struktur kristal hexagonal SrO.6Fe₂O₃ mengalami perubahan yang besar, dengan adanya ion La²⁺ menggantikan ion Sr²⁺ menghasilkan nilai parameter kisi a,b,c berubah dan menghasilkan pola baru difraksi baru dari sistem LSFO. Dan menunjukkan bahwa sampel LSFO 5:5 tidak satu fasa SrO.6Fe₂O₃. ion Sr yang berada di lapisan tengah blok R dan R* yang terdiri dari 3 lapisan Oksigen digantikan oleh ion Stronsium yang tersubstitusi oleh ion La²⁺, tetapi tidak semua ion Sr mampu tersubstitusi oleh ion La. Secara stokiometri 14.98% La masih dalam bentuk La₂O₃ sedangkan La yang mampu mensubstitusi oleh Sr hanya 6.38 %, hal ini dapat dilihat dalam tabel 4.4. di bawah ini :

Tabel 4.5. Nilai stokiometri LSFO 55

Sistem Senyawa	Nilai Stokiometri		
	SrO.6(Fe ₂ O ₃)	Fe ₂ O ₃	La ₂ O ₃
LSFO 55	48.82%	44.05%	14.98%

Dapat dibuktikan bahwa dengan La_{0,5}Sr_{0,5}O₆(Fe₂O₃) waktu penahanan sintering 4 jam dengan suhu 1050 °C, tidak dihasilkan satu fasa sistem SrO.6(Fe₂O₃).

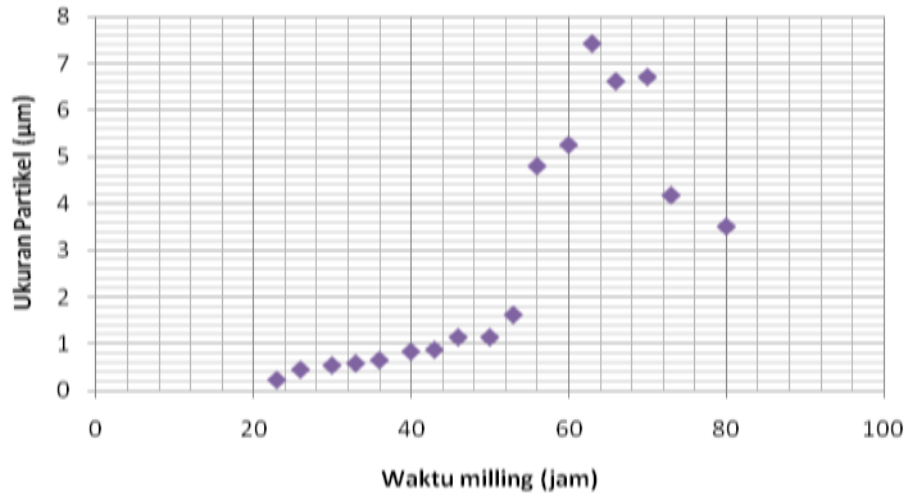
4.1.1 Analisa XRD dan MATCH milling 80 jam sebelum di sintering:



Gambar 4.4. Analisa XRD sampel LSFO sebelum sintering, miling 80 jam perbandingan MATCH untuk senyawa Fe_2O_3 , La_2O_3 , $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$

Interferensi konstruktif dapat digambarkan dengan besarnya intensitas pada grafik pola difraksi. Semakin tinggi pola difraksinya semakin banyak gelombang sinar X yang berinteraksi konstruktif pada jarak d tersebut. Berdasarkan profil difraksi dan disandingkan dengan program MATCH pada gambar 4.4. terlihat tidak menghasilkan profil difraksi yang menunjukkan bahan dasar La_2O_3 dan SrCO_3 tetapi hanya terdeformasi dan tidak menggantikan posisi Fe_2O_3 menjadi senyawa $\text{SrO} \cdot 6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$. Meskipun butir-butir partikel bahan dasar tersebut saling mengalami benturan energi tinggi dan butiran tersebut pecah, struktur menjadi rusak, tetapi dari hasil perbandingan dengan program MATCH menunjukkan pola difraksi yang tidak sesuai untuk ketiga bahan dasar yang digunakan.

4.1.2 Analisa Ukuran Partikel LSFO $x=0,5$



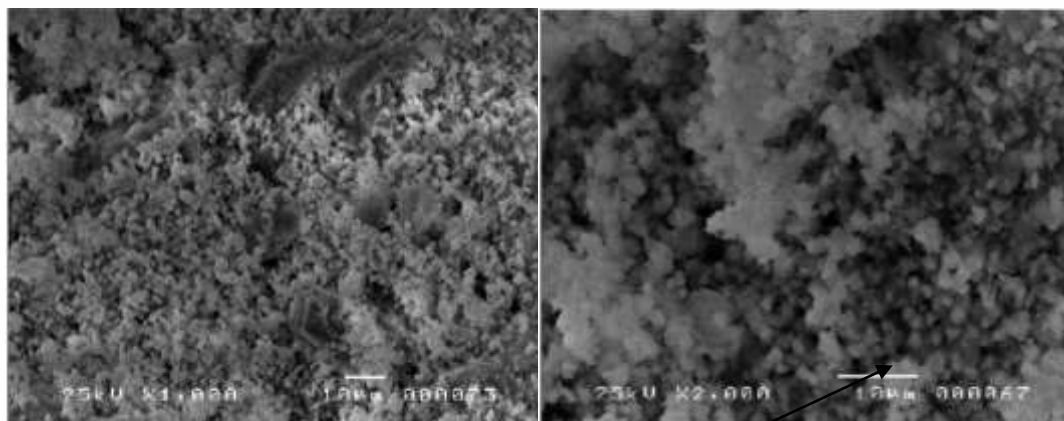
Gambar 4.5. Ukuran Partikel Sampel LSFO $x=0,5$

Untuk analisis awal juga dilakukan penentuan ukuran partikel dengan alat PSA (*particle Size Analyzer*) seperti tampak pada gambar 4.5. Terlihat bahwa ukuran rata-rata partikel saat proses milling mengalami kenaikan ukuran butir Kristal sampai waktu penggilingan 63 jam $7,43 \mu\text{m}$, kemudian mengalami penurunan yang signifikan setelah waktu 63 jam dengan ukuran $6,25 \mu\text{m}$. Saat penggilingan lebih dari 63 jam tidak terjadi penurunan berarti dan stabil sampai waktu 80 jam. Hal tersebut menunjukkan bahwa bahan-bahan dasar yang mengalami tumbukan dengan bola-bola milling oleh bahan penyusun sistem telah tercampur sampai pada waktu penggilingan 80 jam, proses *cold well* sudah terjadi menghasilkan *fracture* (patahan) yang terus memecah dirinya menjadi ukuran butir kristal yang kecil sampai waktu milling 80 jam. Pembentukan struktur *laminated* yang diharapkan sudah terjadi, hal ini dapat dilihat saat waktu milling ke 23 jam ukuran partikel lebih kecil dari waktu milling 26 jam diharapkan sudah terbentuk paduan baru yang berbeda struktur dari campuran serbuk

awal, Sedangkan setelah rentang waktu 60 jam ke 80 jam sampel terbentuk aglomerasi yang akan menghasilkan ukuran partikel yang membesar dibandingkan rentang waktu dari 23 jam ke 63 jam., setelah waktu 63 jam energi yang digunakan untuk menumbuk partikel-partikel tidak cukup besar untuk memecah ukuran partikel menjadi lebih kecil kembali dan terjadi aglomerasi sistem. hal ini membuktikan bahwa sampel sudah menghasilkan ukuran partikel yang kecil sebelum penggilingan waktu 23 jam. Proses waktu milling yang lama meningkatkan kontaminasi dari senyawa yang terbentuk dengan ball milling yang digunakan dan fasa yang tidak diinginkan tidak terbentuk. ^[4]. Untuk membentuk fasa $\text{SrO} \cdot 6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ diperlukan tahapan lebih lanjut yaitu variasi waktu sintering dan suhu sintering. Oleh sebab itu penggilingan berikutnya diambil waktu penggilingan 10 jam.

4.1.3 Struktur Mikro Sistem LSFO $x=0,5$

Sampel yang terbentuk adalah sampel dengan karakterisasi setelah di sintering dengan suhu $1050\text{ }^\circ\text{C}$ waktu sintering 4 jam waktu milling 80 jam. Untuk mengamati morfologi sampel menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) yang menghasilkan gambar 3 dimensi foto permukaan sampel sistem LSFO 5:5 sebelum di sintering dan sesudah di sintering. Senyawa dasar dari sistem LSFO yang berbentuk Kristal pipih bulat dengan proses penggerusan dan pemanasan menghasilkan bentuk morfologi permukaan seperti pada gambar 4.6.



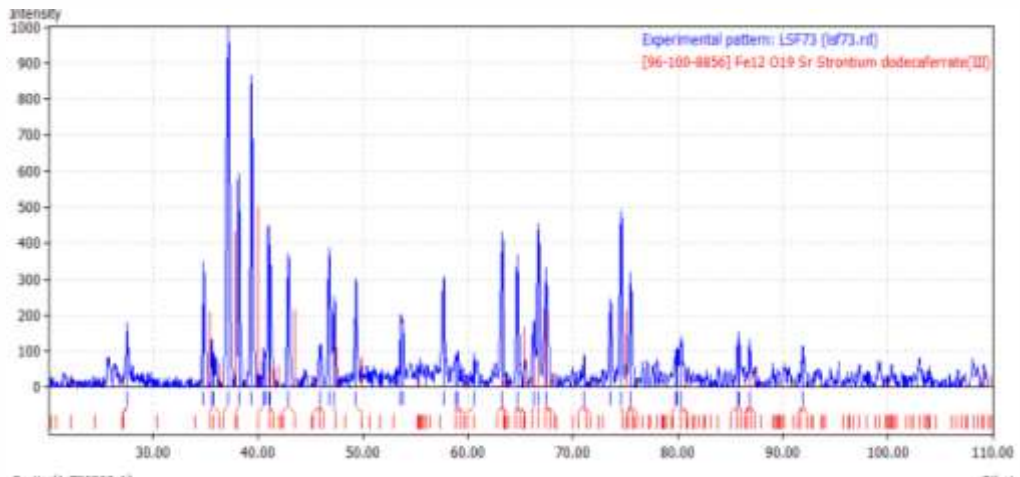
(A) Ukuran 1/5 x10µm dan kristalin amorf (B)

Gambar 4.6. Foto Analisis SEM (*Scanning Electron Microscope*) sampel LSFO (A) sebelum sintering, (B) sesudah sintering

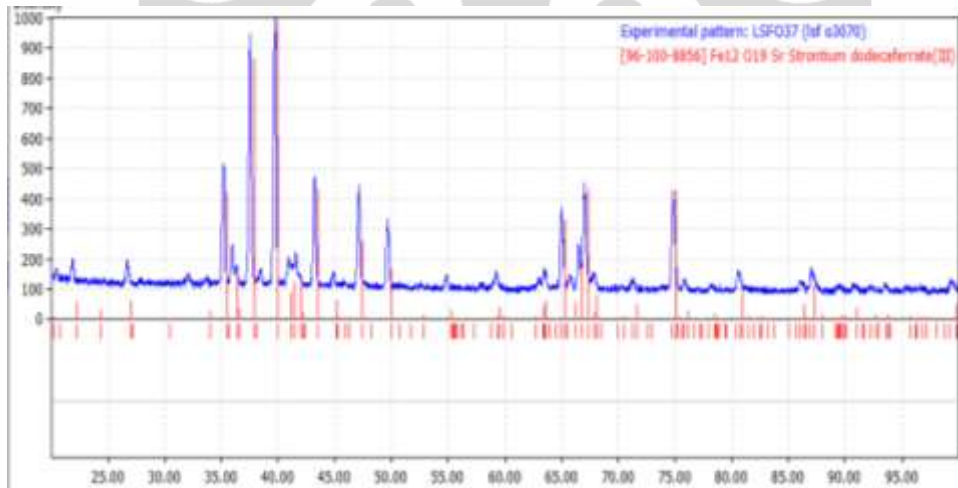
Terlihat morfologi permukaan dan ukuran partikel sudah kecil kurang lebih dalam 1 kristal berukuran 1,25 µm , tetapi belum semua terbentuk grain grain partikel dan masih terbentuk aglomerasi beberapa butiran. (B) adalah hasil SEM sesudah di milling 80 jam dan di sintering pada suhu 1050 °C sudah terbentuk grain grain yang cukup homogen, sedangkan pemanasan tetap menghasilkan bentuk kristal bulat bulat pipih.

4.2 Identifikasi Fasa LSFO $x= 0,3$ dan $0,7$

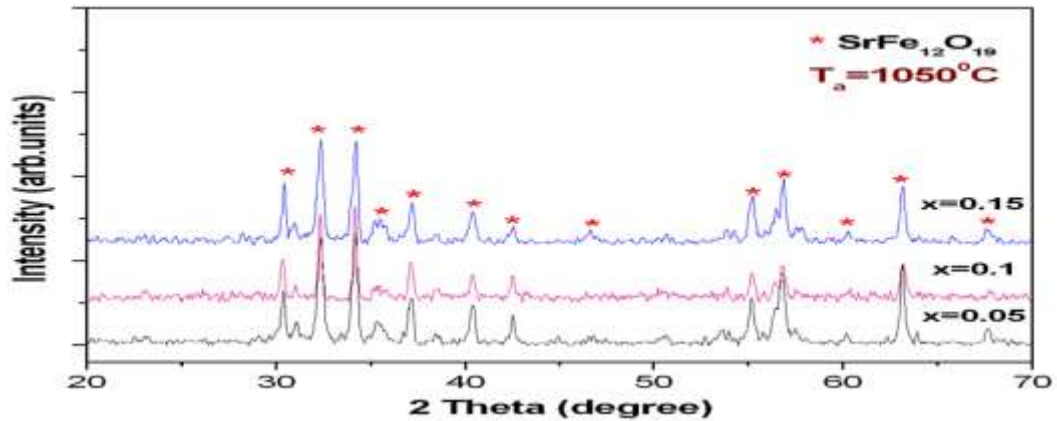
Dari komposisi X yang berbeda, diharapkan dihasilkan 1 fasa sampel $\text{LaSrO.6(Fe}_2\text{O}_3)$. Oleh karena itu diharapkan dengan perubahan nilai komposisi X, ion Sr akan seluruhnya menggantikan posisi ion La dan membentuk senyawa $\text{LaSrO.6(Fe}_2\text{O}_3)$ 1 fasa tunggal Kristal. Adapun untuk perbandingan $x= 0,7$ maka wt% ion La akan lebih banyak dari ion Sr sedangkan untuk $x=0,3$ wt% ion Sr akan lebih banyak dari ion La.



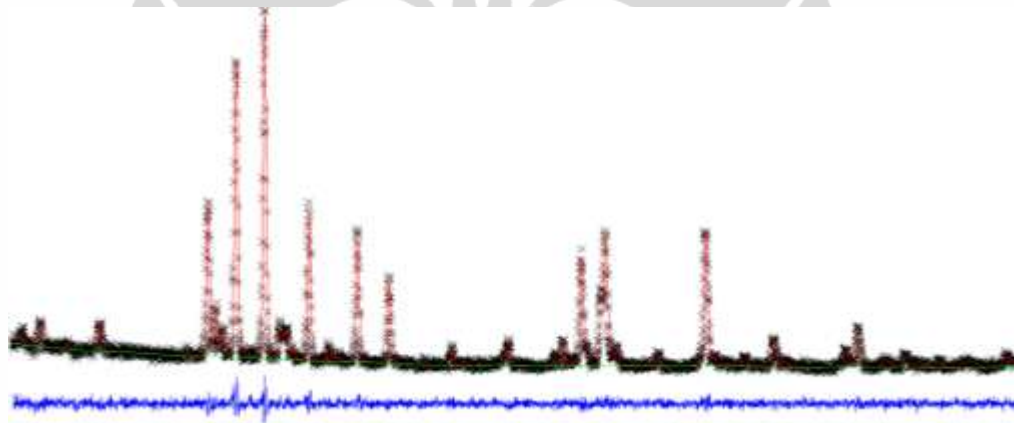
Gambar 4.7. Identifikasi Fasa pola XRD sampel LSFO $x=0,7$



Gambar 4.8. Identifikasi Fasa pola XRD LSFO $x=0,3$



Gambar 4.9 Hasil XRD SrO.6(Fe₂O₃) x0.05-0.15, Duong dkk ^[21]



Gambar 4.10. XRD LSFO x=0,3 Hasil *refind* dengan GSAS

Dari gambar 4.7. terlihat bahwa Komposisi sampel La_{0.7}Sr_{0.3}O.6(Fe₂O₃) belum menghasilkan senyawa LaSrO.6(Fe₂O₃) satu fasa Kristal. Terlihat dari hasil identifikasi XRD bahwa sampel memiliki nilai pola difraksi dari senyawa SrFe₁₂O₁₉, Fe₂O₃, dan La₂O₃. Dari hasil ini terbukti bahwa sampel belum menghasilkan 1 fasa yang diharapkan yaitu LaSrO.6(Fe₂O₃).

Dari gambar 4.8. Komposisi sampel $\text{La}_{0,3}\text{Sr}_{0,7}\text{O}_6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ dengan analisa XRD memiliki pola difraksi yang sama dengan pola difraksi $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ yang terdapat di dalam program MATCH. Dengan komposisi nilai $x = 0.3$ dimana perbandingan wt% ion La dengan Sr 3:7 menghasilkan satu fasa senyawa $\text{LaSrO}_6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$. Dari pola difraksi XRD dihasilkan satu fasa $\text{LaSrO}_6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ murni dengan pola yang dihasilkan adalah pola difraksi senyawa yang diharapkan yaitu $\text{LaSrO}_6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ dimana atom La menggantikan posisi atom Sr. Dengan begitu dapat disimpulkan bahwa untuk menghasilkan satu fasa senyawa $\text{LaSrO}_6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ digunakan senyawa dengan komposisi La 0.3wt% dan Sr 0.7wt%. yang akan menghasilkan nilai stokiometri $\text{LaSrO}_6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 100%.

Tabel 4.6. Nilai stokiometri LSFO ($x=0,3;0,5;0,7$)

Sistem Senyawa	Nilai Stokiometri		
	$\text{SrO}_6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$	Fe_2O_3	La_2O_3
LSFO 37	100%	0%	0%
LSFO 55	48.82%	44.05%	14.98%
LSFO 73	48.36%	43.64%	8.90%

Efek fraksi x menghasilkan komposisi material yang berbeda, dimana pada $x=0,3$ menghasilkan 100 % fasa $\text{SrO}_6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ yang menunjukkan ion Sr dapat disubstitusi 100% oleh ion La. Sedangkan untuk $x > 0,3$ menghasilkan 3 fasa yaitu $\text{SrO}_6(\text{Fe}_2\text{O}_3) + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{La}_2\text{O}_3$ yang menunjukkan bahwa tidak semua Sr dapat disubstitusi La untuk nilai $0,3 < X < 0,7$. Ion La lebih dari 0,3 wt%, ion Sr tidak dapat sepenuhnya mensubstitusi ion La. Perbandingan wt% ion La: Sr 5:5 menghasilkan 6,38% wt% La di dalam senyawa $\text{SrO}_6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ dan untuk wt% La: Sr 7:3 menghasilkan 3,80% wt% ion La menggantikan ion Sr. Menurut souza 2007, nilai ion

La yang dapat mendoping yang diperkenankan maksimum 0,15 wt% dalam senyawa Lantanum Barium Hexaferite^[20].

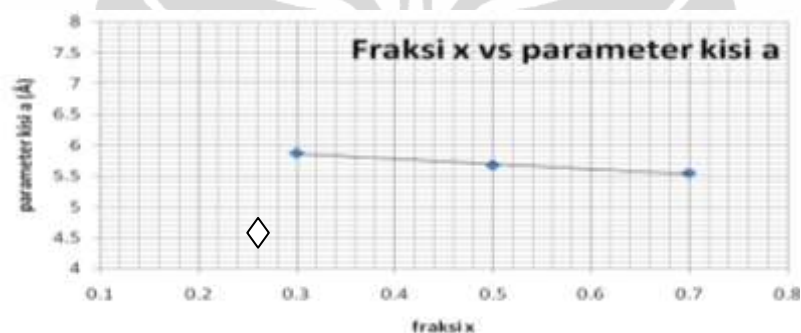
Hal tersebut menunjukkan bahwa sampel $x = 0,5$ dan $0,7$ tidak terbentuk satu fasa senyawa $\text{LaSrO.6(Fe}_2\text{O}_3)$. Dengan memasukkan hasil analisis XRD dalam program MATCH untuk entry data $\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ 96-100-8365, La_2O_3 96-200-2287, Fe_2O_3 96-210-1170, menghasilkan pola yang ada dalam pola difraksi 2θ pada ke tiga senyawa tersebut. Proses pengolahan data dengan GSAS menghasilkan nilai parameter kisi untuk senyawa $\text{Sr.O.6(Fe}_2\text{O}_3)$ yang tidak sama dengan standar dari MATCH!

Tabel 4.7. Parameter kisi LSFO $x = 0,3$ dan $0,7$

Sistem senyawa	Parameter Kisi (Å)		
	a (Å)	b (Å)	c (Å)
LSFO 7:3	5.5430	5.5430	23.0110
LSFO 3: 7	5.8872	5.8872	23.1295
LSFO 55	5.6763	5.6763	23. 1450
SrO.6(Fe2O3)	5.8821	5.8821	23.0230

Substitusi ion La^{3+} dan ion Sr^{2+} memberi dampak pada sudut Fe-O-Fe. Hadirnya ion Fe^{2+} akibat netralisasi kekurangan ion La^{3+} , sehingga terjadi perbedaan perilaku pada $12k$ *superlattice*.^[12] Hal ini dapat menyebabkan terjadinya perubahan nilai parameter kisi antara senyawa LSFO $x=0,7$ dan $x=0,3$ dan $x =0,5$ dengan $\text{SrO.6(Fe}_2\text{O}_3)$. Hal ini dikarenakan karakteristik bahan feromagnetik secara natural ditentukan oleh interaksi seperexchange Fe-O-Fe.^[15] Dari tabel 4.6 menunjukkan bahwa pola difraksi dari senyawa LSFO dengan x berbeda menghasilkan parameter kisi yang berubah.konstanta kisi Kristal akan berubah dengan aanya pengaruh substitusi, ion dengan diameter yang lebih besar akan memberikan dampak semakin besarnya nilai konstanta kisi terutama pada arah a. ion dengan spin electron tidak

berpasangan kurang dari 5 akan menurunkan sifat kemagnetan dan adanya superexchange Fe-O-Fe pada 12 k sublattice memberikan dampak perbedaan nilai konstanta kisi $c^{[15]}$. Tetapi dengan adanya ion La^{2+} kurang dari dan sama dengan 0,3 wt% menghasilkan nilai parameter kisi a,b,c yang tidak jauh berbeda. Hal ini dikarenakan substitusi ion La terhadap Sr memiliki batasan nilai tertentu. Batasan ini dikarenakan ukuran ion Sr yang lebih besar dibanding ion La sehingga dengan $x = 0,3$ tidak semua ion La akan tersubstitusi ke dalam Sr. dengan ion La yang berlebih dalam sistem menghasilkan 3 fasa material sistem LSFO.



Gambar 4.11. perubahan $x = 0,3; 0,5; 0,7$ terhadap nilai parameter kisi a.

Tabel 4.8. Posisi atom $SrO_{0.6}(Fe_2O_3)_x$ sistem LSFO ($x=0,3; 0,5; 0,7$)

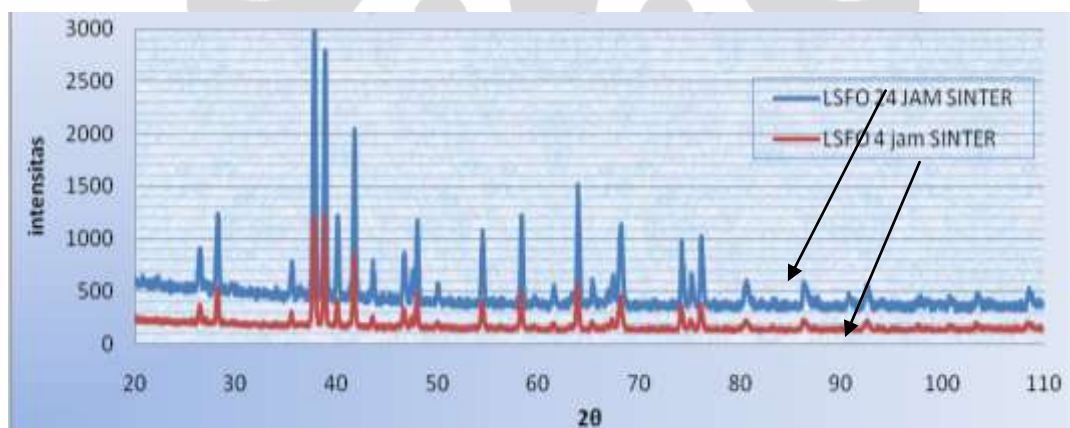
komposisi	Space Group	Parameter Kisi (Å)			Atom	Posisi Atom (Å)		
		a	b	c		x	y	z
x = 0.3	P 63/mmm	5.887202	5.887202	23.1295	Sr	0.667000	0.333000	0.250000
					Fe	0.000000	0.000000	0.000000
					Fe	0.000000	0.000000	0.240000
					Fe	0.333000	0.667000	0.027000
					Fe	0.333000	0.667000	0.189000
					Fe	0.174000	0.347000	0.189000
					O	0.000000	0.000000	0.152000

					O	0.333000	0.667000	0.559000
					O	0.210000	0.420000	0.250000
					O	0.156000	0.313000	0.053000
					O	0.150500	0.300900	0.051000
					La	0.667000	0.333000	0.250000
					Sr	0.667000	0.333000	0.250000
					Fe	0.000000	0.000000	0.000000
					Fe	0.000000	0.000000	0.254000
					Fe	0.333000	0.667000	0.027000
					Fe	0.333000	0.667000	0.027000
					Fe	0.333000	0.667000	0.191000
x = 0.5	P 63/mmm	5.676300	5.676300	23.145000	O	0.000000	0.000000	0.152000
					O	0.333000	0.667000	0.550000
					O	0.182000	0.363000	0.250000
					O	0.156000	0.313000	0.053000
					O	0.505000	1.009000	0.151000
					La	0.667000	0.333000	0.250000
					Sr	0.667000	0.333000	0.250000
					Fe	0.000000	0.000000	0.000000
					Fe	0.000000	0.000000	0.254000
					Fe	0.333000	0.667000	0.027000
					Fe	0.333000	0.667000	0.027000
					Fe	0.333000	0.667000	0.191000
x = 0.7	P 63/mmm	5.543000	5.543000	23.011000	O	0.000000	0.000000	0.152000
					O	0.333000	0.667000	0.550000
					O	0.182000	0.363000	0.250000
					O	0.156000	0.313000	0.053000
					O	0.505000	1.009000	0.145000
					La	0.500000	0.000030	0.005000

Dari gambar 4.11. dan tabel 4.7. terlihat bahwa dengan adanya senyawa lain yaitu La_2O_3 dan Fe_2O_3 yang tidak satu fasa menjadikan nilai parameter kisi sistem $\text{SrO}.6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ yang tidak sama.

Hasil karakterisasi material yang didapat dari pengujian XRD berupa pola difraksi dan data intensitas, jarak antar bidang (d_{hkl}) dan sudut 2θ . Pola difraksi sinar X merupakan sidik jari molekul senyawa. Setiap molekul dengan komposisi berbeda memiliki pola difraksi yang berbeda beda. Pola difraksi ini sangat berkaitan erat dengan jarak pemisahan bidang d yang menghasilkan interferensi konstruktif sinar X. Pola kemunculan gelombang interferensi pada jarak d berbeda-beda untuk setiap molekul ^[16]. Hal ini mengapa dinamakan sidik jari molekul. Oleh sebab itu dimungkinkan bahwa senyawa yang diharapkan dapat terbentuk dengan perlakuan perbedaan fraksi x.

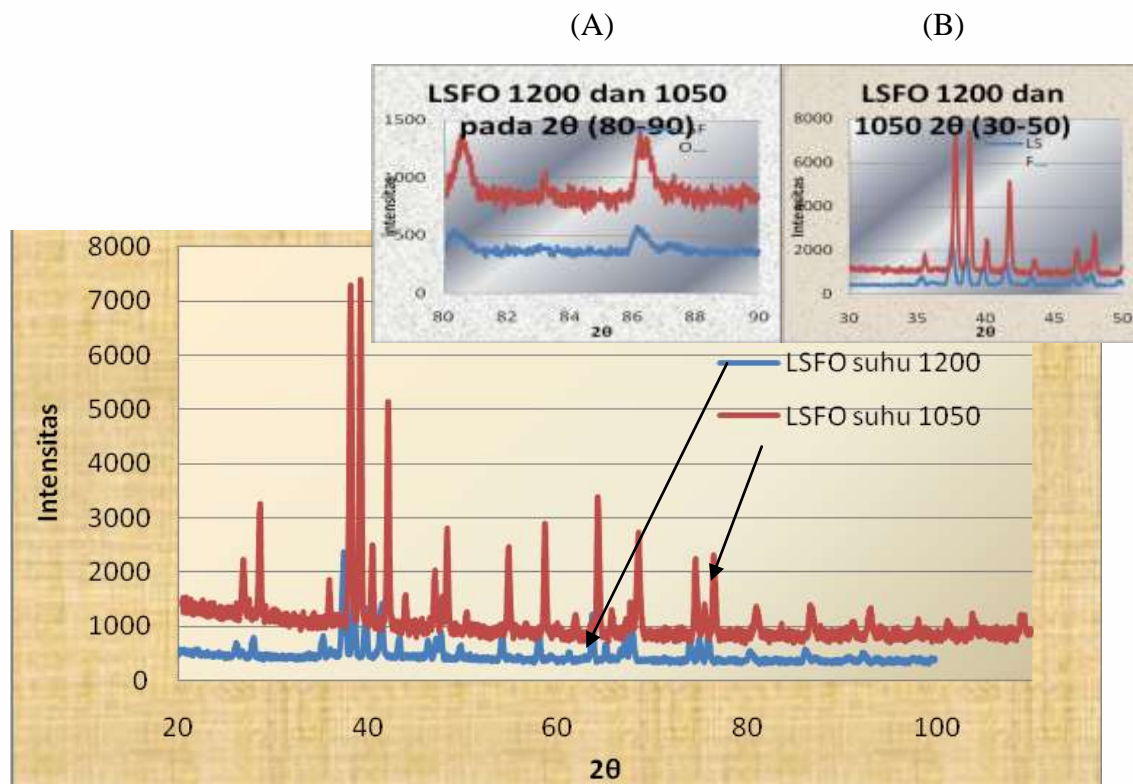
4.3 Analisa XRD LSFO x=0,5 Variasi waktu milling dan Suhu



Gambar 4.12. Analisa XRD sampel LSFO perbandingan perbedaan waktu penahanan sintering 24 jam dan 4 jam suhu 1050 °C

Terlihat intensitas tertinggi pada pola difraksi XRD pada gambar 4.10 adalah saat sintering 24 jam dengan suhu 1050 °C. puncak puncak difraksi pada sintering 24 jam juga semakin lebar hal ini menunjukkan saat suhu sintering 24 jam sampel memiliki ukuran butiran yang relatif lebih kecil (dengan semakin tingginya intensitas

dan pelebaran puncak dari 2 theta). Tetapi perbedaan suhu sintering tidak merubah posisi intensitas 2θ untuk sampel LSFO x=0,5



Gambar 4.13. Analisa XRD sampel LSFO $x=0,5$ perbandingan suhu ($1050\text{ }^{\circ}\text{C}$, $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$) dengan waktu penahanan 4 jam saat 2θ (A) 80-90 dan (B) 30-50.

Dari data di atas gambar 4.11. menunjukkan perbedaan suhu sintering tidak merubah pola difraksi. Hanya merubah besarnya intensitas dari setiap pola difraksi yang dihasilkan. Pada gambar 4.11 Untuk 2theta (A) 80, 86, terlihat dengan jelas intensitas tinggi pada suhu sintering $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ tetapi pola difraksi tidak berubah dan tetapi terjadi pergeseran peak-peak difraksi interaksi dengan sudut 2theta. Begitu pula pada (B) intensitas tinggi terjadi pada suhu $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ dimana dihasilkan jumlah

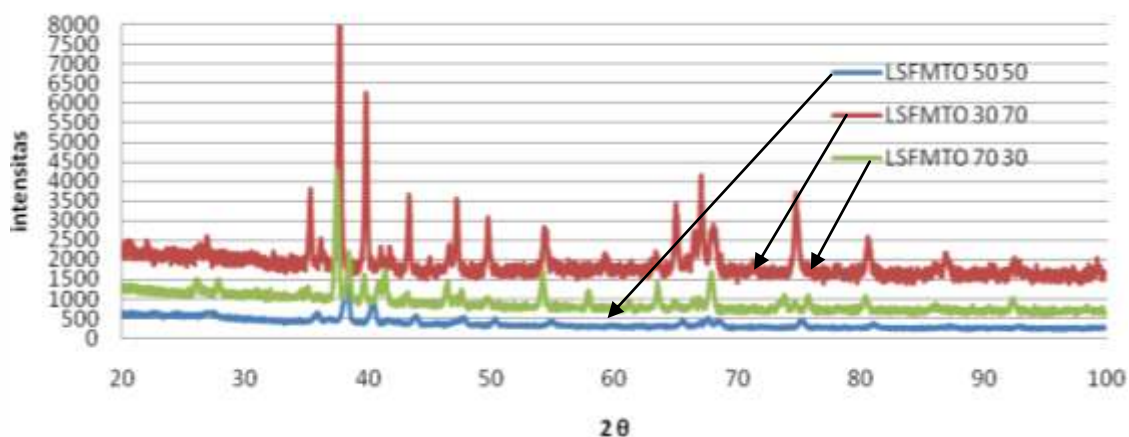
peak yang sama hanya intensitas pada suhu 1200 °C lebih tinggi dari intensitas pada pola difraksi suhu 1050 °C.

Tabel 4.9. nilai Parameter Kisi LSFO suhu 1200 °C, 1050 °C

SENYAWA	PARAMETER KISI		
	a(Å)	b(Å)	c(Å)
LSFO 1200	5.884069	5.884069	23.1447
LSFO 1050	5.887202	5.887202	23.12905

Dari hasil XRD terlihat bahwa dengan suhu 1050 °C dan 1200 °C dihasilkan pola difraksi yang sama, dengan intensitas setiap puncak difraksi yang tidak berbeda. Dari nilai parameter kisi hasil GSAS, terjadi perubahan nilai, hal ini disebabkan pada suhu yang semakin tinggi maka unsur senyawa di dalam sistem terjadi perenggangan yang menghasilkan pola difraksi dengan intensitas tinggi dan puncak yang lebar. Pada penelitian ini digunakan suhu optimasi 1050 °C.

4.4 Identifikasi Difraksi Sinar X sistem LSFMTO $x=0,3;0,5;0,7$



Gambar 4.14. Perbandingan XRD sistem LSFMTO ($x=0,3;0,5;0,7$)

Adanya substitusi ion La terhadap Sr dan substitusi ion Mn dan Ti terhadap ion Fe pada fasa material berbasis LSFMTO dengan $x = 0,3; 0,5; 0,7$ menghasilkan puncak-puncak yang berbeda. Seperti dalam gambar 4.15 sampai 4.17.



Gambar 4.15. XRD LSFMTO $x=0,3$



Gambar 4.16. XRD LSFMTO $x=0,5$



Gambar 4.17. XRD LSFMTO $x = 0,7$

Tabel 4.10. Nilai Stokimetri LSFMTO $x = 0,3; 0,5; 0,7$

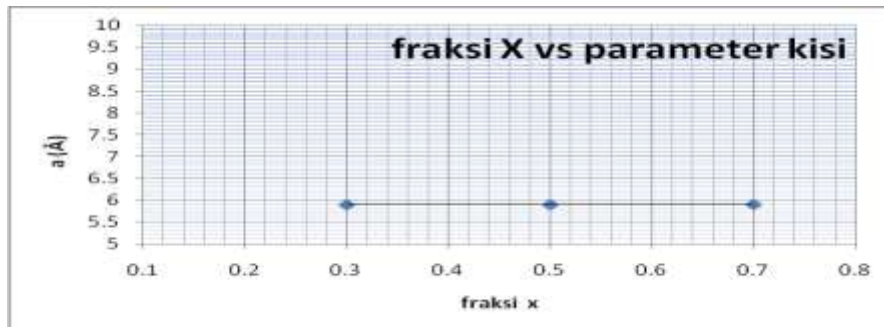
SISTEM	$\text{SrO} \cdot 6(\text{Fe}_{1,5}\text{Mn}_{0,25}\text{Ti}_{0,25}\text{O}_3)$	Fe_2O_3	SrTiO_3
LSFMTO 73	48.95%	44.18%	5.07%
LSFMTO 55	49.42%	44.60%	8.54%
LSFMTO 37	49.90%	45.03%	12.07%

Sistem LSFMTO (tabel 4.9) pada $x=0,3$ tidak menghasilkan 100 % fasa $\text{SrO} \cdot 6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ tetapi hanya 49.90%. Hal ini menunjukkan dengan adanya ion Mn dan Ti juga mempengaruhi wt% hasil fasa $\text{SrO} \cdot 6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$. Sedangkan untuk $x \leq 0,3$ LSFO (tabel 4.5) menghasilkan 100% fasa $\text{SrO} \cdot 6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$. Hal tersebut menunjukkan komposisi Fasa sistem LSFO yang di doping Mn dan Ti untuk menggantikan ion Fe belum menghasilkan sistem LSFMTO 100% tetapi masih terdapat fasa lain dari LSFMTO.

Tabel 4.11. Perbandingan Parameter kisi LSFMTO ($x=0,3; 0,5; 0,7$)

Fraksi x	Fraksi berat	Fasa	Parameter Kisi (Å)			Atom	Posisi Atom (Å)		
			a	b	c		x	y	z
x = 0.3	0	fasa 1	5.892519	5.892519	23.086494	Sr	0.667000	0.333000	0.250000
						Fe	0.000000	0.000000	0.000000
						Fe	0.000000	0.000000	0.254000
						Fe	0.333000	0.667000	0.025400
						Fe	0.333000	0.667000	0.191000
						Fe	0.169000	0.338000	-

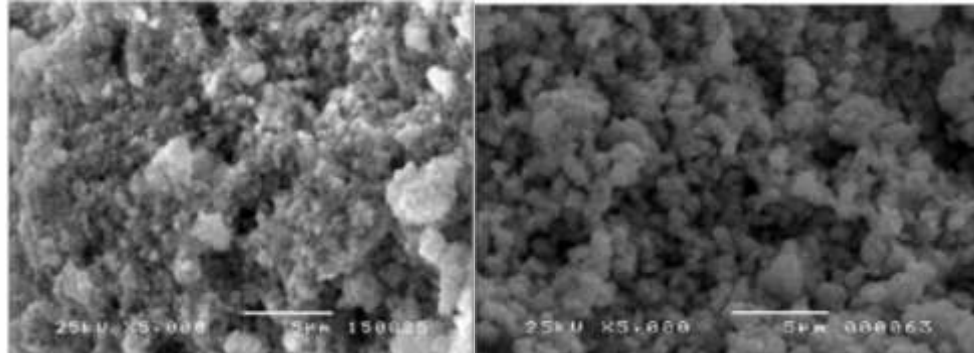
								0.109000
							O	0.000000 0.000000 0.152000
							O	0.333000 0.667000 0.550000
							O	0.182000 0.363000 0.250000
							O	0.157000 0.313000 0.053000
							O	0.505000 1.009000 0.151000
							La	0.667000 0.333000 0.250000
	19.6806	fasa 2	5.018918	5.018918	13.704654		Fe	0.000000 0.000000 0.355813
							O	0.690272 0.000000 0.250000
	0	fasa 3	3.914474	3.914474	3.914474		Sr	0.500000 0.500000 0.500000
							Ti	0.000000 0.000000 0.000000
							Fe	0.500000 0.000000 0.000000
							Sr	0.667000 0.333000 0.250000
							Fe	0.000000 0.000000 0.000000
							Fe	0.000000 0.000000 0.254000
							Fe	0.333000 0.667000 0.027000
							Fe	0.333000 0.667000 0.027000
							Fe	0.333000 0.667000 0.191000
							O	0.000000 0.000000 0.152000
							O	0.333000 0.667000 0.550000
							O	0.182000 0.363000 0.250000
							O	0.156000 0.313000 0.053000
							O	0.505000 1.009000 0.151000
							La	0.667000 0.333000 0.250000
x = 0.5	1.06719	fasa 1	5.892573	5.892573	23.086588		Fe	0.000000 0.000000 0.355813
							O	0.690272 0.000000 0.250000
	12.1636	fasa 2	5.022168	5.022168	13.700993		Sr	0.500000 0.500000 0.500000
							Ti	0.000000 0.000000 0.000000
	16.3354	fasa 3	3.911446	3.911446	3.911446		Fe	0.500000 0.000000 0.000000
							Sr	0.667000 0.333000 0.250000
							Fe	0.000000 0.000000 0.000000
							Fe	0.000000 0.000000 0.253000
							Fe	0.333000 0.667000 0.027000
							Fe	0.333000 0.667000 0.027000
							Fe	0.333000 0.667000 0.191000
							O	0.000000 0.000000 0.152000
							O	0.333000 0.667000 0.550000
							O	0.182000 0.363000 0.250000
							O	0.156000 0.313000 0.053000
							O	0.505000 1.009000 0.151000
							La	0.667000 0.333000 0.250000
x = 0.7	1.2345	fasa 1	5.897500	5.897500	23.085280		Fe	0.000000 0.000000 0.355813
							O	0.690272 0.000000 0.250000
	12.1636	fasa 2	5.022168	5.022168	13.735700		Sr	0.500000 0.500000 0.500000
							Ti	0.000000 0.000000 0.000000
	1.01201	fasa 3	3.947600	3.947600	3.947600		Fe	0.500000 0.000000 0.000000
							Fe	0.500000 0.000000 0.000000



Gambar 4.18. Pengaruh nilai $x = 0,3;0,5;0,7$ terhadap parameter kisi (a) $\text{SrO}.6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$

Terlihat parameter kisi (a) tidak mengalami penurunan atau kenaikan melihat tren garis rata-ratanya. Pada dasarnya perbandingan komposisi X tidak akan mengubah nilai parameter kisi^[15], tetapi dikarenakan adanya ion pensubstitusi La menggantikan Sr dan doping Mn, Ti menggantikan Fe dimana perbedaan medan yang sangat halus pada sistem LSFO dan LSFMTO dapat terjadi oleh exchange electron yang sangat cepat antara Fe^{2+} dan Fe^{3+} atau dalam proses penggunaan bersama electron oleh 6 ion Fe pada 12k sites^[10], menyebabkan perubahan parameter kisi untuk nilai $0,3 \leq X < 0,7$. Untuk sistem LSFMTO nilai parameter kisi tidak mengalami perubahan terlihat dalam gambar 4.18, Hal ini karena variasi ukuran Kristal bahan dasar pada setiap komposisinya sama, sehingga bentuk Kristal tidak mengalami perubahan, tetapi memberikan efek spesifik terhadap sifat intrinsiknya seperti dalam nilai parameter kisi sistem LSFO dan LSFMTO. Nilai parameter kisi yang berubah mengakibatkan nilai anisotropi berubah yang dapat mempengaruhi sifat kemagnetan dari sistem.

4.4.1 Analisis SEM Sistem LSFO dan LSFMTO



(A)LSFO 5.000 x perbesaran

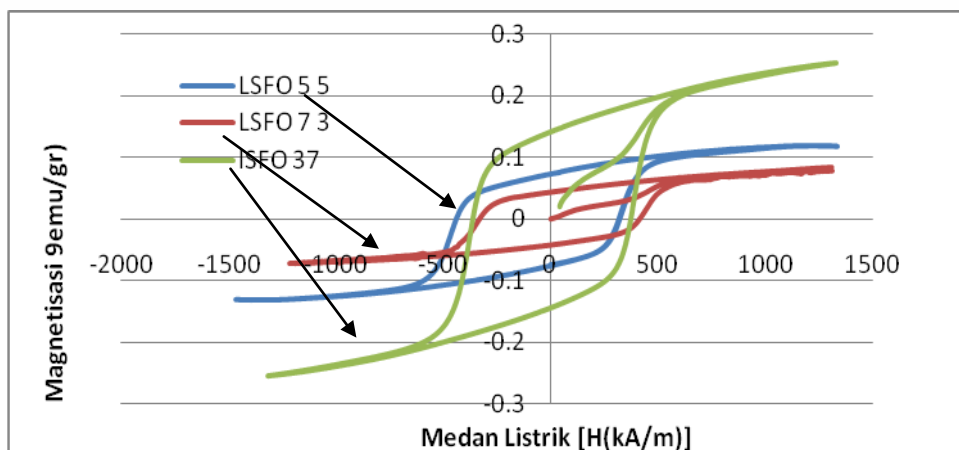
(B) LSFMTO 5.000 x perbesaran

Gambar 4. 19. SEM LSFO, LSFMTO dengan perbesaran 5.000 x (A). LSFO perbesaran 5.000x dan (B) LSFMTO perbesaran 5.000 x

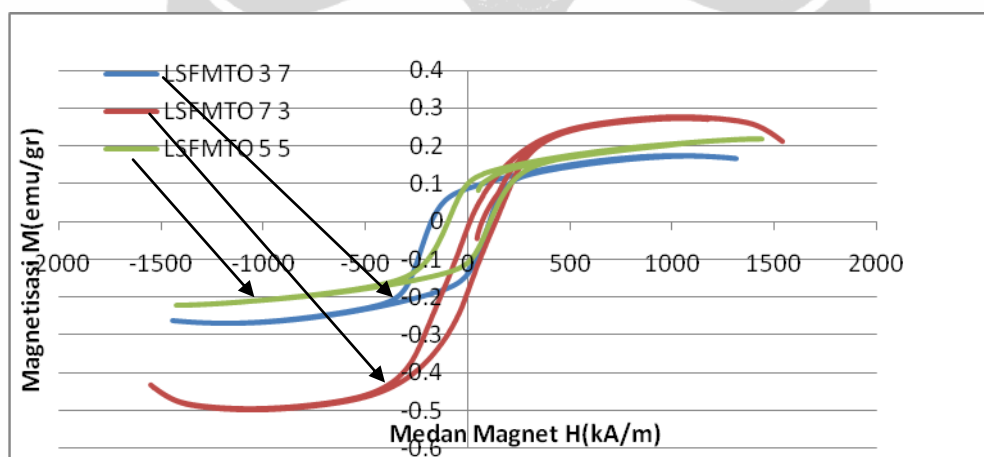
Hasil morfologi pengamatan SEM (*Scanning Electron Microscope*) untuk sampel LSFMTO diperlihatkan pada gambar 4.19, dapat diketahui bahwa morfologi permukaan sampel dan bentuk butiran hampir sama, hal ini dikarenakan struktur bahan dasar yang sama. Terlihat bahwa ukuran partikel yang dihasilkan tidak jauh berbeda baik di doping dengan Mn dan Ti ataupun tidak di doping dengan Mn dan Ti. Pada LSFO maupun LSFMTO masih terdapat beberapa partikel besar yang menunjukkan masih adanya aglomerasi dari partikel-partikel sampel. Hal ini diduga adanya Mn yang memiliki sifat daya tarik menarik antar butir yang tinggi.

4.5 Analisa Sifat Magnetik

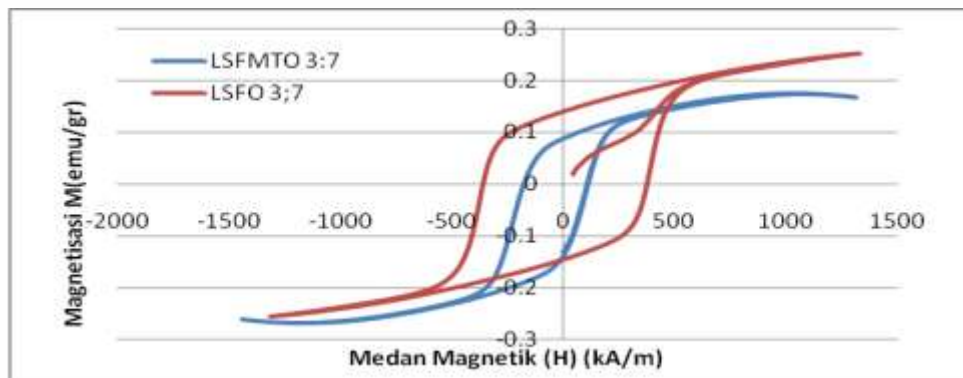
Untuk menganalisis sifat magnetik, menggunakan alat permeagraf yang akan menghasilkan informasi mengenai besaran-besaran sifat magnetik sebagai akibat perubahan medan magnet yang digambarkan dalam suatu kurva histerisis.



Gambar 4.20. Kurva Histerisis Loop perbandingan sampel LSFO ($x=0,3;0,5;0,7$)



Gambar 4.21. Kurva Histerisis Loop Perbandingan Sampel LSFMT0 ($x = 0,3;0,5;0,7$)



Gambar 4.22. Kurva Histerisis Loop Perbandingan Sampel LSFMTO dan LSFO
x=0,3

Dari hasil pengukuran menggunakan alat permeagraf, dari perbandingan gambar 4.20. dan 4.21. menunjukkan penurunan nilai coersivitas dengan adanya doping Mn dan Ti ke dalam fasa Fe. Hal tersebut dapat diakibatkan karena terjadinya perubahan momen dipol karena adanya substitusi Mn^{2+} dan Ti^{4+} ke dalam Fe^{3+} .

Tabel 4.12. Data Hasil Pengukuran Sifat Magnetik Senyawa LSFO dan LSFMTO

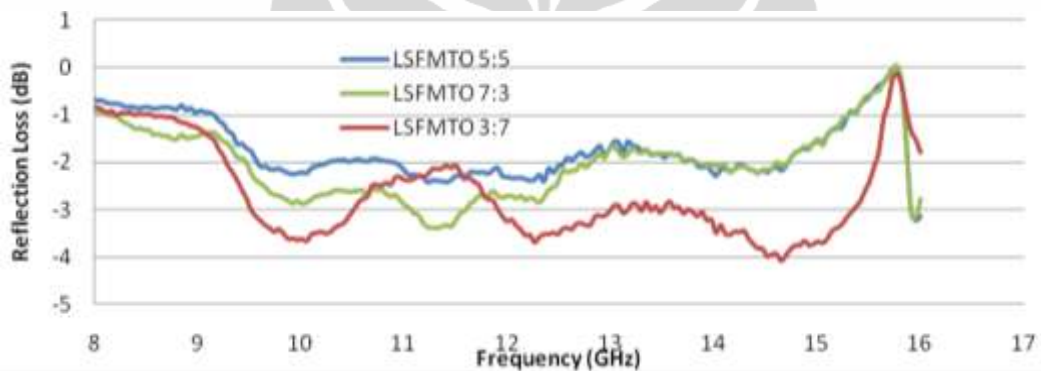
Senyawa	Mr (emu/gr)	Hc (Oe)	Ms (emu/gr)
LSFO 3:7	1258.99	0.1489	-353.98
LSFO 7 :3	1241.58	0.146	-346.61
LSFO 5:5	1251.46	0.045	-489.11
LSFMTO 3:7	1270.89	0.221	-252.37
LSFMTO 7:3	1478.47	0.092	-88.356
LSFMTO 5:5	1400.92	0.117	-109.119

Sampel LSFO dengan $x = 0,3;0,5;0,7$ dari kurva menunjukkan bahwa sampel memiliki karakteristik sebagai senyawa feromagnetik yang memiliki nilai koersivitas meningkat dengan x yang besar yang menunjukkan sifat magnetik akan makin berkurang. Sedangkan dengan doping Mn dan Ti nilai magnetik saturasi meningkat dengan x yang besar. Untuk sistem LSFMTO fraksi $0,3 \leq x < 0,7$ nilai koersivitas mengalami penurunan dengan adanya substitusi Mn dan Ti ke dalam Fe. Nilai $y=1,5$ yang menghasilkan sistem $\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{O}_6(\text{Fe}_{1-y}\text{Mn}_{y/2}\text{Ti}_{y/2}\text{O}_3)$ menghasilkan nilai koersivitas yang menurun, dikarenakan terdapatnya sistem 3 fasa tetapi nilai remanen tidak jauh berbeda, dan sifat magnetik yang semakin menurun.

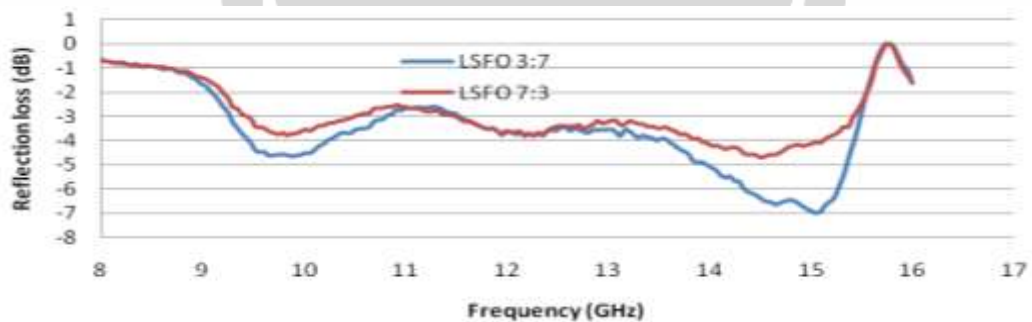
4. 6 Analisis Reflection Loss menggunakan VNA

Alat VNA (*Vector Network Analyzer*) dapat digunakan untuk menganalisis nilai absorpsi material dan juga nilai *reflection loss* (RL) efek refleksi dan transmisi dari sumber gelombang elektromagnetik yang dihasilkan dengan sinyal frekuensi tertentu. Sifat absorpsi material merupakan suatu sifat material dalam menyerap gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh pemancar gelombang pada suatu rentang frekuensi tertentu. Prinsipnya yaitu dengan melihat nilai refleksi, transmisi, dan absorpsi yang diterima oleh material melalui probe adapter, sehingga didapatkan suatu kurva RL sebagai fungsi frekuensi. RL menggambarkan jumlah fraksi gelombang terserap karena adanya resonansi gelombang elektromagnetik pada bahan, sehingga gelombang elektromagnetik tersebut dikembalikan pada arah datang. Nilai *reflection loss* menunjukkan bahwa besarnya fraksi gelombang yang terserap akibat peristiwa resonansi, dan hanya sebagian kecil dikembalikan kepada arah datang, sedangkan sebagian besar dihamburkan pada arah lain. Polarisasi gelombang elektromagnetik dalam *waveguide* sangat berguna untuk menganalisis sifat listrik dalam bahan.

Pengujian absorpsi atau serapan gelombang telekomunikasi elektromagnetik dilakukan di PPET (Pusat Penelitian Elektronika Terapan), LIPI, Bandung. Hasil perhitungan *reflection loss* sampel sistem LSFO dan LSFMTO dalam rentang frekuensi 8.00-16.00 GHz dapat dilihat dalam gambar 4.23. dari rentang frekuensi tersebut dapat dilihat pada frekuensi berapakah sistem LSFO dan LSFMTO akan menyerap resonansi gelombang elektromagnetik yang terukur melalui frekuensi secara optimal dan dihasilkan hubungan antara nilai RL terhadap sistem LSFO dan LSFMTO berbagai nilai komposisi.



Gambar 4.23. Kurva reflection loss sampel LSFMTO dengan $x = 0.3; 0.5; 0.7$



Gambar 4.24. Kurva *reflection loss* sampel LSFO ($\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{O}_6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$) dengan ($x = 0,3; 0,5; 0,7$)

Lebar pita penyerapan dari berbagai komposisi sampel dan fasa yang berbeda dengan rentang pengukuran frekuensi yang sama menghasilkan nilai *reflection loss* dengan intensitas penyerapan yang berbeda. Dalam rentang frekuensi pengukuran 8-16 GHz terlihat bahwa sampel material LSFO maupun LSFMTO menyerap secara maksimal dengan range frekuensi yang lebar dengan alat adapter penghubung (*waveguide*) untuk range 5-15 GHz. Hal ini dipilih untuk melihat sepanjang apakah daerah serapan dan lebar pita penyerapan (*band width*) yang dapat dihasilkan oleh sistem LSFO maupun sistem LSFMTO. Dari kurva hasil pengukuran menunjukkan nilai RL hampir sama dalam rentang frekuensi 8,00-16,00 GHz. Sistem LSMTFO $x=0,3$ memiliki nilai *reflection loss* 3,80 dB. Nilai RL yang kecil akan memaksimalkan absorpsi gelombang elektromagnetik sehingga seluruh energi gelombang akan diserap oleh sistem LSFMTO.

Tabel 4.12. data penyerapan gelombang mikro material LSFO dan LSFMTO pada berbagai nilai komposisi x. dengan ketebalan 2,1 mm, berat sampel 3,00 gram, waktu sintering 4jam dan temperatur 1050 °C .

Tabel 4.13. Data Penyerapan Gelombang Mikro Material LSFO dan LSFMTO

Sampel material	Frekuensi (GHz)	Reflektansi Loss (dB)
LSFO 3:7	9.6	-4.49
	12.2	-3.66
	14.9	-6.73
LSFO 7:3	9.7	-3.75
	12.2	-3.67
	14.5	-4.63
LSFMTO 3:7	9.8	-3.62
	12.2	-3.54
	14.4	-3.82
LSFMTO 5:5	9.8	-2.19

	12.2	-2.43
	14.3	-2.08
LSFMTO 7:3	9.8	-2.77
	12.2	-3.29
	14.3	-2.10

Nilai dari tabel 4.12. di atas menjelaskan bahwa dari range frekuensi 8.0 -16.0 GHz menghasilkan nilai *reflection loss* yang berbeda beda dengan nilai *reflection loss* -2,10 dB – (-) 6.73 dB. Nilai maksimal RL untuk daerah jangkauan X band 8,20-12,40 GHz^[12]. Nilai RL yang kecil menunjukkan bahwa ada energi gelombang elektromagnetik suatu ruangan yang dapat diserap maksimal oleh sistem LSFO dan LSFMT0 yang terukur dalam bentuk kerapatan daya. Nilai kerapatan daya yang terukur menghasilkan panas menunjukkan besarnya energi gelombang elektromagnetik sistem LSFO dan LSFMT0 yang terserap.

Parameter yang dapat digunakan untuk pengukuran sifat absorpsi material pada konversi Nicholson-Ross-Weir (*Application Note, 2006*) yaitu :

$$S_{11}^* = S_{11}' + S_{11}''$$

$$S_{12}^* = S_{21}' + S_{21}''$$

Dimana S_{11}^* dan S_{21}^* merupakan bilangan kompleks dari parameter hamburan (Scattering parameter) yaitu parameter reflektansi dan parameter transmisi. Nilai S_{11}' dan S_{21}' merupakan bilangan real, sedangkan nilai S_{11}'' dan S_{21}'' merupakan bilangan imajiner.

Pengukuran sifat absorpsi material dikarakterisasi dengan alat VNA dibutuhkan koreksi vektor kesalahan akurasi pengukuran. Dibutuhkan analisis koreksi vektor kesalahan akurasi pengukuran. Pada dasarnya analisis jaringan pemancar frekuensi yang dipancarkan pada material akan direfleksikan dan ditransmisikan sepanjang jalur transmisinya. Ketika panjang gelombang RL dan sinyal gelombang

mikro berbeda, maka dengan prinsip yang sama jaringan akan membaca secara akurat frekuensi yang datang kemudian direfleksikan, dan ditransmisikan. Energi atau sinyal yang ditransmisikan akan dipantulkan kembali ke bawah jalur transmisi menuju sumber (impedansi yang cocok) dan ditransmisikan ke perangkat akhir.

Berdasarkan perhitungan persamaan $RL = 20 \log (Z_{in}-Z_0) : (Z_{in} + Z_0)$ memberikan arti pada nilai RL -20 dB, bahwa 100% frekuensi yang diterima material, 10% akan direfleksikan dan 90 % akan diserap dan ditransmisikan oleh material.

Tabel 4.14. Analogi nilai reflection loss

<i>Reflection Loss</i>	I_{keluar} (reflektansi)	$I_{\text{penyerapan}}$ (transmisi + Absorpsi)
RL = 20 log 10/100 = -20 dB	10%	90%
RL = 20 log 1/100 = -40 dB	1%	99%
RL = 20 log 0,1/100 = -60 dB	0,1%	99,9%

Sistem LSFO dan LSFMTO memiliki nilai *reflection loss* berbeda beda, sehingga menghasilkan intensitas penyerapan yang berbeda. Dari tabel 4.14 sistem LSFO memiliki nilai intensitas penyerapan lebih dari 50%, artinya sebesar 50% sistem LSFO akan merefleksikan dan mentransmisikan gelombang elektromagnetik yang terlewatkan di dalam sistem. Untuk sistem LSFMTO 3:7 menghasilkan intensitas penyerapan paling besar dibandingkan perbandingan $x=5:5$ dan $x=7:3$ untuk sistem LSFMTO. untuk sistem LSFMTO 3:7 intensitas penyerapan lebih dari 50%, sedangkan untuk sistem LSFMTO 5:5 dan 7:3 dengan intensitas penyerapan kurang dari 50% menunjukkan besarnya gelombang yang datang dan direfleksikan kembali sedangkan yang di serap atau ditransmisikan hanya kurang dari 50%. Oleh karena itu sistem LSFMTO 3:7 dapat digunakan sebagai kandidat bahan penyerap gelombang mikro.

Tabel 4.15. Nilai Intensitas penyerapan senyawa LSFO dan LSFMTO

Sampel material	Reflection Loss (dB)	I keluar N (%)	I penyerapan (%)
LSFO 3:7	-4.49	35.56	64.44
	-3.66	43.05	56.95
	-6.73	21.23	78.77
LSFO 7:3	-3.75	42.16	57.84
	-3.67	42.95	57.05
	-4.63	34.43	65.57
LSFMTO 3:7	-3.62	43.45	56.55
	-3.54	44.25	55.75
	-3.82	41.49	58.51
LSFMTO 5:5	-2.19	60.39	39.61
	-2.43	57.14	42.86
	-2.08	61.94	38.06
LSFMTO 7:3	-2.77	52.84	47.16
	-3.29	46.88	53.12
	-2.1	61.65	38.35

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pada sampel berbasis $\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{O}_6(\text{Fe}_{1,5}\text{Mn}_{0,25}\text{Ti}_{0,25}\text{O}_3)$ yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

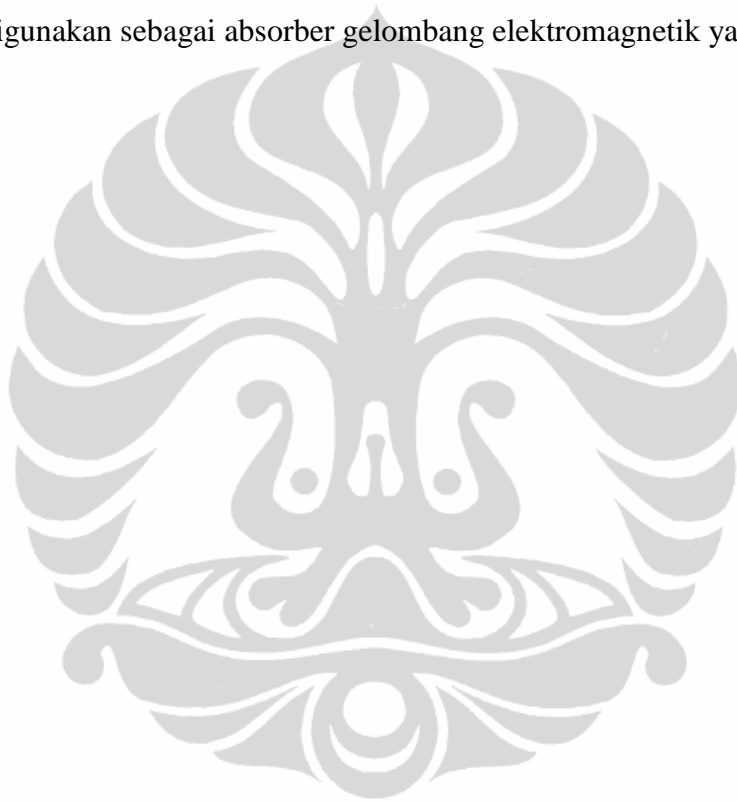
1. Sistem LSFO untuk $x=0,3$ dihasilkan 1 fasa sistem $\text{SrO}_6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ sedangkan dengan $x = 0,5$ dan $0,7$ menunjukkan 3 fasa dengan komposisi stokiometri $\text{SrO}_6(\text{Fe}_2\text{O}_3) + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{La}_2\text{O}_3$ yang berbeda. Loop Hysterisis menunjukkan sifat magnet permanen dengan bertambahnya ion La nilai koersivitas semakin tinggi, sedangkan remanen berkurang sehingga sifat magnet akan menurun.
2. Dengan $y=0,5$ untuk sistem $\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{O}_6(\text{Fe}_{1-y}\text{Mn}_{2/y}\text{Ti}_{2/y}\text{O}_3)$ substitusi Mn dan Ti menghasilkan 3 fasa yang masih menunjukkan karakterisasi senyawa feromagnetik, dimana nilai koersifitas menurun dengan adanya fasa kedua dan ketiga tetapi menghasilkan nilai remanen tidak jauh berbeda untuk $3 < x < 7$.
3. Dengan adanya ion Mn dan Ti dan semakin besarnya komposisi La, menurunkan sifat magnetic dan menurunkan sifat absorbs yang diperuntukkan sebagai senyawa penyerap gelombang mikro.

5.2 Saran

1. Material $\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{O}_6(\text{Fe}_{1-y}\text{Mn}_{2/y}\text{Ti}_{2/y}\text{O}_3)$ memiliki peluang sebagai material penyerap gelombang elektromagnetik 1 fasa jika x dan y tepat. Dimana $0,3 \geq x > 5$ dan y tidak lebih $0,25$.
2. Salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk aplikasi praktis sebagai penyerap gelombang elektromagnetik adalah bahwa bahan ini harus memiliki nilai

koersivitas serendah mungkin dengan saturasi magnet yang tinggi. Dengan demikian diperlukan modifikasi bahan untuk menurunkan nilai koersivitas dari bahan $\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{O}_6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ dengan pendoping Mn dan Ti.

3. Dibutuhkan studi untuk mengetahui lebih lanjut perubahan sifat magnet dan elektrik dengan adanya doping Mn dan Ti dari sistem $\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{O}_6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ yang dapat digunakan sebagai absorber gelombang elektromagnetik yang baik.



DAFTAR REFERENSI

- [1] Tyagi Sachin, B, Baskey Himanshu, Agarwala Ramesh Chandra, Agarwala Vijaya, Shami Chand Trilok, Synthesis and Characterization of Microwave Absorbing SrFe₁₂O₁₉/ZnFe₂O₄ NanoComposite, Trans Indian Inst Met, 2011, Kanpur, India
- [2] Wikipedia, the free encyclopedia. (2011). *Hexaferrite (structure)*. desember, 2011. [http://en.wikipedia.org/wiki/hexaferrite_\(structure\)](http://en.wikipedia.org/wiki/hexaferrite_(structure))
- [3] Topal ugur, Bakan I, Halil, Improvement Of The Magnetic Properties Of Highly Porous Open-Celled Magnets, Journal Of The European Ceramic Society 2011 783-787
- [4] Priyono, Karakterisasi Magnetik dan Absorpsi Gelombang Mikro Material Magnet Berbahan Dasar Barium Hexaferrite, Disertasi S-3, 2010, FMIPA, Universitas Indonesia
- [5] Topal, Ugur A Simple Synthesis Route For High Quality BaFe₁₂O₁₉ Magnets, Material Science Of Engineering 2011: 1531-1536
- [6] Adi Wisnu Ari, Analisis Struktur dan Sifat Magnetik Paduan Sistem (Ba,Sr)O.6(Fe_{2(1-x)}(Mn,Ti)_xO₃ (x = 0;0,25; dan 0,5), Tesis S-2, 2010, FMIPA, Universitas Indonesia
- [7] Topal, Ugur, Ammonium Nitrate Mlt Technique For The Synthesis Of Oxide Compounds, Journal Of Physics, 2009 153
- [8] Hojamberdiev M, Xu Y, Wang F, Liu W, Wang J, La-Modification Of Multiferroic BiFeO₃ by Hydrothermal Method at Low Temperature, Inorganic Material, 2009 vol 45, 1183-1187

- [9] Pereira F.M.M, Junior C.A.R, Santos M.R.P, Structural and Dielectric Spectroscopy Studies of the M-Type Barium Strontium Hexaferrite Alloy ($Ba_xSr_{1-x}Fe_{12}O_{19}$), *J. Mater Sci, Mater Electron*, 2008, 19:627-638.
- [10] Zhang X, Duan Y, Guan H, Li B, Effect of Doping MnO_2 on magnetic properties for M-type Barium Ferrite. *J Magn Magn Mater* 2007 311:507
- [11] Topal Ugur, Ozkan Husnu, Dorosinskii Lev, Finding Optimal Fe/Ba Ratio to Obtain Single Phase $BaFe_{12}O_{19}$ Prepared by Ammonium Nitrate Melt Technique, *Journal Of Alloys and Compounds*, 2007: 17-21
- [12] Souza J.A, Neumeier J.J, Bollinger R.K, McGuire B, Dos Santos C.A.M, Terashita H, Magnetic Susceptibility and Electrical Resistivity of $LaMnO_3$, $CaMnO_3$, and $La_{1-x}Sr_xMnO_3$ ($0.13 < x < 0.45$) in the Temperature Range 300-900 K, *Physical Review B*, 2007, 76, 024407
- [13] Zvezdin A.K, Logginov A.S, Meshkov G.A, Pyatakov A.P, Multiferroics : Promising Materials For Microelectronics Spintronics, and Sensor Technique, *Bulletin of the Russian Academy of Science: Physics*, 2007 Vol 71, No 11
- [14] Hikam, M., *Catatan kuliah Kristalografi dan Teknik Difraksi*, Program studi Ilmu Material, Departemen Fisika FMIPA, Universitas Indonesia (2007)
- [15] Belous Ag, V yumov OI, Pash Kova EV, Ivanitskii VP, Gavrilenko ON, Massbaver, Study and Magnetic Properties Of M-Type Barium Hexaferrite doped with Co+Ti and Bi+Ti, Ions, *J Physichem B* 2006 : 110: 26477
- [16] Effendi, Dedi, Idayanti N, Wiryolukito S, Struktur Mikro dan Sifat Magnetik Barium Heksaferrit Hasil Pemaduan Mekanik Oksida CRM, *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi*, 2003, No 2, Vol III
- [17] Suryanarayana C, dan Norton, M.G, *X-Ray Diffraction A Practical Approach*. 1998, Plenum Press

- [18] Obradors X, Collom A, Pernet M, Samaras D, Joubert J.C, X-Ray Analysis of the Structure and Dynamic Properties of $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ Hexagonal Ferrite at Room Temperature, *Journal of Solid State Chemistry*, 1985,56, 171-181
- [19] Muller, Collomb, A New Representation of the Bipirimidial Site in the $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ M-Type Hexagonal Ferrite Between 4.6 and 195 K, *Journal of Magnetism and Magnetik Material*, 1992, 103, 194-203
- [20] Kojima H, Fundamental Properties of Hexagonal Ferrites With Magnetoplumbite Strucutre, Vol 3, ed. E.P. Wohlfarth, North Holland, Publishing Company, Amsterdam, 1982
- [21] Cullity, B.D., *Element of X-ray diffraction*, second edition, Departement of Metallurgical Engineering and Materials Science, University of Notre Dame (1978).

