



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH SUBSTITUSI Mn DAN Ti TERHADAP SIFAT
MAGNET DAN PENYERAPAN GELOMBANG MIKRO PADA
BAHAN STRONTIUM HEXAFERRITE**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains

TRI WAHONO

0806477011

**PROGRAM PASCASARJANA
PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU MATERIAL
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS INDONESIA
JAKARTA
DESEMBER 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH SUBSTITUSI Mn DAN Ti TERHADAP SIFAT
MAGNET DAN PENYERAPAN GELOMBANG MIKRO PADA
BAHAN STRONTIUM HEXAFERRITE**

TESIS

TRI WAHONO

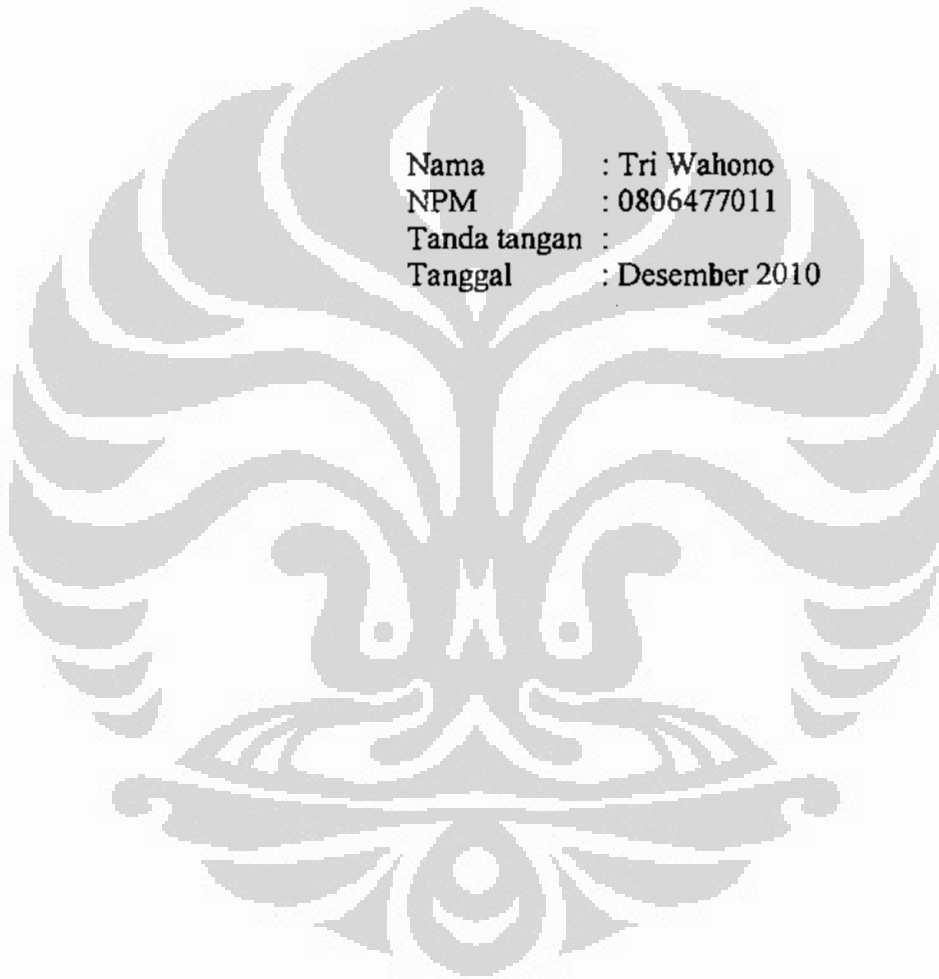
0806477011

**PROGRAM PASCASARJANA
PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU MATERIAL
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS INDONESIA
JAKARTA
DESEMBER 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Tri Wahono
NPM : 0806477011
Tanda tangan :
Tanggal : Desember 2010

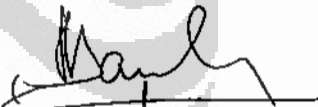






HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :
Nama : Tri Wahono
NPM : 0806477011
Program Studi : Magister Ilmu Material
Judul Tesis : Pengaruh Substitusi Mn dan Ti Terhadap Sifat
Magnet Dan Penyerapan Gelombang Mikro Pada
Bahan Strontium Hexaferrite

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Sains pada Program Pascasarjana Ilmu Material, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Ketua Jurusan	: Dr. Bambang Soegiono	()
Pembimbing	: Dr. Azwar Manaf, M.Met	()
Penguji I	: Dr. Budhy Kurniawan	()
Penguji II	: Dr. Muhammad Aziz Majidi	()
Penguji III	: Prof. Dr. Ridwan	()

Ditetapkan di : Jakarta
Tanggal : Desember 2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada ALLAH SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Ilmu Material Jurusan Ilmu Material pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Azwar Manaf, M.Met, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini;
2. Bapak Dr. Bambang Soegiono, selaku Ketua Program Studi Ilmu Material yang telah memberikan fasilitas untuk penyelesaian tesis ini.
3. Bapak Dr. Budhy Kurniawan selaku penguji I
4. Bapak Dr. Muhammad Aziz Majidi selaku penguji II
5. Bapak Prof. Dr. Ridwan selaku penguji III
6. Staf TU Program Studi Ilmu Material yang selalau memberikan kemudahan dalam pengurusan administrasi
7. Teman seperjuangan Bapak Wisnu yang selalu tulus menjadi teman diskusi dan selalu memberikan bantuannya dengan ikhlas pada penyusunan tesis ini.
8. Teman-teman Material Science angkatan 2008/2009 atas dukungan dan menjadi teman diskusi selama perkuliahan berlangsung.
9. Pihak yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan

10. Orang tua dan keluarga (Istriku Dwi Nurlaela, kedua putri dan putraku Nahwa Firdausy dan Hasbi Dzikri Alghifari) yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan

11. Sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan tesis ini.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu, yang telah membantu dalam penyelesaian tesis ini. Semoga amal dan budi baik yang diberikan mendapat balasan kebaikan dan keberkahan dari ALLAH SWT.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tesis ini, untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak. Akhir kata, semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Jakarta, Desember 2010

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Tri Wahono
NPM : 0806477011
Program Studi : Magister Ilmu Material
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis karya : Tesis

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Pengaruh Substitusi Mn dan Ti Terhadap Sifat Magnet dan Penyerapan Gelombang Mikro pada Bahan Strontium Hexaferrite”

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian persyaratan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta
Pada tanggal : Desember 2010
Yang menyatakan

(Tri Wahono)

ABSTRAK

Nama : Tri Wahono
Program Studi : Magister Ilmu Material
Judul : **Pengaruh Substitusi Mn dan Ti Terhadap Sifat Magneti dan penyerapan Gelombang Mikro Pada Bahan Strontium Hexaferrite**

Strontium hexaferrite dengan komposisi nominal $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_{2-(x+y)}\text{Mn}_x\text{Ti}_y\text{O}_3$ ($x = 0, y = 0$; $x = 0.4, y = 0.6$; $x = 0.5, y = 0.5$; $x = 0.6, y = 0.4$) disintesa dengan reaksi keadaan padat. Empat komponen serbuk BaCO_3 , SrCO_3 , Fe_2O_3 , MnCO_3 , dan TiO_2 dicampur menggunakan *High Energy Milling* selama 10 jam dan disintering pada 1050°C dalam tekanan atmosfer selama 15 jam dan pendinginan di tungku pemanas. *X-ray diffraction (XRD)*, *scanning electron microscope (SEM)*, *energy dispersive spectroscopy (EDS)*, *vibrating sample magnetometer (VSM)* dan network analyzer digunakan untuk analisa struktur, sifat elektomagnetik dan penyerapan gelombang. Hasil memperlihatkan bahwa identifikasi fasa dengan penghalusan pola difraksi XRD diperoleh fasa tunggal untuk substitusi Mn-Ti terhadap $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ dengan $x = y$ dan multi fasa terbentuk untuk $x \neq y$. Analisis mikrostruktur dengan SEM menunjukkan variasi partikel adalah $2 \sim 5 \mu\text{m}$. Evaluasi terhadap karakteristik magnetik mengindikasikan bahwa terjadi penurunan koersifitas dengan kenaikan substitusi ion Mn^{2+} dan Ti^{4+} tetapi penurunan yang signifikan diperoleh terhadap saturasi magnetisasi pada substitusi Mn dan Ti dengan $x \neq y$. Penelitian saat ini menunjukkan penyerapan gelombang, *reflection* dan *transmission* dan juga *reflection loss* pada rentang frekuensi 7–16 GHz. Dilaporkan juga performansi penyerapan pada substitusi Mn dan Ti pada strontium hexaferrite.

Kata kunci: *Strontium hexaferrite*, sifat magnet, penyerapan gelombang mikro

ABSTRACT

Name : Tri Wahono
Study Program: Magister Materials Science
Title : **Influence of The Substitution of Mn and Ti on Magnetic And Microwave Absorption Properties of Strontium Hexaferrite Material**

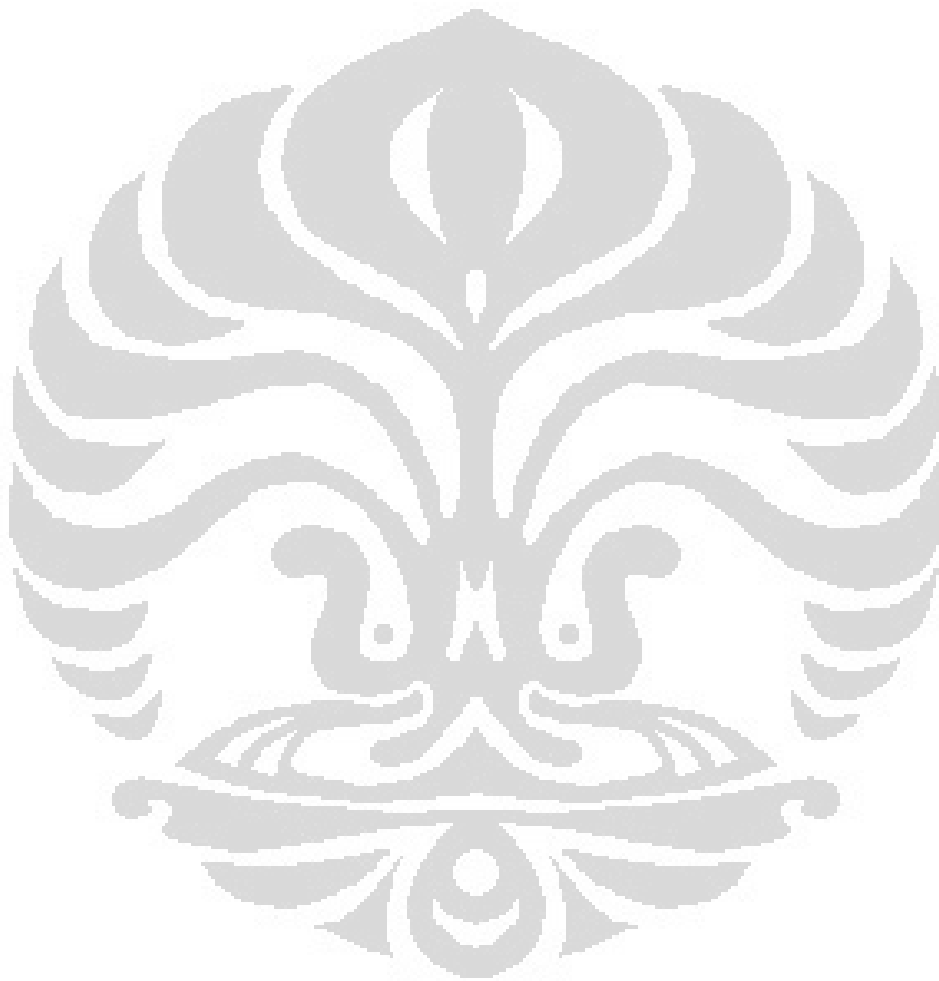
Strontium hexaferrite with nominal compositions $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_{2-(x+y)}\text{Mn}_x\text{Ti}_y\text{O}_3$ ($x = 0, y = 0$; $x = 0.4, y = 0.6$; $x = 0.5, y = 0.5$; $x = 0.6, y = 0.4$) have been synthesized by solid state reaction. The four components powder were BaCO_3 , SrCO_3 , Fe_2O_3 , MnCO_3 , and TiO_2 mixed with High Energy Milling for 10 hours and sintered at 1050°C in the air at atmosphere pressure for 15 hour and furnace cooling. X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscope (SEM), energy dispersive spectroscopy (EDS), resonance vibrating sample magnetometer (R-VSM) and vector network analyzer were used to analyze its structure, electromagnetic and microwave absorption properties. The result showed that, phase identification by refinement results of XRD pattern confirmed single phase was obtained for Mn-Ti substituted $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ with $x = y$ and multiphase formed for $x \neq y$. The microstructure analyses by SEM showed that the varied particle sizes of $2 \sim 5 \mu\text{m}$. Evaluation on the magnetic characteristic indicated that coercivity decreased as the number of Mn^{2+} and Ti^{4+} ions increased but significant decrease in saturation magnetization obtained for Mn and Ti substitution with $x \neq y$. Present investigation demonstrates that microwave absorber, reflection and transmission as well as reflection loss in the frequency range 7–16 GHz were derived. Absorption performance of Mn and Ti substituted strontium hexaferrite are also reported.

Keywords: Strontium hexaferrite, magnetic properties, microwave absorption

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Sistematika Penulisan.....	3
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Struktur Kristal <i>Hexaferrite</i>	5
2.2 <i>Mechanical Milling</i> Dan Sintering.....	10
2.3 Karakterisasi Material magnetik.....	12
2.4 Penyerapan gelombang Mikro.....	15
3. METODOLOGI PENELITIAN.....	18
3.1 Tempat Penelitian.....	18
3.2 Bahan dan Alur Penelitian.....	18
3.3 Persiapan Bahan Dasar.....	20
3.4 <i>Mechanical Milling</i>	20
3.5 Kompaksi Dan Sintering.....	21
3.6 Karakterisasi Material.....	22
3.6.1 X-Ray Diffraction (XRD).....	22
3.6.2 Scanning Electron Microscope (SEM) Dan Energy Dispersive Spectroscopy (EDS).....	28
3.6.3 Vibrating Sample Magnetometer (VSM).....	30
3.7 Reflection Loss.....	32
4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	34
4.1 Analisis Struktur.....	34
4.1.1 Hasil Dan Analisa Karakterisasi Difraksi Sinar X.....	34
4.1.2 Analisa Rietveld.....	35
4.1.3 Analisa Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) Dan Evaluasi Mikrostruktur.....	41
4.2 Sifat magnetik.....	45
4.3 Karakteristik Penyerapan Gelombang Mikro.....	47

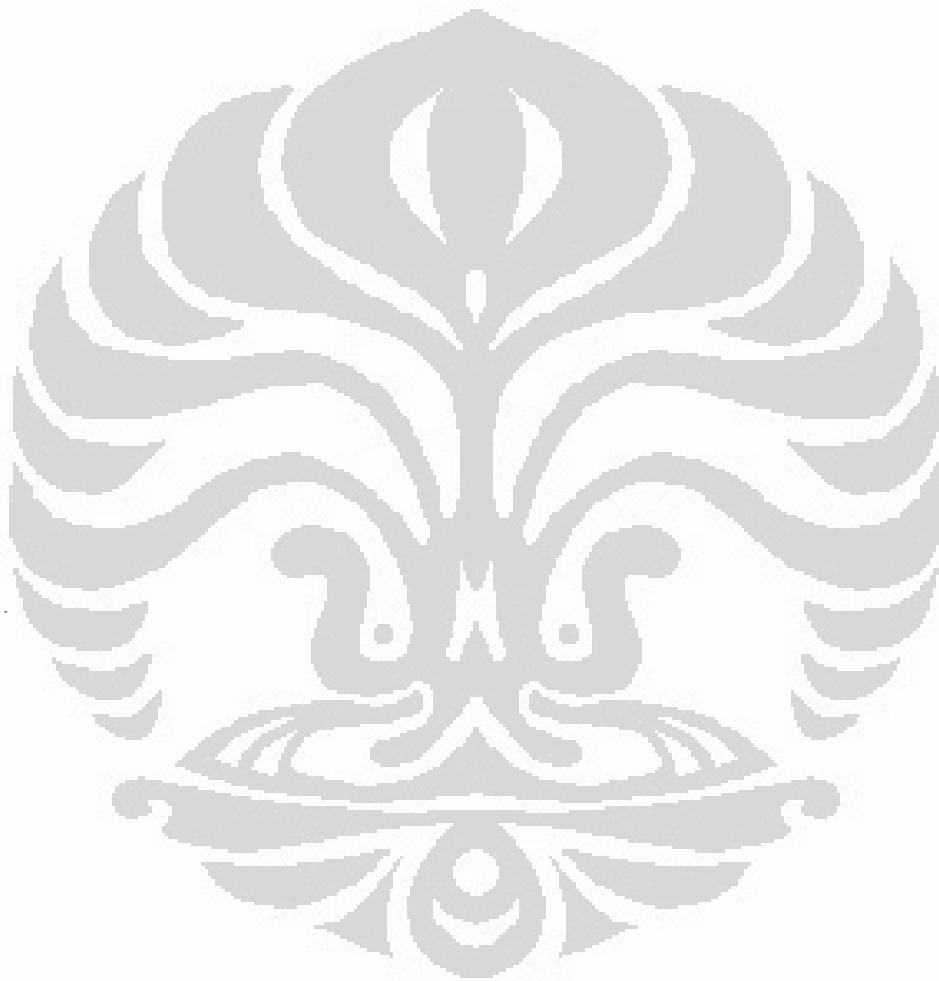
5. KESIMPULAN DAN SARAN	49
DAFTAR REFERENSI.....	51



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Struktur Kristalografi SrFe ₁₂ O ₁₉ dan Gotter's <i>Magnetic Ordering</i>	8
Gambar 2.2 Pola XRD Serbuk Dikalsinasi Pada 1000°C; (a) Ferrite Dengan Doping dan (b) Ferrite Tanpa Doping.....	12
Gambar 2.3 Pola Difraksi XRD; (a) Tanpa Doping dan (b) Dengan Doping.....	13
Gambar 2.4 <i>Hysterisis Loop</i> Material <i>Ferromagnetic</i>	14
Gambar 2.5 <i>Hysterisis Loop</i> Untuk Material Magnet Lunak Dan Material Magnet Keras	14
Gambar 2.6 Skematik Interaksi Antara Material Dan Gelombang Elektromagnetik.....	15
Gambar 2.7 Variasi <i>Reflection Loss</i> Terhadap Frekuensi.....	17
Gambar 2.8 <i>Reflection Loss</i> BaFe _{12-2x} Mn _x Ti _x O ₁₉ Material.....	17
Gambar 3.1 Diagram Alir Kegiatan Penelitian.....	19
Gambar 3.2 (a) Peralatam HEM (b) Vial HEM	21
Gambar 3.3 (a). Alat Kompaksi (b).Alat Tungku Pemanas Thermolyne	21
Gambar 3.4 Peralatan <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	25
Gambar 3.5 Peralatan <i>Scanning Electron Microscope (SEM) JED 2300</i>	29
Gambar 3.6 Seprangkat <i>Vibrating sample magnetometer (VSM)</i> Tipe OXFORD1.2H	30
Gambar 3.7 Skema Perambatan Gelombang Elektromagnetik Dalam <i>Air Line Wave Guide</i>	33
Gambar 3.8 Seperangkat alat Alat <i>Vector Network Analyzer</i>	33
Gambar 4.1 Pola Difraksi Sinar-X Sampel Setelah Disinter Pada Suhu 1050 °C Selama 15 Jam	34
Gambar 4.2 <i>Refinement</i> Pola Difraksi Sinar-X Sampel SFO-0	36
Gambar 4.3 <i>Refinement</i> Pola Difraksi Sinar-X Sampel SFO-1	36
Gambar 4.4 <i>Refinement</i> Pola Difraksi Sinar-X Sampel SFO-2	37
Gambar 4.5 <i>Refinement</i> Pola Difraksi Sinar-X Sampel SFO-3	38
Gambar 4.6 Perubahan Parameter Kisi Terhadap Penambahan Kandungan Mn dan Ti	40
Gambar 4.7 Perubahan Volume Unit Sel Dan Kerapatan Atomik Terhadap Penambahan Kandungan Mn dan Ti.....	41
Gambar 4.8 Hasil EDS Sampel SFO-0	42
Gambar 4.9 Hasil EDS Sampel SFO-1	42
Gambar 4.10 Hasil EDS Sampel SFO-2	43
Gambar 4.11 Hasil EDS Sampel SFO-3	43

Gambar 4.12 Mikrostruktur Variasi $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_{2-(x+y)}\text{Mn}_x\text{Ti}_y\text{O}_3$ Dengan Variasi $x = 0, y = 0$; $x = 0,4, y = 0,6$; $x = 0,5, y = 0,5$ dan $x = 0,6, y = 0,4$	45
Gambar 4.13 <i>Hysteresis loop</i> Sistem $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_{2-(x+y)}\text{Mn}_x\text{Ti}_y\text{O}_3$ dengan variasi $x = 0, y = 0$; $x = 0,4, y = 0,6$; $x = 0,5, y = 0,5$ dan $x = 0,6, y = 0,4$	46
Gambar 4.14 Pola Penyerapan Gelombang Mikro	48



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Koordinat Atom-Atom Dan Beberapa Hasil Perhitungan untuk $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ Bentuk Gorter. Group Ruang $P63/mmc$, $a = 0,58836$ nm Dan $c = 2,30376$ nm.....	8
Tabel 2.2. Jarak Interatomik dan Ikatan Kimia Ion-Ion Fe dalam $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ Bentuk	9
Tabel 3.1 Bahan Dasar Penelitian.....	18
Tabel 3.2 Identifikasi Sampel Berdasarkan Variasi Mn dan Ti, Proses Milling, dan <i>Heat Treatment</i>	20
Tabel 3.3 Spesifikasi VSM Tipe OXFORD VSM1.2H.....	32
Table 4.1 Posisi Wyckoff untuk Sr, Fe dan O Dalam Paduan $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$	35
Tabel 4.2 Hasil <i>Refinement</i> GSAS	29
Tabel 4.3 Parameter Kisi, Volume Sel, c/a Fasa $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$	40
Table 4.5 Persentase Unsur Hasil Pengujian EDS.....	44
Table 4.6 Analisis Perbandingan Unsur Paduan Hasil EDS.....	44
Table 4.7 Data Pengukuran Magnetisasi Sampel.....	46

B A B 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sejalan dengan perkembangan teknologi elektronik dan teknologi informasi (TI) yang begitu pesat diperkirakan ruang sekitar akan terpolusi oleh pembawa gelombang elektromagnetik (EM) termasuk EM dengan frekuensi ultra tinggi (GHz). Hal ini dapat mengancam tidak saja berbagai sistem peralatan berbasis elektronik seperti sistem kontrol 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 area terbatas, maupun aplikasi pada pertahanan militer (deteksi RADAR) dapat terganggu melalui interferensi gelombang elektromagnetik (*Electromagnetic Interference, EMI*) berupa interupsi yang menyebabkan tidak berfungsinya atau terganggunya sistem. Gelombang mikro dalam rentang frekuensi 1-20 GHz telah umum digunakan untuk komunikasi nir kabel dan pada 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 (*microwave absorber*) termasuk frekuensi ultra tinggi (UHF) dari radiasi EM yang dipancarkan.

Magnet *ferrite* disamping memiliki permeabilitas, permitivitas dan magnetisasi spontan relatif tinggi, juga tersusun oleh komponen-komponen oksida sehingga juga memiliki resistivitas listrik yang tinggi atau isolator yang baik. Kombinasi sifat intrinsik antara sifat magnetik dan sifat listrik dari *ferrite* seperti itu menempatkan material magnet *ferrite* sebagai berpeluang besar untuk berperan dalam menyanggah gelombang-gelombang mikro dalam rentang frekuensi yang lebar. Namun, sifat intrinsik lainnya seperti konstanta *magnetocrystalline anisotropy* dari *ferrite* yang relatif tinggi menyebabkan *hysteresis loss* dari material ini cukup besar dan hal ini kurang menguntungkan bila diaplikasikan langsung sebagai material penyanggah

gelombang mikro. Dengan demikian perlu dilakukan rekayasa struktur internal material *ferrite* untuk menurunkan nilai *magnetocrystalline anisotropy constant*.

1.2 Perumusan Masalah

Eksplorasi efek struktur terhadap sifat kemagnetan berbasis *ferrite* telah dilakukan oleh beberapa peneliti terutama terhadap material $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dan $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ dengan melakukan rekayasa substitusi unsur Fe dengan unsur seperti Zr, Cu, Mn, Ti, Co. Substitusi yang dilakukan sudah menghasilkan peningkatan dalam penyerapan gelombang mikro.

Sampai saat ini penelitian terhadap *strontium hexaferrite* masih mengkhususkan pada substitusi Mn dan Ti ke dalam Fe dengan Mn dan Ti memiliki komposisi yang sama. Sehingga pada penelitian ini akan dilakukan sintesis sistem $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ dengan melakukan substitusi Mn dan Ti ke dalam Fe dimana Mn dan Ti memiliki komposisi yang berbeda dengan sistem $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_{2-(x+y)}\text{Mn}_x\text{Ti}_y\text{O}_3$.

Secara umum perumusan masalah dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Bagaimana preparasi dan pembuatan sampel yang dilakukan untuk memperoleh paduan *hexaferrite* dengan system $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_{2-(x+y)}\text{Mn}_x\text{Ti}_y\text{O}_3$ dengan variasi ($x = 0, y = 0$; $x = 0,4, y = 0,6$; $x = 0,5, y = 0,5$ dan $x = 0,6, y = 0,4$) dari bahan dasar SrCO_3 , Fe_2O_3 , MnCO_3 dan TiO_2 .
2. Bagaimana struktur kristal yang terbentuk dari masing-masing paduan melalui analisa pola difraksi sinar X (XRD), *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS), *scanning electron microscope* (SEM).
3. Bagaimana pengaruh substitusi Mn dan Ti ke dalam Fe pada sistem *hexaferrite* $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ terhadap sifat-sifat kemagnetan seperti *magnetization saturation* M_s , *magnetic remanence* M_r , dan *coercivity* H_c masing-masing paduan dengan analisa kurva *hysteresis loop* melalui pengujian *vibrating sample magnetometer* (VSM).

4. Bagaimana pengaruh substitusi Mn dan Ti ke dalam Fe pada sistem *hexaferrite* $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ terhadap karakteristik penyerapan gelombang mikro (*microwave absorber*).

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian permasalahan yang diberikan terdahulu, maka penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Melakukan sintesa bahan paduan *strontium hexaferrite* dengan sistem $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_{2-(x+y)}\text{Mn}_x\text{Ti}_y\text{O}_3$ dengan variasi ($x = 0, y = 0$; $x = 0,4, y = 0,6$; $x = 0,5, y = 0,5$ dan $x = 0,6, y = 0,4$) dari bahan dasar SrCO_3 , Fe_2O_3 , MnCO_3 dan TiO_2 dengan proses *High Energy Milling* dan karakterisasi struktur kristal melalui analisa XRD, EDS dan SEM.
2. Mengetahui pengaruh substitusi Mn dan Ti ke dalam Fe pada sistem *hexaferrite* $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ terhadap sifat-sifat kemagnetan seperti *intrinsic saturation* M_s , *remanence* M_r , dan *coercivity* H_c masing-masing paduan dengan analisa kurva histeresis melalui pengujian VSM.
3. Mengetahui pengaruh substitusi Mn dan Ti ke dalam Fe pada sistem *hexaferrite* $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ terhadap karakteristik penyerapan gelombang mikro (*microwave absorber*) melalui pengujian *vector network analyzer*.

1.4 Sistematika Penelitian

Sistematika pada penulisan tesis ini adalah sebagai berikut:

Bab 1 Pendahuluan

Pendahuluan terdiri dari latar belakang, perumusan masalah, tujuan dan sistematika penulisan

Bab 2 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka meliputi pemahaman tentang bahan penyerap gelombang, struktur *strontium hexaferrite*, proses sintesa, dan sifat *strontium hexaferrite* serta dijelaskan beberapa penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya.

Bab 3 Metode Penelitian

Metode penelitian terdiri dari tempat, diagram alir penelitian, preparasi sampel, karakterisasi dan pengujian yang dilakukan

Bab 4 Pembahasan

Analisis data pada penelitian ini meliputi karakterisasi sampel, hasil pengukuran sifat magnet, hasil pengukuran sifat penyerapan gelombang dan pembahasan

Bab 5 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran merupakan sebuah intisari dari seluruh kegiatan penelitian ini yang berdasarkan pada tujuan yang akan dicapai serta saran-saran yang perlu dilakukan untuk penelitian selanjutnya.

B A B 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Struktur Kristal *Hexaferrite*

Perkembangan teknologi penyerap gelombang elektromagnetik saat ini sudah menghasilkan material yang secara efektif mengurangi refleksi sinyal elektromagnetik dan mempunyai performansi fisik yang baik (Ghasemi, A. & Morisako, A., 2007). Bahan ferromagnet 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. 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 (Ghasemi, A. & Morisako, A., 2007). 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 GHz (Mustofa, H. et al, 2008). Penyerap gelombang elektromagnetik frekuensi tinggi menggunakan material *ferrite* jenis $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ (Verma, A. et al, 2002).

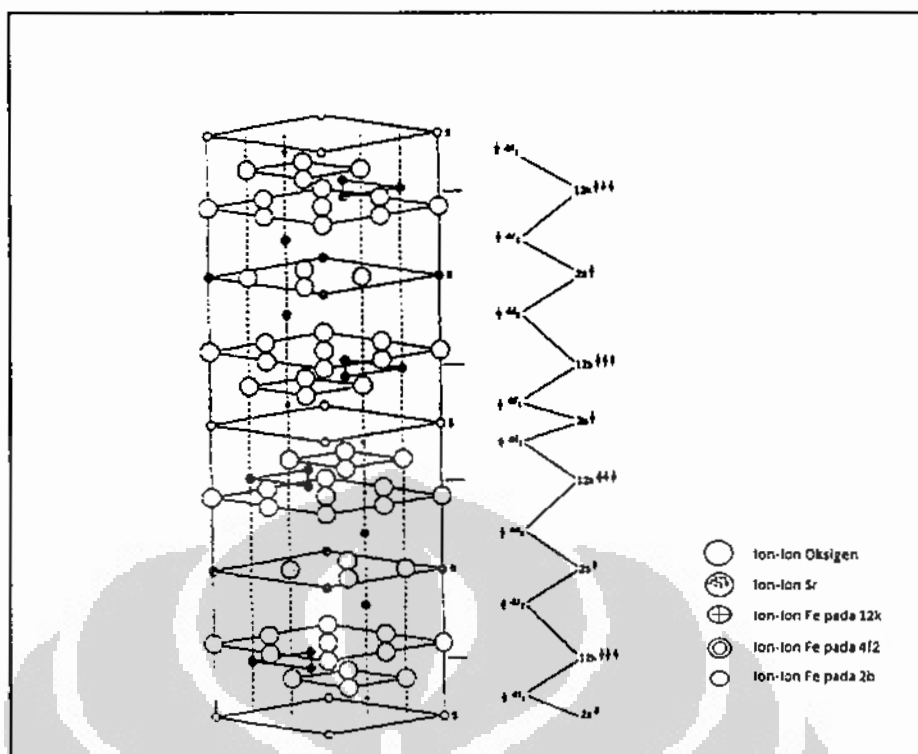
Senyawa *ferrite* memiliki aplikasi yang sangat luas. Penggunaannya telah dimulai sejak abad 12 yaitu senyawa primitif *ferrite* yang dikenal sebagai *lodestone* (Fe_3O_4) digunakan sebagai kompas untuk tujuan navigasi. Namun sejak abad ke 19, senyawa-senyawa *ferrite* lain dipelajari secara intensif 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 ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$) (Narang, S. B. (2006); Qiu, J. (2005); Verma, A. (2002) telah melakukan penelitian dalam aplikasi material tersebut sebagai penyerap gelombang elektromagnetik. Penggunaan yang luas sebagai magnet permanen karena senyawa ini memiliki beberapa keunggulan diantaranya adalah harganya yang murah dan berlimpah, nilai koersifitas dan saturasi magnet yang tinggi, serta suhu transisi magnet T_c (suhu Curie) yang tinggi pula. Disamping itu juga bahan ini memiliki sifat kimia yang stabil, dan tahan korosi (Pereira, F. M. M., et. al. 2008). Beberapa persyaratan yang harus dipenuhi untuk aplikasi praktis sebagai penyerap gelombang elektromagnetik adalah bahwa bahan ini harus memiliki nilai koersifitas dan koefisien temperatur rendah dan remanen serendah mungkin dengan saturasi magnet yang tinggi (Gonzales-Angeles, A., et al., 2004). Dengan demikian diperlukan modifikasi bahan agar dapat memperkecil nilai koersifitas dari bahan ini. Seperti telah diketahui, sifat-sifat makroskopik seperti sifat magnet, listrik maupun mekanik bahan akan sangat bergantung pada struktur mikroskopiknya. Oleh sebab itu proses sintesis maupun komponen unsur-unsur yang terkandung di dalam bahan akan berpengaruh terhadap produk akhir yang dihasilkan. Pertumbuhan kristalit ini dapat dipercepat ataupun dibatasi dengan menambahkan unsur-unsur tertentu ke dalam prekursor.

Berbagai penelitian sudah dilakukan terhadap *hexaferrite*. *Hexaferrite* diklasifikasikan menjadi 4 (empat) jenis tergantung struktur kimia dan kristalnya. Tipe *hexaferrite* meliputi tipe M, W, Y dan Z, yang dihubungkan dengan rasio $(\text{BaO} + \text{meO}) : \text{Fe}_2\text{O}_3$ secara berurutan yaitu; 1:6, 3:8, 4:6 dan 5:12 (Pereira, F. M. M., et. al. (2008). Khusus untuk *hexaferrite* dengan tipe M, barium *hexaferrite* sudah lebih secara luas digunakan. Penelitian terhadap barium *hexaferrite* termasuk modifikasi dengan melakukan substitusi terhadap Ba dan Fe dalam rangka meningkatkan performansinya sebagai penyerap gelombang sudah banyak dilakukan (Ghasemi, A., et. al., 2007; Qiu, J., et al., 2005).

Hexaferrite tipe M yang lain adalah *strontium hexaferrite* ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$). Menurut Fang pertama kali *strontium hexaferrite* dibuat oleh Adelsköld pada tahun 1938 dan dinyatakan bahwa struktur kristal paduan ini bersifat iso-struktur dengan magnetoplumbite. Dibandingkan dengan *ferrite* lain yang 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 ion Fe pada bidang 4f. Fang juga meneliti struktur elektronik dan magnetik dari $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ menggunakan metoda *localized 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 dengan *space group* $P63/mmc$ dengan parameter kisi adalah $a = 0,58836$ nm dan $c = 2,30376$ nm pada temperatur ruangan. Terdapat dua unit formula dalam satu unit *cell*. Seperti terlihat pada Gambar 2.1 atom 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, seperti terlihat pada Tabel 2.1. Koordinasi ion-ion Fe dalam *hexaferrite* rumit dan unik (Tabel 2.2). Atom-atom Fe pada 2a tersusun secara Oktahedral dengan jarak Fe-O yang sama, namun demikian ion-ion Fe yang tersusun secara oktahedral pada 4f2 dan 12k mempunyai jarak interatomik yang berbeda, kira-kira 0,185 sampai 0,237 nm. Atom-atom Fe pada 4f1 berkoordinasi dengan lima ion-ion Oksigen. Terdapat juga jarak Fe-Fe yang pendek dalam struktur. Atom-atom Fe pada bidang 4f2 cara tetrahedral, tetapi Fe pada sisi 2b berkoordinasi dengan lima ion-ion Oksigen. Atom-atom Fe pada bidang 4f2 mempunyai jarak Fe-Fe kira-kira 0,27 nm. Ion-ion Fe pada sisi 12k membentuk jaringan dengan setiap Fe yang terhubung dengan empat ion-ion Fe lainnya dalam lapisan yang sama dengan jarak Fe-Fe kira-kira 0,29-0,30 nm (Fang, C. M. et al, 2003).



Gambar 2.1. Struktur Kristalografi $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ (kiri)
Gorter's Magnetic Ordering (kanan) (Fang, C. M. et al., 2003)

Sumber : telah diolah kembali

Tabel 2.1. Koordinat Atom-atom dan Beberapa Hasil Perhitungan Untuk $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$
Bentuk Gorter. Group Ruang $P63/mmc$, $a = 0,58836$ nm Dan $c = 2,30376$ nm
(Fang, C. M. et al, 2003)

Atom	Wyckoff site	Symmetry	Coordinates of atoms	RWS (nm)	Charge (electrons)	Magnetic moment (μ_B)
Sr	2d	$\bar{6}m2$	1/3, 2/3, 0.75	0.19	+0.44	0.00
Fe(1)	2a	$\bar{3}m$	0, 0, 0	0.09	+2.65	4.11
Fe(2)	2b	$\bar{6}m$	0, 0, 1/4	0.09	+2.83	3.95
Fe(3)	4f1	$3m$	1/3, 2/3, 0.02718	0.09	+3.09	-3.88
Fe(4)	4f2	$3m$	1/3, 2/3, 0.19091	0.09	+2.86	-3.79
Fe(5)	12k	m	0.16886, 0.33772, 0.89083	0.09	+2.78	-4.06
O(1)	4e	$3m$	0, 0, 0.1514	0.14	-1.84	0.39
O(2)	4f	$3m$	0, 0, 0.9446	0.14	-1.48	0.09
O(3)	6h	mm	0.1819, 0.3639, 1/4	0.14	-1.50	0.07
O(4)	12k	m	0.1564, 0.3127, 0.05252	0.14	-1.75	0.13
O(5)	12k	m	0.5039, 0.0078, 0.15092	0.14	-1.862	0.23
V(1) ^a	6g	$2/m$	1/2, 0, 0	0.11	-0.60	-0.07
V(2) ^a	4f	$3m$	1/3, 2/3, 0.0993	0.11	-0.54	-0.08
V(3) ^a	4f	$3m$	1/3, 2/3, 0.6294	0.06	-0.15	0.00
Total					0.0	-40

^a V denotes an empty site.

Sumber : telah diolah kembali

Tabel 2.2. Jarak Interatomik dan Ikatan Kimia Ion-Ion Fe dalam $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$
(Fang, C. M. et al, 2003)

Bond	Distances (nm)	Total valence bond
Fe(1)–O(4)	0.2001 (6×)	3.12
Fe(2)–O(1)	0.2272 (2×)	2.82
Fe(2)–O(3)	0.1854 (3×)	
Fe(3)–O(2)	0.1901 (1×)	2.75
Fe(3)–O(4)	0.1896 (3×)	
Fe(4)–O(3)	0.2058 (3×)	3.07
Fe(4)–O(5)	0.1963 (3×)	
Fe(5)–O(1)	0.1977 (1×)	3.02
Fe(5)–O(2)	0.2085 (1×)	
Fe(5)–O(4)	0.2112 (2×)	
Fe(5)–O(5)	0.1923 (2×)	

Sumber : telah diolah kembali

Penelitian yang intensif sudah dilakukan peneliti untuk memodifikasi parameter magnetik *strontium hexaferrite* dengan mensubstitusi ion Fe^{3+} dengan kation lainnya atau kombinasi kation seperti Mn-Co, Co-Ti (Tabatabaie, F. et al, 2008), penelitian lain yang dilakukan dengan peneliti yang sama mensubstitusi ion Fe^{3+} dengan kation Mn dan Ti (Tabatabaie, F. et al, 2008), dimana dengan melakukan substitusi diperoleh fasa tunggal dan mendapatkan keunggulan dalam fungsinya sebagai penyerapan gelombang terutama dalam aplikasi frekuensi tinggi. Penelitian lain mensubstitusi Fe^{3+} dengan Zr-Cu (Iqbal, M.J. et al, 2008), 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 $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$. Terutama bagaimana memperlebar *bandwidth* frekuensi serapan serta intensitas gelombang mikro yang mampu terserap.

2.2 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* (Pillai, V., et al., 1993), *chemical coprecipitation* (Drmota, A., et al., 2010), *sol-gel* (Ghasemi, A., & Morisako, A. (2007); Zheng, H., et al. 2009), *self combustion* (Popa, P.D., et al. 2005). Metoda preparasi lain yang cukup banyak digunakan oleh peneliti adalah menggunakan metoda *mechanical milling* dan *mechanical alloying* (Qiu, J., Shen, H., & Gu, M., 2005; Tabatabaie, F. et al, 2008; Priyono, Manaf, A., 2010.).

Teknik yang disebutkan terakhir tersebut 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. 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, *Mecahnical alloying (MA)*, 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*. Secara mikrostruktur proses MA 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*. 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 (Lu, L. et al., 2007).

Menurut Suryanarayana, pada *proses mechanical alloying* dan *miling* 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*.

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 nilai 1:1 sampai dengan 220:1, pada umumnya 10:1 biasa digunakan (Suryanarayana, C., 2001).

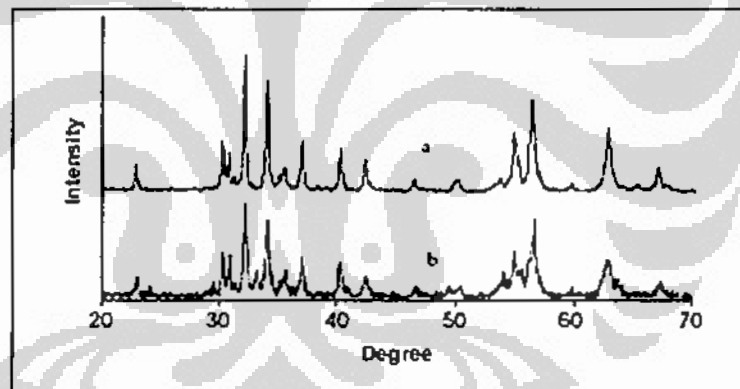
Selain beberapa keunggulan dari proses *mechnaical alloying*, terdapat beberapa permasalahan seperti; kontaminasi serbuk yang berasal dari kondisi *milling* (*grinding medium*, *grinding vessel*, *time of milling*, *intensity of milling*) dan lingkungan pada proses *milling* juga akan mempengaruhi. Hal lain adalah keterbatasan pengetahuan tentang MA dan aplikasi yang masih terbatas (Suryanarayana, C. et al., 2001). Hasil penelitian lain menyimpulkan bahwa atmosfer *milling* tidak berpengaruh terhadap struktur dan sifat magnetik material (Ketov, S.V., et al., 2006).

Proses sintering yang dilakukan setelah *milling* dilakukan untuk memperoleh fasa yang diharapkan dengan terjadinya difusi pada proses tersebut. 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 *miling* selama 8 jam dan disinter pada 1250°C selama 3 jam (Tabatabaie, F., et al., 2009), *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 (Ketov, S.V., et al., 2006).

2.3 Karakterisasi Material Magnetik

Terbentuk atau tidaknya fasa asing selain *hexaferrite* yang diharapkan dapat diketahui melalui pengujian X-Ray Diffraction (XRD). Hasil beberapa peneliti seperti Ghasemi pada *strontium ferrite* $\text{SrFe}_9(\text{Mn}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{Zr})_{3/2}\text{O}_{19}$ yang dipreparasi dengan metode sol-gel dari pola difraksi XRD seperti pada Gambar 2.2 terdiri dari fasa *strontium ferrite* murni. Puncak-puncak pada doping *strontium ferrite* berada pada posisi yang sama dengan yang tidak didoping. Pada kasus *ferrite* yang didoping, dopan Mn^{2+} , Co^{2+} dan Zr^{4+} terlihat tersusun pada struktur hexagonal untuk memenuhi bentuk fasa tunggal hexagonal. Hal ini secara umum dipertimbangkan bahwa sisi vakansi dari *partial deprivation* Sr^{2+} , Fe^{3+} dan O^{2-} dapat diisi oleh ion-ion dopan tersebut (Ghasemi, A., & Morisako, A. (2007).

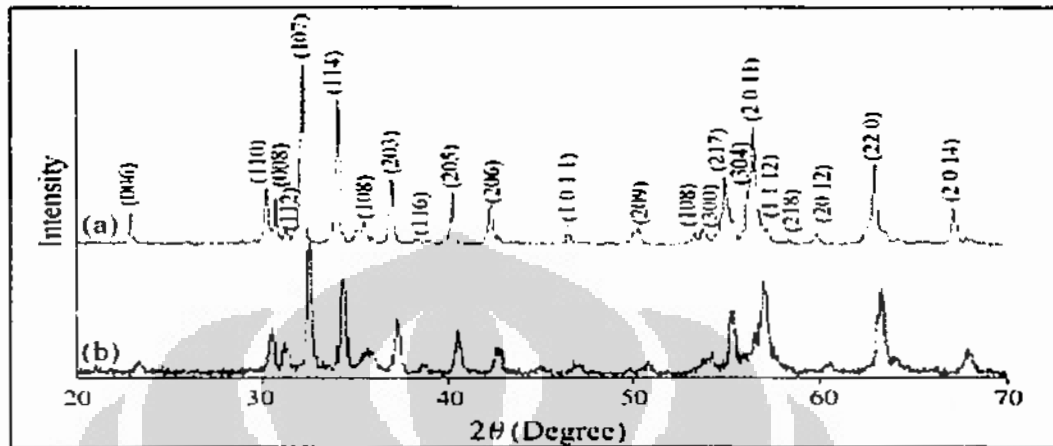


Gambar 2.2 Pola XRD Serbuk Dikalsinasi Pada 1000°C; (a) *Ferrite* Dengan Doping dan (b) *Ferrite* Tanpa Doping (Ghasemi, A., & Morisako, A. (2007)

Sumber: telah diolah kembali

Penelitian lain yang dilakukan Tabatabaie pada material *strontium ferrite* $\text{SrFe}_9\text{Mn}_{1.5}\text{Ti}_{1.5}\text{O}_{19}$ disintesis dengan metoda *solid-state*. Pola difraksi XRD yang diperoleh seperti pada Gambar 2.3 memperlihatkan struktur *magnetoplumbite*. Puncak-puncak *strontium ferrite* yang didoping terlihat hampir pada posisi yang sama dengan tanpa doping tetapi berbeda intensitas. Bergesernya posisi puncak-puncak dikarenakan substitusi ion-ion Fe oleh ion-ion Mn dan Ti dengan radius ionik

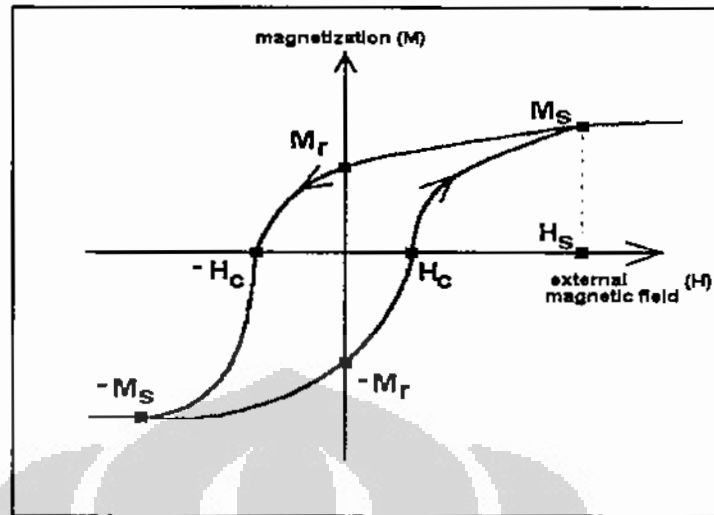
yang berbeda. Pada kasus *ferrite* yang didoping, dopan Mn dan Ti terlihat terlarut/tersusun dalam struktur hexagonal untuk memenuhi fasa tunggal hexagonal (Tabatabaie, F. et al, 2008).



Gambar 2.3 Pola Difraksi XRD; (a) Tanpa Doping dan (b) Dengan Doping (Tabatabaie, F. et al, 2008)

Sumber: telah diolah kembali

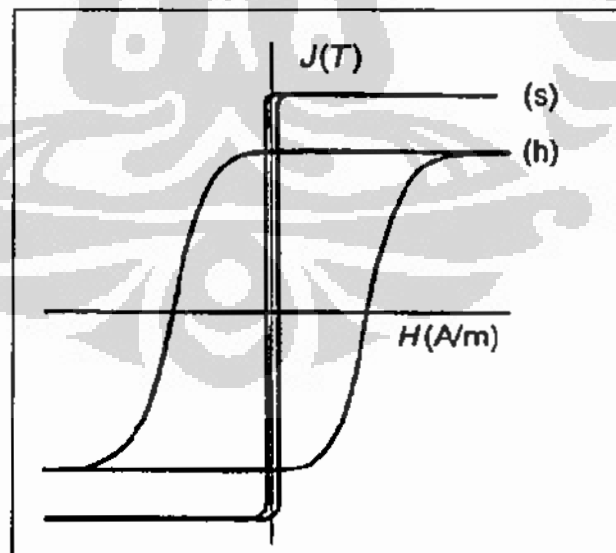
Pada Gambar 2.4 ditunjukkan pola magnetisasi dari material *ferromagnetic* (*hysteresis loop*). Dimana pola tersebut terjadi dikarenakan proses magnetisasi dan demagnetisasi pada material magnet. Grafik tersebut menunjukkan pola medan magnet eksternal (H) terhadap magnetisasi (M). *Hysteresis loop* terdiri dari *Magnetization saturation* (M_s), *remanence* (M_r), dan *coercivity* (H_c). *Magnetization aturation* M_s adalah keadaan dimana material tidak dapat menyerap medan magnet yang lebih kuat sehingga peningkatan gaya magnetisasi tidak akan mengubah secara signifikan *magnetic flux density*. *Remanence* M_r , pada sampel memperlihatkan magnetisasi berada di sebelah kiri dalam magnet permanen setelah medan magnet eksternal dihilangkan. *Coercivity* juga disebut *coercive force* material yang sama dengan gaya demagnetisasi yang dibutuhkan pada pengurangan induksi sisa terhadap nilai nol dalam medan magnet setelah magnetisasi ke saturasi.



Gambar 2.4 *Hysteresis Loop Material Ferromagnetic* ” <http://uweb.txstate.edu>”

Sumber: telah diolah kembali

Pada Gambar 2.5 diperlihatkan perbedaan *hysteresis loop* antara material magnetik lunak (*soft magnetic material*) dan material magnetik keras (*hard magnetic material*). Sifat material magnetik lunak yang diharapkan terjadi adalah terjadinya penurunan nilai koersifitas (H_c) dan peningkatan saturasi magnetisasi (M_s).



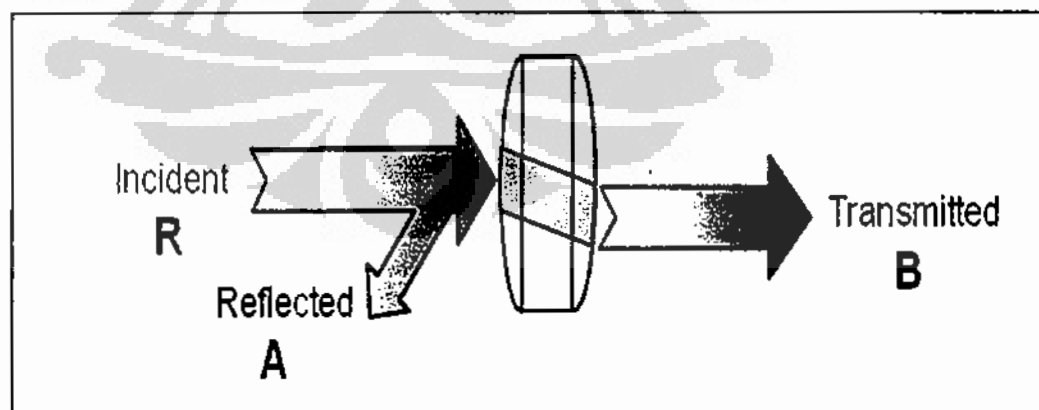
Pada Gambar 2.5 *Hysteresis Loop Untuk Material Magnet Lunak (Soft Magnetic Material) (s) Dan Material Magnet Keras (Hard Magnetic Material) (h)*
(Buschow, K.H.J, deBoer, F.R. (2004).

Sumber: telah diolah kembali

Berdasarkan hasil penelitian Farea dan kawan-kawan yang telah melakukan modifikasi bahan *ferrite* sistem MnFe_2O_3 yang didopan Ti^{4+} , dengan senyawa empiris $\text{Mn}_{1+x}\text{Fe}_{2-2x}\text{Ti}_x\text{O}_4$ ($0 < x < 0,5$) menunjukkan bahwa penambahan Ti pada $x = 0,4$ dapat menurunkan nilai koersifitas bahan tersebut hingga 60 % (Farea, A.M.M., et al., 2009). Menurut Farea bahwa kehadiran Mn dan Ti ini dapat mempengaruhi jumlah keberadaan *coupling* $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ yang sangat berkontribusi terhadap sifat magnetik pada bahan ini. Kemudian Ghasemi juga telah melakukan substitusi Mn, Co, dan Zr ke dalam Fe pada sistem $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ dan diperoleh penurunan nilai koersifitas dari 258.7 kA/m menjadi 3.4 kA/m atau 99 % (Ghasemi, A., and Morisako, A., 2007).

2.4 Penyerapan Gelombang Mikro

Pada Gambar 2.6 diperlihatkan secara skematik interaksi antara material dengan gelombang elektromagnetik. Gelombang elektromagnetik yang datang terdiri dari komponen-komponen medan magnet didalam material berinteraksi dengan material yang bersifat magnetik. Dalam hal penyerapan energi gelombang EM, keseluruhan interaksi dapat diwakili oleh impedansi dari material (Z_{in}) yang bersifat dielektrik dan induktif.



Gambar 2.6 Skematik Interaksi Antara Material dan Gelombang Elektromagnetik

Sumber: telah diolah kembali

Berdasarkan teori jalur transmisi *reflection loss* radiasi elektromagnetik RL (dB) dalam gelombang normal pada permukaan material lapis tunggal dengan sebuah penghantar sempurna dapat didefinisikan sebagai:

$$RL \text{ (dB)} = 20 \log |Z_{in} - Z_0 / Z_{in} + Z_0| \quad (1)$$

dimana Z_0 adalah karakteristik impedansi ruang hampa

$$Z_0 = \sqrt{\mu_0 / \epsilon_0} \sim 377 \Omega \quad (2)$$

Z_{in} adalah input impedansi adalah *metal-backed* lapisan penyerapan gelombang mikro.

$$Z_{in} = \sqrt{(\mu_r / \epsilon_r) \tanh [j (2\pi/c) \sqrt{(\mu_r \epsilon_r) f d}]} \quad (3)$$

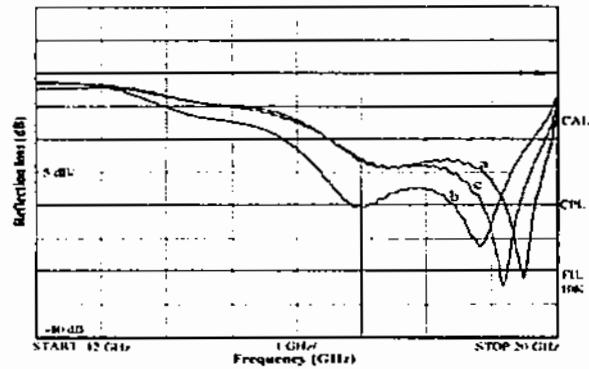
μ_r dan ϵ_r masing-masing adalah permeabilitas dan permitivitas relatif berupa bilangan kompleks :

$$\mu_r = \mu_r' + j \mu_r'' \quad (4)$$

$$\epsilon_r = \epsilon_r' + j \epsilon_r'' \quad (5)$$

Z_{in} adalah normalisasi input impedansi yang sama dengan rasio Z_{in} terhadap Z_0 , μ_0 , ϵ_0 adalah permeabilitas dan permitivitas kompleks dari media komposit, c adalah kecepatan cahaya pada ruang hampa, f adalah frekuensi dan d adalah ketebalan penyerap. Kondisi impedansi yang *matching* jika $Z_0 = Z_{in}$ yang merepresentasikan sifat penyerapan sempurna. *Bandwidth* penyerapan 10dB berarti frekuensi *bandwidth* dapat mencapai 90% dari *reflection loss*, jika *bandwidth* penyerapan adalah 20dB berarti frekuensi *bandwidth* dapat mencapai 99% *reflection loss*. Frekuensi *matching ferrite* lebih tinggi daripada frekuensi resonansi. Hal ini akan menurunkan pada frekuensi yang lebih rendah dengan meningkatkan ketebalan komposit (Tabatabaie, F. et al, 2008).

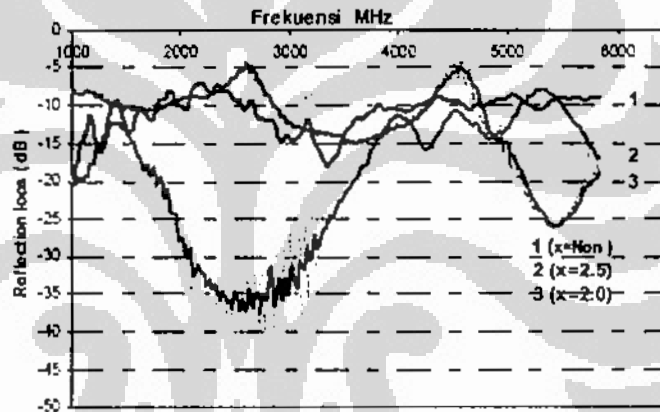
Penelitian Tabatabaie pada sistem *hexaferrite* $\text{SrFe}_9\text{Mn}_{1.5}\text{Ti}_{1.5}\text{O}_{19}$ diperoleh *reflection loss* di bawah -15dB berapa pada rentang frekuensi 16.4 – 19.4 GHz dengan *reflection loss* maksimum adalah -26 dB seperti terlihat pada Gambar 2.7 (Tabatabaie, F. et al, 2008).



Gambar 2.7 Variasi *Reflection loss* Terhadap Frekuensi (Tabatabaie, F. et al., 2008)

Sumber : telah diolah kembali

Data lain yang diperoleh Priyono pada sistem *hexaferrite* $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Mn}_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ diperoleh *reflection loss* hingga -40 dB seperti terlihat pada Gambar 2.8 (Priyono and Manaf, A., 2010).



Gambar 2.8 *Reflection Loss* $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Mn}_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ Material (Priyono and Manaf, A., 2010)

Sumber : telah diolah kembali

Sampai saat ini penelitian yang ada terhadap *strontium hexaferrite* masih menghususkan pada substitusi Mn dan Ti ke dalam Fe dengan Mn dan Ti memiliki komposisi yang sama. Sehingga pada penelitian ini akan dilakukan sintesis sistem $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ dengan melakukan substitusi Mn dan Ti ke dalam Fe dimana Mn dan Ti memiliki komposisi yang berbeda dengan sistem $\text{SrO}.6\text{Fe}_{2-(x+y)}\text{Mn}_x\text{Ti}_y\text{O}_3$ dengan variasi $x=0, y=0$; $x=0,4, y=0,6$; $x=0,5, y=0,5$ dan $x=0,6, y=0,4$. Pembahasan dilakukan terhadap tinjauan pengaruh penambahan Mn dan Ti terhadap struktur kristal bahan yang telah dipercaya dapat menurunkan nilai koersifitas dari bahan ini, sifat magnetik serta sifat penyerapan bahan terhadap gelombang elektromagnetik.

B A B 3

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fisika Universitas Indonesia, BATAN Serpong – Tangerang dan LIPI-Bandung.

3.2 Bahan dan Alur Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah SrCO_3 , Fe_2O_3 , MnCO_3 , dan TiO_2 . Masing-masing bahan ditimbang sesuai dengan perhitungan untuk memperoleh senyawa yang diharapkan.

Tabel 3.1 Bahan Dasar Penelitian

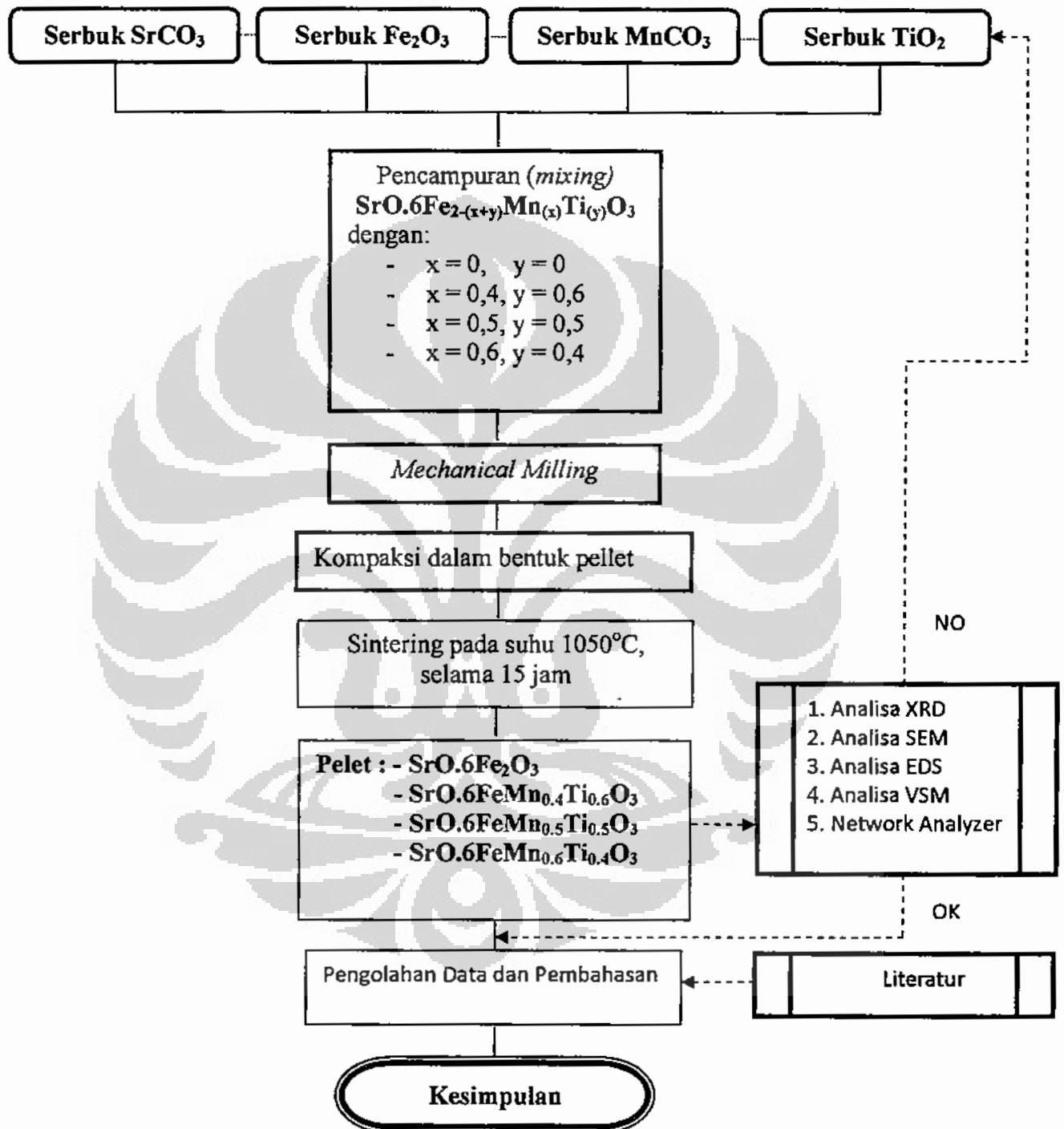
No	Nama Senyawa	Formula Kimia	Produk	Kemurnian
1	<i>Strontium Carbonate</i>	SrCO_3	Aldrich	98+%
2	Iron (III) Oxide	Fe_2O_3	Aldrich	>99%
3	Manganese (II) Carbonate	MnCO_3	Aldrich	99.9+%
4	Titanium (IV) Oxide	TiO_2	Merck	>99%

Sumber : Olahan sendiri

Adapun peralatan yang digunakan untuk persiapan bahan adalah:

1. Penimbangan bahan menggunakan peralatan *glove box* dan timbangan tipe ABT 220-5DM
2. Proses pencampuran bahan menggunakan alat *High Energy Milling* (HEM) type 8000 M SPEX Mixer/Mill
3. Proses pemanasan untuk sintering menggunakan tungku pemanas dengan seri Thermolyne 48000.

Tahapan yang dilakukan dalam proses penelitian adalah seperti yang terlihat pada Gambar 1 :



Gambar 3.1 Diagram Alir Kegiatan Penelitian

Sumber : olahan sendiri

3.3 Persiapan Bahan Dasar

Adapun variasi komposisi, proses milling, dan *heat treatment* ditunjukkan pada Tabel 3.1

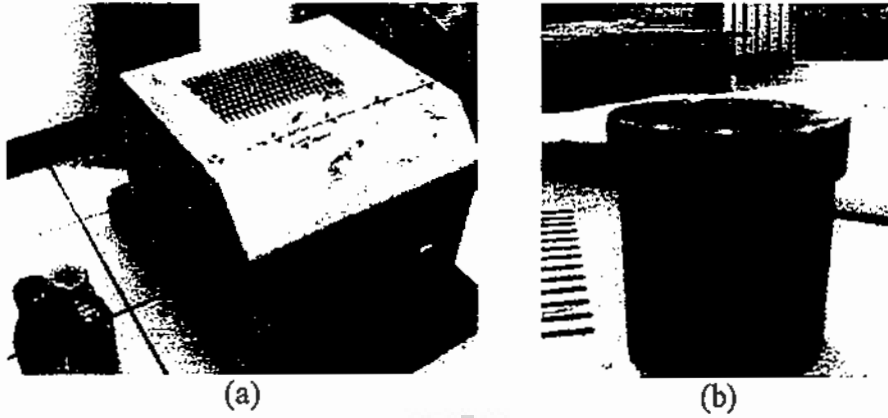
Tabel 3.2 Identifikasi sampel berdasarkan variasi Mn dan Ti, proses milling, dan *heat treatment*

No.	Nama sampel	Simbol	Variasi		Lama milling	Heat treatment	
			Mn	Ti		Suhu, T	Waktu
1.	$\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$	SFO-0	0	0	10 jam	1050 °C	15 jam
2.	$\text{SrO} \cdot 6\text{FeMn}_{0.4}\text{Ti}_{0.6}\text{O}_3$	SFO-1	0.4	0.6	10 jam	1050 °C	15 jam
3.	$\text{SrO} \cdot 6\text{FeMn}_{0.5}\text{Ti}_{0.5}\text{O}_3$	SFO-2	0.5	0.5	10 jam	1050 °C	15 jam
4.	$\text{SrO} \cdot 6\text{FeMn}_{0.6}\text{Ti}_{0.4}\text{O}_3$	SFO-3	0.6	0.4	10 jam	1050 °C	15 jam

Sumber: olahan sendiri

3.4 Mechanical Milling

Sintesis bahan $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_{2-(x+y)}\text{Mn}_x\text{Ti}_y\text{O}_3$ dilakukan menggunakan metode reaksi padatan dengan oksida-oksida penyusun adalah SrCO_3 , Fe_2O_3 , MnCO_3 , dan TiO_2 . Keempat bahan dasar tersebut diperoleh dari produk Merck dengan kemurnian lebih dari 99 %. Keempat bahan dasar tersebut dicampur menggunakan alat *high energy milling* (HEM) Spex 8000. HEM ini berada di laboratorium Bidang Karakterisasi dan Analisis Nuklir (BKAN), Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN), Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) dengan spesifikasi *normal speed* 1400 rpm, *run time* 90 menit, *of time* 30 menit, dan *on of cycle* 1 kali. Dimensi *vial* HEM, panjang 7,6 cm dan diameter 5,1 cm. Sedangkan diameter *ball mill* sebesar 10 mm, terbuat dari bahan *stainless steel*. Campuran ini ditambahkan toluen dan di-milling selama 10 jam pada suhu ruang. Tujuan milling ini agar diperoleh campuran yang homogen sehingga pada saat disintering akan mudah terbentuk paduan yang *single phase*.



(a) (b)
Gambar 3.2 (a) Peralatan HEM , (b) Vial HEM

Sumber: dokumen pribadi

3.5 Kompaksi dan Sinterring

Sebelum dilakukan pemanasan sampel dibentuk menjadi pelet menggunakan alat kompaksi. Masing-masing 1 sampel untuk setiap kombinasi paduan dipanaskan secara bersamaan menggunakan tungku pemanas Thermolyne pada temperatur 1050°C selama 15 jam.



(a) (b)
Gambar 3.3 (a). Alat Kompaksi (b). Alat Tungku Pemanas Thermolyne

Sumber: dokumentasi pribadi

3.6 Karakterisasi Material

3.6.1 X-Ray Diffraction (XRD)

3.6.1.1 Spesifikasi Alat

Alat yang digunakan dalam pengukuran penelitian ini antara lain adalah XRD yang dimiliki oleh BATAN, Tangerang. Spesifikasi alatnya adalah sebagai berikut :

Merek	:	PHILIPS
Tipe	:	PW1710
Voltage Output (KV)	:	
a) Range	:	25 to 60 KV in 5 KV Step.
b) Stability	:	0.02% for $\pm 10\%$ line voltage variation 0.02% for all load current changes from 10 to 80 mA
c) Drift	:	0.05% per 10 °C
d) Repeatability	:	0.05%
e) Ripple	:	50 KV
f) KV Recovery Time	:	3 second to attain stable KV after incremental KV change of 5 KV (within + 0.2% of final setting)
Current (mA)	:	
a) Range	:	10 to 80 mA, seven 10 mA steps and ten 1 mA
b) Stability	:	0.015% for $\pm 10\%$ line voltage variation
c) Drift	:	0.015% per 10 °C
d) Repeatability	:	0.02%
e) mA Recovery Time	:	2 second to attain stable mA after incremental mA change of 10 mA (Within + 0.1% of final setting)
Power	:	
a) Output	:	3KW max
b) Input variation	:	8.5 KVA, 40A max

c) *Input Voltage* : 220 VAC 10%

d) *Line to Ground* : 140 Vrms

Water Requirements :

a) *Quantity* : 0.9 gal/min (3.5 liter/min)

b) *Pressure* : max. 90 psi (3.2 kg/cm²)

c) *Hardness* : max. 35.7 mg cal

d) *Quality* : pH *between* 6 and 9

e) *Temperature* : max. 21°C and min 13°C

f) *Water Lines* : min. 13 mm, *flexible*

g) *Environmental Requirement* : *ambient temperature should be min 18°C and max. 29°C humidity should range between 20% to 80%. Dew point temperature should be less than 25°C*

Detector :

a) *Type* : *Proportional*

b) *Max. Count Rate* : 500 000 c/s

c) *Dead Time Correction* : *better than < 1%*

d) *Dynamic Range of Amplification* : 40

e) *Automatic Correctable Pulse Shift* : Up to 50%

f) *Upper and Lower Level (Step of 0.05)* : 0 to 99%

g) *Rate Meter Range* : 1, 2, 500, 1000, 10⁴, 10⁵ c/s

h) *Rate Meter Time Constant* : fixed 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5 s

- i) *Intensity Measuring Interval (Step of 0.05)* : 0 to 3276 s
- j) *H.V. Supply* : 1200 to 2000 V
- k) *Detector Pulse Attenuation (Step of 2)* : 1 to 8
- l) *Selector Switch to Match Attenuation to X-ray Tube* : Cr, Fe, Co, Mo, Cu
- m) *Max. Accumulated Counts* : 4x10¹⁰

- Goniometer Control** :
- a) *Type* : *Vertical*
 - b) *Range* : $2\theta = 0^\circ$ to 160°
 - c) *Setting Speed with Anti-backlash Provision* : *Typical 2.5 °/s*
 - d) *Continuous Scan Speed :* : -
 - e) *In Step of 0.001* : 0.001° to 0.127 °/s
 - f) *In Step of 0.01* : 0.01° to 1.27 °/s
 - g) *Step Size Range (in Step of 0.005)* : 0.005° to 327 °/s
 - h) *Slit :* : -
 - i) *Slit Divergent* : Automatic
 - j) *Slit Receiving* : 0.3 mm
 - k) *Filter* : Ni

- Strip Chart Recorder Control** :
- *Paper Speed to Goniometer Scan Sipped Ratio* : 0 to 50 mm per ° (2θ)

Safety Features

- a) *Power Failure (Manual Reset)*
- b) *Water flow interlock*
- c) *X-ray Tube Overload*
- d) *mA Overload* : 20, 40, 60, 80
- e) *KV-* : 60 kVP
- f) *KVA Overload* : 1.2, 1.3, 1.8, 2.5, and 3.0
- g) *Open X-ray Tube Filament*
- h) *Door Interlock Switch*
- i) *Fail Safe Bulb in X-ray ON*

Accessories

- a) *Computer* : IBM compatible Pentium II MMX
- b) *Printer* : HP Paint Jet Color
- c) *Software* : APD Philips
- d) *JCPDS Data Base* : 1997



Sumber: dokumentasi pribadi

Persiapan Pengukuran

- a) Menyiapkan bahan yang akan diambil datanya dengan menggunakan sampel holder.
- b) Karena sampel berbentuk padatan maka harus memperhatikan tebal dan diameter sampel agar tidak melebihi batas ruang sampel holder dan apabila tidak memungkinkan maka sampel padatan tersebut diserbukkan terlebih dahulu.
- c) Menggunakan double tip maupun lilin (malam) untuk mengikat sampel.
- d) Bila sampel tersebut sedikit maka dapat menggunakan kaca sebagai sample holder.
- e) Membuka ruang sampel, kemudian memasukkan sampel yang akan diambil datanya setelah itu menutup ruang sampel.
- f) Menyesuaikan parameter untuk pengambilan data
- g) Memulai pengambilan data.
- h) Mengulangi prosedur 0. a). sampai 0. g). untuk memperlakukan sampel berikutnya.
- i) Setelah selesai melakukan pengukuran, langkah selanjutnya adalah mengambil data dari komputer berupa hardcopy maupun soft copy yang dapat dibuka melalui software EXCEL, IGOR dan lain-lain dalam bentuk ASCII file.

3.1.6.3 Spesifikasi Pengukuran

<i>Diffractometer type</i>	:	<i>PW3710 Based</i>
<i>Tube anode</i>	:	<i>Cu</i>
<i>Generator tension</i>	:	<i>40 kV</i>
<i>Generator current</i>	:	<i>35 mA.</i>
<i>Wavelength Alpha 1</i>	:	<i>1,78896 Å</i>
<i>Wavelength Alpha 2</i>	:	<i>1,79285 Å</i>
<i>Intensity ratio (Alpha2/alpha1)</i>	:	<i>0,500</i>
<i>Divergence slit</i>	:	<i>1/40</i>
<i>Receiving slit</i>	:	<i>0,2</i>
<i>Monochromator used</i>	:	<i>No</i>

3.1.6.4 Prosedur Pelaksanaan

Cara penggunaan XRD

1. Nyalakan *travo* (berada di bawah jendela)
2. Nyalakan saklar otomatis ke atas di ruang sebelah (tombol ke-3 paling kanan)
3. Nyalakan air sehingga tekanan air menunjukkan 2,6 - 2,8 atm.
4. Naikkan *voltage* (berada di tembok)
5. pasang steker PW-control dibelakang bawah meja PC
6. Pasang Nagoya Stabilisator (berada di belakang pintu).
7. Nyalakan komputer PC
8. Nyalakan XRD (tombol merah putih), tunggu sampai terdengar bunyi klik yang cukup keras.
9. Naikkan arus dan *voltage* bergantian. Biasanya menaikkan 2 kali arus satu kali volt. Tunggu sebentar baru menaikkan lagi hingga dicapai 40 mA dan 35 kV.
10. Pasang spesimen pada sample holder dan letakkan pada penjepit spesimen di goniometer.
11. Pengaturan PC
 - a. Tekan tombol untuk mulai
 - b. *System preparation*
 - c. *System parameter* untuk mencari *directory* dan *file*
 - d. *Utilities*
 - e. *Difraktometer commands*. Enter muncul C
 - f. Ketik par, maka akan muncul *data parameter*
 - g. Sesuaikan data dengan data di belakang buku biru
 - h. *Esc*.
12. Edit pilih program (*identity program*) tentukan program sesuai keperluan misalnya theta dari sudut 10 s/d 70. Sudut theta 5.020 sudut theta maksimum 160.020
13. *Data collection. Identity Measurement*
14. Pasang *shutter* dengan memutar tombol 4 ke penunjuk tak terhingga, tekan tombol 4 yang berwarna merah.
15. Tekan F1 untuk memulai pengukuran.

16. Untuk melihat pola yang terjadi selama pengukuran tekan *Data Collection*, *Display Scan* dan akan terlihat pola tersebut pada layar monitor.
17. Setelah pengukuran selesai matikan *shutter* dengan memutar tombol 4 ke penunjuk nol
18. *Peak* hasil XRD dapat dicari dengan melihat *peak search*.
19. Pola XRD dapat dihaluskan dengan *smooth data*.
20. Catat pemakaian peralatan XRD ini pada buku biru.

Data yang didapat adalah data antara intensitas vs sudut 2θ . Untuk mengetahui komposisi sample secara kualitatif dan kuantitatifnya dilakukan komputerisasi dengan metode GSAS.

3.6.2 Scanning Electron Microscope (SEM) dan Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)

Pengujian SEM dan EDS diperlukan untuk melihat struktur mikro dan persentase unsur dari sampel.

3.6.2.1 Spesifikasi Peralatan

Pengujian SEM dan EDS dilakukan menggunakan peralatan merek JED-2300 Analisis Station JEOL, dengan spesifikasi sebagai berikut:

- *System resolution* : 61 eV
- *Geometry (degrees)* : Tilt = 0,00
- *ED geometry* : Elevation = 18,00
- *Azimuth* : 0,00
- *Entry angle* : 0,00
- *Acceleration voltage* : 20,00 kV
- *Quantitative method* : ZAF
- *PC & software*



Gambar 3.5 Peralatan *Scanning Electron Microscope* (SEM) JED 2300

Sumber : dokumentasi pribadi

Komponen elektron memiliki komponen piranti sebagai berikut:

- Pembangkit elektron (*electron gun*) dengan filamen sebagai pengemisi elektron (sumber iluminasi)
- Sistem lensa elektromagnetik yang dapat diberi muatan untuk memfokuskan berkas elektron yang dihasilkan filamen
- Sistem perambah (*scan*) untuk menggerakkan berkas elektron terfokus pada permukaan sampel
- Detektor yang merubah informasi interaksi antara berkas elektron dengan permukaan sampel menjadi sinyal listrik
- Konektor ke pompa vakum

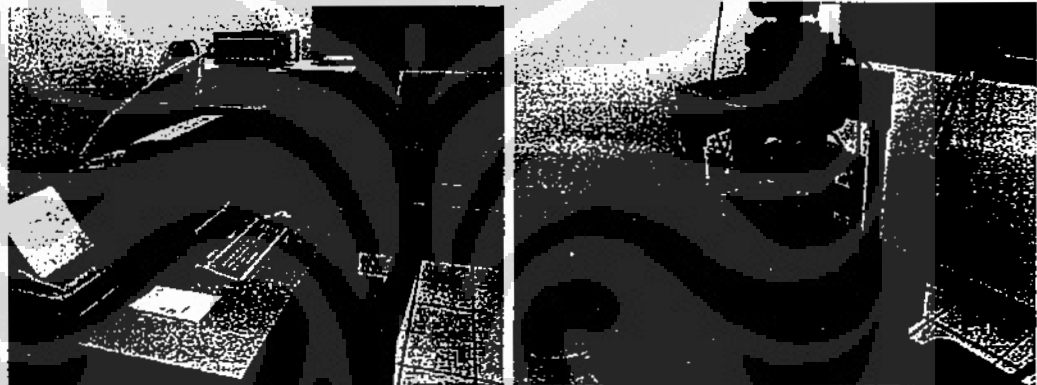
3.6.2.2 Prosedur Pelaksanaan

- Setelah peralatan SEM dinyalakan, sampel dimasukkan ke dalam alat tersebut dengan maksimum empat sampel.
- Tunggu sampai peralatan menunjukkan *ready*
- Atur lensa sehingga sampel dapat terfokus

- Untuk memperbesar dan memperjelas gambar sampel dapat dilakukan dengan memutar *magnifier* dan *brightness*
- Cetak sampel yang diharapkan dengan bantuan komputer.

3.6.3 *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)*

Alat VSM merupakan salah satu jenis peralatan yang digunakan untuk mempelajari sifat magnetik bahan. Dengan alat ini akan diperoleh informasi mengenai besaran-besaran sifat magnetik sebagai akibat perubahan medan magnet luar yang digambarkan dalam kurva histerisis. Pengukuran VSM dilakukan dilaboratorium Magnetik-Bidang Zat Mampat-P₃IB-BATAN dengan tipe OXFORD VSM1.2H (lihat Gambar 3.6).



Gambar 3.6 Seperangkat *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)* Tipe OXFORD VSM1.2H

Sumber : dokumen pribadi

3.6.3.1 Prinsip Kerja

Semua bahan mempunyai momen magnetik jika ditempatkan dalam medan magnetic. Momen magnetik per satuan volume dikenal sebagai magnetisasi. Secara prinsip ada dua metode mengukur besar magnetisasi tersebut, yaitu metode induksi (*induction method*) dan metode gaya (*force method*). Pada metode induksi, magnetisasi diukur dari sinyal yang ditimbulkan/diinduksikan oleh cuplikan yang bergetar dalam lingkungan medan magnet pada sepasang kumparan. Sedangkan pada metode gaya pengukuran dilakukan pada besarnya gaya yang ditimbulkan pada

cuplikan yang berada dalam gradient medan magnet. VSM adalah salah satu alat ulur magnetisasi yang bekerja berdasarkan metode induksi (Mujamilah et al., 2000).

Pada metode ini, cuplikan yang akan diukur magnetisasinya dipasang pada ujung bawah batang kaku yang bergetar secara vertikal dalam lingkungan medan magnet luar H . Jika cuplikan termagnetisasi secara permanen ataupun sebagai respon dari adanya medan magnet luar, getaran ini akan mengakibatkan perubahan garis gaya magnetik. Perubahan ini akan menginduksi/menimbulkan suatu sinyal tegangan AC pada kumparan pengambil (*pick-up* atau *sense coil*) yang ditempatkan secara tepat dalam sistem medan magnet ini. Dengan memakai hukum Biot-Savart untuk sistem medan dipole, tegangan induksi diberikan sebagai :

$$V \propto A f m G(x, y, z) \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

A : amplitude getaran cuplikan,

f : frekuensi getaran cuplikan,

m : momen magnetik,

$G(x, y, z)$: fungsi sensitivitas, yang ditunjukkan adanya kebergantungan sinyal pada posisi cuplikan dalam system kumparan

Selanjutnya sinyal AC ini akan dibaca oleh rangkaian *pre-amp* dan *Lock-in amplifier*. Frekuensi dari *Lock-in amplifier* diset sama dengan frekuensi getaran sinyal referensi dari pengontrol getaran cuplikan. *Lock-in amplifier* ini akan membaca sinyal tegangan dari kumparan yang sefasa dengan sinyal referensi. Kumparan pengambil biasanya dirangkai berpasangan dengan kondisi lilitan yang berlawanan. Hal ini untuk menghindari terbacanya sinyal yang berasal dari selain cuplikan, misalnya dari akibat adanya perubahan medan magnet luar itu sendiri. selanjutnya dalam proses pengukuran, medan magnet luar yang diberikan, suhu cuplikan, sudut dan interval waktu pengukuran dapat divariasikan melalui kendali computer. Komputer akan merekam data tegangan kumparan sebagai fungsi medan magnet luar, suhu, sudut ataupun waktu.

3.6.3.2 Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.3.

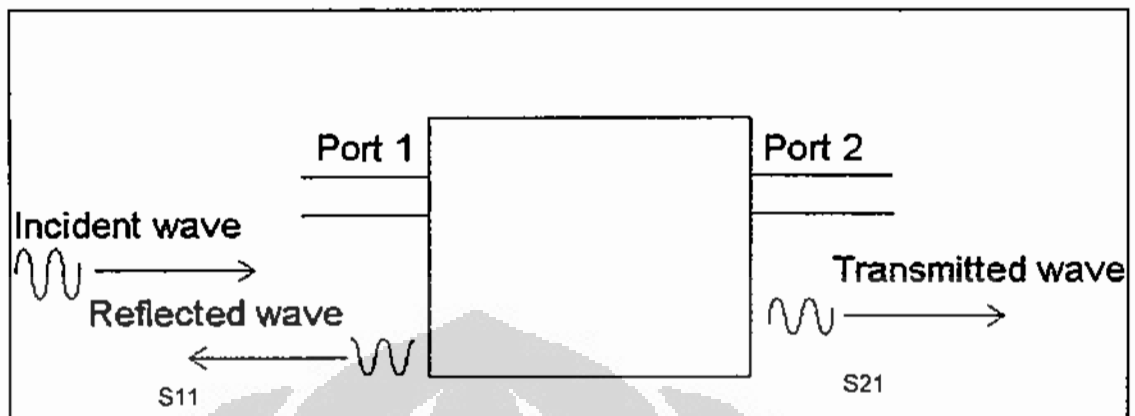
Tabel 3.3 Spesifikasi VSM tipe OXFORD VSM1.2H (Mujamilah et al., 2000)

Sistem Medan Magnet Luar	
Tipe	Elektromagnet horizontal
Daerah kerja	-1 T – 1 T
Laju perubahan medan maksimum	50 Gauss/sec
Homogenitas	0,1%
Resolusi medan	1 Gauss
Stabilitas medan	1 Gauss
Sistem Perubahan Suhu Lingkungan	
Tipe	<i>Cryostat</i> dengan aliran <i>cryogen</i> kontinu
Suhu operasi	(4,2 – 300) K (dengan pendingin He cair) (90 – 300) K (dengan pendingin N ₂ cair)
Stabilitas suhu	0,05 (4,2 – 77) K, 0,1 K (77 – 300) K
Perubahan suhu	10 K dalam 10 menit dengan 0,2 K lonjakan
Sistem Pengukuran	
Daerah pengukuran tegangan	(0,1 – 1000)mV
Konstan waktu pengukuran	1 msec – 10 sec
Sinyal latar belakang	5×10^{-4} emu/T
Resolusi pengukuran	1×10^{-4} emu
Daerah penempatan cuplikan	20 mm
Akurasi penempatan cuplikan	0,0005 mm
Rotasi cuplikan	720°
Amplitudo getaran	(0 – 1,5) mm
Frekuensi getaran	(40 – 80) Hz (untuk system ini frekuensi diset tetap pada 55 Hz)
Sistem Pengendali dan Pengolahan Data	
Perangkat keras	PC Pentium P5/166
Perangkat lunak	OXFORD Object bench Software

Sumber : diolah kembali

3.7. Reflection Loss

Sistem kerja *Vector Network Anayzer* (VNA) adalah menganalisis efek refleksi dan transmisi sumber gelombang elektromagnet yang dihasilkan dari sinyal frekuensinya seperti terlihat pada Gambar 3.5. Gelombang datang (S_{11}) dari Port 1 dan gelombang pantul diterima juga oleh Port 1 serta gelombang transmisi (S_{21}) diterima oleh Port 2.

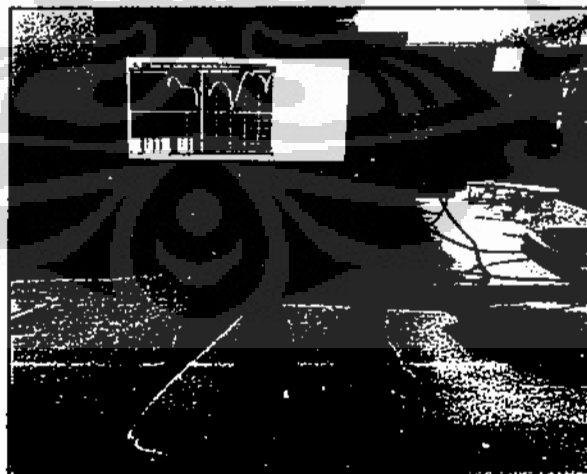


Gambar 3.7 Skema Perambatan Gelombang Elektromagnetik Dalam *Air Line Wave Guide* (Burnikell, J, "www.polarinstrument.com")

Sumber : diolah kembali

Pengujian *refelection loss (RL)* terhadap sampel diukur dengan menggunakan alat *Vector Network Analyzer* tipe ADVANTEST R3770 dengan rentang frekuensi 300 KHz – 20 GHz.

Untuk analisis refleksi dan transmisi gelombang mikro pengujian dilakukan pada frekuensi 5 GHz hingga 18 GHz dengan prototipe sampel berbentuk *bulk* dengan diameter 15 mm dan ketebalan 2 mm.



Gambar 3.8 Seperangkat Alat *Vector Network Analyzer* Tipe ADVANTEST R3770

Sumber: dokumen pribadi

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Struktur

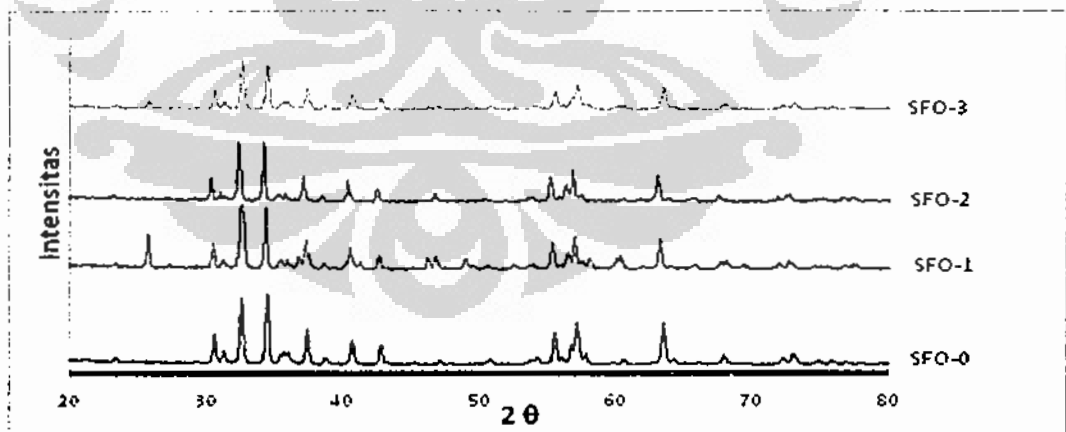
Dalam rangka modifikasi bahan magnet *hexaferrite* berbasis pada senyawa empiris $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ atau $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ dengan sistem $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_{2-(x+y)}\text{Mn}_x\text{Ti}_y\text{O}_3$ dilakukan substitusi Mn dan Ti ke dalam Fe dengan dengan variasi $x = 0, y = 0$; $x = 0,4, y = 0,6$; $x = 0,5, y = 0,5$ dan $x = 0,6, y = 0,4$.

Penamaan sampel secara berurutan yaitu:

- SFO-0 untuk ($x = 0, y = 0$)
- SFO-1 untuk ($x = 0,4, y = 0,6$)
- SFO-2 untuk ($x = 0,5, y = 0,5$)
- SFO-3 untuk ($x = 0,6, y = 0,4$)

4.1.1 Hasil dan Analisa Karakterisasi Difraksi Sinar X

Pada Gambar 4.1 diperlihatkan hasil pengukuran pola difraksi sinar-x sampel-sampel setelah dilakukan proses sintering pada temperatur 1050°C selama 15 jam.



Gambar 4.1 Pola Difraksi Sinar-X Sampel Setelah Disinter pada Suhu 1050°C Selama 15 jam

Sumber: olahan sendiri

Pola difraksi sinar-X yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 pada sampel SFO-0 dan SFO-2 ($x = y$) diduga telah terbentuk fasa tunggal *strontium hexaferrite*. Puncak-puncak pada *strontium hexaferrite* yang telah dilakukan substitusi Mn dan Ti ke dalam Fe terlihat berada pada posisi yang sama, tetapi berbeda intensitas dan dapat diasumsikan bahwa penambahan unsur-unsur atau adanya substitusi Mn dan Ti ke dalam Fe sudah terbentuk fasa tunggal atau tidak menghadirkan fasa asing. Dengan demikian substitusi Mn dan Ti ke dalam Fe pada sistem $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_{2-(x+y)}\text{Mn}_x\text{Ti}_y\text{O}_3$ telah terbentuk dengan baik. Pergeseran posisi puncak dan variasi intensitas bisa dikaitkan dengan *occupation* bidang kisi karena disubstitusi oleh radius ionik yang berbeda. Namun sejauh mana pengaruh penambahan atau substitusi Mn dan Ti ini terhadap struktur kristal perlu dianalisis lebih lanjut.

Sedangkan untuk sampel SFO-1 dan SFO-3 ($x \neq y$) terbentuk fasa asing selain fasa *strontium hexaferrite*. Fasa-fasa yang terbentuk dan jumlah masing-masing fasa perlu dianalisa dengan proses *refinement Rietveld* menggunakan metode GSAS.

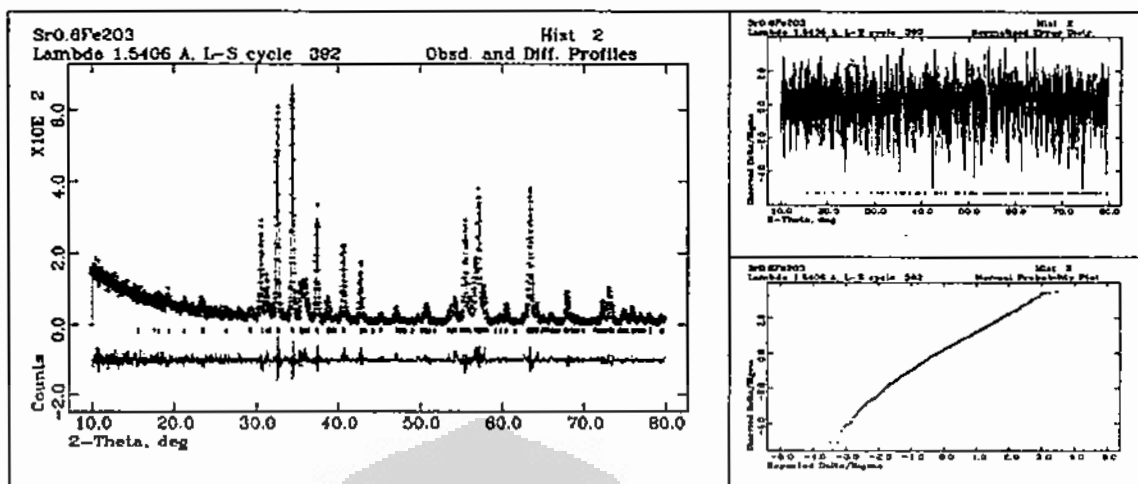
4.1.2 Analisis Rietveld

Hasil analisis penghalusan *Rietveld* menggunakan program *General Structure Analysis System* (GSAS) sampel-sampel ditunjukkan oleh Gambar 4.2 sampai 4.5. Struktur kristal $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ mempunyai *space group* $P 63/m m c$, kristalin hexagonal mempunyai parameter kisi $a = b = 5.8821 \text{ \AA}$, dan $c = 23.0230 \text{ \AA}$ dengan $\alpha = \beta = 90^\circ$ and $\gamma = 120^\circ$. Posisi Wyckoff atau jumlah titik ekuivalen per *unit cell* berdasarkan hasil penelitian Muller (Muller, J., Collomb, A., 1991) ziperlihatkan pada Tabel 4.1.

Table 4.1 Posisi Wyckoff untuk Sr, Fe dan O Dalam Paduan $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$
(Muller, J., Collomb, A., 1991)

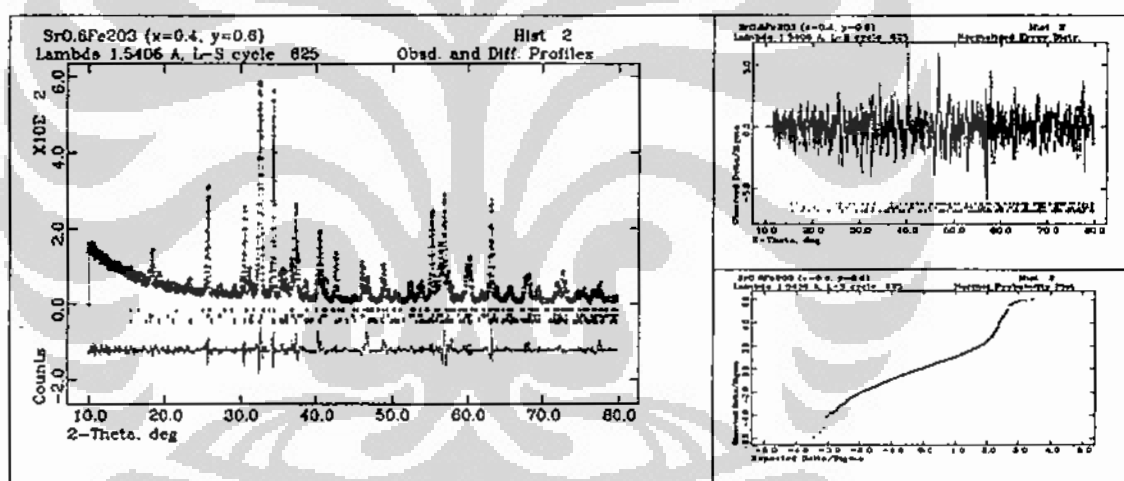
Atom	Occupation factor	x	Y	z
Sr	1.0	0.333	0.667	0.750
Fe(1)	1.0	0.0	0.0	0.0
Fe(2)	0.5	0.0	0.0	0.256
Fe(3)	1.0	0.333	0.667	0.027
Fe(4)	1.0	0.333	0.667	0.191
Fe(5)	1.0	0.169	0.338	-0.109
O(1)	1.0	0.0	0.0	0.152
O(2)	1.0	0.333	0.667	-0.055
O(3)	1.0	0.183	0.366	0.250
O(4)	1.0	0.156	0.313	0.052
O(5)	1.0	0.505	0.010	0.151

Sumber: telah diolah kembali



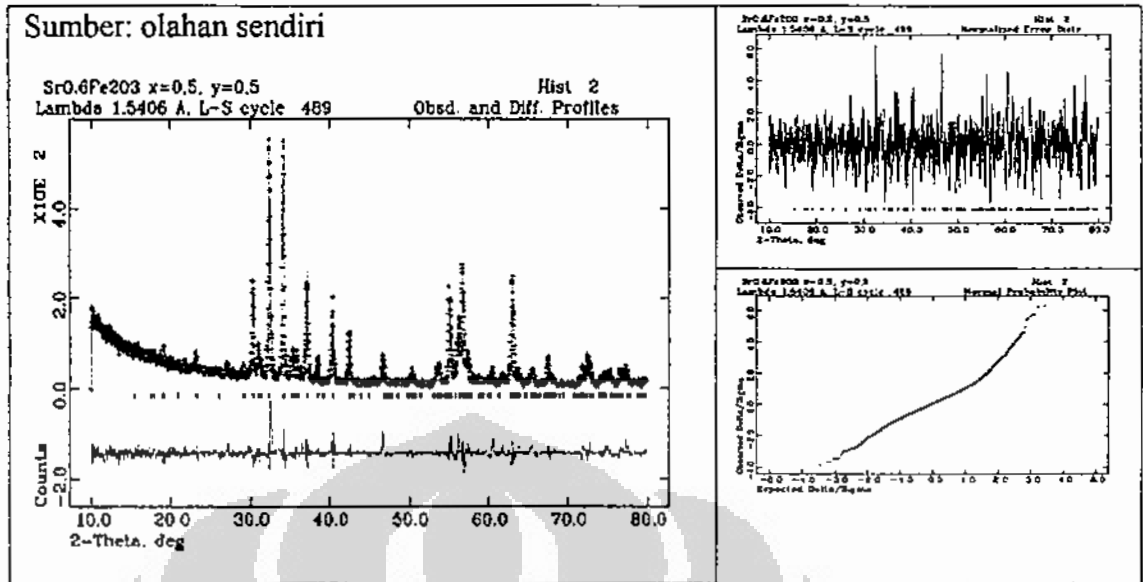
Gambar 4.2 Refinement Pola Difraksi Sinar-x Sampel SFO-0

Sumber: olahan sendiri



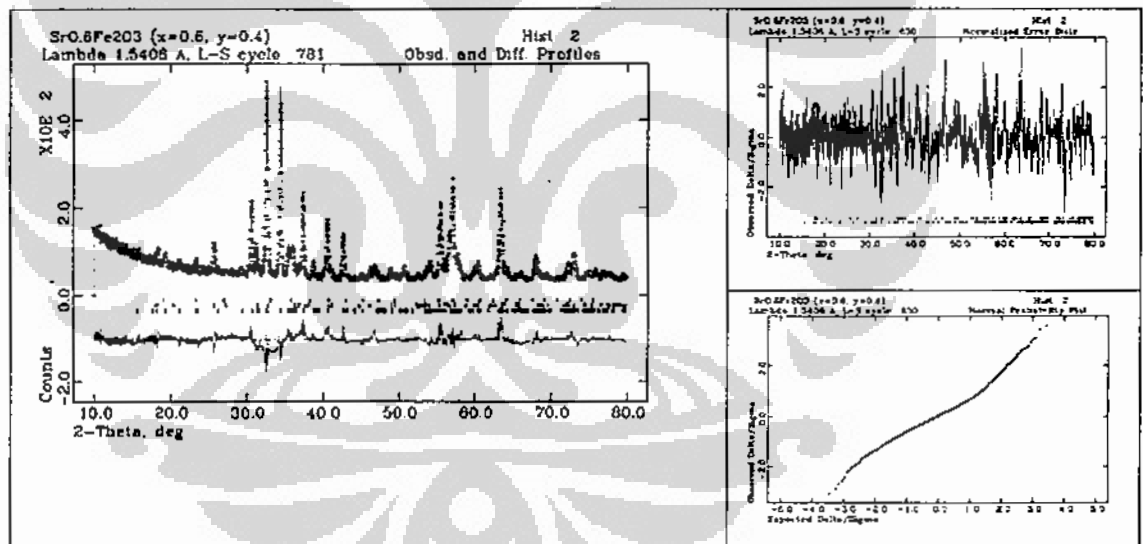
Gambar 4.3 Refinement Pola Difraksi Sinar-X Sampel SFO-1

Sumber: olahan sendiri



Gambar 4.4 Refinement Pola Difraksi Sinar-X Sampel SFO-2

Sumber: olahan sendiri



Gambar 4.5 Refinement Pola Difraksi Sinar-X sampel SFO-3

Sumber: olahan sendiri

Pada Gambar 4.2 sampai dengan 4.5, ditunjukkan hasil *refinement* GSAS menghasilkan kualitas *fitting* yang baik dengan data input yang diberikan, menurut Hikam, kriteria numeris yang digunakan untuk menentukan hasil *fitting* terbaik adalah nilai χ -factor 1 sampai 1.3 (Hikam, 2007). Dari data pada Tabel 4.2

menunjukkan nilai χ -factor yang diperoleh pada penelitian ini di bawah 1.3, sehingga dapat dikatakan bahwa sampel yang dibuat sudah terbentuk sesuai fasa yang diperkirakan.

Tabel 4.2 Hasil *Refinement* GSAS

Sampel	Fasa terbentuk	Berat (%)	χ -factor	wRp	Space group	Struktur kristal
SFO-0	SrFe ₁₂ O ₁₉	100	1,297	16,30	P 63/m m c	hexagonal
	SrFe ₁₂ O ₁₉	34,58			P 63/m m c	hexagonal
SFO-1	Fe ₂ TiO ₅	48,94	1,273	15,81	C m c m	orthorhombic
	SrTiO ₃	16,48			P b n m	orthorhombic
SFO-2	SrFe ₁₂ O ₁₉	100	1,294	16,55	P 63/m m c	hexagonal
	SrFe ₁₂ O ₁₉	36,252			P 63/m m c	hexagonal
SFO-3	Fe ₂ TiO ₅	15,73	1,076	12,68	C m c m	orthorhombic
	FeMnO ₃	48,02			I a -3	Cubic

Sumber: olahan sendiri

Dari data pada Tabel 4.2, dapat dipastikan bahwa untuk sampel SFO-0 dan SFO-2 ($x = y$) telah terbentuk fasa tunggal *strontium hexaferrite* sehingga substitusi Mn dan Ti ke dalam Fe sudah terbentuk fasa tunggal atau tidak menghadirkan fasa asing. Dengan demikian substitusi Mn dan Ti ke dalam Fe pada sistem SrO.6Fe₂·_(x+y)Mn_xTi_yO₃ dengan variasi $x = y$ telah terbentuk dengan baik.

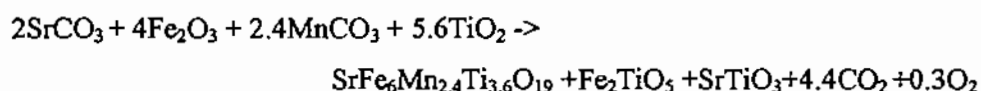
Sedangkan untuk sampel SFO-1 dan SFO-3 ($x \neq y$) selain terbentuk fasa *strontium hexaferrite* juga terbentuk fasa asing seperti pada Tabel 4.2. Akibat terbentuknya fasa lain menyebabkan fraksi massa dari *strontium hexaferrite* (fasa magnetik) kurang dari 100% yang membawa akibat lebih lanjut akan berkurangnya magnetisasi total hal ini akan dibuktikan dari *hysteresis loop*.

Fenomena tidak terbentuk atau tidaknya fasa tunggal pada variasi substitusi Mn dan Ti ke dalam Fe dapat dijelaskan dengan menggunakan reaksi kimia berikut:

(1) Sampel SFO-0



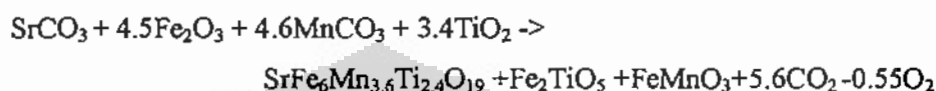
(2) Sampel SFO-1



(3) Sampel SFO-2



(4) Sampel SFO-3



Dari reaksi di atas diperlihatkan bahwa untuk substitusi $x = y$ terjadi reaksi sempurna dengan terbentuk fasa $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ dengan sisa gas CO_2 . Sedangkan untuk $x \neq y$ dengan $x < y$ akan terjadi kelebihan oksigen dan untuk $x > y$ akan terjadi kekurangan oksigen. Hal inilah yang mungkin menyebabkan ketidakstabilan reaksi sehingga terbentuknya fasa lain seperti yang diperoleh pada pengujian XRD.

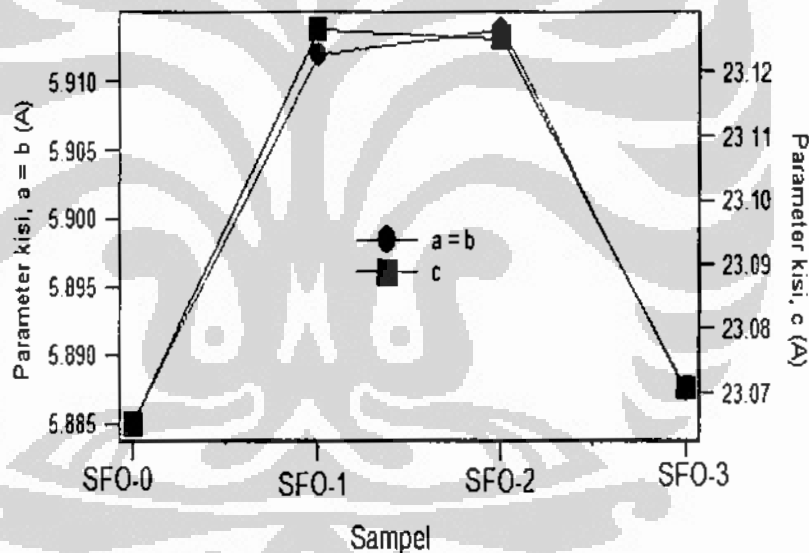
Seperti yang terlihat pada Tabel 4.3 dengan mensubstitusi Mn dan Ti ke dalam ion Fe, parameter kisi "a" mempunyai nilai hampir sama, namun parameter "c" meningkat dari 23,065094 Å ke 23,126648 Å. Sesuai dengan pernyataan bahwa tipe hexagonal menunjukkan parameter kisi "a" yang konstan dan parameter variabel "c" (Ibach, H., Luth, H., 2009). Hal ini mengindikasikan bahwa kemudahan dimagnetisasi aksis-c lebih besar dari aksis-a oleh ion dopan. Perubahan parameter kisi "c" (*easy axis*) akan mempengaruhi terhadap nilai dari *crystal anisotropy constant* karena perubahan *easy-axis* dari magnetisasi terhadap basal (Priyono, Manaf, A., (2009). Lebih lanjut hal ini akan berpengaruh terhadap koersifitas dan polarisasi magnetik total untuk ion Mn dan Ti yang disubstitusikan ke dalam material *strontium hexaferrite*.

Tabel 4.3 Parameter Kisi, Volume Sel, c/a Fasa SrFe₁₂O₁₉

Sampel	a (Å)	c (Å)	V (Å ³)	c/a	Kerapatan (g/cm ³)
SFO-0	5,884971	23,065094	691.79	3,919322	15,022
SFO-1	5,911865	23,126648	699.991	3,911904	20,868
SFO-2	5,913788	23,125223	700.403	3,910391	11,522
SFO-3	5,887378	23,070719	692,525	3,918675	21.894

Sumber: olahan sendiri

Berdasarkan hasil refinement dari pola difraksi sinar X menunjukkan bahwa telah terjadi perubahan nilai parameter kisi, seiring dengan meningkatnya kandungan Mn dan Ti pada sampel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6.

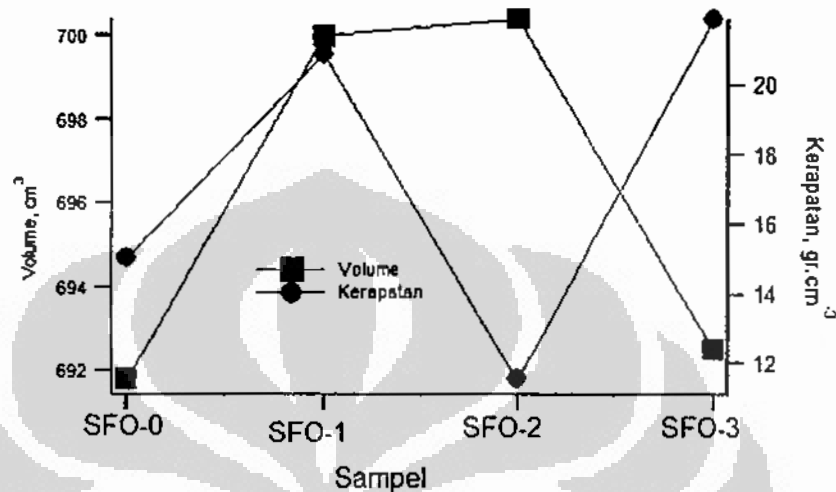


Gambar 4.6 Perubahan Parameter Kisi Terhadap Penambahan Kandungan Mn dan Ti.

Sumber: olahan sendiri

Pada Gambar 4.7 tampak bahwa peningkatan jumlah kandungan Mn dan Ti ke dalam atom Fe pada sistem SrO.6Fe_{2-(x+y)}Mn_xTi_yO₃ dengan variasi x = 0, y = 0; x = 0,4, y = 0,6; x = 0,5, y = 0,5 dan x = 0,6, y = 0,4 dapat memperbesar nilai parameter kisinya. Hal ini sangat relevan karena dengan penambahan atom Mn dan Ti dengan diameter atomik jauh lebih besar dibandingkan atom Fe, sehingga

mengakibatkan terjadinya peningkatan jarak antar kisi atom. Dengan demikian volume dalam satu unit sel juga akan meningkat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.7.



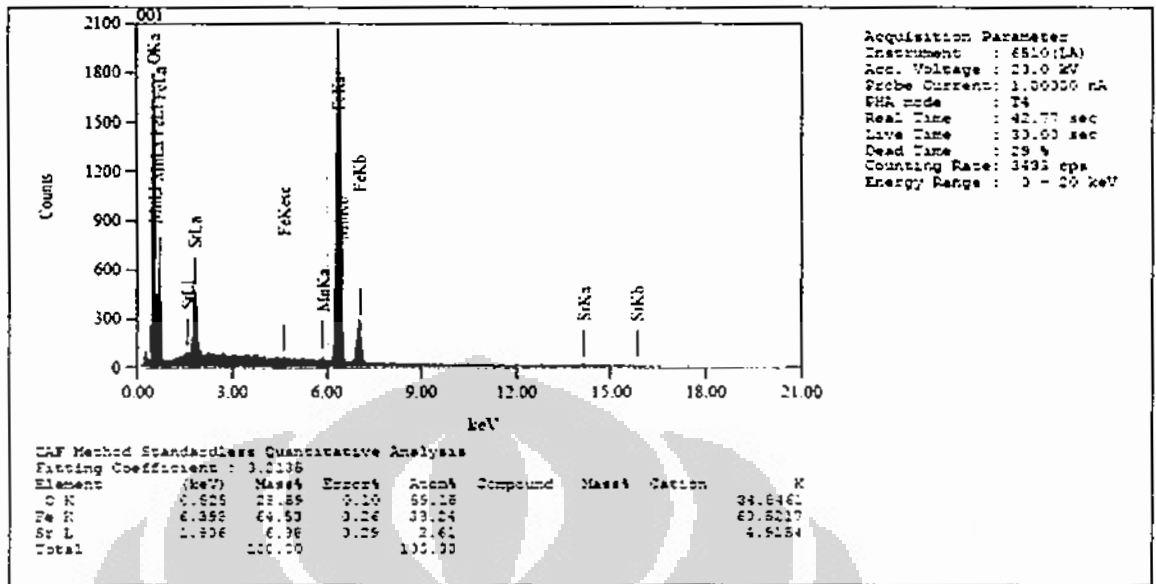
Gambar 4.7 Perubahan Volume Unit Sel dan Kerapatan Atomik Terhadap Penambahan Kandungan Mn dan Ti.

Sumber: olahan sendiri

Pada Gambar 4.7 ditunjukkan bahwa semakin meningkat penambahan jumlah atom Mn dan Ti, semakin besar volume unit sel dan semakin kecil kerapatan atomiknya seperti pada sampel SFO-0 dan SFO-2, sebaliknya terjadi pada sampel SFO-1 dan SFO-3 terjadi penurunan volume dan terjadi peningkatan kerapatan. Hasil ini juga sangat relevan dimana apabila volume unit sel membesar, sedangkan jumlah atom dalam satu unit sel tetap, sehingga mengakibatkan kerapatan atomiknya semakin kecil.

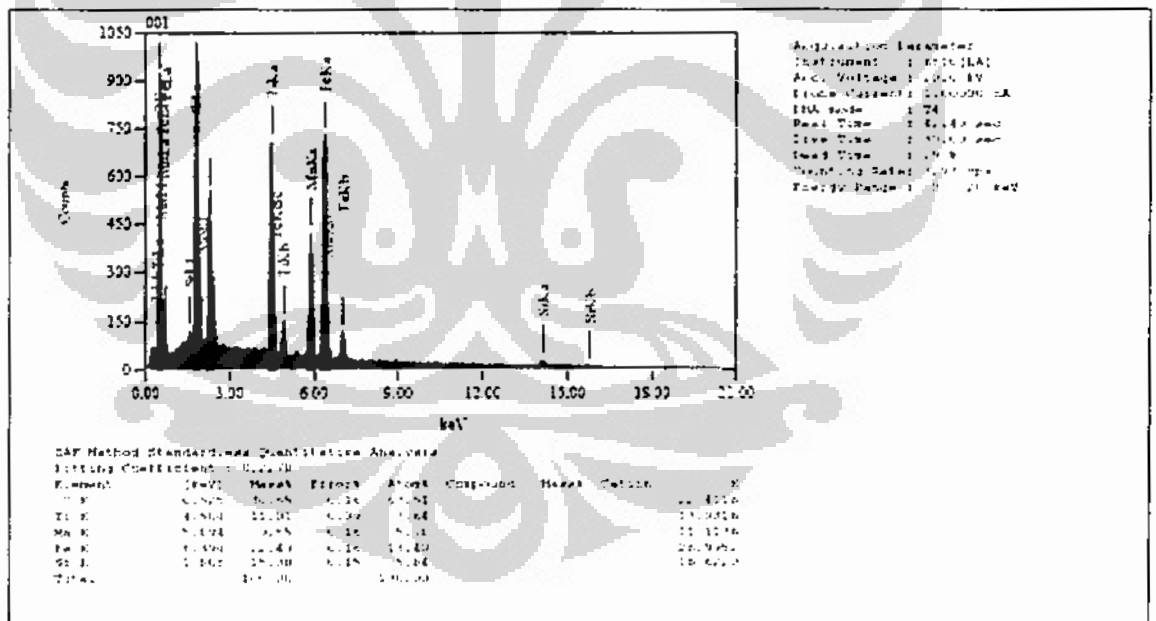
4.1.3 Analisa *Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)* dan Evaluasi Mikrostruktur

Identifikasi unsur-unsur dari sampel dianalisis menggunakan EDS. Gambar 4.8 sampai 4.11 analisis secara berurutan terhadap sampel SFO-0, SFO-1, SFO-2 dan SFO-3.



Gambar 4.8 Hasil EDS Sampel SFO-0

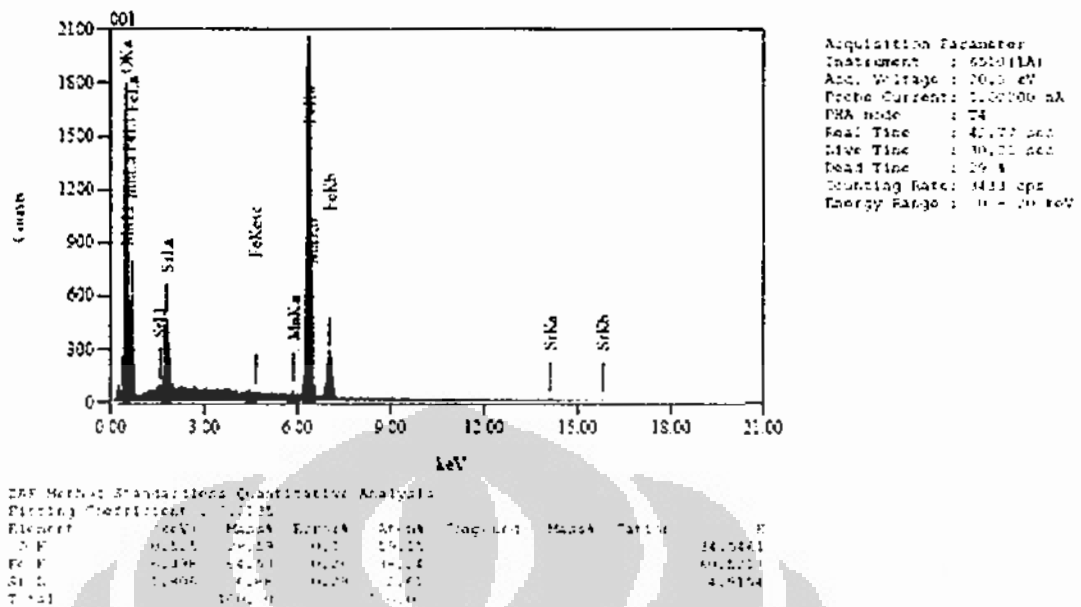
Sumber: olahan sendiri



Gambar 4.9 Hasil EDS Sampel SFO-1

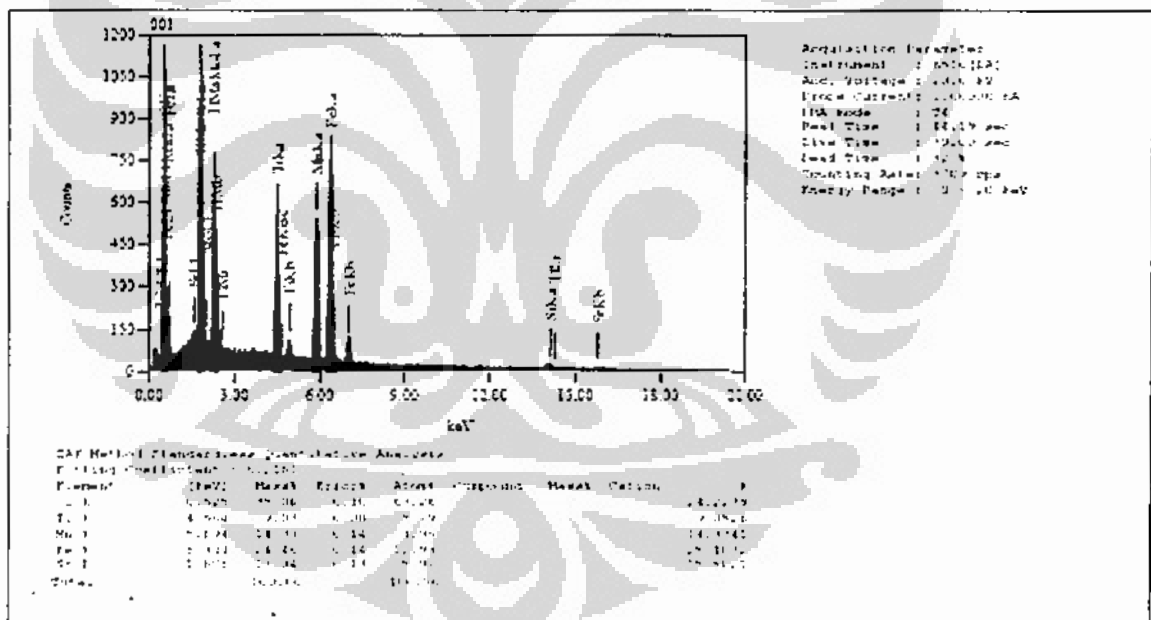
Sumber: olahan sendiri





Gambar 4.10 Hasil EDS Sampel SFO-2

Sumber: olahan sendiri



Gambar 4.11 Hasil EDS Sampel SFO-3

Sumber: olahan sendiri

Dari data pengujian EDS diperoleh jumlah untuk setiap unsur-unsur yang terdapat pada sampel seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.5 dan 4.6.

Table 4.5 Persentase Unsur Hasil Pengujian EDS

Sampel	Persentase	Sr	Fe	Mn	Ti	O
SFO-0	wt%	6,87	64,52	-	-	28,59
	at%	2,61	38,24	-	-	59,15
SFO-1	wt%	15,38	22,49	9,55	11,01	30,55
	at%	5,84	13,40	5,78	7,64	63,51
SFO-2	wt%	7,37	30,81	13,97	13,65	34,21
	at%	2,54	16,65	7,68	8,60	64,54
SFO-3	wt%	17,04	24,46	14,39	9,03	35,08
	at%	5,97	12,93	8,05	5,79	67,26

Sumber: olahan sendiri

Table 4.6 Analisis Perbandingan Unsur Paduan Hasil EDS

Sampel	Persentase	Sr	Fe	Mn	Ti	O
SFO-0	Nominal	3,125	37,50	-	-	59,375
	Data	2,61	38,24	-	-	59,15
SFO-1	Nominal	3,125	18,75	7,5	11,25	59,375
	Data	5,84	13,40	5,78	7,64	63,51
SFO-2	Nominal	3,125	18,75	9,375	9,375	59,375
	Data	2,54	16,65	7,68	8,60	64,54
SFO-3	Nominal	3,125	18,75	11,25	7,50	59,375
	Data	5,97	12,93	8,05	5,79	67,26

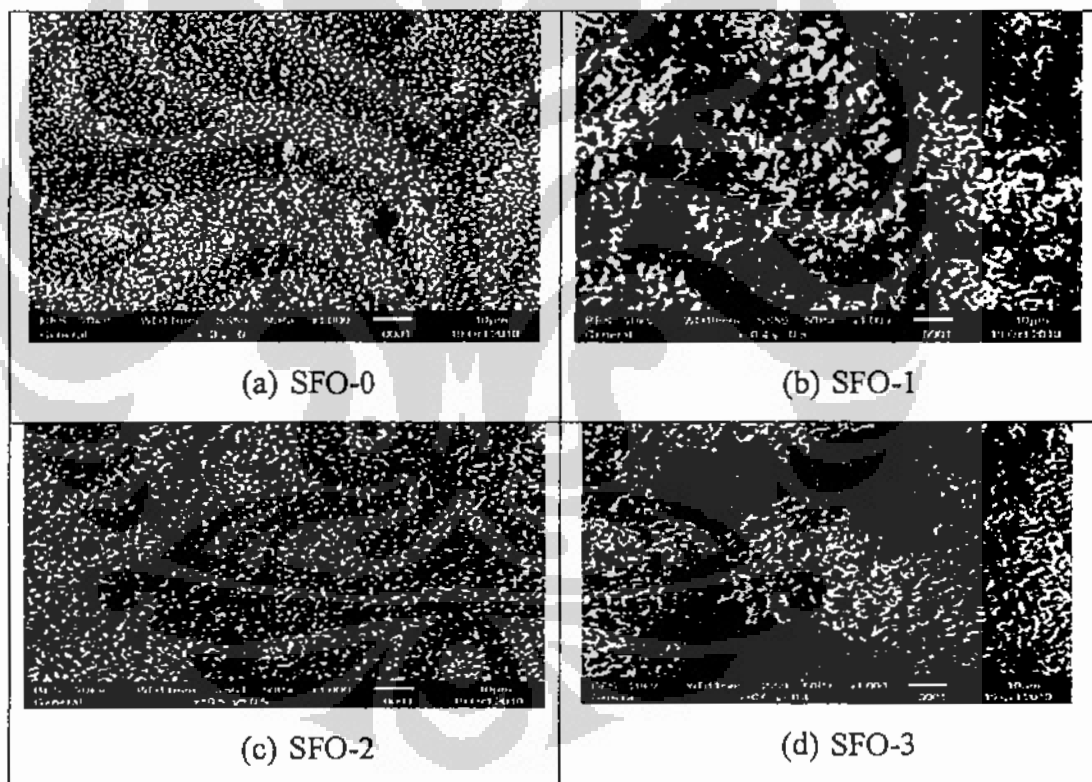
Sumber: olahan sendiri

Dari gambar tersebut menunjukkan persentase unsur-unsur pada sampel SFO-0 dan SFO-2 bahwa perbandingan persentase nominal dari fasa yang diharapkan mendekati terhadap persentase aktual hasil pengujian EDS. Hal ini sesuai bahwa fasa yang terbentuk adalah *strontium hexaferrite*. Sedangkan untuk sampel SFO-1 dan SFO-3 perbandingan komposisinya agak berbeda, hal ini bisa diakibatkan oleh terbentuknya fasa asing selain fasa utama yang diharapkan.

Mikrostruktur memegang peranan penting dalam memperoleh sifat magnetik yang diinginkan dalam fungsinya sebagai material penyerap gelombang elektromagnetik. Gambar 4.12 memperlihatkan mikrostruktur dan morfologi sampel dengan variasi $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_{2-(x+y)}\text{Mn}_x\text{Ti}_y\text{O}_3$ dengan variasi $x = 0, y = 0$; $x = 0,4, y = 0,6$; $x = 0,5, y = 0,5$ dan $x = 0,6, y = 0,4$ yang diperoleh melalui teknik *Scanning Electron*

Microscopy (SEM). Analisis mikrostruktur memperlihatkan bentuk partikel adalah dengan variasi ukuran 2 ~ 5 μm .

Dari Gambar 4.12 terlihat untuk sampel SFO-0 dan SFO-2 terlihat struktur yang homogen menunjukkan bahwa fasa *strontium hexaferrite* telah terbentuk dengan baik tanpa adanya fasa asing, berbeda halnya dengan sampel SFO-1 dan SFO-3 selain bentuk yang sama dengan *strontium hexaferrite* juga terlihat adanya struktur lain yang terlihat dengan pemeriksaan SEM menggunakan elektron terpantul (*backscattered electron*). Hal ini mendukung hasil pengujian sebelumnya yang menunjukkan bahwa hasil pengujian dengan XRD dapat dikonfirmasi bahwa terbentuk fasa asing.

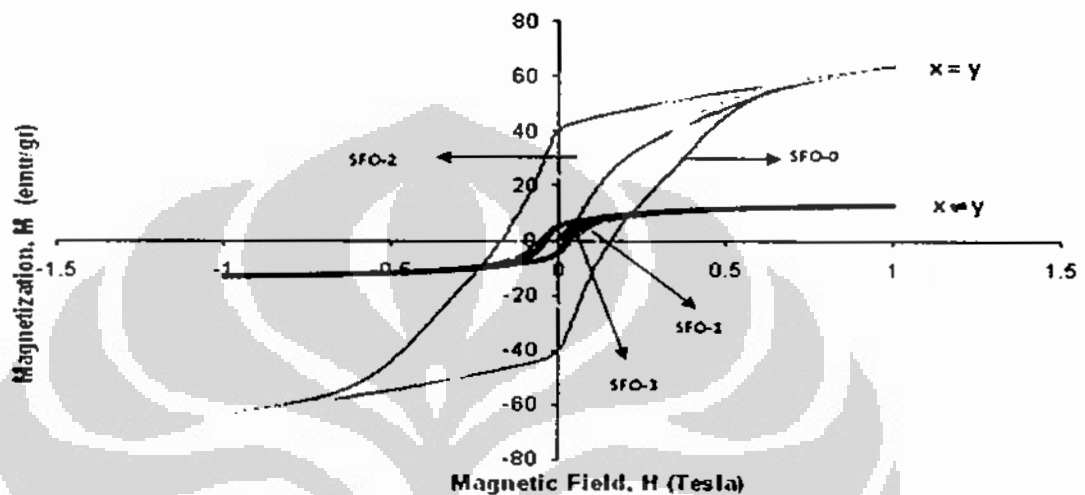


Gambar 4.12 Mikrostruktur Hasil Pengujian SEM

Sumber: olahan sendiri

4.2 Sifat Magnetik

Hysteresis loop dari sampel dengan sistem $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_{2-(x+y)}\text{Mn}_x\text{Ti}_y\text{O}_3$ dengan variasi $x = 0, y = 0$; $x = 0,4, y = 0,6$; $x = 0,5, y = 0,5$ dan $x = 0,6, y = 0,4$ seperti terlihat pada Gambar 4.13, data sifat magnetik yang terkait seperti yang terlihat pada Tabel 4.7.



Gambar 4.13 *Hysteresis Loop* Sistem $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_{2-(x+y)}\text{Mn}_x\text{Ti}_y\text{O}_3$ dengan Variasi $x = 0, y = 0$; $x = 0,4, y = 0,6$; $x = 0,5, y = 0,5$ dan $x = 0,6, y = 0,4$

Sumber: olahan sendiri

Table 4.7 Data Pengukuran Magnetisasi Sampel

Sampel	Remanence, M_r ($\text{emu} \cdot \text{gr}^{-1}$)	Saturation, M_s ($\text{emu} \cdot \text{gr}^{-1}$)	Coercivity, H_c (Oe)
SFO-0	40,97	63,69	1504
SFO-1	5,53	13,28	427
SFO-2	23,60	63,50	1145
SFO-3	5,23	12,64	262

Sumber: olahan sendiri

Secara umum, substitusi Mn dan Ti ke dalam Fe menyebabkan penurunan nilai koersivitas H_c melalui pengurangan *magnetocrystalline anisotropy* dari *strontium hexaferrite*. Hal ini terlihat pada sampel *strontium hexaferrite* tanpa substitusi (SFO-0) mempunyai koersivitas (H_c) yang paling besar dan area *hysteresis loop* paling luas dibandingkan sampel lain (SFO-1, SFO-2, SFO-3).

Untuk variasi substitusi Mn dan Ti dengan komposisi yang sama $x = y$ (SFO-0 dan SFO-2) diperoleh fasa tunggal *strontium hexaferrite* yang berarti bahwa diperoleh fasa magnetik 100% sehingga diperoleh magnetisasi total yang hampir sama (63,69 dan 63,5 $\text{emu}\cdot\text{gr}^{-1}$) dikarenakan persentase fasa magnetiknya yang juga hampir sama dan terjadi penurunan nilai magnilai koersifitas dari 1504 Oe menjadi 1145 Oe atau 23,87% dibandingkan sampel tanpa substitusi hal ini konsisten dengan data sebelumnya yang menyebutkan bahwa substitusi Mn dan Ti ke dalam Fe telah terjadi peningkatan volume dari 691,79 menjadi 700,403 \AA^3 akibat bertambah panjangnya parameter kisi "c".

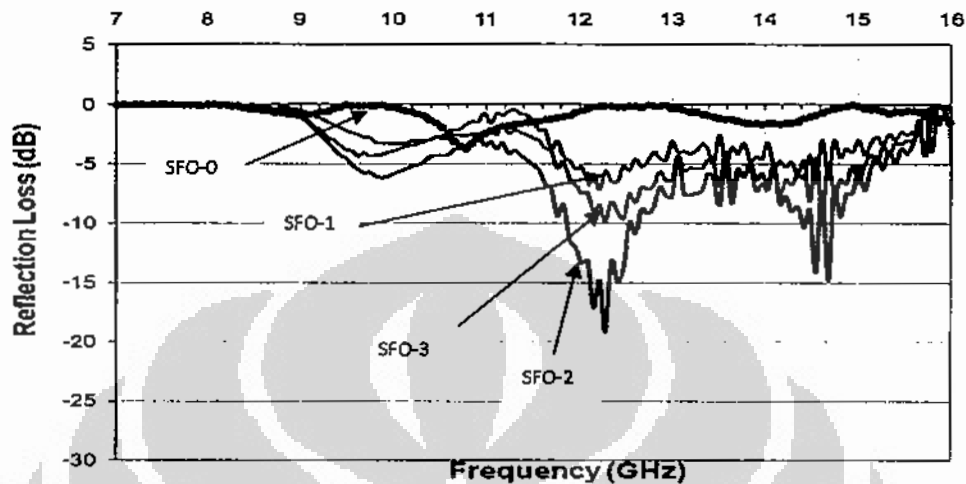
Sedangkan untuk variasi substitusi Mn dan Ti dengan komposisi yang tidak sama $x \neq y$ (SFO-1 dan SFO-3) muncul adanya fasa asing selain *strontium hexaferrite* yang berarti bahwa fasa magnetik tidak 100% dan diperoleh magnetisasi total yang hampir sama (13,28 dan 12,64 $\text{emu}\cdot\text{gr}^{-1}$) dikarenakan persentase fasa magnetiknya yang juga hampir sama dan terjadi penurunan nilai magnetisasi total sekitar 75,15% dan 80,15% dibandingkan sampel yang memiliki fasa magnetik 100%. Sedangkan efek substitusi Mn dan Ti juga terjadi peningkatan volume yang diikuti penurunan nilai koersifitasnya.

4.3 Karakteristik Penyerapan Gelombang Mikro

Perhitungan total *reflection loss* sampel sistem $\text{SrO}\cdot 6\text{Fe}_{2-(x+y)}\text{Mn}_x\text{Ti}_y\text{O}_3$ dalam rentang frekuensi 7 - 16 GHz terlihat pada Gambar 4.14. Pada sampel SFO-0, *reflection loss* tidak signifikan pada rentang frekuensi tersebut. Hal ini mengindikasikan tidak terjadi penyerapan yang signifikan pada rentang frekuensi yang ditentukan.

Pada Gambar 4.14 ditunjukkan pola penyerapan gelombang terhadap ke empat variasi sampel. Pada sampel SFO-0 menunjukkan tidak adanya serapan, dikarenakan merupakan magnet permanen dan ditunjukkan dari kurva histerisis yang lebar (mempunyai koersifitas tinggi). Sedangkan pada sampel SFO-1 dan SFO-3 yang merupakan sampel yang terbentuk fasa asing (fasa magnetik kurang dari 100%) tidak menghasilkan serapan yang signifikan berada pada *bandwidth* -5dB pada rentang frekuensi 12 sampai 13 GHz dengan penyerapan maksimum di -9dB dan

memiliki pola serapan yang hampir sama hal ini membuktikan bahwa persentase fasa magnetik yang terbentuk juga hampir sama.



Gambar 4.14 Pola Penyerapan Gelombang Mikro

Sumber : olahan sendiri

Serapan gelombang mikro yang cukup signifikan ditunjukkan pada sampel SFO-2 (substitusi dengan komposisi x dan y sama). Serapan pertama terjadi pada *bandwidth* -10dB pada rentang frekuensi 11,89 GHz sampai 12,475 GHz dengan penyerapan maksimum pada 19,17 dB. Penyerapan kedua pada *bandwidth* -7dB pada rentang frekuensi 14,1 GHz sampai dengan 15,1 GHz dengan penyerapan maksimum pada -14,1 dB.

Dengan pola penyerapan seperti tersebut di atas bahan *strontium hexaferrite* dengan substitusi Mn dan Ti pada Sampel SFO-2 (Mn = 0,5 dan Ti =0,5) dapat dijadikan kandidat sebagai bahan untuk penyerapan gelombang mikro.

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses sintesa bahan magnet paduan *strontium hexaferrite* dengan sistem $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_{2-(x+y)}\text{Mn}_x\text{Ti}_y\text{O}_3$ untuk ($x = 0, y = 0$; $x = 0,4, y = 0,6$; $x = 0,5, y = 0,5$ dan $x = 0,6, y = 0,4$) melalui proses pemaduan mekanik komponen-komponen $\text{SrCO}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{TiO}_2, \text{MnCO}_3$ melalui reaksi padat pada temperatur 1050°C selama 15 jam diperoleh fasa tunggal untuk variasi $x = y$ ($= 0, y = 0$; $x = 0,5, y = 0,5$), dan akan muncul fasa asing untuk variasi $x \neq y$ ($x = 0,4, y = 0,6$; $x = 0,6, y = 0,4$).
2. Substitusi Mn dan Ti ke dalam Fe berpengaruh terhadap sifat-sifat kemagnetan seperti *magnetization saturation* M_s , *magnetic remanence* M_r , dan *coercivity* H_c . Untuk variasi substitusi Mn dan Ti dengan komposisi yang sama $x = y$ (SFO-0 dan SFO-2) diperoleh fasa tunggal *strontium hexaferrite* yang berarti bahwa diperoleh fasa magnetik 100% sehingga diperoleh magnetisasi total yang hampir sama ($63,69$ dan $63,5 \text{ emu} \cdot \text{gr}^{-1}$) dikarenakan persentase fasa magnetiknya yang juga hampir sama dan terjadi penurunan nilai koersifitas dari 1504 Oe menjadi 1145 Oe atau $23,87\%$. Sedangkan untuk variasi substitusi Mn dan Ti dengan komposisi yang tidak sama $x \neq y$ (SFO-1 dan SFO-3) muncul adanya fasa asing selain *strontium hexaferrite* yang berarti bahwa fasa magnetik tidak 100% dan diperoleh magnetisasi total yang hampir sama ($13,28$ dan $12,64 \text{ emu} \cdot \text{gr}^{-1}$) dikarenakan persentase fasa magnetiknya yang juga hampir sama dan terjadi penurunan nilai magnetisasi total sekitar $75,15\%$ dan $80,15\%$ dibandingkan sampel yang memiliki fasa magnetik 100%. Sedangkan efek substitusi Mn dan Ti juga terjadi peningkatan volume yang diikuti penurunan nilai koersifitasnya.

3. Serapan gelombang mikro pada material *strontium hexaferrite* dengan sistem $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_{2-(x+y)}\text{Mn}_x\text{Ti}_y\text{O}_3$ untuk ($x = 0, y = 0$; $x = 0,4, y = 0,6$; $x = 0,5, y = 0,5$ dan $x = 0,6, y = 0,4$) sampel dengan komposisi $x = 0,5$ dan $y = 0,5$ menunjukkan pola serapan yang cukup signifikan. Serapan pertama terjadi pada *bandwidth* -10dB pada rentang frekuensi 11,89 GHz sampai 12,475 GHz dengan penyerapan maksimum pada 19,17 dB. Penyerapan kedua pada *bandwidth* -7dB pada rentang frekuensi 14,1 GHz sampai dengan 15,1 GHz dengan penyerapan maksimum pada -14,1 dB. Sehingga bahan dengan komposisi tersebut bisa dijadikan sebagai kandidat untuk penyerapan gelombang.

5.2 Saran-saran

1. Perlu dilakan kajian pembentukan fasa *strontium hexaferrite* dengan substitusi Mn dan Ti dengan komposisi yang berbeda untuk variasi yang lebih banyak.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai terbentuknya fasa asing untuk substitusi Mn dan Ti yang berbeda dengan perlakuan *rich oxygen* atau *poor oxygen* untuk mengantisipasi kelebihan maupun kekurangan oksigen pada rekasi yang terjadi

DAFTAR REFERENSI

- Burnikell, J. *S-Parameters An Introduction*. www.polarinstruments.com
- Buschow, K.H.J, deBoer, F.R. (2004). *Physic of Magnetism and Magnetic Materials*. Kuwer Academic Publisher. Newyork.
- Drnota, A., Znidarsic, A., Kosak, A. (2010). *Synthesis of Strontium Hexaferrite Nanoparticles Prepared Using Co-precipitation Method and Microemulsion Processing*. Journal of physic: Conference series 200 082005.
- Fang, C.M., Kools, F., Metselaar, R., With, G. de, & Groot, R. A. de. (2003). *Magnetic and Electronic Properties of Strontium Hexaferrite SrFe12O19 from First-Principles Calculations*. Journal of Physics Condensed Matter. 15, 6229-6237.
- Farea, A.M.M., et al. (2009). *Influence of the Doping Ti⁴⁺ Ions on Electrical and Magnetic Properties of Mn_{1-x}Fe_{2-2x}Ti_xO₄ Ferrite*. Journal of alloy and compound 469, 451-457.
- Ghasemi, A., Liu, X., & Morisako, A. (2007). *Magnetic and Microwave Absorption Properties of BaFe_{12-x}(Mn_{0.5}Cu_{0.5}Zr)_{x/2}O₁₉ Synthesized by Sol-gel Processing*. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 316, e105-e108.
- Ghasemi, A., & Morisako, A. (2007). *Structural and Electromagnetic Characteristics of Substituted Strontium Hexaferrite Nanoparticles*. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 320, 1167-1172.
- Gonmezales-Angeles, A., et. al. (2004). *Magnetic Studies of Sn²⁺ - Sn⁴⁺ Substituted Barium Hexeferrites Synthesized by Mechanical Alloying*. Materials Letters, 58, 2906-2910.
- Hikam, M. (2007). *Catatan Kuliah Kristalografi dan Teknik Difraksi*. Program Studi Ilmu Material. Departemen fisika FMIPA. Universitas Indonesia
- <http://uweb.txstate.edu/~wg06/manuals/kerrtracer/hysteresis.htm>
- Ibach, H., Luth, H. (2009). *Solid-State Physics*. fourth edition. Springer. p 219.
- Iqbal, M.J., Ashiq, M.N, Gomez, P.H. (2008). *Affect of Annealing and Substitution of Zr-Cu on Magnet Properties of Strontium Hexaferrite Nanoparticles*. Journal of Phisics, 153(20090 012053
- Kang, D.W., & Yeo, H.G., (2001). *Preparation and Properties of Polyorganosiloxane Rubber Nanocomposite Containing Ultrafine Manganese Zinc Ferrite Powder*. Journal of Ind. Eng. Chem. Vol. 11 No.4, 567-572.
- Ketov, S.V., et al. (2006). *Structure and Magnetic Properties of Nanocrystalline SrFe12O19 Alloy Produced by High-Energy Ball Milling and Annealing*. Journal of magnetism and magnetic materials 300, e479-e481.

- Lu, L., Lai, M.O., & Zhan, S., (1997). *Diffusion in Mechanical Alloying*. Journal of Materials Processing Technology. 67, 100-104.
- Mujamilah et al., (2000). *Vibrating Sample Magnetometer (VSM) Tipe OXFORD VSM1.2H*. Jurnal Nasional Bahan Magnet I. 77-81.
- Muller, J., Collomb, A., (1991). *A New Representation of the Bipyramidal Site in the SrFe₂₀9 M-type Hexagonal Ferrite Between 4.6 and 295 K*. Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 113, 194-203.
- Mustofa, H., Abdullah, Mardiana, A. Noor, B.I. (2008). *Microwave Magnetic Dielectric Properties of Some Cerium Yttrium Garnet*. Journal Sains Malaysia, 37, 202-210.
- Narang, S.B. and Hudiara, I.S. (2006). *Microwave Dielectric Properties of M-Type Barium, Calcium and Strontium Hexaferrite Substituted with Co and Ti*. Journal of Ceramic Processing Research. Vol. 7, No.2, 113-116.
- Obradors, X., Solan, X. (1988). *Crystal Structure of Strontium Hexaferrite SrFe₁₂O₁₉*. Journal of Solid State Chemistry 72, 218-224.
- Pereira, F. M. M., et. al. (2008). *Magnetic and Dielectric Properties of the M-type Barium Strontium Hexaferrite (Ba_xSr_{1-x}Fe₁₂O₁₉) in the RF and Microwave (MW) Frequency Range*. Journal Materials Science Electron, 20, 408-417.
- Pillai, V. et. al. (1993). *Structure and Magnetic Properties of Nanoparticles of Barium Ferrite Synthesized Using Microemulsion Processing*. Colloids and Surface A: Physicochemical and Engineering Aspects. 80, 69-75.
- Popa, P.D., Rezlescu, E., Doroftei, C., Rezlescu, N. (2005). *Influence of Calcium on Properties of Strontium and Barium Ferrites for Magnetic Media Prepared by Combustion*. Journal of Optoelectronics and Advance Materials Vol. 7, 1553-1556.
- Priyono, Manaf, A. (2010). *Magnetic and Absorption Characteristics of Mn and Ti Substituted Barium Hexaferrite for Microwave Absorber*. ICICI-BME 2009 Proceedings.
- Qiu, J., Shen, H., & Gu, M. (2005). *Microwave Absorption of Nanosized Barium Ferrite Particles Prepared Using High-Energy Ball Milling*. Journal of powder technology, 154, 116-119.
- Suryanarayana, C. (2001). *Mechanical Alloying and Milling*. Progress in Materials science 46, 1-184.
- Suryanarayana, C., Ivanove, E., & Boldyrev, V.V., (2001). *The Science and Technology of Mechanical Alloying*. Journal Science and Engineering, A304-306, 151-158.
- Tabatabaie, F., Fathi, M.H., Saatchi, A., Ghasemi, A. (2008). *Effect of Mn-Co and Co-Ti Substituted Ions on Doped Strontium Ferrites Microwave Absorption*. Journal of Alloys and Compounds.

Tabatabaie, F., Fathi, M.H., Saatchi, A., Ghasemi, A. (2008). *Microwave Absorption Properties of Mn- and Ti-Doped Strontium Hexaferrite*. *Journal of Alloys and Compounds*, 332-335

Verma, A., Mendiratta, R.G., Goel, T.C., & Dube, D.C. (2002). *Microwave Studies on Strontium Ferrite Based Absorbers*. *Journal of Electroceramics*, 8, 203-208.

Zheng, H., Yang, Y., Zhou, M., Li, F. (2009). *Microwave Absorption and Mössbauer Studies of Fe₃O₄ Nanoparticles*. *Hyperfine Interact*, 189, 131-136.

