



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**KARAKTERISASI DAN ANALISA SIFAT MAGNETIK DARI  
EFEK SUBSTITUSI UNSUR STRONTIUM PADA MATERIAL MAGNETIK  
BARIUM HEXAFERRITE YANG TERSUBSTITUSI  
TITANIUM DAN MANGAN**

**TESIS**

**PETRUS TIMBUL PUTU WIRYO  
6305002117**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM STUDI PASCA SARJANA ILMU MATERIAL  
JAKARTA  
DESEMBER 2008**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Petrus Timbul Putu Wiryo

NPM : 6305002117

Tanda tangan:

Tanggal : 15 Desember 2008

## HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :  
Nama : Petrus Timbul Putu Wiryo  
NPM : 6305002117  
Program Studi : Ilmu Material  
Judul Tesis : Karakterisasi dan Analisa Sifat Magnetik dari  
Efek Substitusi Unsur Strontium Pada Material  
Magnetik Barium Hexaferrite Yang  
Tersubstitusi Titanium dan Mangan

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Azwar Manaf (.....)  
Penguji I : Dr Bambang Soegijono (.....)  
Penguji II : Dr. Muhammad Hikam (.....)  
Penguji III : Dr. Suharjo Poertadji (.....)

Ditetapkan di : .....  
Tanggal : .....

## KATA PENGANTAR

Syukur kepada Allah Bapa dan terima kasih kepada BundaNya sehingga tesis ini bisa berjalan dan selesai walaupun harus mengalami banyak rintangan. Penulisan tesis ini dibuat dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Ilmu Bahan pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Unievrstias Indonesia

Tesis tersusun atas bimbingan dan kerjasama dari ebrbagai pihak, untuk itu dengan hormat saya ingin menyampaikan terima kasih kepada :

- (1) Dr Azwar Manaf selaku pembimbing yang telah memberikan pengarahan serta kesabaran beliau dalam memberikan bimbingan
- (2) Dr Bambang Soegijono selaku Kepala Jurusan Pasca Sarjana Ilmu Material yang telah memberikan inspirasi dan dukungan di saat terakhir hingga akhirnya tesis ini bisa diselesaikan
- (3) Orang tua saya yang selalu memberi dukungan dan doa
- (4) M. Dachyar Effendi MSi, M Akmal MSi, Pak Pitoyo, Pak Pri, dan teman –teman jurusan yang telah memberikan bantuan dan perhatiannya selama ini

Tesis ini jauh dari sempurna, kritik dan saran dari pembaca sangat berguna untuk melengkapi apa kurang dalam tesis ini.

Semoga bermanfaat

Jakarta, Desember 2008

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR  
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMISI**

---

Sebagai sivitas akademika Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Petrus Timbul Putu Wiryo  
NPM : 6305002117  
Program Studi : Ilmu Material  
Departemen : Fisika  
Fakultas : MIPA  
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 :

“Karakterisasi dan Analisa Sifat Magnetik dari Efek Substitusi Unsur Strontium Pada Material Magnetik Barium Hexaferrite Yang Tersubstitusi Titanium dan Mangan“

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan) dengan Hak Bebas Royalti Non eksklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih-media/ formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data( database) dan mempublikasikantugas akhir saya tanpa meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis / pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta

Demikian pernyataan ini saya buat sebenarnya

Dibuat di : Jakarta  
Pada tanggal : 13 Desember 2008

Yang menyatakan

(Petrus Timbul Putu Wiryo)

## ABSTRAK

Nama : Petrus Timbul Putu Wiryo  
Program Studi : Ilmu Material  
Judul : Karakterisasi dan Analisa Sifat Magnetik dari Efek Substitusi Unsur Strontium Pada Material Magnetik Barium Hexaferrite Yang Tersubstitusi Titanium dan Mangan

Barium hexaferrite telah lama dikenal sebagai magnet permanent dan dikenal pula sebagai bahan yang memiliki struktur keramik dengan komponen utamanya adalah oksida. Oleh karena senyawa oksida memiliki resistivitas yang besar sedangkan Barium hexaferrite sendiri memiliki tingkat kemagnetan yang besar maka bahan ini cukup potensial untuk dikembangkan sebagai penyerap gelombang elektromagnetik.

Dalam studi ini atom Fe secara parsial disubstitusi oleh Mn dan Ti untuk membentuk fase  $(\text{Fe}, \text{MnTi})_2\text{O}_3$ . Kemudian  $\text{Fe}_{1.75}(\text{TiMn})_{0.25}\text{O}_3$  ini dipadukan dengan  $\text{BaCO}_3$  dan  $\text{SrCO}_3$  dalam *high energy vibration ball mill* dan disinter untuk mendapatkan fase  $(\text{Ba}, \text{Sr})\text{O} \cdot 6 (\text{Fe}, \text{MnTi})_2\text{O}_3$ . Ditemukan bahwa fase  $(\text{Fe}, \text{MnTi})_2\text{O}_3$  akan diperoleh setelah disinter pada temperature  $1300^\circ\text{C}$  dan demikian pula halnya dengan fase  $(\text{Ba}, \text{Sr})\text{O} \cdot 6 (\text{Fe}, \text{MnTi})_2\text{O}_3$ . Hasil pemeriksaan sifat magnet menunjukkan penurunan nilai  $M_s$  : dari  $0.267 \text{ emu/g } (\text{Ba}_{0.7} \text{Sr}_{0.3}) \text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$  s/d  $0.22 \text{ emu/g } (\text{Ba}_{0.3} \text{Sr}_{0.7}) \text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ , penurunan  $H_c$  : dari  $15.1 \text{ Oe } (\text{Ba}_{0.7} \text{Sr}_{0.3}) \text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$  s/d  $10.5 \text{ Oe } (\text{Ba}_{0.3} \text{Sr}_{0.7}) \text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$  dan penurunan  $M_r$  : dari  $0.267 \text{ emu/g } (\text{Ba}_{0.7} \text{Sr}_{0.3}) \text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$  s/d  $0.22 \text{ emu/g } (\text{Ba}_{0.3} \text{Sr}_{0.7}) \text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ . Terlihat dengan bertambahnya komposisi Barium (juga artinya penurunan kandungan Sr) maka nilai koersivitas membesar, tingkat saturasi kemagnetan membesar dan nilai remanence juga membesar. Hal ini disebabkan sifat dasar Barium lebih bersifat hard magnet. Sehingga dapat disimpulkan bahwa Strontium (Sr) mengubah Ba-hexaferrite dari hard magnet ke soft magnet.

Kata kunci : *coercivity, tingkat saturasi, substitusi Sr*

## ABSTRACT

Name : Petrus Timbul Putu Wiryo  
Pathway Program : Material Science  
Title : Characterization and analysis on magnetic properties of magnetic material Titanium and Manganese substituted Barium hexa ferrite in addition of Strontium

Barium Hexaferrite is well known as a permanent magnet material. It is a ceramic based which has oxides as its main component . Because oxides have a large resistivity and Barium Hexaferrite has a large magnetization, so this material is potentials for high frequency electromagnetic wave absorbers. In this study, Fe in  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  was partially co-substituted by Manganese and Titanium to form  $\text{Fe}_{1.75}(\text{TiMn})_{0.25}\text{O}_3$ . Together with other alloys component, the  $\text{Fe}_{1.75}(\text{TiMn})_{0.25}\text{O}_3$  was co milled with  $\text{Ba CO}_3$  and  $\text{SrCO}_3$  under high energy vibration ball mill apparatus. All component are mechanically milled and subsequently sintered to form the absorber material,  $(\text{Ba, Sr})\text{O} \cdot 6 (\text{Fe, MnTi})_2\text{O}_3$ . It was found that the fraction of  $(\text{Fe, MnTi})_2\text{O}_3$  was obtained after sintering at  $1300^\circ\text{C}$  for 4 hours. The same condition also applied for  $(\text{Ba, Sr})\text{O} \cdot 6 (\text{Fe, MnTi})_2\text{O}_3$ . The investigation on magnetic properties showed a decrease of Ms value from 267 emu/g  $(\text{Ba}_{0.7}\text{Sr}_{0.3})\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$  s/d 0.22 emu/g  $(\text{Ba}_{0.3}\text{Sr}_{0.7})\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ , an increase of Hc value from 15.1 Oe  $(\text{Ba}_{0.7}\text{Sr}_{0.3})\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$  s/d 10.5 Oe  $(\text{Ba}_{0.3}\text{Sr}_{0.7})\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$  and a decrease of Mr value 0.267 emu/g  $(\text{Ba}_{0.7}\text{Sr}_{0.3})\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$  s/d 0.22 emu/g  $(\text{Ba}_{0.3}\text{Sr}_{0.7})\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ . This indicates that the substitution of Ba replaced Sr by has changed some basic properties of  $\text{BaFe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19}$  from hard magnet to soft magnet

Key word : coercivity, magnetic saturation, Sr substitution

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	
<b>LEMBAR PERSETUUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH</b>	
<b>ABSTARK</b>	
<b>DAFTAR ISI</b>	
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	
<b>1. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	2
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Material magnetik	3
2.2 Barium Heksa ferrite	4
2.3 Sintering	6
2.4 Powder metallurgy	7
2.5 Mechanical Alloying	8
2.6 Sifat magnetik material	
2.6.1 Kurva histeresis	9
2.6.2 Magnet keras dan lunak	10
<b>3. METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Langkah kerja	12
3.2 Diagram Alir	13
3.3 Perhitungan	
3.3.1 Perhitungan $Fe_{1.5}(MnTi)_{0.25}O_3$	14
3.3.2 Perhitungan $Ba_{0.7}Sr_{0.3}Fe_9(MnTi)_{1.5}O_{19}$	15
3.3.3 Perhitungan $Ba_{0.5}Sr_{0.5}Fe_9(MnTi)_{1.5}O_{19}$	16
3.3.4 Perhitungan $Ba_{0.3}Sr_{0.75}Fe_9(MnTi)_{1.5}O_{19}$	17
<b>4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Hasil dan analisa fasa $Fe_{2-x}(MnTi)_xO_3$	19
4.2 Hasil dan analisa $Ba_ySr_{1-y}Fe_9(MnTi)_{1.5}O_{19}$ untuk $y = 0.7$	20
4.3 Hasil dan analisa $Ba_ySr_{1-y}Fe_9(MnTi)_{1.5}O_{19}$ untuk $y = 0.5$	23
4.4 Hasil dan analisa $Ba_ySr_{1-y}Fe_9(MnTi)_{1.5}O_{19}$ untuk $y = 0.3$	25
4.5 Hasil komparasi dengan GSAS	
4.5.1 Untuk $Ba_{0.7}Sr_{0.3}Fe_9(MnTi)_{1.5}O_{19}$	26
4.5.2 Untuk $Ba_{0.5}Sr_{0.5}Fe_9(MnTi)_{1.5}O_{19}$	27
4.6 Kurva histeresis	
4.6.1 Untuk $Ba_{0.7}Sr_{0.3}Fe_9(MnTi)_{1.5}O_{19}$	28
4.6.2 Untuk $Ba_{0.57}Sr_{0.5}Fe_9(MnTi)_{1.5}O_{19}$	29



<b>5</b>	<b>ANALISA DAN KESIMPULAN</b>	
	5.1 Kesimpulan	31
	5.2 saran	32
	<b>DAFTAR REFERENSI</b>	<b>32</b>
	<b>LAMPIRAN</b>	<b>33</b>

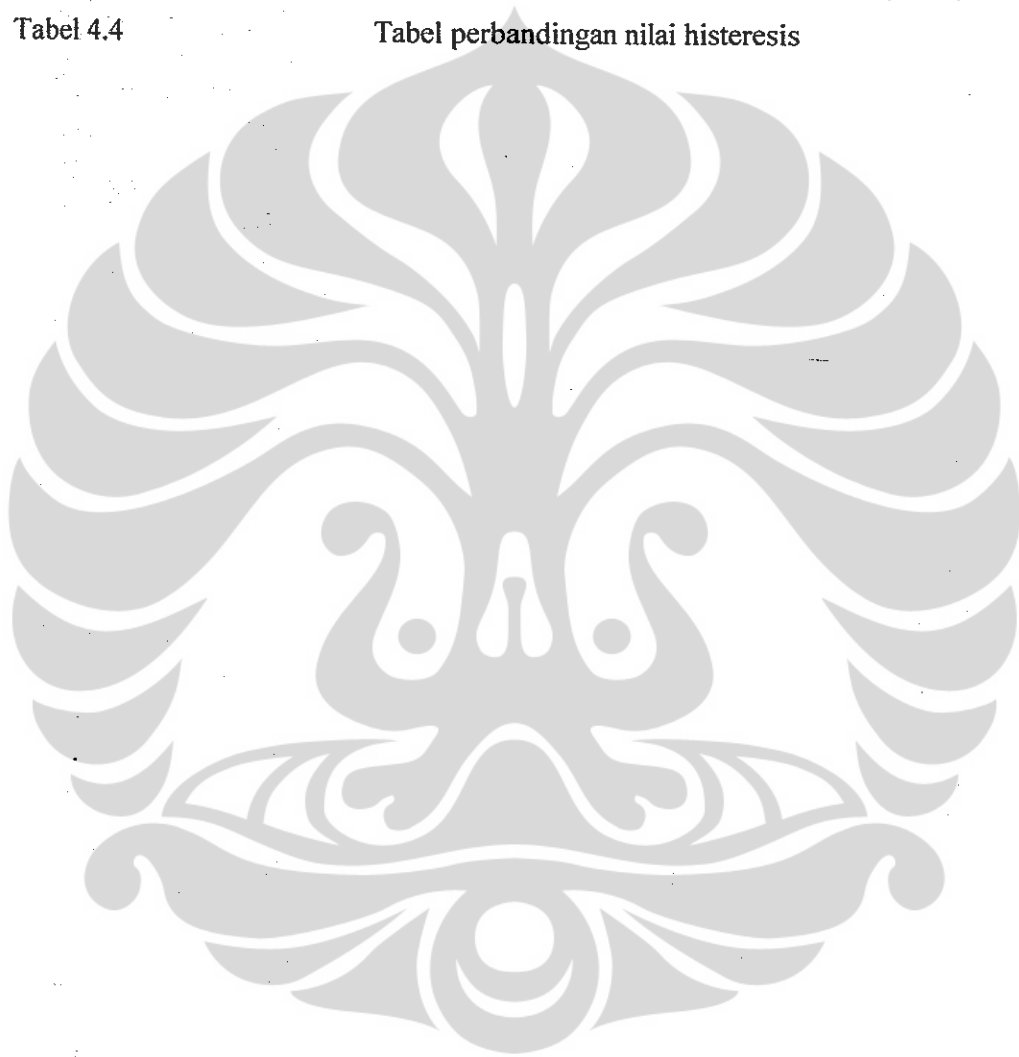


## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Alat Ball Milling
Gambar 2.2	Mekanisme penghalusan material dalam ball mill
Gambar 2.3	Kurva histeresis
Gambar 2.4	Proses yang dialami suatu material akibat medan magnet luar
Gambar 2.5	Berbagai bentuk kurva histeresis
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian
Gambar 4.1	Hasil XRD untuk $\text{Fe}_{1.5}(\text{MnTi})_{0.25}\text{O}_3$
Gambar 4.2	Hasil XRD untuk $\text{Fe}_{1.5}(\text{MnTi})_{0.25}\text{O}_3$ dengan d spacing setelah background subtraction
Gambar 4.3	Hasil XRD untuk $\text{Ba}_{0.7}\text{Sr}_{0.3} \cdot \text{Fe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19}$
Gambar 4.4	Hasil XRD untuk $\text{Ba}_{0.7}\text{Sr}_{0.3} \cdot \text{Fe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19}$ dengan nilai d spacing tanpa background subtraction
Gambar 4.5	Hasil XRD untuk $\text{Ba}_{0.7}\text{Sr}_{0.3} \cdot \text{Fe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19}$ dengan nilai d spacing tanpa background subtraction
Gambar 4.6	Hasil XRD untuk $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5} \cdot \text{Fe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19}$
Gambar 4.7	Hasil XRD untuk $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5} \cdot \text{Fe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19}$ dengan nilai d spacing tanpa background subtraction
Gambar 4.8	Hasil XRD untuk $\text{Ba}_{0.3}\text{Sr}_{0.7} \cdot \text{Fe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19}$
Gambar 4.9	Hasil GSAS untuk $\text{Ba}_{0.7}\text{Sr}_{0.3} \cdot \text{Fe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19}$
Gambar 4.10	Hasil GSAS untuk $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5} \cdot \text{Fe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19}$
Gambar 4.11	Kurva histeresis untuk $\text{Ba}_{0.7}\text{Sr}_{0.3} \cdot \text{Fe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19}$
Gambar 4.12	Kurva histeresis untuk $\text{Ba}_{0.7}\text{Sr}_{0.3} \cdot \text{Fe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19}$ yang diperbesar
Gambar 4.13	Kurva histeresis untuk $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5} \cdot \text{Fe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19}$
Gambar 4.14	Kurva histeresis untuk $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5} \cdot \text{Fe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19}$ yang diperbesar

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Tabel nilai d spacing untuk $\text{Fe}_{1.5}(\text{MnTi})_{0.25}\text{O}_3$
Tabel 4.2	Tabel nilai d spacing untuk $\text{Ba}_{0.7}\text{Sr}_{0.3} \cdot \text{Fe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19}$
Tabel 4.3	Tabel nilai d spacing untuk $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5} \cdot \text{Fe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19}$
Tabel 4.4	Tabel perbandingan nilai histeresis



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Material magnet berbahan dasar *ferrite* amat populer digunakan saat ini. Beberapa keunggulan yang dimiliki bahan magnet ini adalah sifat anisotropi magnetokristalin, suhu Curie yang relatif tinggi dan tingkat saturasi magnet yang cukup besar. Selain itu keunggulan lain yang dimilikinya adalah ketahanan yang baik terhadap korosi, stabil terhadap pengaruh luar seperti temperatur, tekanan dan medan magnet luar.

Metode yang akan dipakai untuk mendapatkan material berukuran nano tersebut adalah *powder metallurgy* yakni dengan teknik *mechanical alloy*. Metode ini memiliki keunggulan dari segi kemudahan pengoperasian serta biaya yang relatif murah. Namun hal yang patut diperhatikan adalah kemungkinan tercemarnya bahan yang *dimilling* dengan material penghancur. Salah satu antisipasi yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan material penghancur yang jenisnya sama dengan bahan yang *dimilling*.

Dengan nilai resistivitas yang tinggi, material magnet berbahan dasar ferrite memiliki sifat absorpsi gelombang elektromagnetik pada daerah Ultra High Frequency (UHF) dan gelombang mikro serta hanya sedikit mengalami *eddy current*. Karena keunikannya ini, aplikasi dari material magnet berbahan dasar ferrite adalah pada sirkulator *microwave*, inductor radio dan bahkan pada material anti deteksi radar (pesawat siluman –STEALTH).

### 1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan umum dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

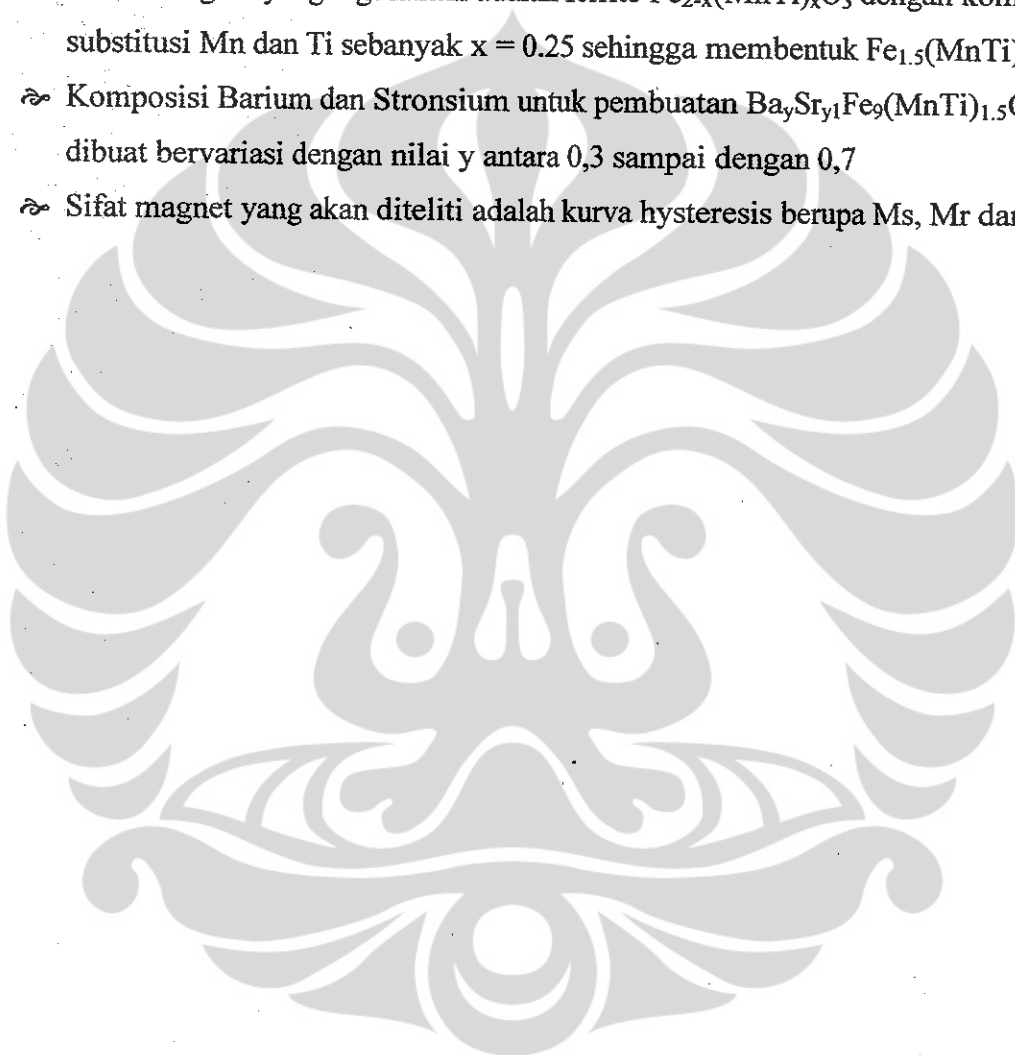
- Mendapatkan komposisi yang tepat dari bahan substitusi Mn dan Ti pada bahan ferrite berstruktur partikel nano sehingga bahan magnet ini memiliki nilai resistivitas tinggi serta kemampuan absorpsi gelombang mikro yang baik

- Didapat bahan magnet ferrite yang memiliki tingkat saturasi tinggi namun dengan rentang coercitivity kecil

### 1.3 Ruang lingkup

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Bahan magnet yang digunakan adalah ferrite  $\text{Fe}_{2-x}(\text{MnTi})_x\text{O}_3$  dengan komposisi substitusi Mn dan Ti sebanyak  $x = 0.25$  sehingga membentuk  $\text{Fe}_{1.5}(\text{MnTi})_{0.25}\text{O}_3$
- Komposisi Barium dan Stronsium untuk pembuatan  $\text{Ba}_y\text{Sr}_{1-y}\text{Fe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19}$  dibuat bervariasi dengan nilai  $y$  antara 0,3 sampai dengan 0,7
- Sifat magnet yang akan diteliti adalah kurva hysteresis berupa  $M_s$ ,  $M_r$  dan  $H_c$



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Material Magnetik

Suatu bahan dapat bersifat ferromagnetik, paramagnetik dan diamagnetik. Ferromagnetik adalah jenis magnet yang memiliki harga remanen magnet, suseptibilitas yang positif dan besar, banyaknya electron yang tidak berpasangan. Pada keadaan temperatur Curie, jenis ini berubah menjadi paramagnetik. Temperatur Curie adalah temperatur kritis dimana fase magnetik bertransisi dari konfigurasi magnetik yang teratur menjadi tidak teratur. Ferromagnetik berubah menjadi diamagnetik.

Sifat-sifat magnetik suatu bahan ditimbulkan akibat adanya perputaran dan pergerakan elektron yang mengelilingi inti atom. Perputaran elektron yang berlawanan akan menetralkan satu sama lain tapi ketika ada kelebihan perputaran electron dalam satu arah maka akan timbul medan magnet. Material magnetik dapat dikelompokkan menjadi magnet permanent dan non permanent. Magnet permanent adalah magnet yang dapat mempertahankan sifat kemagnetannya sekalipun magnet tersebut tidak lagi berada dalam medan magnet luar. Sedangkan magnet non permanent tidak dapat mempertahankan kemagnetannya.

Sejauh ini bahan magnet permanent yang paling banyak digunakan adalah ferrit. Bahan magnet ferrit ini banyak digunakan karena terutama memiliki *low cost* dan tersedia dalam jumlah yang melimpahdi alam. Magnet ferrit terbuat dari oksida besi  $Fe_2O_3$ . Jenis ferrit ada dua yakni ferrit lunak (*soft ferrite*) dan ferrit keras (*hard ferrite*). Rumus kimia dari ferit lunak adalah  $MO.Fe_2O_3$  sedangkan untuk ferrit keras memiliki rumus  $MO. 6Fe_2O_3$ , dimana M adalah unsur logam yang memiliki struktur kubus berpusat ruang (BCC) seperti Barium atau Stronsium. Jenis ferrit ini biasanya memiliki struktur heksagonal. Perbedaan kedua jenis ferrit ini adalah ferrit keras memiliki derajat anisotropi magnetic yang lebih tinggi

## 2.2 Barium Heksa ferrite

Heksaferrite merupakan senyawa ferrit dengan formula  $MO \cdot nFe_2O_3$  (*magneto plumbite*) dengan M adalah unsur Ba, Sr dan Pb serta memiliki struktur heksagonal. Senyawa ferrite keras merupakan jenis keramik magnetic yang memiliki rumus molekul  $MO \cdot 6Fe_2O_3$  dan unsur M yang biasa digunakan adalah Ba dan Sr sehingga membentuk Barium heksaferrite ( $BaO \cdot 6 Fe_2O_3$ ) dan Stronsium heksaferrite ( $SrO \cdot 6Fe_2O_3$ )

Kedua jenis keramik magnetic ini dapat diproses dengan teknik konvensional yakni *powder metallurgy*. Komposisi  $BaO \cdot 6Fe_2O_3$  adalah 14 % BaO dan 86 %  $Fe_2O_3$ . Persamaan kimia pembentukan Barium Heksaferrite dari Barium karbonat dan ferrit oksida adalah



$BaO \cdot 6Fe_2O_3$  digunakan secara luas dalam industri elektronik sebagai magnet permanent, seperti peralatan microwave dan media penyimpanan data sebab memiliki sifat-sifat magnet yang baik. Material ini memberikan banyak kelebihan karena memiliki magnetisasi total dan medan anisotropi yang relative tinggi serta ketahanan terhadap korosi dan stabilitas kimia yang baik. Berbagai macam teknik dikembangkan dalam mensintesis  $BaO \cdot 6Fe_2O_3$  seperti metode co precipitation, hydrothermal sythesis, sol-gel, mikroemulsi dan kristalisasi gelas dan lainnya.

Tahun 1952 adalah tahun kelahiran dari material magnet dengan berbahan dasar ferrite. Material ini disintesis pertama kali oleh Philips dan dipasarkan dengan merek dagang Ferroxedure [1]. Sejak saat itu magnet ferrite yang memiliki rumus kimia  $BaO_6Fe_2O_3$  menjadi populer sebagai bahan dasar magnet permanent. Antara lain dapat disebutkan keunggulan bahan ini adalah sifat anisotropi magnetokristalinya, temperatur Curie yang tinggi serta saturasi magnetisasi yang besar. Kelebihan lain adalah kestabilannya terhadap pengaruh luar seperti temperatur, medan magnet luar, pengaruh kimia serta tahan korosi. Tingkat resistivitasnya yang besar membuatnya cocok untuk diaplikasikan untuk alat yang bekerja pada frekuensi gelombang elektromagnetik yang tinggi.

Material magnet berbahan dasar ferrite memiliki aplikasi yang cukup luas sebagai magnet keras (*Hard magnets*) maupun magnet lunak (*soft Magnets*). Sebagai material magnet permanent banyak ditemukan dalam kelas Hexa ferrite  $MFe_{12}O_{19}$  ( $M = Ba, Sr, Pb$  dll) atau Spinnel dalam tipe Z, Tipe Y dan lain lain. Sebagai material magnet tak permanent sering dijumpai  $MnFe_2O_4$ ,  $MnZnFeO_4$ ,  $MnNiFeO_4$  dll. Ferrite pada umumnya memiliki resistivitas yang tinggi sehingga sangat baik beroperasi pada frekuensi yang cukup tinggi tanpa terjadi lost energi yang disebabkan oleh Eddycurrent, bahkan beberapa material ferrite mampu beroperasi pada frekuensi puluhan hingga ratusan GHz [2]. Pergeseran permeabilitas magnetic  $SrFe_{12}O_{19}$  dari 1.2 Hingga 1.8 pada daerah frekuensi satu GHz diinformasikan oleh Sivakumar et al [3]. Material yang sama, tetapi dengan substitusi ion Zn dan Nb ke dalamnya membentuk fasa  $SrFe_{12-x}(Zn_{0.7}Nb_{0.3})_xO_{19}$  diteliti oleh Fang dkk [4] dan diinformasikan terjadi pergeseran parameter kisi dan koersifitas serta temperatur Curie. Perubahan temperatur Curie juga diinformasikan oleh Sudakar dkk[5] pada *barium hexaferrite* tipe M dan Y yang disubstitusi dengan Nikel mengalami pergeseran dari  $450\text{ }^{\circ}C$  hingga  $630\text{ }^{\circ}C$ . Wu dkk [6] mensubstitusi Fe dengan ion Co dan Ti membentuk fasa  $BaCo_xTi_xFe_{12-2x}O_{19}$  ( $x=0-0,4$ ) menginformasikan adanya frekuensi resonansi pada daerah 0.1 hingga 10 Ghz. Hasil yang mirip diinformasikan oleh Hong dkk [7] dan M.R. Meshram[8] hasil sintesis material  $Ba(MnTi)_xFe_{12-2x}O_{19}$  ( $x = 0-2$ ) dengan teknik sol-gel.

Aplikasi material magnet berbahan dasar ferrite ini mencakup magnet keras (*hard magnet*) serta magnet lunak (*soft magnet*). Penggunaannya sebagai magnet permanent banyak ditemukan untuk kelas Hexagonal ferrite  $MFe_{12}O_{19}$  ( $M = Ba, Sr, Pb$  dll) serta kelas Spinnel dalam tipe Z, Tipe Y dan lain-lainnya. Sedangkan untuk magnet tak permanent sering dijumpai dalam bentuk  $MnFe_2O_4$ ,  $MnZnFeO_4$ ,  $MnNiFeO_4$  dll.

Material *ferrite* umumnya memiliki nilai resistivitas yang tinggi sehingga pada pengoperasiannya di frekuensi yang relatif tinggi tidak mengalami lost energi yang berarti akibat dari *eddy current*. Dewasa ini bahkan ditemukan beberapa jenis *ferrite* yang mampu beroperasi pada frekuensi hingga ratusan GHz. Sivakumar et al



menginformasikan pergeseran permeabilitas magnetic pada material  $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$  dari 1.2 menjadi 1.8 pada daerah frekuensi 1 GHz [3]. Pada material yang sama namun dilakukan substitusi dengan Zn dan Nb dan membentuk fasa  $\text{SrFe}_{12-x}(\text{Zn}_{0.7}\text{Nb}_{0.3})_x\text{O}_{19}$ , diteliti oleh Fang dkk [4], diinformasikan terjadi pergeseran parameter kisi dan koersifitas serta temperatur Curie. Perubahan temperatur Curie ini juga diinformasikan oleh Sudakar dkk[5] pada *barium hexaferrite* tipe M dan Y yang disubstitusi dengan Nikel mengalami pergeseran dari  $450^\circ\text{C}$  hingga  $630^\circ\text{C}$ . Wu dkk [6] mensubstitusi Fe dengan ion Co dan Ti membentuk fasa  $\text{BaCo}_x\text{Ti}_x\text{Fe}_{12-2x}\text{O}_{19}$  ( $x=0-0,4$ ) menginformasikan adanya frekuensi resonansi pada daerah 0.1 hingga 10 Ghz. Dengan teknik sol-gel hasil yang mirip diinformasikan oleh Hong dkk [10] and M.R. Meshram [11] hasil sintesis material  $\text{Ba}(\text{MnTi})_x\text{Fe}_{12-2x}\text{O}_{19}$  ( $x = 0-2$ ).

Penelitian ini membahas hasil studi modifikasi struktur  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dengan cara substitusi ion Mn dan Ti serta melalui preparasi material yang menggunakan teknik *mechanical alloying* menggunakan komponen-komponen pepadu berupa senyawa oksida  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dengan  $\text{MnCO}_3$  dan  $\text{TiO}_2$  sebagai langkah awal dalam mensintesis material  $\text{Ba}(\text{MnTi})_x\text{Fe}_{12-2x}\text{O}_{19}$ . Sedangkan sampel yang akan diuji akan dibuat dalam ukuran nanokristal.

### 2.3 Sintering

Sintering adalah proses pemanasan dimana partikel terikat satu sama lain secara fisik pada temperatur sedikit di bawah titik leburnya dengan adanya perpindahan secara atomic. Pada proses ini sample dipanaskan dalam temperatur tinggidegan atmosfer yang dikontrol. Adapun tujuan dari proses ini adalah meningkatkan densitas dari sample.

Perubahan struktur yang terjadi selama sintering dipengaruhi oleh perpindahan massa dari satu daerah ke daerah lainnya di dalam sample. Di dalam sinter terjadi perpindahan massa yang mekanismenya didominasi oleh difusi dalam keadaan padat melalui kisi kristal. Permukaan partikel dan batas butir dari perpindahan massa juga terjadi karena adanya tegangan permukaan yang terdapat pada ikatan antar partikel melalui deformasi plastis pada tahap awal sinter ketika

radius kelengkungan ikatan sangat kecil. Proses difusi pada sinter sebenarnya merupakan pengisian kekosongan dari kisi di dalam material atau sama dengan pergerakan atom pada arah yang berlawanan dengan kekosongan.

## 2.4 Powder Metallurgy

*Powder metallurgy* adalah proses yang telah digunakan selama lebih dari 60 tahun untuk memproduksi berbagai jenis komponen. *Powder metallurgy* pada dasarnya adalah proses mengubah serbuk logam menjadi bentuk yang diinginkan. Proses *Powder metallurgy* melibatkan aplikasi termal dan deformasi serbuk.

Teknologi *Powder metallurgy* terus berkembang, kebanyakan melibatkan material metal dan alloy dan varietas yang luas. Teknologi ini juga termasuk teknologi manufaktur yang dapat diandalkan untuk produk yang mengandung besi atau tidak.

Pertumbuhan *Powder metallurgy* belakangan ini sebagian besar disebabkan karena kelebihanannya menghemat biaya dibandingkan dengan metode pembuatan logam dengan cara casting.

Kelebihan *Powder metallurgy* adalah kemampuannya menghasilkan komponen yang rumit dengan kualitas tinggi, serta toleransi dimensi yang ketat dengan cara yang ekonomis. Contoh produk yang dihasilkan dengan *Powder metallurgy* adalah filament lampu pijar, bantalan dengan sedikit pelumas, roda gigi transmisi pada otomotif, kontak elektronik, elemen bahan bakar nuklir, komponen mesin dan masih banyak lagi.

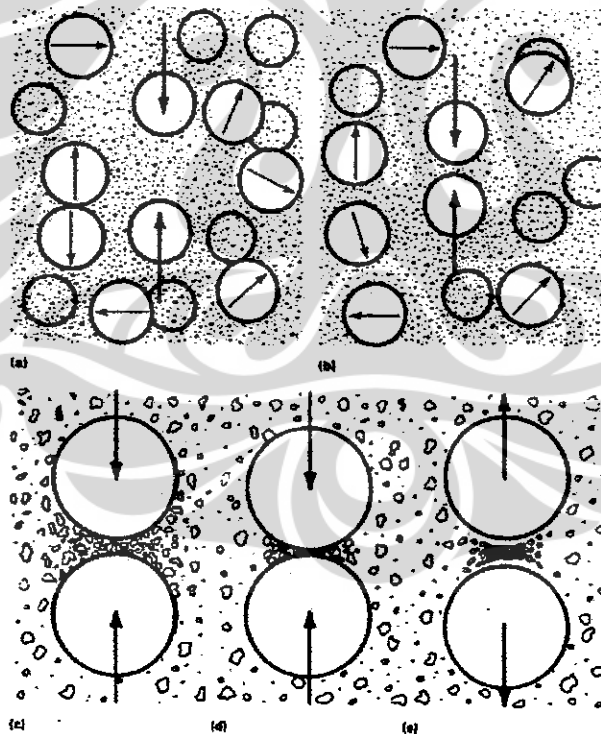


Gambar 2.1 alat ball mill

## 2.5 Mechanical Alloying

*Mechanical Alloying* adalah teknik yang simple namun sangat berguna untuk mensistesis dua atau lebih material. Perbedaan dari *powder metallurgy* yang sama-sama menggunakan peralatan milling adalah pada proses yang terjadi pada saat milling. Pada *powder metallurgy*, bahan yang dimiling adalah satu fasa dan tujuan milling adalah memperkecil ukuran butiran sehingga lebih halus. Sedangkan pada proses *mechanical alloying*, bahan yang dimiling berjumlah dua atau lebih dan hasil yang diharapkan adalah setelah proses didapatkan bahan yang tersubstisusi. Biasanya bahan yang dibuat dengan proses ini adalah jenis keramik. Proses *mechanical alloying* ini dikembangkan pertama kalinya pada akhir tahun 1960 oleh John S. Benyamin di Laboratorium Paul Merica, International Nickel Company (INCO).

Dalam proses *mechanical alloying* terjadi pengurangan ukuran butir dan substitusi yang diakibatkan oleh tumbukan yang terus menerus antar bola logam di dalam alat milling.



Gambar 2.2 Mekanisme penghalusan material dalam ball mill

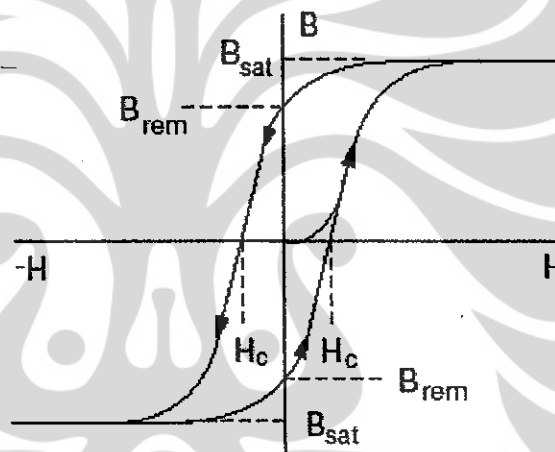
Keuntungan dari proses ini adalah biaya yang relatif murah dan mudah dalam pengoperasiannya.

## 2.6 Sifat magnetik material

### 2.6.1 Kurva histeresis

Kata histeresis berarti keterlambatan. Histeresis memiliki makna suatu tendensi untuk bereaksi secara lambat terhadap suatu pengaruh luar atau bisa juga diartikan tidak kembalinya keadaan semula apabila pengaruh luar dihilangkan.

Pada bahan magnetik yang dikenai medan magnet luar sebesar  $H$  maka akan terjadi magnetisasi pada material sebesar  $B$  yang kurvanya digambarkan sebagai berikut

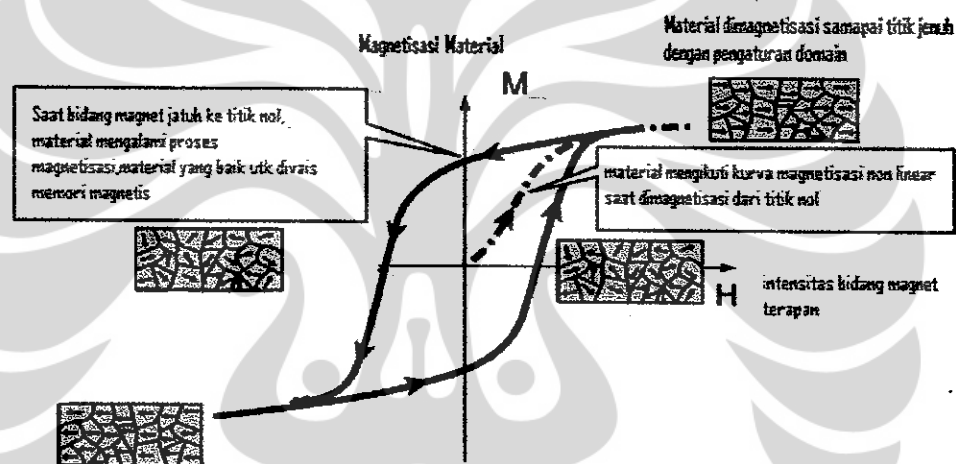


Gambar 2.3 Kurva histeresis

Pada awalnya bahan belum memiliki kemagnetan kemudian bahan dikenai medan magnet  $H$  yang nilainya semakin besar yang membuat bahan mengalami magnetisasi  $B$  yang nilainya juga semakin besar. Pada suatu saat tertentu, pertambahan nilai  $H$  tidak membuat nilai  $B$  menjadi naik, maka nilai  $B$  ini disebut nilai  $B_{\text{saturation}}$ . Kemudian medan magnet  $H$  diturunkan nilainya, nilai  $B$  pun turun bersamaan. Namun disini mulai terjadi histeresis dimana kurva tidak lagi mengikuti jalur awalnya.

Pada saat medan magnet  $H$  mencapai nilai nol ternyata karena fenomena histeresis, ada sebagian efek magnet yang masih terdapat pada bahan. Nilai  $B$  ini disebut

$B_{\text{remanen}}$ . Medan magnet  $H$  kemudian dinaikan besarnya kembali namun dalam arah yang berkebalikan. Nilai  $B$  pun ikut turun. Posisi nilai  $H$  dimana material benar-benar kehilangan efek magnetnya,  $B = 0$  disebut  $H_{\text{coercivity}}$ . Nilai  $H$  dinaikan terus secara bertahap dan material mulai termagnetisasi dalam arah yang terbalik hingga pada saat tertentu kembali terjadi pertambahan nilai  $H$  tidak akan menambah kemagnetan pada bahan. Disini terjadi  $B_{\text{saturasi}}$  kembali. Lalu medan magnet luar kembali diturunkan dan proses yang terjadi akan mirip dengan kondisi pada keadaan pertama dan pada akhirnya apabila diplot dalam bentuk grafik akan terbentuk kurva histeresis dari medan magnet vs kemagnetan pada bahan.

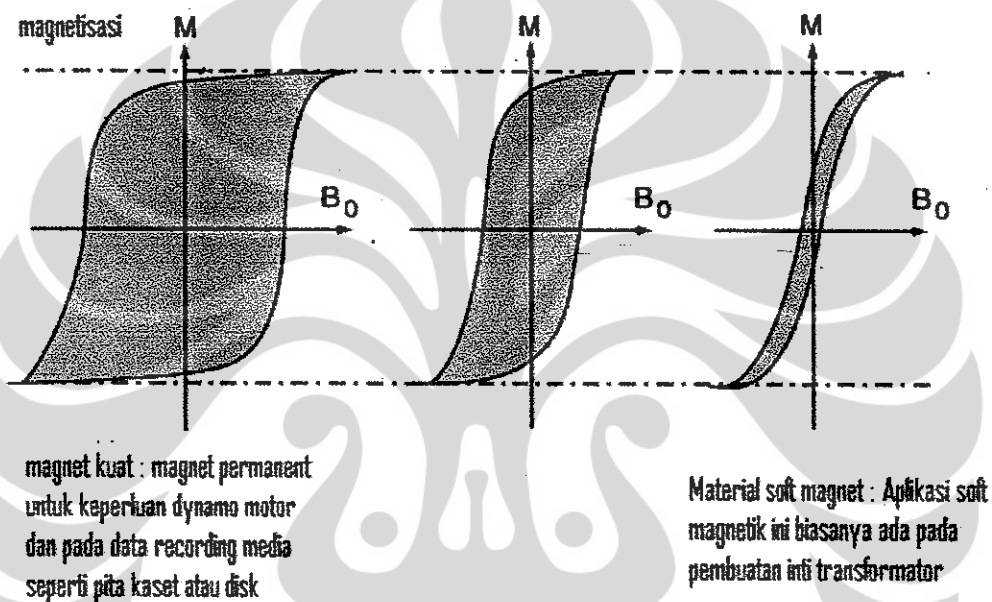


Gambar 2.4 Proses yang dialami suatu material akibat medan magnet luar

### 2.6.2 Magnet keras dan lunak (*Hard and soft magnet*)

Material yang dikategorikan sebagai magnet kuat adalah material yang dapat menyimpan kemagnetannya secara kuat setelah medan magnet luar yang dikenakan padanya dihilangkan. Dalam hal ini, magnet tersebut memiliki nilai  $B_{\text{remanen}}$  yang besar. Aplikasi magnet kuat ini antara lain sebagai magnet permanent untuk keperluan dynamo motor dan pada data recording media seperti pita kaset atau disk.

Material soft magnet adalah material yang tidak memerlukan nilai  $H$  yang besar untuk menghilangkan efek kemagnetannya. Kurva histeresis yang terjadi adalah berbentuk ramping dengan nilai  $H_{\text{coercivity}}$  relative kecil. Aplikasi soft magnetik ini biasanya ada pada pembuatan inti transformator yang berguna untuk meminimalkan efek *eddy current*.



Gambar 2.5 Berbagai bentuk kurva histeresis

Pada studi ini, bahan magnet yang digunakan adalah material untuk bahan magnet keras yakni material yang memiliki bahan dasar Barium hexa ferrite, namun akan dimodifikasi dengan cara substitusi oleh unsur lain sehingga didapat nilai  $B_{\text{satursasi}}$  yang tinggi namun memiliki  $H_{\text{coercivity}}$  yang kecil.

### BAB III

## METODE PENELITIAN

### 3.1 Langkah kerja

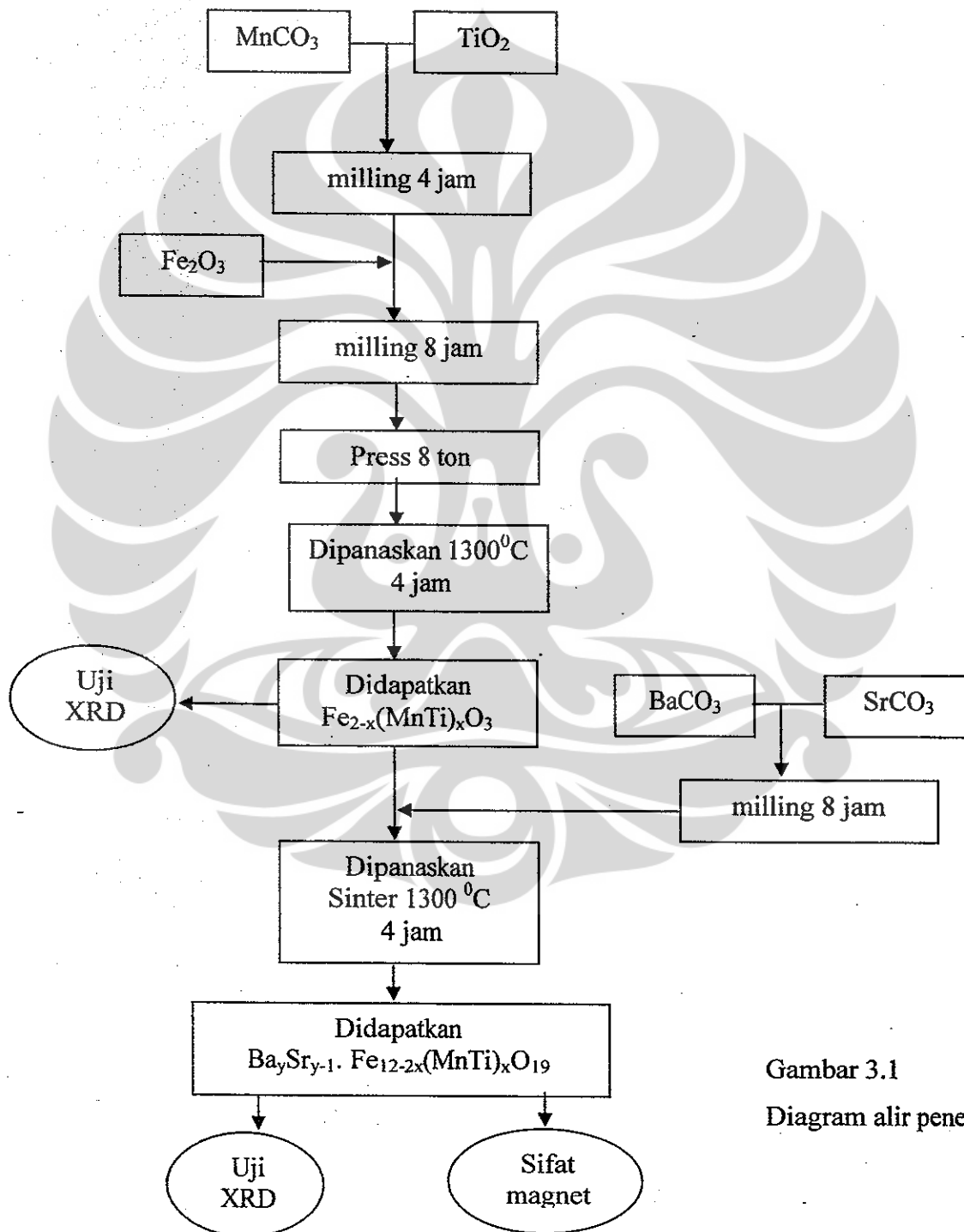
Senyawa substitusi  $(\text{Fe},\text{MnTi})_2\text{O}_3$  atau dalam hal ini ditulis secara lebih lengkap dengan nama  $\text{Fe}_{2-x}(\text{MnTi})_x\text{O}_3$  diperoleh melalui suatu proses pemaduan mekanik atau dikenal dengan nama *mechanical alloying*. Dalam hal ini senyawa  $\text{MnCO}_3$  dan  $\text{TiO}_2$  masing-masing digunakan sebagai sumber Mn dan Ti. Kedua senyawa ini dipadukan dengan senyawa oksida  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Proses berjalan 2 tahap. Tahap 1 senyawa oksida  $\text{MnCO}_3$  dan  $\text{TiO}_2$  menjalani proses milling selama 4 jam dan pada tahap 2 proses dilanjutkan dengan pemaduan bersama  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  selama 8 jam menggunakan *vibration ball mill*. Serbuk halus yang dihasilkan kemudian dipadatkan melalui penekanan satu arah oleh gaya beban seberat 8 ton terhadap serbuk yang berada di dalam satu cetakan. Langkah ini menghasilkan padatan muda (*green compact*). Selanjutnya padatan muda ini menjalani proses sintering pada temperatur  $1300\text{ }^\circ\text{C}$  selama 4 jam sesuai dengan langkah yang dilakukan oleh peneliti terdahulu. Untuk mengetahui fasa yang terbentuk, hasil sintering kemudian diuji dengan XRD.

Apabila senyawa  $\text{Fe}_{2-x}(\text{MnTi})_x\text{O}_3$  telah terbentuk maka pembuatan senyawa magnetik  $(\text{Ba},\text{Sr})\text{O} \cdot 6(\text{Fe}, \text{MnTi})_2\text{O}_3$  dilaksanakan kembali dengan melalui proses mekanikal alloying yang menjadi sasaran penelitian ini.

Pengujian XRD dilakukan dibawah tegangan dan arus kerja 40kV 230mA menggunakan radiasi  $\text{CoK}\alpha$  yang memiliki  $\lambda_{\text{Co}} = 1.78897\text{ \AA}$  dengan mesin Philips analytical PW3710. Rentang sudut difraksi untuk tujuan identifikasi adalah  $20^\circ$  sampai dengan  $100^\circ$ . Adapun identifikasi fasa yang terbentuk  $d_{\text{spacing}}$  terukur dengan  $d_{\text{spacing}}$  dalam database. Perangkat lunak Xpovder ver. 2004.04.46 PRO (J.D. Martin, 2004, [www.xpovder.com](http://www.xpovder.com)) digunakan dalam banyak hal, diantaranya mengetahui  $d_{\text{spacing}}$  dari tiap-tiap puncak, mencocokkan pola difraksi sampel terhadap pola difraksi acuan, menghitung ukuran butiran dengan metode scherrer dan FWHM, Match! Ver. 1.7b ([www.crystalimpact.com](http://www.crystalimpact.com)) digunakan untuk menduga fasa yang dihasilkan dan digunakan sebagai perangkat lunak pembanding, dan GSAS

digunakan untuk melakukan refinement terhadap parameter dari fasa yang diduga. Pengujian sifat kemagnetan material hasil sintesis dilakukan dengan Permagraph yang dapat dioperasikan sampai dengan 2 Tesla.

### 3.2 Diagram alir Metode Penelitian



Gambar 3.1  
Diagram alir penelitian

Universitas Indonesia



## BAB IV PEMBAHASAN

### 4.1. analisis struktur kristal dan fasa-fasa terbentuk

#### Struktur kristal

Dari table dibawah, dapat disimpulkan bahwa senyawa Ba fe<sub>12</sub> O<sub>19</sub> dan senyawa barium hexaferrite dengan doping baik pada atom ba maupun fe dengan satu atau lebih unsur pendopping, memperlihatkan struktur kristal yang sama, dengan perbandingan parameter kisi a /c rata-rata adalah 0.2536. dengan demikian, struktur perkiraan dari Ba<sub>y</sub>Sr<sub>1-y</sub>. Fe<sub>9</sub>(MnTi)<sub>1.5</sub>O<sub>19</sub> sama dengan senyawa-senyawa turunan dari barium hexaferrite lainnya.

Table 4.1. daftar Senyawa acuan untuk memprediksi struktur kristal dan parameter kisi dari ba-hexaferrite dengan doping sr, mn dan ti

SENYAWA	Struktur kristal			keterangan	
	Space group	System kristal	Parameter kisi	Data entry match!	Sumber asli
(Pb <sub>0.98</sub> Ba <sub>0.02</sub> ) (Fe <sub>9.37</sub> Mg <sub>0.25</sub> Mn <sub>1.8</sub> Sb <sub>0.58</sub> ) O <sub>19</sub>	P 63 / m m c	hexagonal	A = 5.9020 C = 23.1850 a/c = 0.2545	99-100-4644	AMCSD
Ba Fe <sub>12</sub> O <sub>19</sub>	P 63 / m m c	hexagonal	A = 5.865 C = 23.0990 a/c = 0.2539	99-200-2321	COD 1008328
Ba (fe 3.84 Co 4.1 Ti4.06) O <sub>19</sub>	P 63 m m c	hexagonal	A = 5.9062 C = 23.3420 a/c = 0.2530	99-200-1660	COD 1006065
Ba (Fe <sub>2.14</sub> Al <sub>9.86</sub> ) O <sub>19</sub>	P 63 / m m c	hexagonal	A = 5.6286 C = 22.2030 a/c = 0.2535	99-200-1601	COD 1006006
Ba (Fe 3.44 Al <sub>8.56</sub> ) O <sub>19</sub>	P 63 / m m c	hexagonal	A = 5.6916 C = 22.4030 a/c = 0.2540	99-200-1600	COD 1006005
Ba (Fe 10.288 Co 0.856 Ti 0.856) O <sub>19</sub>	P 63 / m m c	hexagonal	A = 5.8856 C = 23.1750 a/c = 0.2539	99-101-1406	AMCSD 247-250
(Ba 0.84 Na 0.06 K 0.05Sr 0.05) Fe <sub>9.363</sub> Mg 0.305 Ti 2.328 O <sub>19</sub>	P 63 / m m c	hexagonal	A = 5.9090 C = 23.3690 a/c = 0.2528	99-101-1067	AMCSD
Ba <sub>y</sub> Sr <sub>1-y</sub> . Fe <sub>9</sub> (MnTi) <sub>1.5</sub> O <sub>19</sub>	P 63 / m m c *	Hexagonal *	a/c = 0.2536 *	-	-

\*. = diduga, karena memiliki pola MO.n Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dimana semua senyawa yang memiliki strktur demikian akan berstruktur heksagonal

Untuk membuktikan dugaan diatas, analisis GSAS dilakukan dengan memasukkan asumsi-asumsi dasar tersebut dan dilakukan olahan terhadap data xrd yang didapat. GSAS merupakan software penganalisis struktur kristal berdasarkan hasil xrd. Metode ini memerlukan tambahan informasi seperti data fasa-fasa yang mungkin terbentuk, besarnya parameter kisi, space group yang dimiliki serta posisi atom. Tambahan data ini bias didapatkan dari pearson handbook ataupun dari icdd. Dalam hal ini program match! Adalah perangkat lunak yang dipakai untuk membaca sumber data yang bearsal dari amcsd, COD dan PDF seperti terlihat pada table diatas. Tambahan informasi untuk senyawa barium hexaferrite dengan doping mn ti dan sr yang diperlihatkan pada table diatas digunakan sebagai informasi tambahan yang akan diolah dengan program GSAS. Hasil akhir yang baik adalah ketika dilakukan *refinement*, akan didapatkan hasil yang konvergen dan nilai reduksi yang kecil. Nilai reduksi maksimum adalah 1, yang menunjukkan bahwa hasil keluaran gsas sama dengan sampel yang diuji. Dengan demikian, jika hasil keluaran output menunjukkan besarnya nilai reduksi bahkan tidak tercapai konvergensi, maka parameter-parameter dugaan yang diberikan sebagai input GSAS perlu dikaji ulang.

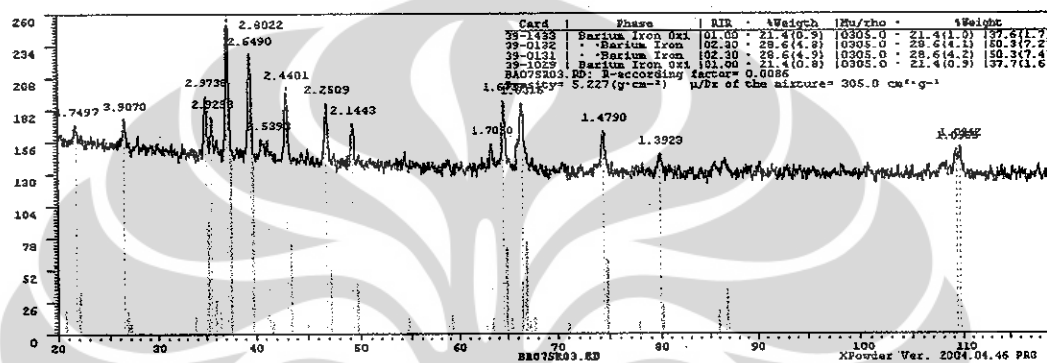
#### 4.2. Hasil analisis sampel $Ba_{0.7}Sr_{0.3}Fe_9(MnTi)_{1.5}O_{19}$

Pola puncak difraksi dari *ba-hxaferite* (*pdf no. 780131*) terpenuhi oleh pola puncak difraksi sampel, menunjukkan bahwa fasa mirip ba-hexaferrite sebagai fasa dominant dalam sampel. Hasil analisis dengan program GSAS menunjukkan parameter-parameter yang diduga mendekati keadaan sesungguhnya dimana kurva Normalized error distribution cenderung mendatar dan Normal probability plot yang mendekati garis lurus /gambar 4.2 dan gambar 4.3.

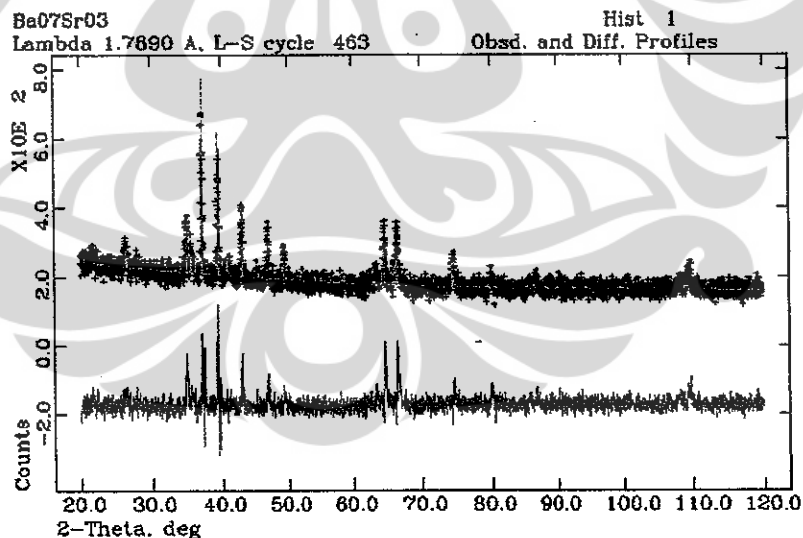
table 4.1. D-spacing dari sampel  $Ba_{0.7}Sr_{0.3}Fe_9(MnTi)_{1.5}O_{19}$

Puncak	2θ	θ	sin θ	sin <sup>2</sup> θ	sin θ / sin θ min	h <sup>2</sup> +k <sup>2</sup> +l <sup>2</sup> (X)	h	k	l	λ = 1.78896			d = a / √(X)	PDF NO 780131
										2sin θ	λ/2sin θ	a (nm)		
1	21.745	10.8725	0.1886	0.0355	1.0000	2	1	1	0	0.3772	4.7421	6.7064	4.7421	4.7022
2	26.421	13.2105	0.2285	0.0522	1.4679	3	1	1	1	0.4570	3.91407	6.7064	3.9141	3.9021
3	35.047	17.5235	0.3010	0.0906	2.5481	5	2	1	0	0.6021	2.97073	6.7064	2.9707	2.9645
4	35.556	17.778	0.3053	0.0932	1.7851	4	0	0	2	0.6106	2.92955	5.5353	2.9296	2.9266

5	37.229	18.6145	0.3191	0.1018	2.8637	6	2	1	1	0.6383	2.80226	6.7064	2.8023	2.8737
6	39.515	19.7575	0.3380	0.1142	3.2117	6	2	1	2	0.676	2.64607	6.7064	2.6461	2.6446
7	43.049	21.5245	0.3668	0.1346	3.7835	8	0	0	4	0.7337	2.43794	6.7064	2.4379	2.4378
8	46.79	23.395	0.3970	0.1576	4.4313	9	0	0	3	0.7941	2.25271	6.7064	2.2527	2.2511
9	63.417	31.7085	0.5255	0.2762	7.7645	16	4	0	0	1.0511	1.70183	6.7064	1.7018	1.7115
10	64.561	32.2805	0.5340	0.2852	8.0167	16	0	0	4	1.0681	1.67485	6.7064	1.6749	1.6786
11	66.535	33.2675	0.5485	0.3009	2.2353	4	2	0	0	1.0970	1.6306	3.4478	1.6306	1.6385
12	74.433	37.2165	0.6048	0.3658	2.7175	5	2	1	0	1.2096	1.47889	3.4478	1.4789	1.4774
13	79.941	39.9705	0.6423	0.4126	3.0656	6	2	2	1	1.2847	1.39241	3.4478	1.3924	-

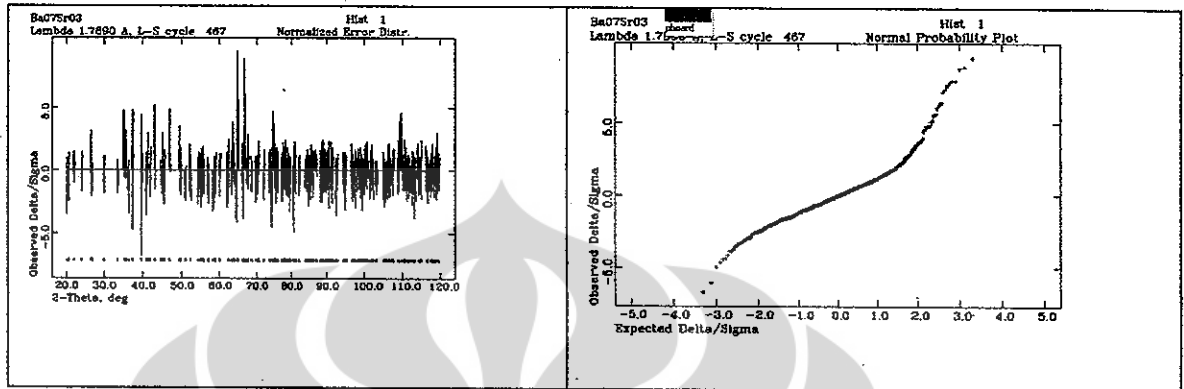


Gambar 4.1. d-spacing dari hasil xrd  $\text{Ba}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{Fe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19}$  disertai dengan beberapa fitting dari pdf card ba-hexaferrite garis vertikal)



Gambar 4.2. hasil analisis GSAS untuk xrd  $\text{Ba}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{Fe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19}$  yang menunjukkan bahwa dugaan sampel memiliki struktur ba-hexaferrite (PDF no.

780131) dengan struktur hexagonal memiliki tingkat keakuratan yang diwakili oleh nilai chi square = 2.172 dan wrp = 0.1073



Gambar 4.3. Normalized error distribution / sebelah kiri, menunjukkan kurva yang cenderung mendatar dan Normal probability plot yang mendekati garis lurus untuk hasil analisis GSAS Ba<sub>0.7</sub>Sr<sub>0.3</sub> Fe<sub>9</sub>(MnTi)<sub>1.5</sub>O<sub>19</sub> menunjukkan hasil perhitungan mendekati hasil yang sesungguhnya

**4.3. Hasil analisis struktur sampel Ba<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub> Fe<sub>9</sub>(MnTi)<sub>1.5</sub>O<sub>19</sub>**

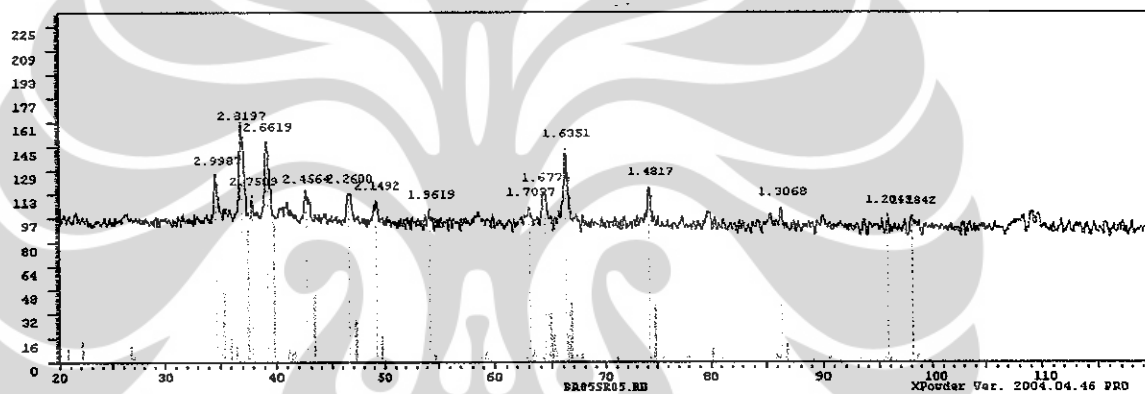
Hasil pencocokan hasil xrd Ba<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub> Fe<sub>9</sub>(MnTi)<sub>1.5</sub>O<sub>19</sub> menunjukkan bahwa sampel memiliki struktur ba-hexaferrite (PDF no. 391433 / garis vertikal) sebagai fasa dominant yang ditunjukkan oleh terpenuhinya puncak-puncak tertinggi menurut pola puncak-puncak ba-hexaferrite (PDF no. 391433). Tidak adanya sisa puncak lain yang tidak terfitting oleh pola puncak ba-hexaferrite menunjukkan tidak terdeteksinya fasa lain selain fasa mirip ba-hexaferrite dan fasa mirip ba-hexaferrite adalah fasa tunggal dalam sampel tersebut. Hasil analisis dengan program gsas akan menunjukkan secara spesifik ketepatan parameter-parameter dugaan yang dilihat dari nilai wrp dan chi kuadrat yang diperoleh seperti ditunjukkan pada gambar 4.5 dan gambar 4.6.

tabel 4.2. D-spacing dari sampel Ba<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub> Fe<sub>9</sub>(MnTi)<sub>1.5</sub>O<sub>19</sub>

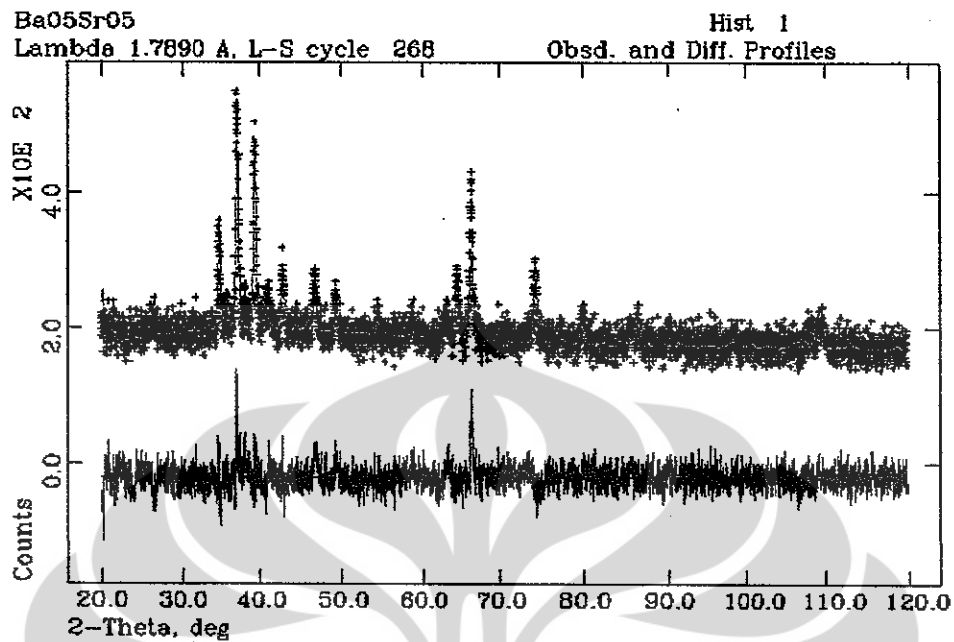
Puncak	2θ	θ	sin θ	sin <sup>2</sup> θ	sin θ / sin θ min	h <sup>2</sup> + k <sup>2</sup> + l <sup>2</sup> (X)	h	k	l	λ = 1.7889			d = a / √(X)	PDF
										2sin θ	λ/2sin θ	a (nm)		
1	34.735	17.3675	0.298	0.0891	1.0000	2	1	1	0	0.5969	2.9965	4.2378	2.9966	2.96
2	37.021	18.5105	0.317	0.1007	1.1312	2	1	1	1	0.6349	2.8174	4.2378	2.8175	2.87
3	39.308	19.654	0.336	0.1131	1.2696	3	2	1	0	0.6726	2.6594	4.2378	2.6595	2.64
4	42.737	21.3685	0.364	0.1327	1.3172	3	0	0	2	0.7287	2.454	3.9845	2.4549	2.43

5	46.582	23.291	0.395	0.1563	1.7546	4	2	1	1	0.7908	2.2622	4.2378	2.2622	2.25
6	49.18	24.59	0.416	0.1731	1.9434	4	2	1	2	0.8322	2.1495	4.2378	2.1496	2.14
7	54.272	27.136	0.456	0.208	2.3348	5	0	0	4	0.9122	1.961	4.2378	1.9611	1.96
8	63.106	31.553	0.523	0.2738	3.0732	6	0	0	3	1.0465	1.7093	4.2378	1.7093	1.70
9	64.457	32.2285	0.533	0.2844	3.1919	6	4	0	0	1.0665	1.6772	4.2378	1.6773	1.67
10	66.327	33.1635	0.547	0.2992	3.3584	7	0	0	4	1.0940	1.63515	4.2378	1.6352	1.63
11	74.225	37.1125	0.603	0.3640	1.7501	4	2	0	0	1.206	1.48244	2.7735	1.4824	1.47
12	86.384	43.192	0.684	0.4684	2.2519	5	2	1	0	1.3688	1.30686	2.7735	1.3069	-
13	95.841	47.9205	0.742	0.5508	2.6481	5	2	2	1	1.4844	1.20514	2.7735	1.2051	-
14	98.127	49.0635	0.7554	0.5706	2.0841	4	2	2	1	1.5108	1.18405	2.4174	1.1841	-

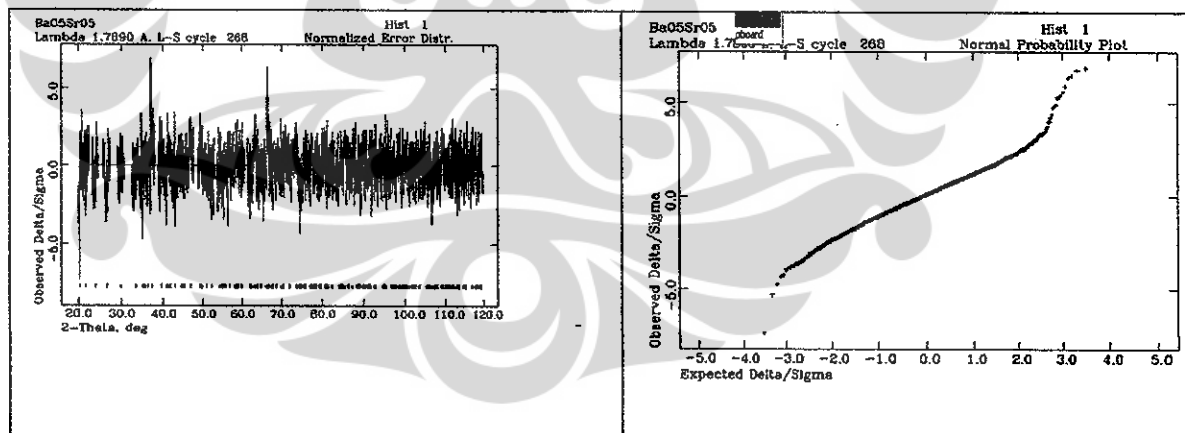
Lebih jauh, analisis menggunakan program GSAS menghasilkan chi square = 1.448 dan wrp = 0.0860, menunjukkan bahwa asumsi dasar tentang struktur kristal, posisi atom dan parameter kisi mendekati kebenaran.



Gambar 4.4. d-spacing dari hasil xrd  $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Fe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19}$  disertai dengan beberapa fitting dari pdf card ba-hexaferrite garis vertikal)



Gambar 4.5. hasil analisis GSAS untuk xrd  $Ba_{0.5}Sr_{0.5}Fe_9(MnTi)_{1.5}O_{19}$  yang menunjukkan bahwa dugaan sampel memiliki struktur ba-hexaferrite (PDF no. 780131) dengan struktur hexagonal memiliki tingkat keakuratan yang diwakili oleh nilai chi square = 1.448 dan wrp = 0.0860



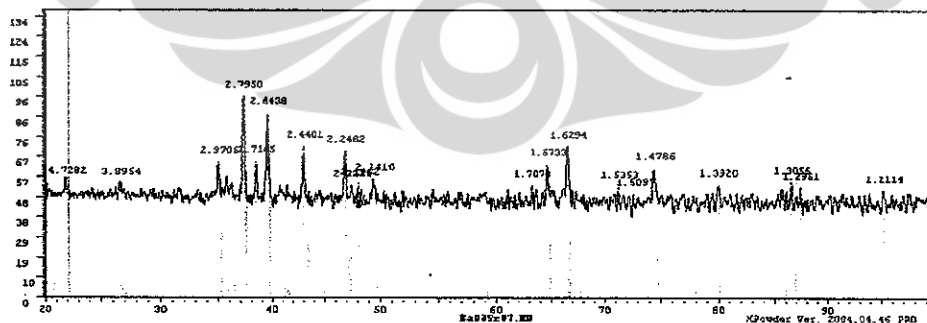
Gambar 4.6. Normalized error distribution / sebelah kiri, menunjukkan kurva yang cenderung mendatar dan Normal probability plot yang mendekati garis lurus untuk hasil analisis GSAS  $Ba_{0.5}Sr_{0.5}Fe_9(MnTi)_{1.5}O_{19}$  menunjukkan hasil perhitungan mendekati hasil yang sesungguhnya

#### 4.4. Hasil analisis struktur sampel $Ba_{0.3}Sr_{0.7}Fe_9(MnTi)_{1.5}O_{19}$

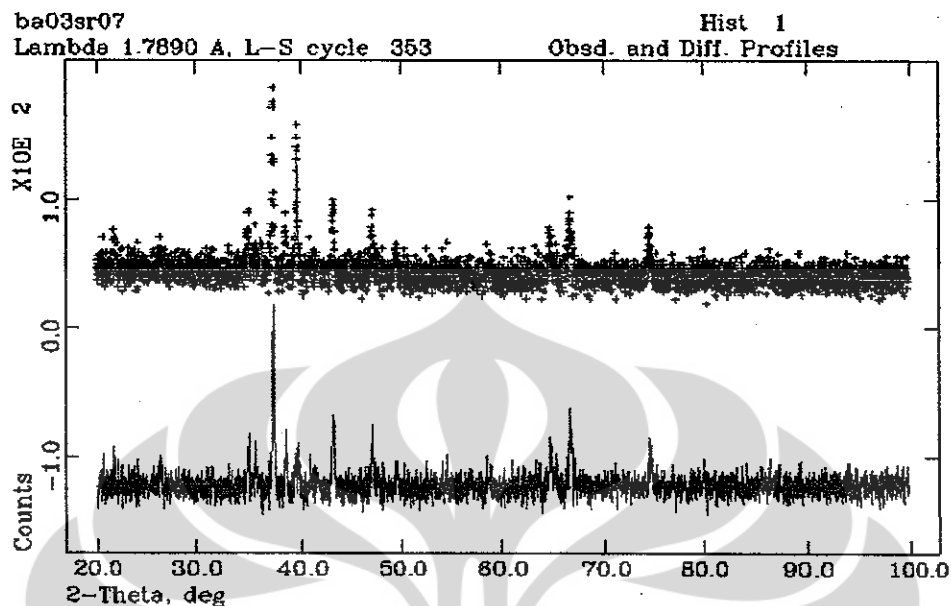
Variasi dopan strontium, Mn dan ti tidak menyebabkan pola difraksi sampel berubah dari pola ba-hexaferrite seperti ditunjukkan pada gambar 4.10 Terjadinya sisipan (doping) pada ba-hexaferrite juga ditunjukkan pada gambar 4.11 yang menunjukkan terjadinya pergeseran puncak-puncak difraksi namun tidak merubah pola ba-hexaferrite. Tidak ditemukannya puncak-puncak oksida-oksida logam pada bahan dasar (Sr, Mn, Ti dan Ba dan Fe) secara signifikan menunjukkan unsur-unsur tersebut terurai dan bersama-sama membentuk struktur heksagonal  $Ba_ySr_{1-y}.Fe_9(MnTi)_{1.5}O_{19}$ .

Table 4.3. D-spacing dari sampel  $Ba_{0.3}Sr_{0.7}Fe_9(MnTi)_{1.5}O_{19}$

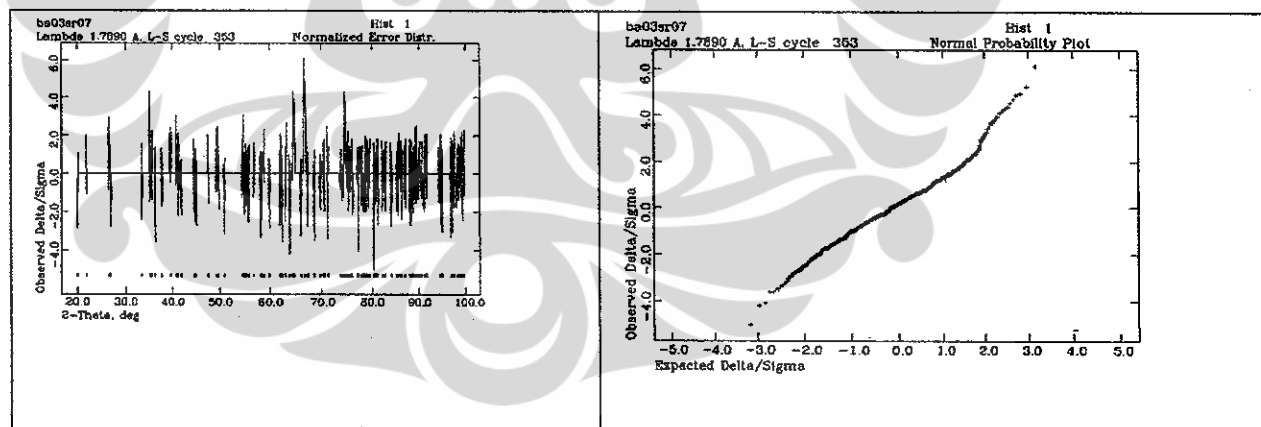
Puncak	2θ	θ	sin θ	sin <sup>2</sup> θ	sin θ / sin θ min	h <sup>2</sup> +k <sup>2</sup> +l <sup>2</sup> (X)	h	k	l	λ = 1.78896			d = a / √(X)	PDF NO. 780131
										2sin θ	λ/2sin θ	a (nm)		
1	21.81	10.905	0.1892	0.0358	1.0000	2	1	1	0	0.3784	4.7282	6.6866	4.7282	4.7022
2	26.55	13.274	0.2296	0.0527	1.4731	3	1	1	1	0.4592	3.8957	6.6866	3.8957	3.9021
3	35.03	17.514	0.3009	0.0906	2.5305	5	2	1	0	0.6019	2.9723	6.6866	2.9723	2.9645
4	37.36	18.678	0.3202	0.1026	1.9454	4	0	0	2	0.6405	2.7931	5.5093	2.7931	2.8737
5	38.44	19.219	0.3292	0.1084	3.0275	6	2	1	1	0.6583	2.7174	6.6866	2.7174	2.6446
6	39.52	19.759	0.3381	0.1143	3.1933	6	2	1	2	0.6761	2.6459	6.6866	2.6459	2.6446
7	43.01	21.505	0.3666	0.1344	3.7548	8	0	0	4	0.7332	2.4401	6.6866	2.4401	2.4378
8	46.92	23.459	0.3981	0.1585	4.4279	9	0	0	3	0.7962	2.2470	6.6866	2.2470	2.2511
9	49.41	24.706	0.4180	0.1747	4.8809	10	4	1	1	0.8359	2.1401	6.6866	2.1401	2.1447
10	64.63	32.313	0.5345	0.2857	2.1262	4	2	0	0	1.0691	1.6734	3.4508	1.6734	1.6786
11	66.62	33.311	0.5492	0.3016	2.2443	4	2	0	2	1.0984	1.6288	3.4508	1.6288	1.6297
12	71.28	35.638	0.5827	0.3395	2.5263	5	2	1	0	1.1653	1.5352	3.4508	1.5352	1.5236
13	74.44	37.218	0.6048	0.3658	2.3085	5	2	0	1	1.2097	1.4789	3.1777	1.4789	1.4774
14	80.01	40.003	0.6428	0.4132	2.3655	5	0	2	1	1.2857	1.3915	3.0266	1.3915	-
15	86.49	43.245	0.6851	0.4694	2.9620	6	1	2	1	1.3702	1.3056	3.1777	1.3056	-



Gambar 4.7. d-spacing dari hasil xrd  $Ba_{0.3}Sr_{0.7}Fe_9(MnTi)_{1.5}O_{19}$  disertai dengan beberapa fitting dari pdf card ba-hexaferrite garis vertikal)

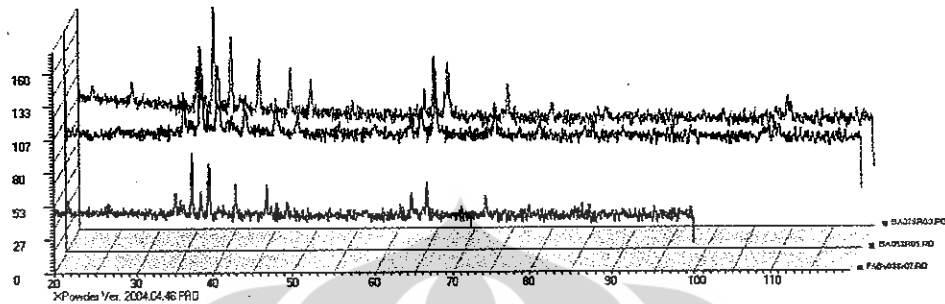


Gambar 4.8. hasil analisis GSAS untuk xrd  $\text{Ba}_{0.3}\text{Sr}_{0.7}\text{Fe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19}$  yang menunjukkan bahwa dugaan sampel memiliki struktur ba-hexaferrite (PDF no. 780131) dengan struktur hexagonal memiliki tingkat keakuratan yang diwakili oleh nilai chi square = 1,679 dan wrp = 0.1948

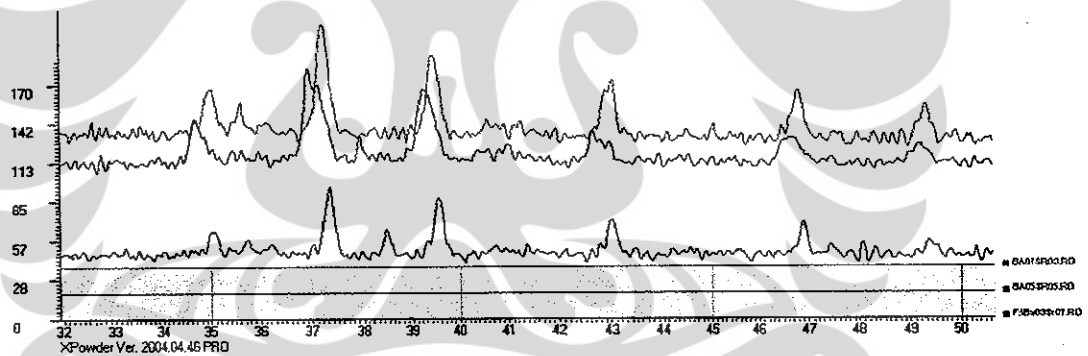


Gambar 4.9. Normalized error distribution / sebelah kiri, menunjukkan kurva yang cenderung mendatar dan Normal probability plot yang mendekati garis lurus untuk hasil analisis GSAS  $\text{Ba}_{0.3}\text{Sr}_{0.7}\text{Fe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19}$  menunjukkan hasil perhitungan mendekati hasil yang sesungguhnya





Gambar 4.10. Hasil xrd  $Ba_ySr_{1-y}Fe_9(MnTi)_{1.5}O_{19}$  untuk  $y = 0.3; 0.5$  dan  $0.7$ , pola difraksi yang mirip untuk variasi doping Sr pada ba-hexaferrite menunjukkan bahwa semua sampel memiliki struktur ba-hexaferrite (PDF no. 391433)



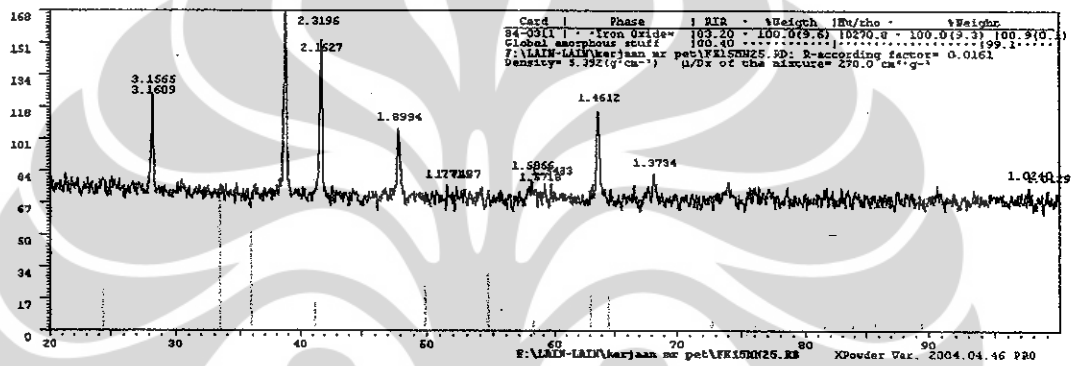
Gambar 4.11. puncak-puncak tertinggi pada hasil xrd  $Ba_ySr_{1-y}Fe_9(MnTi)_{1.5}O_{19}$  untuk  $y = 0.3; 0.5$  dan  $0.7$ , menunjukkan variasi doping Sr pada ba-hexaferrite tidak menyebabkan perubahan pola puncak difraksi ba-hexaferrite

#### 4.5. Hasil analisis struktur sampel $Fe_{2-x}(MnTi)_xO_3$ dengan nilai $x = 0.25$

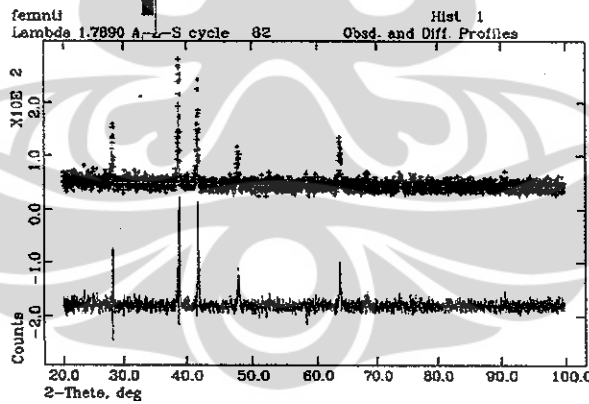
Gambar 4.12 dan tabel 4.4 secara bersama-sama menunjukkan kesesuaian pola difraksi dan nilai d-spacing dari sampel yang diuji dengan referensi material ferrite  $Fe_2O_3$  (PDF no 84031)

Table 4.4. D-spacing dari sampel  $Fe_{2-x}(MnTi)_xO_3$  dengan nilai  $x = 0.25$

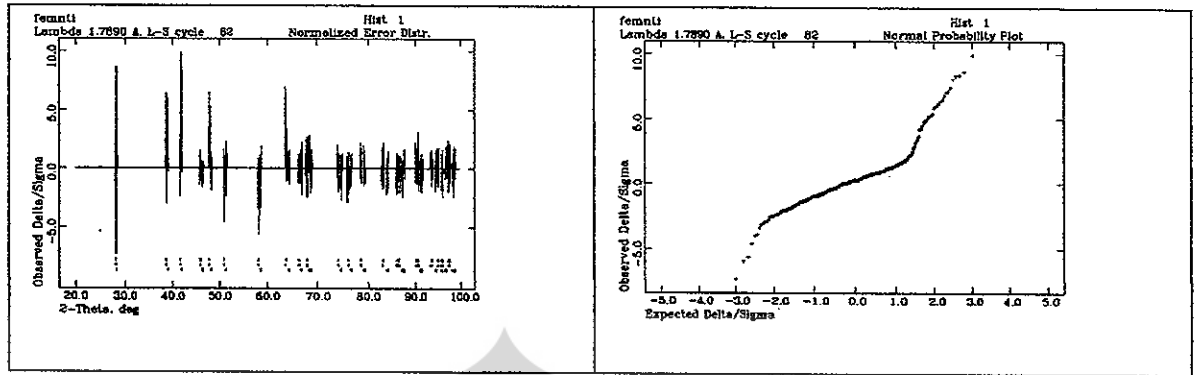
Puncak	2θ	θ	sin θ	sin <sup>2</sup> θ	sin θ / sin θ min	h <sup>2</sup> + k <sup>2</sup> + l <sup>2</sup> (X)	h	k	l	λ = 1.7889			d = a / √(X)	PDF No. 8403
										2sin θ	λ/2sin θ	a (nm)		
1	28.211	14.106	0.2437	0.0593	1.0000	2	1	1	0	0.4874162	3.67029	5.1906	3.6703	3.654
2	38.863	19.432	0.332	0.1106	1.8634	4	2	2	0	0.6653593	2.68871	5.1906	2.6887	2.699
3	41.763	20.882	0.3564	0.1270	2.1391	4	2	0	2	0.7128727	2.50950	5.1906	2.5095	2.517
4	47.863	23.932	0.4056	0.1645	1.4868	3	1	1	1	0.8112883	2.20508	3.8024	2.2051	2.206
5	63.628	31.814	0.5271	0.2779	4.6790	9	3	0	0	1.0543269	1.69677	5.1906	1.6968	1.636
6	68.283	34.142	0.5612	0.3149	5.3034	11	3	1	1	1.1224772	1.59376	5.1906	1.5938	1.602
7	97.548	48.774	0.7521	0.5656	9.5242	19	3	1	3	1.5042319	1.18928	5.1906	1.1893	1.190



Gambar 4.12. d-spacing dari hasil xrd  $Fe_{2-x}(MnTi)_xO_3$  dengan nilai  $x = 0.25$  dan hasil fitting dari  $Fe_2O_3$  pdf no. 840311 garis vertikal)

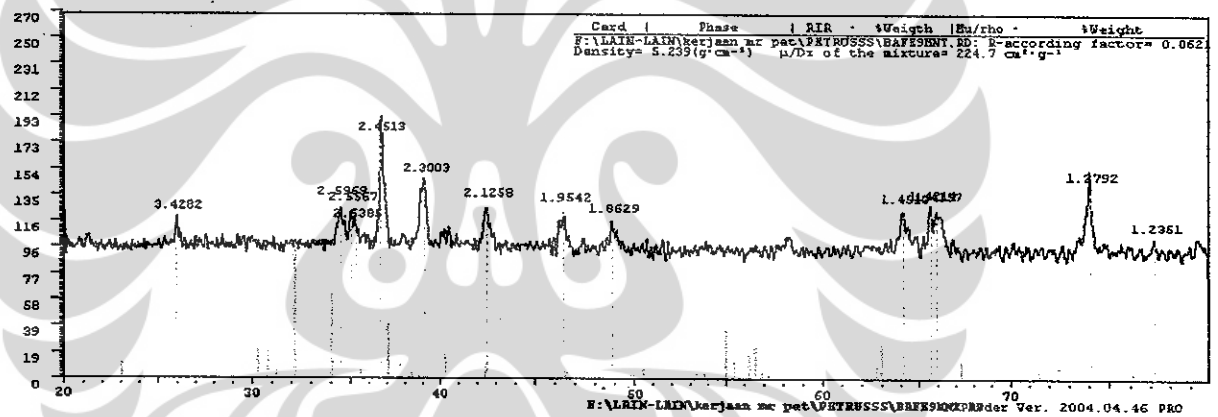


Gambar 4.13. hasil analisis GSAS untuk xrd  $Fe_{2-x}(MnTi)_xO_3$  dengan nilai  $x = 0.25$  yang menunjukkan bahwa dugaan sampel memiliki struktur  $Fe_2O_3$  (PDF no. 840311) dengan struktur R 3- c memiliki tingkat keakuratan yang diwakili oleh nilai chi square = 1.749 dan wrp = 0.1901



Gambar 4.14. Normalized error distribution / sebelah kiri, menunjukkan kurva yang cenderung mendatar dan Normal probability plot yang mendekati garis lurus untuk hasil analisis GSAS  $Fe_{2-x}(MnTi)_xO_3$  dengan nilai  $x=0.25$  menunjukkan kurva kalkulasi sudah mendekati kurva observasi

4.6. Hasil analisis struktur sampel  $BaFe_9(MnTi)_{1.5}O_{19}$



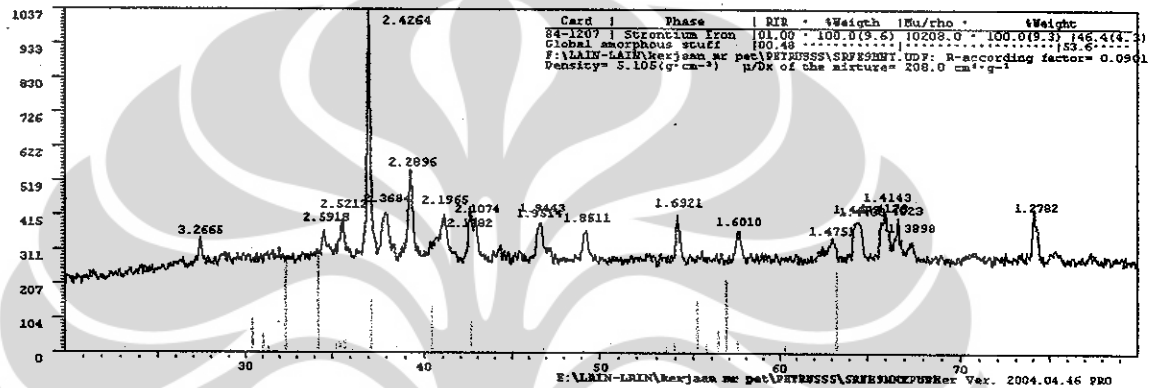
Gambar 4.15. d-spacing dari hasil xrd bafe9(MnTi)<sub>1.5</sub>O<sub>19</sub> dan hasil fitnng dari BaMn1.0 Ti0.7 Fe10.3 O19 pdf no391391 garis vertikal

Table 4.5. D-spacing dari sampel  $BaFe_9(MnTi)_{1.5}O_{19}$

Puncak	2θ	θ	sin θ	sin <sup>2</sup> θ	sin θ / sin θ min	h <sup>2</sup> + k <sup>2</sup> + l <sup>2</sup>	h	k	l	λ = 1.78896			d = a / √(X)	PDF NO
										2sin θ	λ/2sin θ	a (nm)		
1	25.97	12.985	0.2247	0.0505	1.0000	2	1	1	0	0.4494	3.9810	5.6300	3.9810	3.8
2	34.57	17.287	0.2972	0.0883	1.7491	3	1	1	1	0.5943	3.0101	5.6300	3.0101	2.950
3	35.07	17.536	0.3013	0.0908	1.7983	4	2	0	0	0.6026	2.9687	5.6300	2.9687	2.9008
4	36.63	18.316	0.3142	0.0988	1.1183	2	1	0	1	0.6285	2.8464	4.2569	2.8464	2.8621
5	38.44	19.219	0.3292	0.1084	2.1463	4	0	2	0	0.6583	2.7174	5.6300	2.7174	2.782
6	39.13	19.563	0.3348	0.1121	2.2208	4	0	0	2	0.6697	2.6714	5.6300	2.6714	2.6315
7	42.49	21.246	0.3624	0.1313	2.6011	5	2	1	0	0.7247	2.4684	5.6300	2.4684	2.4949

8	46.42	23.211	0.3941	0.1553	3.0766	6	2	1	1	0.7882	2.2696	5.6300	2.2696	2.268
9	64.12	32.062	0.5308	0.2818	2.1459	4	2	0	0	1.0617	1.6850	3.4908	1.6850	1.6847
10	65.63	32.813	0.5419	0.2936	2.2362	4	0	0	2	1.0838	1.6507	3.4908	1.6507	1.6577
11	65.94	32.969	0.5442	0.2961	2.2551	5	2	1	0	1.0884	1.6437	3.4908	1.6437	1.6344
12	74.04	37.022	0.6021	0.3625	2.3341	5	2	0	1	1.2042	1.4856	3.2097	1.4856	1.4807

4.7. Hasil analisis struktur sampel Sr Fe<sub>9</sub>(MnTi)<sub>1.5</sub>O<sub>19</sub>



Gambar 4.18. d-spacing dari hasil xrd Srfe9(MnTi)<sub>1.5</sub>O<sub>19</sub> dan hasil fitting dari Sr Fe12 O19 pdf no. 241207 garis vertikal)

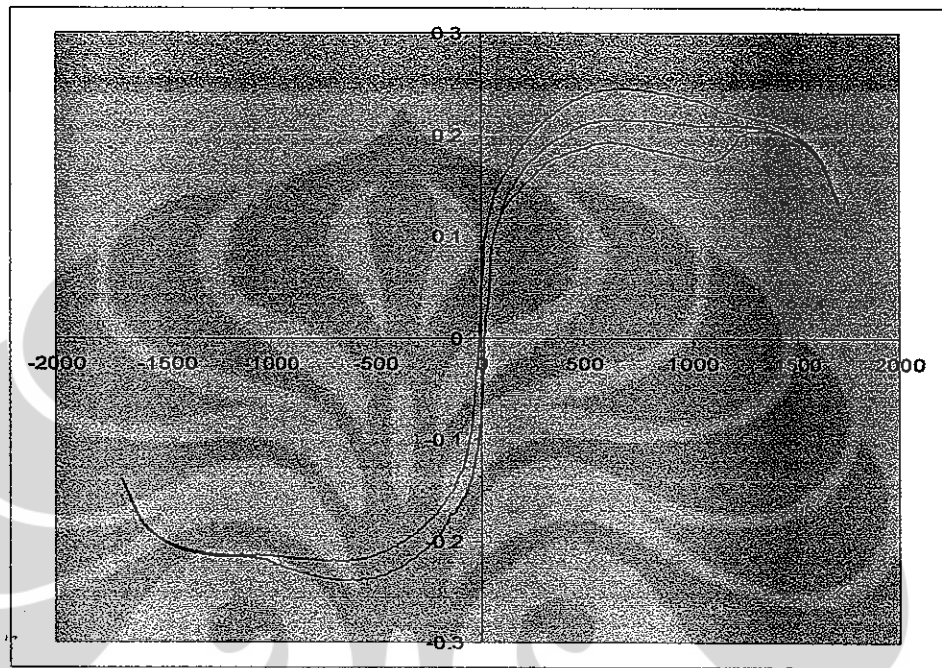
Table 4.6. D-spacing dari sampel Sr Fe<sub>9</sub>(MnTi)<sub>1.5</sub>O<sub>19</sub>

Puncak	2θ	θ	sin θ	sin <sup>2</sup> θ	sin θ / sin θ min	h <sup>2</sup> + k <sup>2</sup> + l <sup>2</sup> (X)				λ = 1.78896			d = a / √(X)	PDF NO: 241207
							h	k	l	2sin θ	λ/2sin θ	a (nm)		
1	27.286	13.643	0.2359	0.0556	1.0000	2	1	1	0	0.4717	3.7922	5.3630	3.7922	3.84
2	34.516	17.258	0.2967	0.0880	1.5820	3	1	1	1	0.5933	3.0150	5.3630	3.0150	3.07
3	37.072	18.536	0.3179	0.1011	1.1482	2	1	0	1	0.6358	2.8137	4.2639	2.8137	2.88
4	37.945	18.973	0.3251	0.1057	1.8999	4	0	2	0	0.6502	2.7513	5.3630	2.7513	2.85
5	39.254	19.627	0.3359	0.1128	2.0280	4	0	0	2	0.6718	2.6630	5.3630	2.6630	2.62
6	41.061	20.531	0.3507	0.1230	2.2107	4	2	0	0	0.7014	2.5505	5.3630	2.5505	2.548
7	42.557	21.279	0.3629	0.1317	2.3672	5	2	1	0	0.7258	2.4648	5.3630	2.4648	2.488
8	63.604	31.802	0.5270	0.2777	3.1553	6	2	1	1	1.0540	1.6974	4.2639	1.6974	1.698
9	64.498	32.249	0.5336	0.2847	2.8174	6	1	1	2	1.0672	1.6763	3.9792	1.6763	1.663
10	65.994	32.997	0.5446	0.2966	2.8059	6	1	2	1	1.0892	1.6425	3.8909	1.6425	1.648
11	66.555	33.278	0.5487	0.3011	2.6684	5	0	1	2	1.0974	1.6302	3.7660	1.6302	1.63
12	67.365	33.683	0.5546	0.3076	2.5007	5	0	2	1	1.1092	1.6129	3.6070	1.6129	1.619

## 4.8 Kurva histeresis

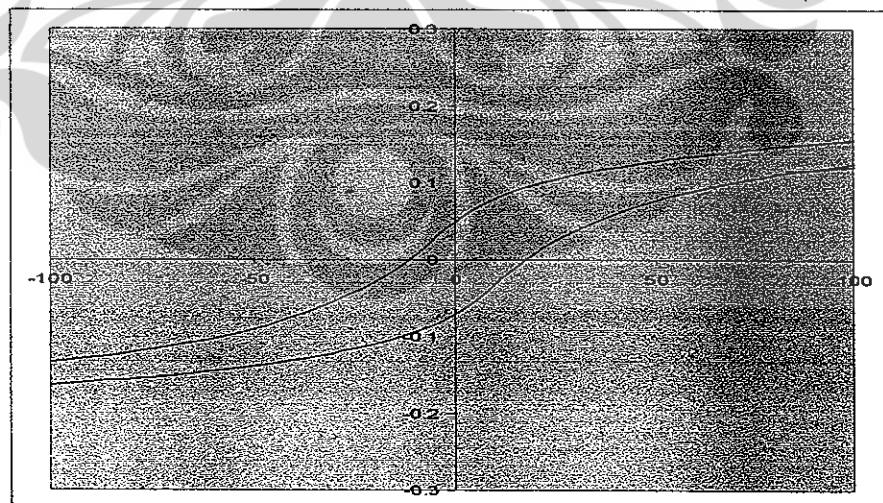
### 4.8.1 Untuk $\text{Ba}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{Fe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19}$

Dengan pengujian pada alat Permagraph dan kemudian datanya diubah ke dalam format EXCEL maka didapatkan data plot grafik sebagai berikut



Gambar 4.20 Kurva histeresis untuk Ba07Sr03

Gambar kurva diperbesar untuk melihat nilai  $B_{rem}$  dan  $H_{coerc}$



Gambar 4.21 Kurva histeresis untuk Ba07Sr03 yang diperbesar

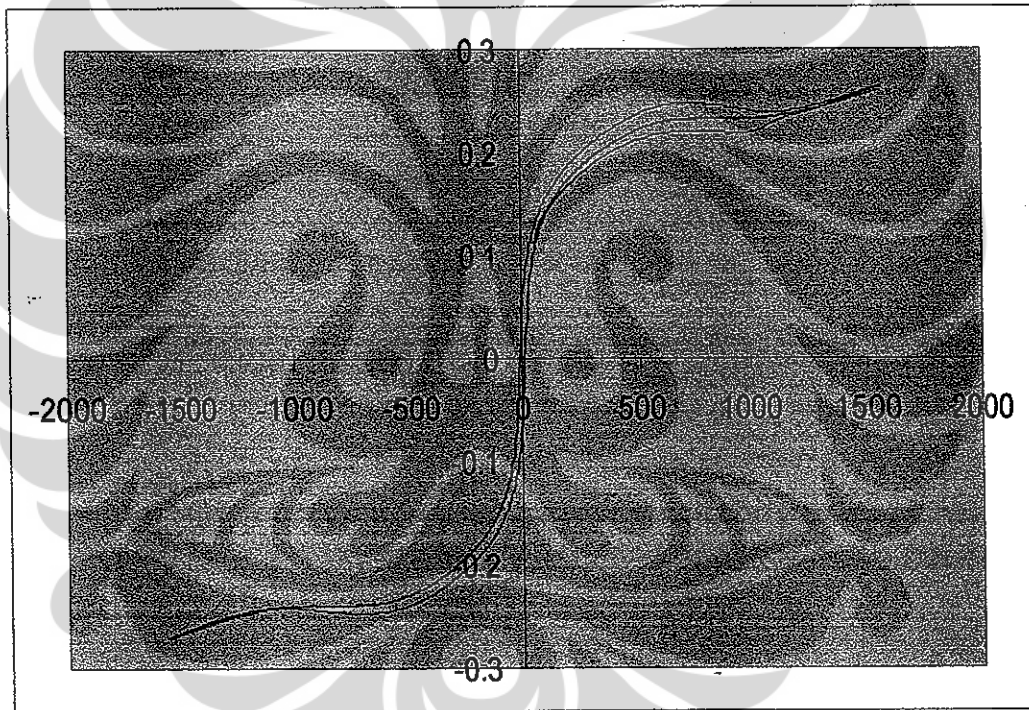
Dari kurva didapat nilai sebagai berikut :

Hc : Min -11.7 Oe  
 Max 18.5 Oe  
 Average  $\pm$  15.1 Oe

Mr : Min - 0.0725 emu/g  
 Max 0.05 emu/g  
 Average  $\pm$  0.06125 emu/g

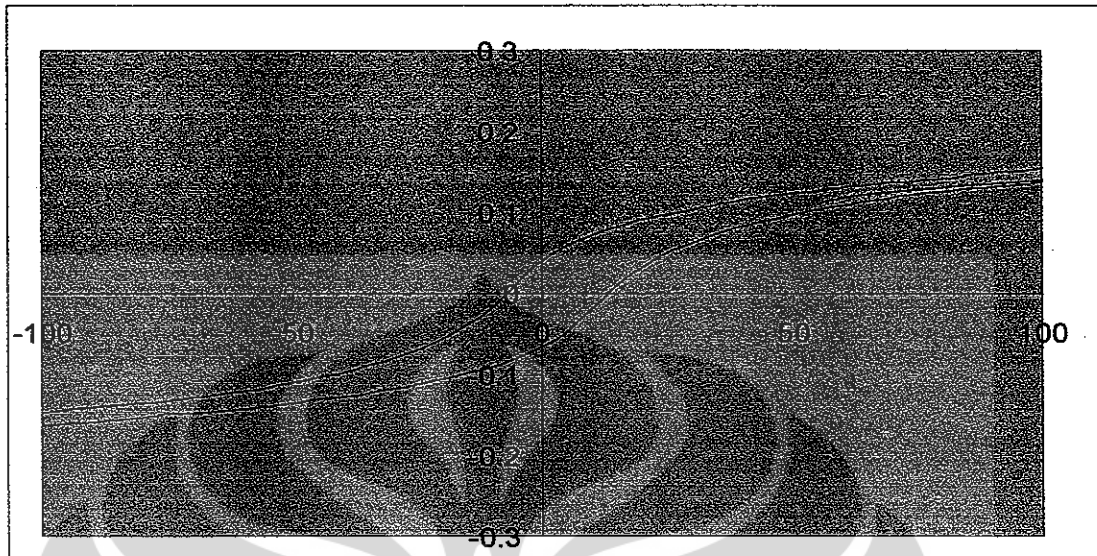
Ms = 0.2669 emu/g

#### 4.8.2 Untuk $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Fe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19}$



Gambar 4.22 Kurva histeresis untuk Ba05Sr05

Gambar kurva diperbesar untuk melihat nilai  $B_{rem}$  dan  $H_{coerc}$



Gambar 4.23 Kurva histeresis untuk Ba0.5Sr0.5 yang diperbesar

Dari hasil kurva didapat nilai sebagai berikut :

H<sub>c</sub> : Min -7.5 Oe  
 Max 14 Oe  
 Average ± 10.75 Oe

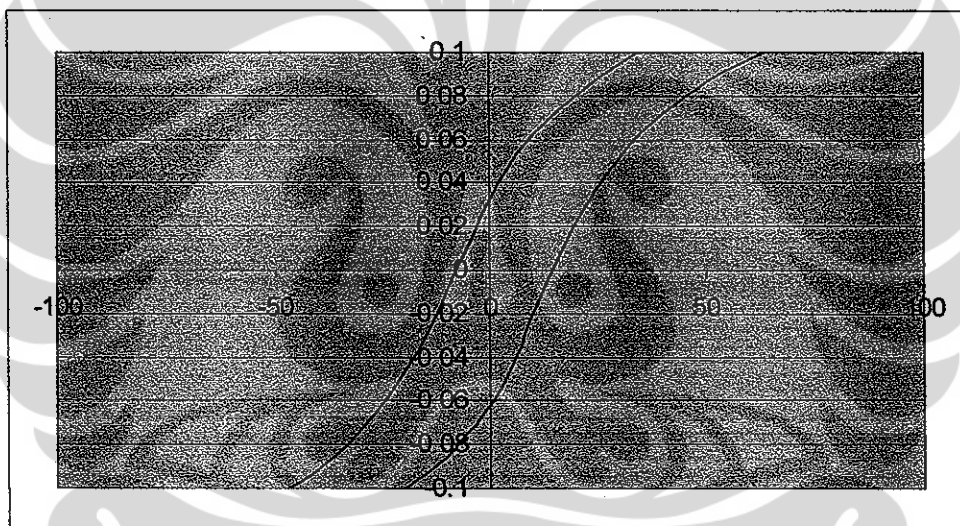
M<sub>r</sub> : Min - 0.065 emu/g  
 Max 0.04 emu/g  
 Average ± 0.0525 emu/g

M<sub>s</sub> = 0.2649 emu/g

4.8.3 Untuk Ba<sub>0.3</sub>Sr<sub>0.7</sub>Fe<sub>9</sub>(MnTi)<sub>1.5</sub>O<sub>19</sub>



Gambar kurva diperbesar untuk melihat nilai  $B_{rem}$  dan  $H_{coerc}$



Dari hasil kurva didapat nilai sebagai berikut :

$H_c$  : Min -7 Oe  
 Max 14 Oe  
 Average  $\pm 10.5$  Oe

$M_r$  : Min - 0.0625 emu/g  
 Max 0.0325 emu/g  
 Average  $\pm 0.0475$  emu/g

$M_s = 0.22$  emu/g



#### 4.8.4 Perbandingan hasil kurva hysteresis

	Ba0.7Sr0.3	Ba0.5Sr0.5	Ba0.3Sr0.7
H <sub>c</sub>	15.1 Oe	10.75 Oe	10.5 Oe
M <sub>rem</sub>	0.06125 emu/g	0.0525 emu/g	0.0475 emu/g
M <sub>sat</sub>	0.267 emu/g	0.265 emu/g	0.22 emu/g

Tabel 4.7. Tabel perbandingan nilai magnetik

Dari table terlihat dengan bertambahnya komposisi Barium maka nilai coercivitas membesar, tingkat saturasi kemagnetan pun membesar. Hal ini mungkin disebabkan oleh material yang semakin mendekati sifat hard magnet BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>.

Namun disini nilai remanence terlihat menurun yang mungkin disebabkan pengaruh efek substitusi Mangan dan Ti yang merubah sifat dasar dari BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> sehingga material ini mulai memperlihatkan sifat soft magnet.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengamatan difraksi dari masing-masing sample, dan dengan menganalisis hasil XRD menggunakan perangkat lunak ICDD, xpowder dan GSAS, dapat disimpulkan bahwa metode yang digunakan i modifikasi struktur  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dengan cara substitusi ion Mn dan Ti serta melalui preparasi material yang menggunakan teknik *mechanical alloying* menggunakan komponen-komponen padu berupa senyawa oksida  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dengan  $\text{MnCO}_3$  dan  $\text{TiO}_2$  sebagai langkah awal dalam mensintesis material  $\text{Ba}(\text{MnTi})_x\text{Fe}_{12-2x}\text{O}_{19}$  menunjukkan hasil yang berupa material xrd  $\text{Ba}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{Fe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19}$  dengan struktur hexagonal memiliki tingkat keakuratan yang diwakili oleh nilai chi suare = 2.172 dan wrp = 0.1073,  $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Fe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19}$  yang memiliki struktur ba-hexaferrite (PDF no. 780131) dengan struktur hexagonal dan memiliki nilai chi suare = 1.448 dan wrp = 0.0860,  $\text{Ba}_{0.3}\text{Sr}_{0.7}\text{Fe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19}$  yang memiliki struktur ba-hexaferrite (PDF no. 780131) dengan struktur hexagonal memiliki tingkat keakuratan yang diwakili oleh nilai chi suare = 1.679 dan wrp = 0.1948.

Hasil pemeriksaan sifat magnet menunjukkan penurunan nilai  $M_s$  : dari 0.267 emu/g ( $\text{Ba}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ ) s/d 0.22 emu/g ( $\text{Ba}_{0.3}\text{Sr}_{0.7}\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ ), penurunan  $H_c$  : dari 15.1 Oe ( $\text{Ba}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ ) s/d 10.5 Oe ( $\text{Ba}_{0.3}\text{Sr}_{0.7}\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ ) dan penurunan  $M_r$  : dari 0.267 emu/g ( $\text{Ba}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ ) s/d 0.22 emu/g ( $\text{Ba}_{0.3}\text{Sr}_{0.7}\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ ). Terlihat dengan bertambahnya komposisi Barium (juga artinya penurunan kandungan Sr) maka nilai coercivitas membesar, tingkat saturasi kemagnetan membesar dan nilai remanence juga membesar. Hal ini disebabkan sifat dasar Barium lebih bersifat hard magnet. Sehingga dapat disimpulkan bahwa Srontium (Sr) mengubah Ba-hexaferrite dari hard magnet ke soft magnet.

## 5.2 Saran

Penelitian ini perlu dilanjutkan untuk membuat fase referensi untuk nilai  $y = 0$  dan  $y = 1$  yakni  $\text{BaFe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19}$  dan  $\text{SrFe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19}$  yang akan dipakai untuk dapmembandingkan kurva histeresis sehingga didapat tingkat akurasi yang lebih baik dalam menyimpulkan karakteristik ba-hexafarrite dengan dopan Sr ini.



## DAFTAR REFERENSI

1. Braun, P.B., , Phillips Res., The Crystals Structure of New Group of Ferrimagnetic Compounds, 1962, Rep 12 491-548
2. Li Y. Wand Linfeng Chen, Studies Of Static And High Frequency Magnetic Properties For M Type Ferrite  $BaFe_{12-2x}Co_xZr_xO_{19}$ , Journal of Applied Physics, 2002, Vol. 92, 3902-3907
3. Sivakumar, A. Gedanken, W. Zhong, Y.W. Du, D. Bhattacharya, Y. Yeshurun, I. Felne.R., Nanophase Formation Of Strontium Hexaferrite Fine Powder By The Sonochemical Method Using  $Fe(Co)_5$ , Journal of magnetism and magnetic materials, 2004
4. Q.Q Fang, HW Bao, DM Fang, JZ Wang, XG Li, The Effect Of Zn-Nb Substitution On Magnetic Properties Of Strontium Hexaferrite Nanoparticles, Journal of magnetism and magnetic materials 278(2004) 122-126
5. Sudakar, G.N. Subbanna, T R N. Kutty., Nanoparticle Composite Having Structural Intergrowth Of Hexaferrite And Spinel Ferrite Prepared By Gel T Crystallite Conversin And Their Properties, J. Magn. Materials, 2003, 253- 268
6. Wu Y,P,and C.K. Ong, Z.W.Li, Linfeng Chen, G.Q. Lin, Microstructural And High Frequency Magnetic Characteristics Of W-Type Barium Ferrite Doped With  $V_2O_5$ , Journal Of Applied Phisics, 2005, 97
7. Hong, Y,S, C.M. Ho, H.Y.Hsu,C.T.Liu, Syntesis Of Nanocrystalline  $Ba(Mnti)_x Fe_{12-2x}O_{19}$  Powder By The Sol-Gel Combustion Method In Citrae Acid –Metal Nitraes System ( $x = 0,0.5,1.0, 1.5 2.0$ ),J. Magn. Mat. No 279, 2004, 401 – 410
8. Meshram, B. Shinha, N.K. Agrawal, P.S. Misra, Antennas and Propagation Society Internationals, Symposium, IEEE, New York Vol 2. 2002, 790

9. Priyono MSi, Proposal penelitian Sintesis dan karakterisasi struktur nanokristalin material magnet berbahan \ dasar ferrite untuk aplikasi pada gelombang UHF, 2008



# LAMPIRAN



**LAMPIRAN A. Contoh Hasil GSAS untuk Ba07 Sr03**

**1Ba07Sr03  
2008 Page 1**

**Version Dec 14 11:19:53**

```
-----|
Program GENLES Version Win32 |
General crystal structure refinement program |
Magnetic structure refinement added by M. Yethiraj |
Revised and corrected by Larson and Von Dreele |
Distributed on Wed Sep 07 19:37:12 2005 |
-----|
```

```
-----|
Allen C. Larson and Robert B. Von Dreele |
Manuel Lujan, Jr. Neutron Scattering Center, MS-H805 |
Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM 87545 |
|
Copyright, 2000, The Regents of the University of California. |
-----|
```

**The experiment file is: BA07SR03.EXP**

**The last history record is :**

**HSTRY514 EXPGUI 1.77 1.46 (1 changes) -- 12/14/08 11:19:52**

**Maximum number of cycles is 3**

**I/Sigl cut-off is 1.00**

**Structure factors will be extracted from histogram 1**

**using extraction method codes 0 0 0 0 0 0 0 0 0**

**The atomic and magnetic scattering factors for 3 types of atoms are:**

Atom type	b-len	a(1)	b(1)	a(2)	b(2)	a(3)	b(3)	a(4)	b(4)
<sup>c</sup> BA	0.507	20.3361	3.2160	19.2970	0.2756	10.8880	20.2073	2.6959	
<sup>g</sup> 167.2020	2.7731								
FE	0.945	11.7695	4.7611	7.3573	0.3072	3.5222	15.3535	2.3045	
76.8805	1.0369								
<j0> Mag. ff :	0.0706	35.0080	0.3589	15.3580	0.5819	5.5610	0.0000		
0.0000	-0.0114								
<j2> Mag. ff :	1.9405	18.4730	1.9566	6.3230	0.5166	2.1610	0.0000		
0.0000	0.0036	2.000							

LANJUTAN-LAMPIRAN A

O 0.581 3.0485 13.2771 2.2868 5.7011 1.5463 0.3239 0.8670  
 32.9089 0.2508

Atom type	CrKa	FeKa	CuKa	MoKa	AgKa	TiKa	CoKa	TaKa	
WKa AuKa									
BA f	-11.040	-4.647	-1.046	-0.324	-0.694	-7.208	-2.795	-0.167	-0.134
-0.049									
f'	10.092	12.000	8.462	2.282	1.500	4.411	10.709	1.713	1.619
1.252									
FE f	-1.294	-2.055	-1.134	0.346	0.289	-0.890	-3.331	0.044	0.039
0.017									
f'	0.762	0.565	3.197	0.844	0.545	1.052	0.490	0.084	0.079
0.058									
O f	0.093	0.072	0.049	0.011	0.006	0.121	0.063	-0.002	-0.003
0.003									
f'	0.073	0.052	0.032	0.006	0.004	0.106	0.044	0.000	0.000
0.000									

1Ba07Sr03  
 11:19:53 2008 Page 2

GENLES Version Win32 Dec 14

Space group P 63/m m c

The lattice is centric primitive hexagonal Laue symmetry 6/mmm

Multiplicity of a general site is 24

The symmetry of the point 0,0,0 contains 1bar

The equivalent positions are:

- (1) X Y Z (2) X-Y X 1/2+Z (3) -Y X-Y Z  
 (4) -X -Y 1/2+Z (5) Y-X -X Z (6) Y Y-X 1/2+Z  
 (7) Y-X Y Z (8) -X Y-X 1/2+Z (9) -Y -X Z  
 (10) X-Y -Y 1/2+Z (11) X X-Y Z (12) Y X 1/2+Z

The atom positions read in are: (all variable numbers (pn) are in hexadecimal)

Type	seq.	At. name	mult	symm	frac	pn	X	pn	Y	pn	Z	pn	u11	pn	u22	pn	u33	pn	u12	pn	u13	pn	u23	pn
BA	1	BA1	6MM2(+0)	1.0000	0	0.3330	0	0.6670	0	0.2500	0	6.1	0											



LANJUTAN-LAMPIRAN A

FE	2	FE2	2-3M(100)	1.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	-9.0	0
FE	3	FE3	4 3M(100)	1.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.2570	0	6.4	0
FE	4	FE4	12 M(110)	1.0000	0	0.6670	0	0.3330	0	0.0270	0	8.9	0
FE	5	FE5	12 M(110)	1.0000	0	0.6670	0	0.3330	0	0.1900	0	13.0	0
FE	6	FE6	24 1	1.0000	0	0.1690	0	0.3370	0	0.1080	0	0.0	0
O	7	O7	4 3M(100)	1.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.1500	0	-3.3	0
O	8	O8	12 M(110)	1.0000	0	0.3330	0	0.6670	0	0.0550	0	31.2	0
O	9	O9	6MM2(120)	1.0000	0	0.8160	0	0.6320	0	0.2500	0	-9.0	0
O	10	O10	24 1	1.0000	0	0.8450	0	0.6890	0	0.0520	0	-6.2	0
O	11	O11	24 1	1.0000	0	0.4970	0	0.9930	0	0.1500	0	7.4	0

Lattice parameters for phase 1 are:

a	b	c	alpha	beta	gamma
5.904286	5.904286	23.231140	90.0000	90.0000	120.0000

Phase/element fractions for phase no. 1

Hist Elm: PXC 1 1 nc  
 Fraction: 1.2122 0  
 Dmp/Cnst: 0 0.000 0

Histogram scale factors:

Hist/Typ: 1 PXC pn  
 Scale : 0.25884 0  
 Dmp/Cnst: 0 0.000 0

Absorption coefficients for powder data:

1Ba07Sr03  
 11:19:53 2008 Page 3

GENLES Version Win32 Dec 14

Hist/Typ: 1 PXC 0 pn  
 Absc 1.: 0.0000 0  
 Dmp/Cnst: 0 0.000 0  
 Absc 2.: 0.0000 0  
 Dmp/Cnst: 0 0.000 0

LANJUTAN-LAMPIRAN A

Diffractometer constants for powder data:

No.	Type	Lam 1	Lam 2	Polariz.	pn	Cnstr	cn	type	Zero	pn	Cnstr	cn
1	PXC	1.7889600	1.7928500	1.01039	0	0.000	0	0	-25.238	0	0.000	0
		1.0011	0	0.000	0	0						

Extinction coefficients for phase no. 1:

Hist/Typ:	1	PXC	pn
Extinct.:	0.0000	0	
Dmp/Cnst:	0	0.000	0

Radiation damage coefficients for phase no. 1:

Hist/Typ:	1	PXC	pn
Rad.dam.:	0.0000	0	
Dmp/Cnst:	0	0.000	0

Preferred orientation coeffs. for phase no. 1 histogram no. 1:

Axis :	1	pn
Dir./typ:	0.0	0.0
PO ratio:	1.0000	0
Dmp/Cnst:	0	0.000
PO frac.:	1.0000	0
Dmp/Cnst:	0	0.000

Profile coeff. for function type 2, phase no. 1 and histogram no. 1; aniso. axis 0. 0. 1.; damp=0:

Coeff. :	GU	pn	GV	pn	GW	pn	LX	pn	LY	pn	trns	pn
asym	pn	shft	pn									
Value :	1.057E+03	0	3.393E+02	0	1.820E+01	0	3.348E+00	0	7.750E+00	0		
	0.000E+00	0	2.673E+01	0	0.000E+00	0						
Constr. :	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0
	0.000	0	0.000	0								
Coeff. :	GP	pn	stec	pn	ptec	pn	sfec	pn	L11	pn	L22	pn
L33	pn	L12	pn									
Value :	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.000E+00	0
	0.000E+00	0	0.000E+00	0	0.000E+00	0						
Constr. :	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0
	0.000	0	0.000	0								

LANJUTAN-LAMPIRAN A

Coeff. : L13 pn L23 pn  
Value : 0.000E+00 0 0.000E+00 0  
Constr. : 0.000 0 0.000 0

Diffuse scattering coefficients for powder data:

No diffuse scattering coefficients for histogram 1

1Ba07Sr03

GENLES Version Win32 Dec 14

11:19:53 2008 Page 4

Background coefficients for powder data:

Histogram no.: 1 Damping factor: 0 Use all points: Y

Power series in  $Q^{2n}/n!$  and  $n!/Q^{2n}$

Param. : 1 pn 2 pn 3 pn 4 pn 5 pn 6 pn

Coeff. : 0.24812E+03 0-0.87057E+01 0-0.20185E+02 0 0.61060E+00 0  
0.25411E+02 0-0.21732E-01 0

1Ba07Sr03

GENLES Version Win32 Dec 14

11:19:53 2008 Page 5

Restraint data statistics:

No restraints used

Powder data statistics	Fitted	-Bknd	Average						
Bank Ndata	Sum( $w*d^{**2}$ )	wRp	Rp	wRp	Rp	DWd	Integral		
Hstgm 1 PXC 1	4991 10842.	0.1073	0.0781	0.2354	0.1401	1.027	0.163		
Powder totals	4991 10842.	0.1073	0.0781	0.2354	0.1401	1.027			

No serial correlation in fit at 90% confidence for  $1.912 < DWd < 2.088$

Cycle 463 There were 4991 observations.

Total before-cycle  $CHI^{**2}$  (offset/sig) =  $1.0842E+04$  (  $5.8565E+01$  )

Reduced  $CHI^{**2}$  = 2.172 for 0 variables

Reflection data statistics

Histogram 1 Type PXC Nobs= 324  $R(F^{**2}) = 0.8640$

CPU times for matrix build 0.08 sec; matrix inversion 0.00 sec

Final variable sum( $(shift/esd)^{**2}$ ) for cycle 463: 0.00 Time: 0.08 sec

LAMPIRAN B. Contoh untuk Ba05Sr05

1Ba05Sr05  
2008 Page 1

Version Dec 15 08:37:51

```
-----|
| Program GENLES Version Win32 |
| General crystal structure refinement program |
| Magnetic structure refinement added by M. Yethiraj |
| Revised and corrected by Larson and Von Dreele |
| Distributed on Wed Sep 07 19:37:12 2005 |
|-----|
```

```
-----|
| Allen C. Larson and Robert B. Von Dreele |
| Manuel Lujan, Jr. Neutron Scattering Center, MS-H805 |
| Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM 87545 |
|-----|
| Copyright, 2000, The Regents of the University of California. |
|-----|
```

The experiment file is: BA05SR05.EXP

The last history record is :

HSTRY205 EXPGUI 1.77 1.46 (1 changes) -- 12/15/08 08:37:51

Maximum number of cycles is 3

I/SigI cut-off is 1.00

Structure factors will be extracted from histogram 1

using extraction method codes 0 0 0 0 0 0 0 0 0

The atomic and magnetic scattering factors for 3 types of atoms are:

Atom type	b-len	a(1)	b(1)	a(2)	b(2)	a(3)	b(3)	a(4)	b(4)
c									
g									
BA	0.507	20.3361	3.2160	19.2970	0.2756	10.8880	20.2073	2.6959	
	167.2020	2.7731							
FE	0.945	11.7695	4.7611	7.3573	0.3072	3.5222	15.3535	2.3045	
	76.8805	1.0369							
<j0> Mag. ff :		0.0706	35.0080	0.3589	15.3580	0.5819	5.5610	0.0000	
	0.0000	-0.0114							
<j2> Mag. ff :		1.9405	18.4730	1.9566	6.3230	0.5166	2.1610	0.0000	
	0.0000	0.0036	2.000						

LANJUTAN-LAMPIRAN B

O	0.581	3.0485	13.2771	2.2868	5.7011	1.5463	0.3239	0.8670	
32.9089	0.2508								
Atom type	CrKa	FeKa	CuKa	MoKa	AgKa	TiKa	CoKa	TaKa	
WKa	AuKa								
BA	f	-11.040	-4.647	-1.046	-0.324	-0.694	-7.208	-2.795	-0.167
									-0.134
									-0.049
	f'	10.092	12.000	8.462	2.282	1.500	4.411	10.709	1.713
									1.619
1.252									
FE	f	-1.294	-2.055	-1.134	0.346	0.289	-0.890	-3.331	0.044
									0.039
0.017									
	f'	0.762	0.565	3.197	0.844	0.545	1.052	0.490	0.084
									0.079
0.058									
O	f	0.093	0.072	0.049	0.011	0.006	0.121	0.063	-0.002
									-0.003
0.003									
	f'	0.073	0.052	0.032	0.006	0.004	0.106	0.044	0.000
									0.000
0.000									
1Ba05Sr05									
08:37:51 2008 Page 2									
									GENLES Version Win32 Dec 15

Space group P 63/m m c  
 The lattice is centric primitive hexagonal Laue symmetry 6/mmm  
 Multiplicity of a general site is 24  
 The symmetry of the point 0,0,0 contains 1bar

The equivalent positions are:

- (1) X Y Z (2) X-Y X 1/2+Z (3) -Y X-Y Z
- (4) -X -Y 1/2+Z (5) Y-X -X Z (6) Y Y-X 1/2+Z
- (7) Y-X Y Z (8) -X Y-X 1/2+Z (9) -Y -X Z
- (10) X-Y -Y 1/2+Z (11) X X-Y Z (12) Y X 1/2+Z

The atom positions read in are: (all variable numbers (pn) are in hexadecimal)

Type	seq.	At. name	mult	symm	frac	pn	X	pn	Y	pn	Z	pn	u11	pn
u22	pn	u33	pn	u12	pn	u13	pn	u23	pn					
BA	1	BA1	12	M(001)	1.0000	0	0.3330	0	10.0000	0	0.2500	0	33.3	0
FE	2	FE2	2-3M(100)	1.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	2.5	0	
FE	3	FE3	4 3M(100)	1.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.2772	0	6.7	0	
FE	4	FE4	12 M(110)	1.0000	0	1.0167	0	-0.0167	0	0.0261	0	-0.1	0	

LANJUTAN-LAMPIRAN B

FE	5 FE5	12 M(110)	1.0000	0	1.8792	0-0.8792	0	0.1943	0	1.7	0		
FE	6 FE6	24	1	1.0000	0	0.2068	0	0.3412	0	0.1136	0-0.1	0	
O	7 O7	4 3M(100)	1.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.4997	0	80.0	0	
O	8 O8	12 M(110)	1.0000	0	-1.9394	0	2.9394	0	0.0773	0	3.8	0	
O	9 O9	6 MM2(120)	1.0000	0	0.8206	0	0.6412	0	0.2500	0	-9.0	0	
O	10 O10	24	1	1.0000	0	0.3686	0	0.7389	0	0.0539	0	0.1	0
O	11 O11	24	1	1.0000	0	2.2981	0	1.0898	0	0.1544	0	-2.6	0

Lattice parameters for phase 1 are:

a	b	c	alpha	beta	gamma
5.896427	5.896427	23.157501	90.0000	90.0000	120.0000

Phase/element fractions for phase no. 1

Hist Elm: PXC 11 nc  
 Fraction: 4.9673 1  
 Dmp/Cnst: 0 1.000 1

Histogram scale factors:

Hist/Typ: 1 PXC pn  
 Scale : 0.33900E-01 0  
 Dmp/Cnst: 0 0.000 0

Absorption coefficients for powder data:

1Ba05Sr05  
 08:37:51 2008 Page 3

GENLES Version Win32 Dec 15

Hist/Typ: 1 PXC 0 pn  
 Absc 1.: 0.0000 0  
 Dmp/Cnst: 0 0.000 0  
 Absc 2.: 0.0000 0  
 Dmp/Cnst: 0 0.000 0

Diffraction constants for powder data:

No.	Type	Lam 1	Lam 2	Polariz.	pn	Cnstr	cn	type	Zero	pn	Cnstr	cn
Kratio	pn	Cnstr	cn	Damp								
1	PXC	1.7889600	1.7928500	1.65927	0	0.000	0	0	-41.930	0	0.000	0
0.8476	0	0.000	0	0								

LANJUTAN-LAMPIRAN B

Extinction coefficients for phase no. 1:

Hist/Typ: 1 PXC pn  
Extinct.: 0.0000 0  
Dmp/Cnst: 0 0.000 0

Radiation damage coefficients for phase no. 1:

Hist/Typ: 1 PXC pn  
Rad.dam.: 0.0000 0  
Dmp/Cnst: 0 0.000 0

Preferred orientation coeffs. for phase no. 1 histogram no. 1:

Axis : 1 pn  
Dir./typ: 0.0 0.0 1.0 0  
PO ratio: 1.0000 0  
Dmp/Cnst: 0 0.000 0  
PO frac.: 1.0000 0  
Dmp/Cnst: 0 0.000 0

Profile coeff. for function type 2, phase no. 1 and histogram no. 1; aniso. axis 0. 0. 1.; damp=0:

Coeff. :	GU pn	GV pn	GW pn	LX pn	LY pn	trns pn
Value :	3.334E+02	0 2.903E+00	0 3.823E+01	0 8.968E+00	0 0.000E+00	0
0.000E+00	0 3.010E+01	0 0.000E+00	0			
Constr. :	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
0.000 0	0.000 0					
Coeff. :	GP pn	stec pn	ptec pn	sfec pn	L11 pn	L22 pn
L33 pn	L12 pn					
Value :	0.000E+00	0 0.000E+00	0 0.000E+00	0 0.000E+00	0 0.000E+00	0
0.000E+00	0 0.000E+00	0 0.000E+00	0			
Constr. :	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
0.000 0	0.000 0					
Coeff. :	L13 pn	L23 pn				
Value :	0.000E+00	0 0.000E+00	0			
Constr. :	0.000 0	0.000 0				

Diffuse scattering coefficients for powder data:

No diffuse scattering coefficients for histogram 1

1Ba05Sr05

GENLES Version Win32 Dec 15

08:37:51 2008 Page 4

## LANJUTAN-LAMPIRAN B

Background coefficients for powder data:

Histogram no.: 1 Damping factor: 0 Use all points: Y

Power series in  $Q^{*2n/n!}$  and  $n!/Q^{*2n}$

Param. : 1 pn 2 pn 3 pn 4 pn 5 pn 6 pn  
Coeff. : 0.28901E+03 0-0.10163E+02 0-0.27498E+03 0 0.68124E+00 0  
0.98746E+02 0-0.24078E-01 0

The constraint matrix has 1 terms

1Ba05Sr05

GENLES Version Win32 Dec 15

08:37:51 2008 Page 5

Restraint data statistics:

No restraints used

Powder data statistics	Fitted	-Bknd	Average				
Bank Ndata	Sum( $w*d^{*2}$ )	wRp	Rp	wRp	Rp	DWd	Integral
Hstgm 1 PXC 1	4991 19060.	0.1399	0.0940	0.3506	0.1792	0.536	0.851
Powder totals	4991 19060.	0.1399	0.0940	0.3506	0.1792	0.536	

No serial correlation in fit at 90% confidence for  $1.912 < DWd < 2.088$

Cycle 269 There were 4991 observations.

Total before-cycle  $CHI^{*2}$  (offset/sig) =  $1.9060E+04$  ( $1.4084E+02$ )

Reduced  $CHI^{*2}$  = 3.820 for 1 variables

Reflection data statistics

Histogram 1 Type PXC Nobs= 324  $R(F^{*2}) = 0.7272$

The value of the determinant is  $1.0000*10.0^{*} ( 0)$

Atom parameters for phase no. 1

frac	x	y	z	100*Uiso	100*U11	100*U22	100*U33
100*U12	100*U13	100*U23					

Calculated unit cell formula weight: 5783.628, density:  $13.774\text{gm/cm}^{*3}$

Phase/element fractions for phase no. 1

Hist Elem: 1 1 PXC

Fraction : 2.61859

Sigmas : 0.116325

Shift/esd: -20.19



LANJUTAN-LAMPIRAN B

Wt. Frac.: 1.0000  
Sigmas : 0.647125E-09  
Phase/element fraction sum(shift/error)\*\*2 : 407.67

CPU times for matrix build 0.23 sec; matrix inversion 0.00 sec  
Final variable sum((shift/esd)\*\*2) for cycle 269: 407.67 Time: 0.23 sec  
1Ba05Sr05 GENLES Version Win32 Dec 15  
08:37:51 2008 Page 6

Restraint data statistics:  
No restraints used

Powder data statistics	Fitted	-Bknd	Average				
Bank Ndata	Sum(w*d**2)	wRp	Rp	wRp	Rp	DWd	Integral
Hstgm 1 PXC 1	4991 17503.	0.1341	0.0922	0.3716	0.1902	0.571	0.851
Powder totals	4991 17503.	0.1341	0.0922	0.3716	0.1902	0.571	

No serial correlation in fit at 90% confidence for  $1.912 < DWd < 2.088$   
Cycle 270 There were 4991 observations.  
Total before-cycle  $CHI^{**2}$  (offset/sig) =  $1.7503E+04$  ( $1.2525E+02$ )  
Reduced  $CHI^{**2}$  = 3.508 for 1 variables

Reflection data statistics  
Histogram 1 Type PXC Nobs= 324  $R(F^{**2}) = 0.8149$

The value of the determinant is  $1.0000 \cdot 10.0^{**}( 0)$

Atom parameters for phase no. 1

frac	x	y	z	100*Uiso	100*U11	100*U22	100*U33
100*UI2	100*UI3	100*U23					

Calculated unit cell formula weight: 5783.628, density:  $13.774 \text{ gm/cm}^{**3}$

LAMPIRAN C. Contoh hasil GSAS untuk Ba05Sr05

```

-----|
|      Program GENLES Version Win32      |
|      General crystal structure refinement program |
|      Magnetic structure refinement added by M. Yethiraj |
|      Revised and corrected by Larson and Von Dreele |
|      Distributed on Wed Sep 07 19:37:12 2005 |
|-----|
  
```

```

-----|
|      Allen C. Larson and Robert B. Von Dreele      |
|      Manuel Lujan, Jr. Neutron Scattering Center, MS-H805 |
|      Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM 87545 |
|      Copyright, 2000, The Regents of the University of California. |
|-----|
  
```

The experiment file is: BA05SR05.EXP

The last history record is :

HSTRY201 GENLES Win32 Dec 14 10:51:45 2008 Sdsq= 0.720E+04 S/E= 45.7

Maximum number of cycles is 3

I/SigI cut-off is 1.00

Structure factors will be extracted from histogram 1

using extraction method codes 0 0 0 0 0 0 0 0 0

The atomic and magnetic scattering factors for 3 types of atoms are:

Atom type	b-len	a(1)	b(1)	a(2)	b(2)	a(3)	b(3)	a(4)	b(4)
c									
g									
BA	0.507	20.3361	3.2160	19.2970	0.2756	10.8880	20.2073	2.6959	
	167.2020	2.7731							
FE	0.945	11.7695	4.7611	7.3573	0.3072	3.5222	15.3535	2.3045	
	76.8805	1.0369							

<j0> Mag. ff : 0.0706 35.0080 0.3589 15.3580 0.5819 5.5610 0.0000  
0.0000 -0.0114

<j2> Mag. ff : 1.9405 18.4730 1.9566 6.3230 0.5166 2.1610 0.0000  
0.0000 0.0036 2.000

O	0.581	3.0485	13.2771	2.2868	5.7011	1.5463	0.3239	0.8670	
	32.9089	0.2508							

Atom type	CrKa	FeKa	CuKa	MoKa	AgKa	TiKa	CoKa		
TaKa	WKa	AuKa							
BA	f -11.040	-4.647	-1.046	-0.324	-0.694	-7.208	-2.795	-0.167	-0.134
									-0.049

LANJUTAN-LAMPIRAN C

f' 10.092 12.000 8.462 2.282 1.500 4.411 10.709 1.713 1.619  
 1.252  
 FE f' -1.294 -2.055 -1.134 0.346 0.289 -0.890 -3.331 0.044 0.039  
 0.017  
 f' 0.762 0.565 3.197 0.844 0.545 1.052 0.490 0.084 0.079  
 0.058  
 O f' 0.093 0.072 0.049 0.011 0.006 0.121 0.063 -0.002 -0.003 -  
 0.003  
 f' 0.073 0.052 0.032 0.006 0.004 0.106 0.044 0.000 0.000  
 0.000  
 1Ba05Sr05 GENLES Version Win32 Dec 14  
 10:51:50 2008 Page 2

Space group P 63/m m c  
 The lattice is centric primitive hexagonal Laue symmetry 6/mmm  
 Multiplicity of a general site is 24  
 The symmetry of the point 0,0,0 contains 1bar

The equivalent positions are:

- (1) X Y Z (2) X-Y X 1/2+Z (3) -Y X-Y Z  
 (4) -X -Y 1/2+Z (5) Y-X -X Z (6) Y Y-X 1/2+Z  
 (7) Y-X Y Z (8) -X Y-X 1/2+Z (9) -Y -X Z  
 (10) X-Y -Y 1/2+Z (11) X X-Y Z (12) Y X 1/2+Z

The atom positions read in are: (all variable numbers (pn) are in hexadecimal)

Type	seq.	At. name	mult	symm	frac	pn	X	pn	Y	pn	Z	pn	u11	pn
u22	pn	u33	pn	u12	pn	u13	pn	u23	pn					
BA	1	BA1	12	M(001)	1.0000	0	0.3330	0	0.6667	0	0.2500	0	32.1	1
FE	2	FE2	2-3M	(100)	1.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	2.5	0
FE	3	FE3	4	3M(100)	1.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.2570	0	5.5	2
FE	4	FE4	12	M(110)	1.0000	0	0.6670	0	0.3330	0	0.0270	0	-0.5	3
FE	5	FE5	12	M(110)	1.0000	0	0.6670	0	0.3330	0	0.1900	0	2.3	4
FE	6	FE6	24	1	1.0000	0	0.1690	0	0.3370	0	0.1080	0	-0.2	5
O	7	O7	4	3M(100)	1.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.1500	0	80.0	6
O	8	O8	12	M(110)	1.0000	0	0.3330	0	0.6670	0	0.0550	0	5.4	7
O	9	O9	6	MM2(120)	1.0000	0	0.8160	0	0.6320	0	0.2500	0	-9.0	8

LANJUTAN-LAMPIRAN C

O 10 O10 24 1 1.0000 0 0.8450 0 0.6890 0 0.0520 0-1.6 9  
O 11 O11 24 1 1.0000 0 0.4970 0 0.9930 0 0.1500 0-2.5 A

Lattice parameters for phase 1 are:

a b c alpha beta gamma  
5.896427 5.896427 23.157501 90.0000 90.0000 120.0000

Phase/element fractions for phase no. 1

Hist Elm: PXC 11 nc  
Fraction: 4.1904 B  
Dmp/Cnst: 0 1.000 1

Histogram scale factors:

Hist/Typ: 1 PXC pn  
Scale : 0.33900E-01 0  
Dmp/Cnst: 0 0.000 0

Absorption coefficients for powder data:

1Ba05Sr05  
10:51:50 2008 Page 3

GENLES Version Win32 Dec 14

Hist/Typ: 1 PXC 0 pn  
Absc 1. : 0.0000 0  
Dmp/Cnst: 0 0.000 0  
Absc 2. : 0.0000 0  
Dmp/Cnst: 0 0.000 0

Diffraction constants for powder data:

No.	Type	Lam 1	Lam 2	Polariz.	pn	Cnstr	cn	type	Zero	pn	Cnstr	cn
1	PXC	1.7889600	1.7928500	1.65927	0	0.000	0	0	-41.930	0	0.000	0
		0.8476	0	0.000	0	0						

Extinction coefficients for phase no. 1:

Hist/Typ: 1 PXC pn  
Extinct.: 0.0000 0  
Dmp/Cnst: 0 0.000 0

LANJUTAN-LAMPIRAN C

Radiation damage coefficients for phase no. 1:

Hist/Typ: 1 PXC pn  
Rad.dam.: 0.0000 0  
Dmp/Cnst: 0 0.000 0

Preferred orientation coeffs. for phase no. 1 histogram no. 1:

Axis : 1 pn  
Dir./typ: 0.0 0.0 1.0 0  
PO ratio: 1.0000 0  
Dmp/Cnst: 0 0.000 0  
PO frac.: 1.0000 0  
Dmp/Cnst: 0 0.000 0

Profile coeff. for function type 2, phase no. 1 and histogram no. 1; aniso. axis 0. 0. 1.; damp= 0:

Coeff. : GU pn GV pn GW pn LX pn LY pn trns pn  
asym pn shft pn  
Value : 3.334E+02 0 2.903E+00 0 3.823E+01 0 8.968E+00 0 0.000E+00 0  
0.000E+00 0 3.010E+01 0 0.000E+00 0  
Constr. : 0.000 0 0.000 0 0.000 0 0.000 0 0.000 0  
0.000 0 0.000 0  
Coeff. : GP pn stec pn ptec pn sfec pn L11 pn L22 pn  
L33 pn L12 pn  
Value : 0.000E+00 0 0.000E+00 0 0.000E+00 0 0.000E+00 0 0.000E+00 0  
0.000E+00 0 0.000E+00 0 0.000E+00 0  
Constr. : 0.000 0 0.000 0 0.000 0 0.000 0 0.000 0  
0.000 0 0.000 0  
Coeff. : L13 pn L23 pn  
Value : 0.000E+00 0 0.000E+00 0  
Constr. : 0.000 0 0.000 0

Diffuse scattering coefficients for powder data:

No diffuse scattering coefficients for histogram 1

1Ba05Sr05

GENLES Version Win32 Dec 14

10:51:50 2008 Page 4

Background coefficients for powder data:

Histogram no.: 1 Damping factor: 0 Use all points: Y

LANJUTAN-LAMPIRAN C

Power series in  $Q^{**2n/n!}$  and  $n!/Q^{**2n}$   
 Param. : 1 pn 2 pn 3 pn 4 pn 5 pn 6 pn  
 Coeff. : 0.28901E+03 0-0.10163E+02 0-0.27498E+03 0 0.68124E+00 0  
 0.98746E+02 0-0.24078E-01 0

The constraint matrix has 11 terms

1Ba05Sr05  
 10:51:50 2008 Page 5

GENLES Version Win32 Dec 14

Restraint data statistics:  
 No restraints used

Powder data statistics	Fitted	-Bknd	Average
Bank Ndata	Sum(w*d**2)	wRp	Rp wRp Rp DWd Integral
Hstgm 1 PXC 1	4991 7195.4	0.0860 0.0676 0.1360	0.0946 1.417 0.851
Powder totals	4991 7195.4	0.0860 0.0676 0.1360	0.0946 1.417

No serial correlation in fit at 90% confidence for  $1.916 < DWd < 2.084$   
 Cycle 265 There were 4991 observations.  
 Total before-cycle  $CHI^{**2}$  (offset/sig) =  $7.1954E+03$  ( $2.2198E+01$ )  
 Reduced  $CHI^{**2}$  = 1.445 for 11 variables

Reflection data statistics  
 Histogram 1 Type PXC Nobs= 324  $R(F^{**2}) = 0.4220$

The value of the determinant is  $0.5889*10.0^{**}(-2)$

Atom parameters for phase no. 1

frac	x	y	z	100*Uiso	100*U11	100*U22	100*U33
100*U12	100*U13	100*U23					
BA ( 1) Values :	1.000	0.333000	0.666700	0.250000	32.635		
Sigmas :				1.494			
Shft/esd:				0.37			
BA1 moved 0.00A				sum(shift/e.s.d)**2 :	0.14		
FE ( 3) Values :	1.000	0.000000	0.000000	0.257000	6.674		
Sigmas :				2.020			
Shft/esd:				0.57			
FE3 moved 0.00A				sum(shift/e.s.d)**2 :	0.32		

## LANJUTAN-LAMPIRAN C

FE ( 4) Values : 1.000 0.667000 0.333000 0.027000 -0.135

Sigmas : 0.550

Shft/esd: 0.72

FE4 moved 0.00A sum(shift/e.s.d)\*\*2 : 0.52

FE ( 5) Values : 1.000 0.667000 0.333000 0.190000 1.592

Sigmas : 0.750

Shft/esd: -0.95

FE5 moved 0.00A sum(shift/e.s.d)\*\*2 : 0.90

FE ( 6) Values : 1.000 0.169000 0.337000 0.108000 -0.183

Sigmas : 0.459

Shft/esd: -0.05

FE6 moved 0.00A sum(shift/e.s.d)\*\*2 : 0.00

O ( 7) Values : 1.000 0.000000 0.000000 0.150000 80.000

Sigmas : 79.198

Shft/esd: 4.15

O7 moved 0.00A sum(shift/e.s.d)\*\*2 : 17.18

1Ba05Sr05  
10:51:50 2008 Page 6

GENLES Version Win32 Dec 14

O ( 8) Values : 1.000 0.333000 0.667000 0.055000 3.616

Sigmas : 2.702

Shft/esd: -0.66

O8 moved 0.00A sum(shift/e.s.d)\*\*2 : 0.44

O ( 9) Values : 1.000 0.816000 0.632000 0.250000 -9.000

Sigmas : 1.933

Shft/esd: -5.03

O9 moved 0.00A sum(shift/e.s.d)\*\*2 : 25.33

O ( 10) Values : 1.000 0.845000 0.689000 0.052000 0.019

Sigmas : 1.406

Shft/esd: 1.13

O10 moved 0.00A sum(shift/e.s.d)\*\*2 : 1.28

O ( 11) Values : 1.000 0.497000 0.993000 0.150000 -2.659

Sigmas : 1.169

Shft/esd: -0.10  
 O11 moved 0.00A sum(shift/e.s.d)\*\*2 : 0.01

Atomic parameter sum(shift/error)\*\*2 for phase 1 : 46.13  
 Calculated unit cell formula weight: 5783.628, density: 13.774gm/cm\*\*3

Phase/element fractions for phase no. 1

Hist Elem: 1 1 PXC  
 Fraction : 4.24255  
 Sigmas : 0.152770  
 Shift/esd: 0.34  
 Wt. Frac.: 1.0000  
 Sigmas : -0.117497E-08  
 Phase/element fraction sum(shift/error)\*\*2 : 0.12

CPU times for matrix build 0.27 sec; matrix inversion 0.00 sec  
 Final variable sum((shift/esd)\*\*2) for cycle 265: 46.24 Time: 0.27 sec  
 1Ba05Sr05 GENLES Version Win32 Dec 14  
 10:51:50 2008 Page 7

Restraint data statistics:  
 No restraints used

Powder data statistics		Fitted		-Bknd		Average			
Bank	Ndata	Sum(w*d**2)	wRp	Rp	wRp	Rp	DWd	Integral	
Hstgm	1 PXC	1 4991 7198.1	0.0860	0.0676	0.1361	0.0945	1.417	0.851	
Powder totals		4991 7198.1	0.0860	0.0676	0.1361	0.0945	1.417		

No serial correlation in fit at 90% confidence for  $1.916 < DWd < 2.084$   
 Cycle 266 There were 4991 observations.  
 Total before-cycle CHI\*\*2 (offset/sig) = 7.1981E+03 (2.2226E+01)  
 Reduced CHI\*\*2 = 1.445 for 11 variables

Reflection data statistics  
 Histogram 1 Type PXC Nobs= 324 R(F\*\*2) = 0.4200

The value of the determinant is  $0.6451 \cdot 10.0^{**}(-2)$



## Atom parameters for phase no. 1

	frac	x	y	z	100*Uiso	100*U11	100*U22	100*U33
100*U12								
100*U13								
100*U23								
BA ( 1)	Values	: 1.000	0.333000	0.666700	0.250000	33.154		
	Sigmas	:		1.482				
	Shft/esd:			0.35				
BA1	moved	0.00A	sum(shift/e.s.d)**2	:	0.12			
FE ( 3)	Values	: 1.000	0.000000	0.000000	0.257000	5.560		
	Sigmas	:		2.135				
	Shft/esd:			-0.52				
FE3	moved	0.00A	sum(shift/e.s.d)**2	:	0.27			
FE ( 4)	Values	: 1.000	0.667000	0.333000	0.027000	-0.447		
	Sigmas	:		0.576				
	Shft/esd:			-0.54				
FE4	moved	0.00A	sum(shift/e.s.d)**2	:	0.29			
FE ( 5)	Values	: 1.000	0.667000	0.333000	0.190000	2.464		
	Sigmas	:		0.692				
	Shft/esd:			1.26				
FE5	moved	0.00A	sum(shift/e.s.d)**2	:	1.59			
FE ( 6)	Values	: 1.000	0.169000	0.337000	0.108000	-0.058		
	Sigmas	:		0.442				
	Shft/esd:			0.28				
FE6	moved	0.00A	sum(shift/e.s.d)**2	:	0.08			
O ( 7)	Values	: 1.000	0.000000	0.000000	0.150000	80.000		
	Sigmas	:		78.261				
	Shft/esd:			3.83				
O7	moved	0.00A	sum(shift/e.s.d)**2	:	14.70			

1Ba05Sr05  
10:51:50 2008 Page 8

GENLES Version Win32 Dec 14

O ( 8)	Values	: 1.000	0.333000	0.667000	0.055000	5.729		
	Sigmas	:		2.362				
	Shft/esd:			0.89				
O8	moved	0.00A	sum(shift/e.s.d)**2	:	0.80			

LANJUTAN-LAMPIRAN C

O (9) Values : 1.000 0.816000 0.632000 0.250000 -9.000  
 Sigmas : 1.933  
 Shft/esd: -5.01  
 O9 moved 0.00A sum(shift/e.s.d)\*\*2 : 25.06

O (10) Values : 1.000 0.845000 0.689000 0.052000 -1.507  
 Sigmas : 1.556  
 Shft/esd: -0.98

O10 moved 0.00A sum(shift/e.s.d)\*\*2 : 0.96

O (11) Values : 1.000 0.497000 0.993000 0.150000 -2.395  
 Sigmas : 1.141  
 Shft/esd: 0.23

O11 moved 0.00A sum(shift/e.s.d)\*\*2 : 0.05

Atomic parameter sum(shift/error)\*\*2 for phase 1 : 43.93

Calculated unit cell formula weight: 5783.628, density: 13.774gm/cm\*\*3

Phase/element fractions for phase no. 1

Hist Elem: 1 1 PXC

Fraction : 4.28986

Sigmas : 0.152093

Shift/esd: 0.31

Wt. Frac.: 1.0000

Sigmas : 0.443872E-09

Phase/element fraction sum(shift/error)\*\*2 : 0.10

CPU times for matrix build 0.23 sec; matrix inversion 0.00 sec

Final variable sum((shift/esd)\*\*2) for cycle 266: 44.03 Time: 0.23 sec

1Ba05Sr05

GENLES Version Win32 Dec 14

10:51:50 2008 Page 9

Restraint data statistics:

No restraints used

Powder data statistics	Fitted	-Bknd	Average
Bank Ndata	Sum(w*d**2)	wRp	Rp wRp Rp DWd Integral
Hstgm 1 PXC 1	4991 7194.1	0.0860	0.0676 0.1358 0.0945 1.417 0.851
Powder totals	4991 7194.1	0.0860	0.0676 0.1358 0.0945 1.417

LANJUTAN-LAMPIRAN C

No serial correlation in fit at 90% confidence for  $1.916 < DWd < 2.084$   
 Cycle 267 There were 4991 observations.  
 Total before-cycle  $CHI^{**2}$  (offset/sig) =  $7.1941E+03$  ( $2.2185E+01$ )  
 Reduced  $CHI^{**2}$  = 1.445 for 11 variables

Reflection data statistics

Histogram 1 Type PXC Nobs= 324  $R(F^{**2}) = 0.4220$

The value of the determinant is  $0.6045 \times 10.0^{**}(-2)$

Atom parameters for phase no. 1

	frac	x	y	z	100*Uiso	100*U11	100*U22	100*U33
100*U12	100*U13	100*U23						
BA ( 1) Values :	1.000	0.333000	0.666700	0.250000	33.313			
Sigmas :				1.507				
Shft/esd:				0.11				
BA1	moved 0.00A			sum(shift/e.s.d)**2 :	0.01			
FE ( 3) Values :	1.000	0.000000	0.000000	0.257000	6.733			
Sigmas :				2.000				
Shft/esd:				0.59				
FE3	moved 0.00A			sum(shift/e.s.d)**2 :	0.34			
FE ( 4) Values :	1.000	0.667000	0.333000	0.027000	-0.088			
Sigmas :				0.547				
Shft/esd:				0.66				
FE4	moved 0.00A			sum(shift/e.s.d)**2 :	0.43			
FE ( 5) Values :	1.000	0.667000	0.333000	0.190000	1.683			
Sigmas :				0.753				
Shft/esd:				-1.04				
FE5	moved 0.00A			sum(shift/e.s.d)**2 :	1.08			
FE ( 6) Values :	1.000	0.169000	0.337000	0.108000	-0.118			
Sigmas :				0.458				
Shft/esd:				-0.13				
FE6	moved 0.00A			sum(shift/e.s.d)**2 :	0.02			
O ( 7) Values :	1.000	0.000000	0.000000	0.150000	80.000			
Sigmas :				78.319				
Shft/esd:				4.03				

O7 moved 0.00A sum(shift/e.s.d)\*\*2 : 16.26  
 1Ba05Sr05 GENLES Version Win32 Dec 14  
 10:51:50 2008 Page 10

O ( 8) Values : 1.000 0.333000 0.667000 0.055000 3.751  
 Sigmas : 2.728  
 Shft/esd: -0.73

O8 moved 0.00A sum(shift/e.s.d)\*\*2 : 0.53

O ( 9) Values : 1.000 0.816000 0.632000 0.250000 -9.000  
 Sigmas : 1.903  
 Shft/esd: -5.06

O9 moved 0.00A sum(shift/e.s.d)\*\*2 : 25.59

O ( 10) Values : 1.000 0.845000 0.689000 0.052000 0.099  
 Sigmas : 1.395  
 Shft/esd: 1.15

O10 moved 0.00A sum(shift/e.s.d)\*\*2 : 1.32

O ( 11) Values : 1.000 0.497000 0.993000 0.150000 -2.578  
 Sigmas : 1.174  
 Shft/esd: -0.16

O11 moved 0.00A sum(shift/e.s.d)\*\*2 : 0.02

Atomic parameter sum(shift/error)\*\*2 for phase 1 : 45.60  
 Calculated unit cell formula weight: 5783.628, density: 13.774gm/cm\*\*3

Phase/element fractions for phase no. 1

Hist Elem: 1 1 PXC  
 Fraction : 4.30544  
 Sigmas : 0.155633  
 Shift/esd: 0.10  
 Wt. Frac.: 1.0000  
 Sigmas : 0.933500E-09

Phase/element fraction sum(shift/error)\*\*2 : 0.01

CPU times for matrix build 0.25 sec; matrix inversion 0.00 sec  
 Final variable sum((shift/esd)\*\*2) for cycle 267: 45.61 Time: 0.25 sec  
 1Ba05Sr05 Version Dec 14 10:51:55  
 2008 Page 1

LAMPIRAN D. Contoh hasil GSAS untuk Ba07Sr03

```

-----|
|      Program GENLES Version Win32      |
|      General crystal structure refinement program |
|      Magnetic structure refinement added by M. Yethiraj |
|      Revised and corrected by Larson and Von Dreele |
|      Distributed on Wed Sep 07 19:37:12 2005 |
|-----|
    
```

```

-----|
|      Allen C. Larson and Robert B. Von Dreele      |
|      Manuel Lujan, Jr. Neutron Scattering Center, MS-H805 |
|      Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM 87545 |
|-----|
|      Copyright, 2000, The Regents of the University of California. |
|-----|
    
```

The experiment file is: BA07SR03.EXP

The last history record is :

HSTRY514 EXPGUI 1.77 1.46 (1 changes) -- 12/14/08 11:19:52

Maximum number of cycles is 3

I/SigI cut-off is 1.00

Structure factors will be extracted from histogram 1

using extraction method codes 0 0 0 0 0 0 0 0 0

The atomic and magnetic scattering factors for 3 types of atoms are:

Atom type	b-len	a(1)	b(1)	a(2)	b(2)	a(3)	b(3)	a(4)	b(4)
c	g								
BA	0.507	20.3361	3.2160	19.2970	0.2756	10.8880	20.2073	2.6959	
	167.2020	2.7731							
FE	0.945	11.7695	4.7611	7.3573	0.3072	3.5222	15.3535	2.3045	
	76.8805	1.0369							
<j0> Mag. ff :	0.0706	-35.0080	0.3589	15.3580	0.5819	5.5610	0.0000		
	0.0000	-0.0114							
<j2> Mag. ff :	1.9405	18.4730	1.9566	6.3230	0.5166	2.1610	0.0000		
	0.0000	0.0036	2.000						
O	0.581	3.0485	13.2771	2.2868	5.7011	1.5463	0.3239	0.8670	
	32.9089	0.2508							
Atom type	CrKa	FeKa	CuKa	MoKa	AgKa	TiKa	CoKa		
TaKa	WKa	AuKa							
BA	f -11.040	-4.647	-1.046	-0.324	-0.694	-7.208	-2.795	-0.167	-0.134
	-0.049								

LANJUTAN-LAMPIRAN D

f' 10.092 12.000 8.462 2.282 1.500 4.411 10.709 1.713 1.619  
 1.252

FE f' -1.294 -2.055 -1.134 0.346 0.289 -0.890 -3.331 0.044 0.039  
 0.017

f' 0.762 0.565 3.197 0.844 0.545 1.052 0.490 0.084 0.079  
 0.058

O f' 0.093 0.072 0.049 0.011 0.006 0.121 0.063 -0.002 -0.003 -  
 0.003

f' 0.073 0.052 0.032 0.006 0.004 0.106 0.044 0.000 0.000  
 0.000

1Ba07Sr03 GENLES Version Win32 Dec 14  
 11:19:53 2008 Page 2

Space group P 63/m m c

The lattice is centric primitive hexagonal Laue symmetry 6/mmm

Multiplicity of a general site is 24

The symmetry of the point 0,0,0 contains 1bar

The equivalent positions are:

- (1) X Y Z (2) X-Y X 1/2+Z (3) -Y X-Y Z  
 (4) -X -Y 1/2+Z (5) Y-X -X Z (6) Y Y-X 1/2+Z  
 (7) Y-X Y Z (8) -X Y-X 1/2+Z (9) -Y -X Z  
 (10) X-Y -Y 1/2+Z (11) X X-Y Z (12) Y X 1/2+Z

The atom positions read in are: (all variable numbers (pn) are in hexadecimal)

Type	seq.	At. name	mult	symm	frac	pn <sup>1</sup>	X	pn <sup>2</sup>	Y	pn <sup>3</sup>	Z	pn <sup>4</sup>	u1	pn <sup>5</sup>
u22	pn	u33	pn	u12	pn	u13	pn	u23	pn	u23	pn	u23	pn	u23
BA	1	BA1	6	MM2(+0)	1.0000	0	0.3330	0	0.6670	0	0.2500	0	6.1	0
FE	2	FE2	2-3	M(100)	1.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	9.0	0
FE	3	FE3	4	M(100)	1.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.2570	0	6.4	0
FE	4	FE4	12	M(110)	1.0000	0	0.6670	0	0.3330	0	0.0270	0	8.9	0
FE	5	FE5	12	M(110)	1.0000	0	0.6670	0	0.3330	0	0.1900	0	13.0	0
FE	6	FE6	24	1	1.0000	0	0.1690	0	0.3370	0	0.1080	0	0.0	0
O	7	O7	4	M(100)	1.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.1500	0	3.3	0
O	8	O8	12	M(110)	1.0000	0	0.3330	0	0.6670	0	0.0550	0	31.2	0
O	9	O9	6	MM2(120)	1.0000	0	0.8160	0	0.6320	0	0.2500	0	9.0	0

LANJUTAN-LAMPIRAN D

O 10 O10 24 1 1.0000 0 0.8450 0 0.6890 0 0.0520 0 -6.2 0  
O 11 O11 24 1 1.0000 0 0.4970 0 0.9930 0 0.1500 0 7.4 0

Lattice parameters for phase 1 are:

a b c alpha beta gamma  
5.904286 5.904286 23.231140 90.0000 90.0000 120.0000

Phase/element fractions for phase no. 1

Hist Elm: PXC 1 1 nc  
Fraction: 1.2122 0  
Dmp/Cnst: 0 0.000 0

Histogram scale factors:

Hist/Typ: 1 PXC pn  
Scale : 0.25884 0  
Dmp/Cnst: 0 0.000 0

Absorption coefficients for powder data:

1Ba07Sr03  
11:19:53 2008 Page 3

GENLES Version Win32 Dec 14

Hist/Typ: 1 PXC 0 pn  
Absc 1. : 0.0000 0  
Dmp/Cnst: 0 0.000 0  
Absc 2. : 0.0000 0  
Dmp/Cnst: 0 0.000 0

Diffractometer constants for powder data:

No.	Type	Lam 1	Lam 2	Polariz.	pn	Cnstr	cn	type	Zero	pn	Cnstr	cn
1	PXC	1.7889600	1.7928500	1.01039	0	0.000	0	0	-25.238	0	0.000	0
1.0011	0	0.000	0	0								

Extinction coefficients for phase no. 1:

Hist/Typ: 1 PXC pn  
Extinct.: 0.0000 0

LANJUTAN-LAMPIRAN D

Dmp/Cnst: 0 0.000 0

Radiation damage coefficients for phase no. 1:

Hist/Typ: 1 PXC pn  
Rad.dam.: 0.0000 0  
Dmp/Cnst: 0 0.000 0

Preferred orientation coeffs. for phase no. 1 histogram no. 1:

Axis : 1 pn  
Dir./typ: 0.0 0.0 1.0 0  
PO ratio: 1.0000 0  
Dmp/Cnst: 0 0.000 0  
PO frac.: 1.0000 0  
Dmp/Cnst: 0 0.000 0

Profile coeff. for function type 2, phase no. 1 and histogram no. 1; aniso. axis 0. 0. 1.; damp= 0:

Coeff. : GU pn GV pn GW pn LX pn LY pn trns pn  
asym pn shift pn  
Value : 1.057E+03 0-3.393E+02 0 1.820E+01 0 3.348E+00 0 7.750E+00 0  
0.000E+00 0 2.673E+01 0 0.000E+00 0  
Constr. : 0.000 0 0.000 0 0.000 0 0.000 0 0.000 0 0.000 0  
0.000 0 0.000 0  
Coeff. : GP pn stec pn ptec pn sfec pn L11 pn L22 pn  
L33 pn L12 pn  
Value : 0.000E+00 0 0.000E+00 0 0.000E+00 0 0.000E+00 0 0.000E+00 0  
0.000E+00 0 0.000E+00 0 0.000E+00 0  
Constr. : 0.000 0 0.000 0 0.000 0 0.000 0 0.000 0 0.000 0  
0.000 0 0.000 0  
Coeff. : L13 pn L23 pn  
Value : 0.000E+00 0 0.000E+00 0  
Constr. : 0.000 0 0.000 0

Diffuse scattering coefficients for powder data:

No diffuse scattering coefficients for histogram 1

1Ba07Sr03

GENLES Version Win32 Dec 14

11:19:53 2008 Page 4



LANJUTAN-LAMPIRAN D

Background coefficients for powder data:

Histogram no.: 1 Damping factor: 0 Use all points: Y

Power series in  $Q^{2n}/n!$  and  $n!/Q^{2n}$

Param. : 1 pn 2 pn 3 pn 4 pn 5 pn 6 pn

Coeff. : 0.24812E+03 0-0.87057E+01 0-0.20185E+02 0 0.61060E+00 0  
0.25411E+02 0-0.21732E-01 0

1Ba07Sr03  
11:19:53 2008 Page 5

GENLES Version Win32 Dec 14

Restraint data statistics:

No restraints used

Powder data statistics	Fitted	-Bknd	Average						
Bank	Ndata	Sum( $w*d^{**2}$ )	wRp	Rp	wRp	Rp	DWd	Integral	
Hstgm 1 PXC	1	4991 10842.	0.1073	0.0781	0.2354	0.1401	1.027	0.163	
Powder totals	4991	10842.	0.1073	0.0781	0.2354	0.1401	1.027		

No serial correlation in fit at 90% confidence for  $1.912 < DWd < 2.088$

Cycle 463 There were 4991 observations.

Total before-cycle  $CHI^{**2}$  (offset/sig) =  $1.0842E+04$  ( $5.8565E+01$ )

Reduced  $CHI^{**2}$  = 2.172 for 0 variables

Reflection data statistics

Histogram 1 Type PXC Nobs= 324  $R(F^{**2}) = 0.8640$

CPU times for matrix build 0.08 sec; matrix inversion 0.00 sec

Final variable sum( $((shift/esd)^{**2})$  for cycle 463: 0.00 Time: 0.08 sec

## LAMPIRAN E. Perhitungan

Dari penelitian sebelumnya, untuk mendapatkan fase  $\text{Fe}_{2-x}(\text{MnTi})_x\text{O}_3$  yang tersubstitusi secara baik adalah pada nilai  $x = 0.25$

### 1. Perhitungan untuk mendapatkan $\text{Fe}_{1.5}(\text{MnTi})_{0.25}\text{O}_3$

Akan dibuat  $\text{Fe}_{1.5}(\text{MnTi})_{0.25}\text{O}_3$  sebanyak 10 gram

$$\begin{aligned}\text{Mr Fe}_{1.5}(\text{MnTi})_{0.25}\text{O}_3 &= (1.5)(55.845) + (0.25)(54.938 + 47.867) + (3)(15.9994) \\ &= 83.7675 + 25.70125 + 47.9982 = 157.46695\end{aligned}$$

Fraksi Fe di dalam material tersebut adalah sebesar :

$$\frac{(1.5)(55.845)}{157.46695} \times 10\text{gr} = 5.3196875\text{gr}$$

Fraksi Mn di dalam material tersebut adalah sebesar :

$$\frac{(0.25)(54.938)}{157.46695} \times 10\text{gr} = 0.87221475\text{gr}$$

Fraksi Ti di dalam material tersebut adalah sebesar :

$$\frac{(0.25)(47.867)}{157.46695} \times 10\text{gr} = 0.759953\text{gr}$$

Dari masing-masing fraksi akan didapat berat precursor yang dibutuhkan

$$\text{Mr Fe}_2\text{O}_3 = (2)(55.845) + (3)(15.9994) = 159.672$$

$$\text{Fraksi Fe dalam Fe}_2\text{O}_3 = \frac{(2)(55.845)}{159.672} = 69.9496\%$$

$$\text{Mr MnCO}_3 = (54.938) + (12.011) + (3)(15.9994) = 114.9472$$

$$\text{Fraksi Mn dalam MnCO}_3 = \frac{(54.938)}{114.9472} = 47.794\%$$

## LANJUTAN-LAMPIRAN E

$$\text{Mr TiO}_2 = (47.867) + (2)(15.9994) = 79.8658$$

$$\text{Fraksi Ti dalam TiO}_2 = \frac{(47.867)}{79.8658} = 59.934\%$$

Maka berat masing-masing material :

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 :$$

$$5.319687 = 69.9496\% \times \text{berat Fe}_2\text{O}_3$$

$$\text{berat Fe}_2\text{O}_3 = 7.605 \text{ gram}$$

$$\text{MnCO}_3 :$$

$$0.8722147 = 47.794\% \times \text{berat MnCO}_3 :$$

$$\text{berat MnCO}_3 = 1.8249 \text{ gram}$$

$$\text{TiO}_2 :$$

$$0.75995 = 59.934\% \times \text{berat TiO}_2$$

$$\text{berat TiO}_2 = 1.2679 \text{ gram}$$

### 2. Perhitungan untuk mendapatkan $\text{Ba}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{Fe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19}$

Akan dibuat  $\text{Ba}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{Fe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19}$  sebanyak 3 gram

$$\text{Mr Ba}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{Fe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19} :$$

$$\begin{aligned} &= (0.7)(137.34) + (0.3)(87.62) + (9)(55.845) + (1.5)(54.938 + 47.867) + (19)(15.9994) \\ &= 1083.334 \end{aligned}$$

Fraksi Ba di dalam material tersebut adalah sebesar :

$$\frac{(0.7)(137.34)}{1083.334} = 8.874\%$$

Fraksi Sr di dalam material tersebut adalah sebesar :

$$\frac{(0.3)(87.62)}{1083.334} = 2.426\%$$

## LANJUTAN-LAMPIRAN E

Akan dibuat 3 gram  $Ba_{0.7}Sr_{0.3}Fe_9(MnTi)_{1.5}O_{19}$  sebanyak 3 gram, maka fraksi Ba dan Sr dalam material tersebut :

$$Ba = 8.874\% \times 3 \text{ gram} = 0.26622 \text{ gr}$$

$$Sr = 2.426\% \times 3 \text{ gr} = 0.07278 \text{ gr}$$

$$Mr BaCO_3 = 137.34 + 12.011 + 3 \cdot (16) = 197.351$$

$$\text{Fraksi Ba dalam } BaCO_3 = \frac{137.34}{197.351} = 69.5956\%$$

Maka berat  $BaCO_3$  :

$$69.5956\% \times \text{berat } BaCO_3 = 0.26622$$

$$\text{berat } BaCO_3 = 0.382524 \text{ gr}$$

$$Mr SrCO_3 = 87.62 + 12.011 + 3 \cdot (16) = 147.621$$

$$\text{Fraksi Sr dalam } SrCO_3 = \frac{87.62}{147.621} = 59.355\%$$

Maka berat  $SrCO_3$  :

$$59.355\% \times \text{berat } SrCO_3 = 0.07278$$

$$\text{berat } SrCO_3 = 0.122618 \text{ gr}$$

Dari data kedua material di atas, didapat berat yang diperlukan untuk fase  $Fe_{1.5}(MnTi)_{0.25}O_3$  adalah sebanyak 2.61665 gram

### 3. Perhitungan untuk mendapatkan $Ba_{0.5}Sr_{0.5}Fe_9(MnTi)_{1.5}O_{19}$

Akan dibuat  $Ba_{0.7}Sr_{0.3}Fe_9(MnTi)_{1.5}O_{19}$  sebanyak 3 gram

Mr  $Ba_{0.5}Sr_{0.5}Fe_9(MnTi)_{1.5}O_{19}$  :

## LANJUTAN-LAMPIRAN E

$$\begin{aligned} &= (0.5)(137.34) + (0.5)(87.62) + (9)(55.845) + (1.5)(54.938 + 47.867) + (19)(15.9994) \\ &= 1073.390 \end{aligned}$$

Fraksi Ba di dalam material tersebut adalah sebesar :

$$\frac{(0.5)(137.34)}{1073.390} = 6.3975\%$$

Fraksi Sr di dalam material tersebut adalah sebesar :

$$\frac{(0.5)(87.62)}{1073.3904} = 4.0815\%$$

Akan dibuat 3 gram  $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Fe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19}$  sebanyak 3 gram, maka fraksi Ba dan Sr dalam material tersebut :

$$\text{Ba} = 6.3975\% \times 3 \text{ gram} = 0.191924 \text{ gr}$$

$$\text{Sr} = 4.0815\% \times 3 \text{ gr} = 0.1224545 \text{ gr}$$

$$\text{Mr BaCO}_3 = 137.34 + 12.011 + 3 \cdot (16) = 197.351$$

$$\text{Fraksi Ba dalam BaCO}_3 = \frac{137.34}{197.351} = 69.5956\%$$

Maka berat  $\text{BaCO}_3$  :

$$69.5956\% \times \text{berat BaCO}_3 = 0.191924$$

$$\text{berat BaCO}_3 = 0.275771 \text{ gr}$$

$$\text{Mr SrCO}_3 = 87.62 + 12.011 + 3 \cdot (16) = 147.621$$

$$\text{Fraksi Sr dalam SrCO}_3 = \frac{87.62}{147.621} = 59.355\%$$

Maka berat  $\text{SrCO}_3$  :

$$59.355\% \times \text{berat SrCO}_3 = 0.1224545$$

$$\text{berat SrCO}_3 = 0.20629 \text{ gr}$$

## LANJUTAN-LAMPIRAN E

Dari data kedua material di atas, didapat berat yang diperlukan untuk fase  $\text{Fe}_{1.5}(\text{MnTi})_{0.25}\text{O}_3$  adalah sebanyak 2.640927 gram

#### 4. Perhitungan untuk mendapatkan $\text{Ba}_{0.3}\text{Sr}_{0.7}\text{Fe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19}$

Akan dibuat  $\text{Ba}_{0.3}\text{Sr}_{0.7}\text{Fe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19}$  sebanyak 3 gram

Mr  $\text{Ba}_{0.3}\text{Sr}_{0.7}\text{Fe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19}$  :

$$\begin{aligned} &= (0.3)(137.34) + (0.7)(87.62) + (9)(55.845) + (1.5)(54.938 + 47.867) + (19)(15.9994) \\ &= 1063.446 \end{aligned}$$

Fraksi Ba di dalam material tersebut adalah sebesar :

$$\frac{(0.3)(137.34)}{1063.446} = 3.874\%$$

Fraksi Sr di dalam material tersebut adalah sebesar :

$$\frac{(0.7)(87.62)}{1063.446} = 5.7675\%$$

Akan dibuat 3 gram  $\text{Ba}_{0.3}\text{Sr}_{0.7}\text{Fe}_9(\text{MnTi})_{1.5}\text{O}_{19}$  sebanyak 3 gram, maka fraksi Ba dan Sr dalam material tersebut :

$$\text{Ba} = 3.874\% \times 3 \text{ gram} = 0.11623 \text{ gr}$$

$$\text{Sr} = 5.7675\% \times 3 \text{ gr} = 0.17302 \text{ gr}$$

$$\text{Mr BaCO}_3 = 137.34 + 12.011 + 3.(16) = 197.351$$

$$\text{Fraksi Ba dalam BaCO}_3 = \frac{137.34}{197.351} = 69.5956\%$$

Maka berat  $\text{BaCO}_3$  :