

**SINTESIS NANOKRISTAL BARIUM HEKSAFERIT  
TERSUBSTITUSI Co, Zn, Ti DENGAN METODE  
*MECHANICAL ALLOYING* UNTUK APLIKASI  
PENYERAP GELOMBANG RADAR**

**SKRIPSI**

**Disusun Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Guna  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains**



**Donna Bellina Sya'ban  
3225130879**

**PROGRAM STUDI FISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN  
ALAM**

**UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA**

**2017**

## PERSETUJUAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

### SINTESIS NANOKRISTAL BARIUM HEKSAFERIT TERSUBSTITUSI ION Co,Zn,Ti DENGAN METODE *MECHANICAL ALLOYING* UNTUK APLIKASI PENYERAP GELOMBANG RADAR

Nama : Donna Bellina Sya'ban  
No.Reg : 3225130879

	Nama	Tanda tangan	Tanggal
Penanggung jawab			
Dekan	:Prof. Dr. Suyono, M.Si NIP. 19671218 199303 1 005	.....	.....
Wakil Penanggung Jawab			
Pembantu Dekan I:	Dr. Muktiningsih, M.Si NIP. 19640511 198903 2 001	.....	.....
Ketua	:Prof. Dr. Agus Setyo Budi, M.Sc NIP. 19630426 198803 1 002	.....	.....
Sekretaris	:Dr. Anggara Budi Susila, M.Si NIP. 19601001 199203 1 001	.....	.....
Anggota			
Pembimbing I	:Dr. Erfan Handoko, M.Si NIP. 19730201 200312 1 002	.....	.....
Pembimbing II	:Dr. Iwan Sugihartono, M.Si NIP. 19791010 200801 1 018	.....	.....
Penguji	:Dr. Mangasi Alion Marpaung, M.Si NIP. 19571123 198703 1 002	.....	.....

Dinyatakan lulus ujian skripsi tanggal: 15 Agustus 2017

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul **“Sintesis Nanokristal Barium Heksaferit Tersubstitusi Co, Zn, Ti Dengan Metode *Mechanical Alloying* Untuk Aplikasi Penyerap Gelombang Radar”** yang disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dari Program Studi Fisika Universitas Negeri Jakarta adalah karya ilmiah saya dengan arahan dari dosen pembimbing.

Sumber informasi yang diperoleh dari penulis lain yang telah dipublikasikan yang disebutkan dalam teks skripsi ini, telah dicantumkan dalam Daftar Pustaka sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

Jika dikemudian hari ditemukan sebagian besar skripsi ini bukan hasil karya saya sendiri dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya sanding dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Jakarta, Agustus 2017

(Materai 6000)

Donna Bellina Sya'ban

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobila'laaminn, La Hawla Walaa Quwwata Illa Billah. Segala puji bagi Allah, Tuhan Semesta Alam, yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Pemilik segala bumi dan seisinya, solawat serta salam tercurah kepada Nabi Muhammad saw, keluarganya, sahabatnya dan kita sebagai pengikutnya. Terimakasih Allah telah mengizinkan penulis menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“Sintesis Nanokristal Barium Heksaferit Tersubstitusi Co, Zn, Ti Dengan Metode *Mechanical Alloying* Untuk Aplikasi Penyerap Gelombang Radar”**. So verily, with the hardship, there is relief. Verily with the hardship, there is relief[QS. Asy-Syarh 5-6]. I am thankful for my struggles because without it I wouldn't have stumble across my strength, yet I know I can't do this by my self, so I would like to say Thankyou to those who helping me reach this stage, there are: Bapak Dr. Erfan Handoko, M.Si selaku Pembimbing I atas waktu, kesabaran, bimbingan, arahan, tenaga yang telah diberikan hingga bisa terselesaikan penelitian ini, Bapak Dr. Iwan Sugihartono, M.Si selaku Pembimbing II atas waktu, bimbingan dan saran yang membangun, Ibu Dr. Widyaningrum Indrasari, M.Si selaku ketua program studi Fisika FMIPA UNJ, Seluruh dosen Jurusan Fisika Universitas Negeri Jakarta yang telah membimbing dan memberikan berbagai pengetahuan motivasi dan semangat selama perkuliahan. Kepada Pak Fajrin, Pak Mahfud terimakasih untuk selalu sabar menunggu penggunaan lab yang kadang suka sampai larut, Pak Ishak yang sangat membantu saat ada insiden terkunci di FMIPA saat sedang penelitian hingga larut. Mama, Alm Bapak, Ceu tita, Teteh, and my sweet nephew Alvaro, Thankyou for being a family, thank you for the support, thankyou for teaching me to be a person should be, and thankyou for build such a heart of steel that growing up in my heart. Teman seteam riset magnet, Gilang dan Ajeng makasi udah jadi teman team terbaik dan saling menguatkan. Syafira yang selalu ada disaat saat terpuruk. Dan teman teman fisika 2013 lainnya terimakasih atas segala bantuan dan dukungan selama perkuliahan dan penelitian. Last but not least Restika dan Syifa my dearest friends, thankyou for the advice, thank you for the support, thanks for always

cheer me up when I'm down. And untuk siapapun yang secara langsung tidak langsung yang memberikan bala bantuan selama perkuliahan 4 tahun. Terimakasih semoga Allah membalas semua kebaikan aamiin.

Penulis menyadari akan keterbatasan, kelemahan dalam ilmu pengetahuan dan pengalaman, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penulisan selanjutnya yang lebih baik.

Jakarta, Agustus 2017

Penulis

## ABSTRAK

**Donna Bellina Sya'ban**, Sintesis Nanokristal Barium Heksaferit Tersubstitusi Ion Co Zn Dan Ti Untuk Aplikasi Penyerap Gelombang Radar. Skripsi. Jakarta: Prodi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan, Universitas Negeri Jakarta, 2017.

Sintesis material magnet  $BaFe_{12-2x}Co_xZn_xO_{19}$  dan  $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$  ( $x = 0,0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; \text{ dan } 1,0$ ) telah berhasil dibuat melalui metode *Mechanical Alloying*. Proses pencampuran basah dengan *High Energy Ball Mill* selama 30 menit terhadap serbuk  $Fe_2O_3$ ,  $BaCO_3$ ,  $Co_3O_4$ ,  $TiO_2$  dan  $ZnO$  dilakukan sehingga diperoleh paduan yang homogen. Perlakuan panas dengan tahapan kalsinasi  $750^\circ C$  selama 3 jam dan sintering  $1100^\circ C$  selama 5 jam. Paduan kemudian dimilling selama 30 jam untuk menjadi nanokristal. Analisis struktur terhadap data difraksi sinar-X dengan program *GSAS* menunjukkan terbentuknya barium heksaferit fasa tunggal  $BaFe_{12-2x}Co_xZn_xO_{19}$  pada  $x=0.2$  dan  $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$   $x=0.6$  dan 1. Dengan ukuran kristal yang didapat adalah 1.06nm. Analisis sifat kemagnetan dengan pengujian *Permagraph* menunjukkan terjadinya penurunan nilai koersivitas seiring dengan peningkatan komposisi x. Analisis sifat penyerap gelombang RADAR dengan *VNA(Vector Network Analyzer)* menunjukkan *Reflection Loss* maksimum material  $BaFe_{12-2x}Co_xZn_xO_{19}$  pada  $x=0.6$  adalah -14.4 dB pada 8.78GHz dan  $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$  pada  $x=1$  adalah -3.11 pada 11.76GHz.

**Kata Kunci:** *Barium Heksaferit, Substitusi ion, Mechanical Alloying, Material Absorber*

## ABSTRACT

**Donna Bellina Sya'ban**, Synthesis Nanocrystal Barium Hexaferrite Substituted by Co Ti Dan Zn for RADAR Absorber Material. Thesis. Jakarta: Departement of Physics, Faculty of Mathematics and Science, Universitas Negeri Jakarta, 2017.

Synthesized material magnet  $BaFe_{12-2x}Co_xZn_xO_{19}$  and  $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$  ( $x = 0,0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; \text{ dan } 1,0$ ) have been done by using *Mechanical Alloying* process. *Wet milling* method by using *High Energy Ball Mill* 30 minutes for  $Fe_2O_3$ ,  $BaCO_3$ ,  $Co_3O_4$ ,  $TiO_2$  dan  $ZnO$  powder had been done until homogen. Sampel was calcined at  $750^\circ C$  for 3 hours and sintered at  $1100^\circ C$  for 5 hours. Sampel were milled 30 hours to get nanocrystal material. Materials were characterized by using *XRD*, *Permagraph* and *VNA*. Analysis for crystalline structure from *XRD* with *GSAS* program show that  $BaFe_{12-2x}Co_xZn_xO_{19}$  for  $x=0.2$  and  $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$  for  $x=0.6;1$  formed single phase barium hexaferrite. Analysis for magnetic properties by *Permagraph* show decreasing in coercitivity as increasing ion substitution. Analysis material absorber from *VNA* show that *Reflection Loss* maximum material  $BaFe_{12-2x}Co_xZn_xO_{19}$  for  $x=0.6$  is  $-14.4$  dB at  $8.78$ GHz and  $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$  for  $x=1$  is  $-3.11$  at  $11.76$ GHz.

**Keyword:** *Barium Hexaferrite, Ion Subtitution, Mechanical Alloying, Absorber MAterial*

## DAFTAR ISI

PERSETUJUAN PANITIA UJIAN SKRIPSI .....	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
BAB I .....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Perumusan Masalah.....	3
1.5 Tujuan.....	3
1.6 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II	
LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Barium Heksaferit.....	5
2.1.1. Nanokristal Barium Heksaferit.....	8
2.2 Barium Heksaferit sebagai Material Absorber.....	9
2.3 Sifat Magnetik Material.....	10
2.4 Sifat Penyerapan Gelombang Mikro.....	14



2.5 Mechanical Alloying (Milling).....	16
BAB III.....	18
METODOLOGI PENELITIAN .....	18
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	18
3.1.1 Waktu Penelitian .....	18
3.1.2 Tempat Penelitian .....	18
3.2 Metode Penelitian.....	18
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	19
3.3.1 Alat Penelitian .....	19
3.3.2 Bahan Penelitian .....	19
3.4 Prosedur Penelitian.....	20
3.4.1. Persiapan Sintesis Sample $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$ dan $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$ .....	20
3.4.2 ...Proses Pencampuran Sampel Material $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$ dan $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$ .....	21
3.4.3.. Proses Kalsinasi Material $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$ dan $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$ .....	21
3.4.4. Proses Kompaksi Material $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$ dan $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$ .....	22
3.4.5 ...Proses Sintering Material $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$ dan $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$ .....	22
3.4.6... Karakterisasi Struktur Kristal dan Fasa yang terbentuk dari Sintesis Material $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$ dan $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$	23
3.4.7 Karakterisasi Sifat Magnetik yang Terbentuk dari Sintesis $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$ dan $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$ .....	23

3.4.8 Proses Milling Untuk Membuat Nanokristal $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$ dan $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$ .....	23
3.4.9 Proses Annealing Material Nanokristal $BaFe_{12-x}(CoZn)_xO_{19}$ dan $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$ .....	24
3.4.10 Proses Kompaksi Material Nanokristal $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$ dan $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$ .....	24
3.4.11. Karakterisasi Struktur Kristal dan Fasa yang terbentuk dari Sintesis Material Nanokristal $BaFe_{11}(CoTiZn)_{1/3}O_{19}$ setelah dikompaksi.....	24
3.4.12. Karakterisasi Sifat Magnetik yang Terbentuk dari Material Nanokristal $BaFe_{12}O_{19}$ .....	24
3.4.13 Karakterisasi Sifat Penyerapan Gelombang Mikro frekuensi X band Hasil Sintesis Material Nanokristal $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$ dan $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$ .....	25
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	26
BAB IV .....	27
HASIL DAN PEMBAHASAN .....	27
4.1 Hasil.....	27
4.1.1 Preparasi Sampel $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$ dan $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$ .....	27
4.1.2 Hasil Pengukuran Difraksi Sinar-X terhadap Material Sintesis $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$ dan $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$ .....	28
4.1.2.1 Hasil Pengukuran Difraksi Sinar-X Material Sintesis Nanokristal $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$ $x=1$ setelah <i>milling</i> 30 jam.	29
4.1.3 Hasil Pengukuran Sifat Magnetik Material Sintesis $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$ dan $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$ .....	30
4.1.3.1 Hasil Pengukuran Sifat Magnetik Material Nanokristal $BaFe_{12}O_{19}$ setelah <i>milling</i> 30 jam .....	33

4.1.4 Hasil Pengukuran Sifat Penyerapan Gelombang Elektromagnetik terhadap Material Nanokristal $BaFe_{12}O_{19}$ , $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$ $x=0.6$ dan $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_xO_{19}$ $x=1$ .....	34
4.2 Pembahasan.....	36
4.2.1 Pengaruh Subtitusi ion Co Zn Ti terhadap fasa barium heksaferit .....	36
4.2.1.1 Pengaruh Subtitusi ion Co Zn Ti pada material $BaFe_{12-2x}(CoTiZn)_xO_{19}$ $x=1$ terhadap fasa barium heksaferit setelah milling 30 jam.....	41
4.2.2 Efek Subtitusi ion Co Zn Ti terhadap Sifat Magnetik Barium Heksaferit.....	42
4.2.2.1 Efek Sifat Magnetik $BaFe_{12}O_{19}$ Setelah milling 30 jam....	45
Sifat magnetik $BaFe_{12}O_{19}$ setelah <i>milling</i> 30 jam menunjukkan terjadi perubahan nilai koersivitas, nilai magnetisasi remanen dan saturasi dibandingkan dengan sebelum <i>milling</i> . .....	45
4.3.3 Efek Subtitusi ion Co Zn Ti terhadap Sifat Penyerap Gelombang Elektromagnetik .....	45
BAB V.....	47
PENUTUP.....	47
5.1 Kesimpulan.....	47
Daftar Pustaka.....	48
Lampiran.....	51
Riwayat Hidup.....	59

## DAFTAR TABEL

<b>Table 1.</b> Perhitungan Massa Sampel Dasar $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{CoZn})_x\text{O}_{19}$ .....	20
<b>Table 2.</b> Perhitungan Massa Bahan Dasar $\text{BaFe}_{12-x}(\text{CoTiZn})_{x/3}\text{O}_{19}$ .....	20
<b>Table 3.</b> Spesifikasi Ukuran Sampel .....	30
<b>Table 4.</b> Parameter sifat kemagnetan $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{CoZn})_x\text{O}_{19}$ .....	33
<b>Table 5.</b> Parameter sifat kemagnetan $\text{BaFe}_{12-x}(\text{CoTiZn})_{x/3}\text{O}_{19}$ .....	33
<b>Table 6.</b> Paramater kisi $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{CoZn})_x\text{O}_{19}$ .....	40
<b>Table 7.</b> Paramater kisi $\text{BaFe}_{12-x}(\text{CoTiZn})_{x/3}\text{O}_{19}$ .....	40

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1.</b> Struktur kristal barium heksaferit[13] .....	5
<b>Gambar 2.2</b> Grafik hasil karakterisasi XRD Barium Heksaferit disintesis pada 1200°C dengan metode keramik. [14] .....	6
<b>Gambar 2.3</b> Kurva Histeresis[19] .....	13
<b>Gambar 2.4</b> Kurva histeresis magnet keras(hard) dan lunak(soft).....	14
<b>Gambar 2.5</b> Rambatan Gelombang Elektromagnetik.....	15
<b>Gambar 2.6</b> Grafik hubungan RL dengan Frekuensi daerah serapan material Ba(CoTi) <sub>1.9</sub> Fe <sub>9.56</sub> O <sub>19</sub> disintesis dengan metode Solid State Reaction .....	16
<b>Gambar 2.7</b> Kiri: Spex Shaker Mill, kanan : Vial Dan Ball Mill .....	17
<b>Gambar 3.1</b> Prinsip kerja VNA.....	25
<b>Gambar 4.1</b> Preparasi Sampel untuk karakterisasi Sifat Penyerap Gelombang Elektromagnetik.....	27
<b>Gambar 4.2</b> Sample Holder Pengujian VNA.....	28
<b>Gambar 4.3</b> Pola difraksi sinar-x BaFe <sub>12-2x</sub> (CoZn) <sub>x</sub> O <sub>19</sub> untuk x = 0;0.2;0.4;0.6;0.8;1 .....	28
<b>Gambar 4.4</b> Pola Difraksi sinar-x BaFe <sub>12-x</sub> (CoTiZn) <sub>x</sub> O <sub>19</sub> untuk x = 0.2;0.4;0.6;0.8;.....	29
<b>Gambar 4.5</b> Pola difraksi sinar-x BaFe <sub>12-x</sub> (CoTiZn) <sub>x</sub> O <sub>19</sub> pada komposisi x=1 setelah dan sebelum milling 30 jam.....	30
<b>Gambar 4.6</b> Kurva Histeresis a)BaFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub> b)BaFe <sub>12-2x</sub> Co <sub>x</sub> Zn <sub>x</sub> O <sub>19</sub> x=0.2 .....	31
<b>Gambar 4.7</b> Kurva Histeresis BaFe <sub>12-2x</sub> Co <sub>x</sub> Zn <sub>x</sub> O <sub>19</sub> a)x=0.4 b)x=0.6 .....	31
<b>Gambar 4.8</b> Kurva Histeresis BaFe <sub>12-2x</sub> Co <sub>x</sub> Zn <sub>x</sub> O <sub>19</sub> a)x=0.8 b)x=1 .....	31
<b>Gambar 4.9</b> Kurva Histeresis BaFe <sub>12-x</sub> (CoTiZn) <sub>x/3</sub> O <sub>19</sub> a)x=0.2 b)x=0.4 .....	32
<b>Gambar 4.10</b> Kurva Histeresis BaFe <sub>12-x</sub> (CoTiZn) <sub>x/3</sub> O <sub>19</sub> a)x=0.6 b)x=0.8.....	32
<b>Gambar 4.11</b> Kurva Histeresis BaFe <sub>12-x</sub> (CoTiZn) <sub>x/3</sub> O <sub>19</sub> x=1 .....	32
<b>Gambar 4.12</b> Kurva histeresis BaFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub> setelah milling 30 jam.....	34
<b>Gambar 4.13</b> Kurva Reflection Loss a) BaFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub> b)BaFe <sub>12-2x</sub> Co <sub>x</sub> Zn <sub>x</sub> O <sub>19</sub> x=0.6 35	35
<b>Gambar 4.14</b> Kurva Reflection Loss BaFe <sub>12-x</sub> (CoTiZn) <sub>x/3</sub> O <sub>19</sub> x=1 .....	35

<b>Gambar 4.15</b> Hasil Powplot dengan EXPGUI dari perangkat lunak GSAS a) $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ , b) $\text{BaFe}_{11.6}(\text{CoZn})_{0.2}\text{O}_{19}$ .....	36
<b>Gambar 4.16</b> Hasil Powplot dengan EXPGUI dari perangkat lunak GSAS a) $\text{BaFe}_{11.2}(\text{CoZn})_{0.4}\text{O}_{19}$ , b) $\text{BaFe}_{10.8}(\text{CoZn})_{0.6}\text{O}_{19}$ .....	37
<b>Gambar 4.17</b> Hasil Powplot dengan EXPGUI dari perangkat lunak GSAS a) $\text{BaFe}_{10.4}(\text{CoZn})_{0.8}\text{O}_{19}$ , b) $\text{BaFe}_{10}(\text{CoZn})_1\text{O}_{19}$ .....	37
<b>Gambar 4.18</b> Hasil Powplot dengan EXPGUI dari perangkat lunak GSAS a) $\text{BaFe}_{11.8}(\text{CoTiZn})_{0.2/3}\text{O}_{19}$ , b) $\text{BaFe}_{11.6}(\text{CoTiZn})_{0.4/3}\text{O}_{19}$ .....	38
<b>Gambar 4.19</b> Hasil Powplot dengan EXPGUI dari perangkat lunak GSAS a) $\text{BaFe}_{11.4}(\text{CoTiZn})_{0.6/3}\text{O}_{19}$ , b) $\text{BaFe}_{11.2}(\text{CoTiZn})_{0.8/3}\text{O}_{19}$ .....	39
<b>Gambar 4.20</b> Hasil Powplot dengan EXPGUI dari perangkat lunak GSAS $\text{BaFe}_{11}(\text{CoTiZn})_{1/3}\text{O}_{19}$ , .....	39
<b>Gambar 4.21</b> Hasil Powplot dengan EXPGUI dari perangkat lunak GSAS $\text{BaFe}_{11}(\text{CoTiZn})_{1/3}\text{O}_{19}$ setelah milling .....	42
<b>Gambar 4.22</b> Grafik nilai koersivitas vs komposisi $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Co}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ dan $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{CoTiZn})_x\text{O}_{19}$ .....	42
<b>Gambar 4.23</b> Grafik nilai Magnetisasi Remanen vs Komposisi $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Co}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ dan $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{CoTiZn})_x\text{O}_{19}$ .....	43
<b>Gambar 4.24</b> Grafik nilai Magnetisasi Saturasi vs Komposisi $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Co}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ dan $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{CoTiZn})_x\text{O}_{19}$ .....	44
<b>Gambar 4.25</b> Reflection Loss vs Frekuensi $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dan $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Co}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ untuk $x=0.6$ .....	45
<b>Gambar 4.26</b> Reflection Loss vs Frekuensi $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dan $\text{BaFe}_{12-x}(\text{CoTiZn})_{x/3}\text{O}_{19}$ untuk $x=1$ .....	46

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Barium heksaferit adalah salah satu material magnet yang banyak digunakan saat ini. Hal ini dikarenakan barium heksaferit memiliki beberapa keunggulan antara lain tingginya nilai magnetisasi saturasi ( $M_s$ ), memiliki nilai koersivitas yang cukup ( $H_c$ ) dan memiliki anisotropi *magnetocrystalline uniaxial* yang tinggi ( $H_a$ )[1]. Sifat tersebut membuat material barium heksaferit cocok untuk menjadi magnet permanen, dan magnet recording dengan densitas tinggi. Namun, beberapa tahun terakhir barium heksaferit ( $BaFe_{12}O_{19}$ ) menarik banyak perhatian untuk aplikasi gelombang mikro terutama sebagai material absorber gelombang mikro, *circulator*, isolator, dan fasa shifter.[2]

Salah satu aplikasi barium heksaferit yang menuai banyak perhatian pada aplikasi gelombang mikro adalah aplikasinya sebagai material absorber gelombang mikro. Material ini banyak dibutuhkan seiring dengan kemajuan teknologi gelombang mikro yang memaksa untuk fokus pada pengembangan *RAM (RADAR Absorbing Material)* yang efisien untuk aplikasi pada bidang teknologi siluman dan pelindung gelombang elektromagnetik[3]. Barium heksaferit adalah material yang ideal sebagai material penyerap radar (*RAM*) karena nilai permeabilitas dan magnetisasi yang tinggi, serta sifat dielektrik yang baik pada frekuensi gelombang mikro.[4]

Anisotropi magnetik yang tinggi yang dimiliki barium heksaferit, memaksa peneliti untuk melakukan rekayasa material untuk menurunkan anisotropi sehingga material tersebut dapat diaplikasikan sebagai material penyerap gelombang mikro daerah serapan gelombang RADAR atau daerah X band (8.2-12GHz). Anisotropi dari barium heksaferit dapat direduksi dengan substitusi  $Fe^{3+}$  dengan ion divalent ( $Zn^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ , dan lain-lain)[5]. Beberapa *study* menunjukkan bahwa substitusi ion  $Fe^{3+}$  dengan ion logam divalent dan tetravalent dapat mereduksi nilai koersivitas[6,7].

Gelombang *RADAR* dalam bentuk energi gelombang elektromagnetik dapat secara keseluruhan atau sebagian diserap dan didisipasikan oleh material penyerap melalui magnetik dan dielektrik *losses*. [3] Substitusi ion  $\text{Fe}^{3+}$  dengan ion divalent dan tetravalent juga berpengaruh pada permitivitas dielektrik dan permeabilitas magnetik sampel [15].

Beberapa *study* tentang material barium heksaferit tersubstitusi sebagai material absorber telah dilakukan, diantaranya substitusi material barium heksaferit dengan ion Mn, Co, dan Ti menyebabkan daerah serapan bergeser ke arah X-band [11]. Substitusi  $\text{Zn}^{2+}$  pada barium ferrite tipe W meningkatkan *magnetic loss* dan melebarkan daerah serapan gelombang mikro. [23] Penambahan ion  $\text{Ti}^{4+}$  cukup efektif dalam meredam gelombang mikro. Material keramik barium heksaferit yang mengandung 1 dan 1.5 mol Ti menunjukkan redaman yang lebih tinggi [27]. *Reflection loss* menunjukkan sifat penyerapan gelombang elektromagnetik untuk material barium heksaferit dapat terjadi pada daerah 12-19GHz dengan memvariasi mol Fe/Ba. [9]

Perkembangan teknologi terakhir saat ini memungkinkan untuk diperoleh barium heksaferit dengan ukuran kristalit yang sangat halus berukuran nanometer. Ukuran kristalit ini berpengaruh terhadap sifat magnetik material dan sifat penyerap gelombang elektromagnetik. Barium heksaferit dengan ukuran kristalit yang sangat halus dapat diperoleh salah satunya dengan *Mechanical Alloying*. [26] Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka akan dilakukan penelitian material nanokristal barium heksaferit dengan substitusi ion  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  dan  $\text{Ti}^{4+}$  pada ion  $\text{Fe}^{3+}$  dengan rumus kimia  $\text{BaFe}_{12-x}(\text{CoTiZn})_{x/3}\text{O}_{19}$  terhadap struktur kristal dan fasa, sifat magnetik dan sifat absorpsi gelombang elektromagnetik dengan harapan akan dihasilkan material nanokristal barium heksaferit tersubstitusi pada ion  $\text{Fe}^{3+}$  yang memiliki struktur yang sama dengan material barium heksaferit, memiliki nilai koersivitas yang rendah, dan permitivitas dan permeabilitas yang tinggi sehingga mampu menjadi material absorber yang optimal. Sintesis material nanokristal barium heksaferit yang disubstitusi ion  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  dan  $\text{Ti}^{4+}$  akan menggunakan metode *Mechanical alloying*. Metode ini bekerja dengan cara memanaskan campuran logam oksida



untuk menjadikannya ferit[7]. Metode ini adalah metode yang paling konvensional dalam pembuatan sampel magnet karena biayanya relatif murah dan lebih mudah untuk dikontrol.[8]

## 1.2 Identifikasi Masalah

1. Bagaimana pengaruh substitusi ion  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  dan  $\text{Ti}^{4+}$  terhadap pembentukan fasa dan struktur kristal nanokristal barium heksaferit?
2. Bagaimana pengaruh substitusi ion  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  dan  $\text{Ti}^{4+}$  terhadap sifat magnetik nanokristal barium heksaferit?
3. Bagaimana pengaruh substitusi ion  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  dan  $\text{Ti}^{4+}$  terhadap sifat absorpsi gelombang RADAR?

## 1.3 Batasan Masalah

1. Sintesis material nanokristal barium heksaferit yang disubstitusi ion  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  dan  $\text{Ti}^{4+}$  menggunakan metode *Mechanical Alloying* dengan suhu sintering yang konstan.
2. Pengujian material yang telah di sintesis dengan menggunakan *XRD(X-Ray Diffractometer)*, *Permagraph*, dan *VNA(Vector Network Analyzer)*

## 1.4 Perumusan Masalah

1. Perlu diketahui pengaruh substitusi ion  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  dan  $\text{Ti}^{4+}$  terhadap struktur kristal dan sifat magnetik nanokristal barium heksaferit.
2. Perlu diketahui karakteristik barium heksaferit yang disubstitusi dengan ion  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  dan  $\text{Ti}^{4+}$  dalam aplikasi sebagai material absorber.

## 1.5 Tujuan

1. Mensintesis material nanokristal barium heksaferit dengan mensubstitusi ion  $\text{Fe}^{2+}$  dengan ion  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  dan  $\text{Ti}^{4+}$
2. Mengkarakterisasi struktur kristal dan sifat magnetik barium heksaferit tersubstitusi ion  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  dan  $\text{Ti}^{4+}$

3. Mengkaraterisasi sifat penyerapan material nanokristal barium heksaferit tersubstitusi ion  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  dan  $\text{Ti}^{4+}$  pada frekuensi (8.2 -12 GHz) atau daerah X-Band gelombang RADAR.

### **1.6 Manfaat Penelitian**

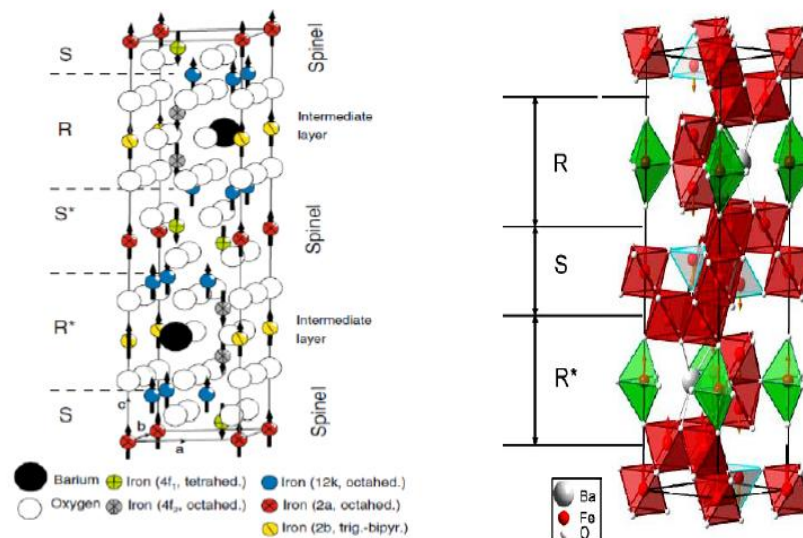
Manfaat penelitian ini adalah agar menjadi informasi untuk riset penelitian selanjutnya mengenai material magnet nanokristal barium heksaferit yang disubstitusi dengan ion  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  dan  $\text{Ti}^{4+}$  memungkinkan dalam pengembangan aplikasi sebagai material *absorber* gelombang *RADAR*.

## BAB II LANDASAN TEORI

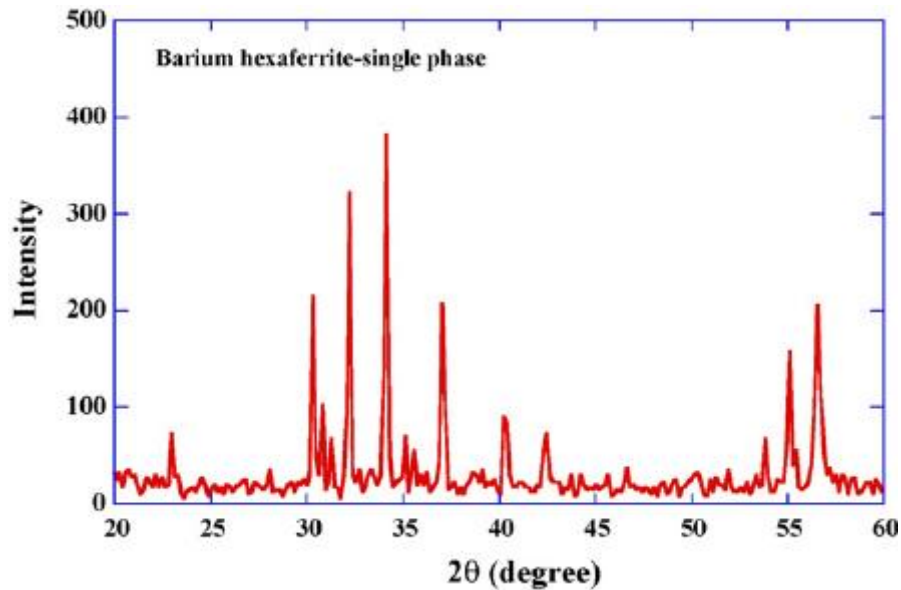
### 2.1 Barium Heksaferit

Barium heksaferit merupakan material magnet yang tergolong dalam metal oksida atau material keramik. Telah ditemukan sejak 1950 silam dan tergolong magnet keras (*hard magnet*).  $BaFe_{12}O_{19}$  memiliki konstanta kisi  $a = b = 5.89 \text{ \AA}$  dan  $c = 23.19 \text{ \AA}$  pada kisis tertutup heksagonal pada ion oksigen dan ion Ba dengan ion  $Fe^{3+}$  pada oktahedral (12k,4f<sub>2</sub>,2a), tetrahedral(4f<sub>1</sub>), hexahedral(2b). Struktur umum  $BaFe_{12}O_{19}$  adalah heksagonal dengan grup ruang P6<sub>3</sub>/mmc. Terusun dari 4 blok S,S\*,R dan R\*. [13]

$BaFe_{12}O_{19}$  adalah salah satu material keras magnet (*hard*) yang sangat penting, digunakan secara luas pada magnet permanen, recording, dan aplikasi gelombang mikro. Hal ini karena sifat dari  $BaFe_{12}O_{19}$  memiliki nilai anisotropi *magnetocrystalline* yang besar, temperature *Curie* yang tinggi, magnetisasi yang besar, stabilitas kimia yang baik dan tahan korosi.  $BaFe_{12}O_{19}$  juga memiliki nilai magnetisasi saturasi sebesar 72 A m/kg, temperature Curie 450°C, dan nilai koersivitas 159-233kA/m.[13].



**Gambar 2.1. Struktur kristal barium heksaferit[13]**



**Gambar 2.2** Grafik hasil karakterisasi XRD Barium Heksaferit disintesis pada 1200°C dengan metode keramik. [14]

Substitusi  $\text{Fe}^{3+}$  dan  $\text{Ba}^{2+}$  merupakan metode paling efektif untuk merubah sifat magnet barium ferrite [9]. Beberapa penelitian substitusi terhadap material barium heksaferit telah dilakukan diantaranya pada tahun 2002 penelitian dilakukan oleh Gruskova, mensubstitusi barium ferrite tipe M ( $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ ) dengan ion Co dan Ti dengan rumus kimia  $\text{BaCo}_x\text{Ti}_x\text{Fe}_{12-2x}\text{O}_{19}$  dengan variasi nilai  $x$  dari 0 sampai 1.2 menunjukkan hasil yakni terjadi penurunan nilai *uniaxial* anisotropi kristalin pada barium ferrite tipe M.[6]

Pada tahun 2005 dilakukan kembali penelitian material barium heksaferit yang disubstitusi ion Mn,Cu dan Ti dengan rumus kimia  $\text{BaFe}_{12-x}(\text{Mn}_{0.5}\text{Cu}_{0.5}\text{Ti})_{x/2}\text{O}_{19}$  dilakukan oleh Ghaesami dengan metode keramik. Hasil XRD menunjukkan munculnya fasa yang tidak teridentifikasi saat  $x=3$ , untuk sampel  $x=1$  dan  $x=2$  struktur kristal menunjukkan hasil yang sama dengan struktur kristal barium heksaferit. Sifat magnetik dari barium heksaferit yang disubstitusi ini menunjukkan penurunan nilai koersivitas menjadi 10 A/m pada  $x=1$  dari nilai koersivitas barium ferrite yang tidak disubstitusi sekitar 258.7 A/m. Namun semakin meningkatnya nilai  $x$ , nilai koersivitas pun bertambah.[9]

Pada tahun 2014 dilakukan substitusi terhadap ion  $\text{Fe}^{3+}$  dengan ion Mn dan Zn, hasil pengujian terhadap sifat magnet menunjukkan nilai koersivitas yang menurun[24]. Pada tahun yang sama dilakukan penelitian terhadap struktur dan sifat magnetik barium heksaferit yang disubstitusi ion Zn,Ti dan Ni,Ti dengan metode *novel sintering process*. Hasil yang didapat sifat magnet seperti magnetisasi saturasi dan nilai koersivitas menurun seiring naiknya jumlah ion substitusi[23].

Pada tahun 2015 dilakukan penelitian substitusi ion Ni dan Ti dengan variasi suhu sintering  $925^{\circ}\text{C}$  dan  $1175^{\circ}\text{C}$ .  $\text{Ba}(\text{NiTi})_x\text{Fe}_{12-2x}\text{O}_{19}$  ( $x = 0.30, 0.60, 0.90, 1.20$ ) disintesis menggunakan metode *Solid State Reaction*. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan muncul fasa  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  pada  $x=0.3$  pada suhu sintering  $925^{\circ}\text{C}$ . Selanjutnya hasil karakterisasi XRD menunjukkan struktur yang sama dengan barium heksaferit. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa nilai magnetisasi saturasi dan nilai koersivitas menurun seiring meningkatnya komposisi substitusi ion Ni dan Ti. Dan menunjukkan bahwa nilai magnetisasi saturasi pada suhu  $1175^{\circ}\text{C}$  lebih besar dibanding nilai magnetisasi saturasi pada suhu  $925^{\circ}\text{C}$ . Namun nilai koersivitas pada suhu  $1175^{\circ}\text{C}$  lebih kecil dari nilai koersivitas pada suhu  $925^{\circ}\text{C}$ . [10]

Pada tahun 2016, dilakukan kembali oleh Zhang penelitian substitusi ion Co dan Ti terhadap material barium heksaferit dengan rumus kimia  $(\text{Ba}(\text{CoTi})_{1.9}\text{Fe}_{9.56}\text{O}_{19})$  dengan metode *Sol-Gel* dan *Solid State Reaction*. Hasil XRD menunjukkan substitusi ion Co dan Ti tidak merubah fasa barium ferrite tipe M atau  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ . Pada penelitian ini juga menunjukkan terjadinya penurunan nilai koersivitas dan nilai magnetisasi. Nilai koersivitas dengan metode *sol-gel* adalah  $4.6 \text{ kA/m}$  sedangkan dengan metode *solid state reaction*  $4.63 \text{ kA/m}$ . Nilai magnetisasi saturasi untuk metode *sol-gel* adalah  $54.68 \text{ A}^2\text{m/kg}$  sedangkan metode *solid state reaction*  $55.11 \text{ A}^2\text{m/kg}$ . [7]

Beberapa penelitian diatas menunjukkan bahwa telah dilakukan berbagai rekayasa material barium heksaferit dengan mensubstitusi dengan ion lain dengan berbagai metode, dan hasilnya terjadi perusampelan sifat intrinsik salah satunya

yakni nilai koersivitas yang menurun saat disubstitusi dengan ion divalent-tetravalent.

### 2.1.1. Nanokristal Barium Heksaferit

Perkembangan teknologi saat ini memungkinkan untuk diperoleh sampel barium heksaferit berukuran nano atau kristalit yang sangat halus. Sampel barium heksaferit dengan ukuran kristalit dapat diperoleh diantaranya melalui proses *Mechanical Alloying*. Ukuran kristalit ini sangat berpengaruh terhadap sifat magnetik sampel. Teknologi pemorsesan untuk mendapatkan suatu sampel dalam skala nanometer secara umum dapat dibagi menjadi dua bagian:

1. Proses *top down*, proses dimana sampel yang awal mulanya berukuran millimeter, dihaluskan dalam suatu proses *milling* yang panjang sehingga diperoleh serbuk yang sangat halus. Metode yang menerapkan proses ini adalah *High Energy Milling*.
2. Proses *bottom up*, proses dimana pembentukan paduan dengan mereaksikan beberapa sampel baik secara padat maupun cair. Proses yang banyak digunakan untuk mendapat partikel halus yakni proses kimia basah seperti pengendapan, ataupun gel. Metoda yang menerepakan proses ini adalah metode kopresiptasi, kristalisasi kaca, sol gel.

Pada penelitian yang telah dilakukan pada sampel magnet nanokristalin Barium Heksaferit ( $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dengan Menggunakan *High-Energy Milling* didapat kesimpulan sebagai berikut:[26]

1. Proses milling tanpa disertai proses annealing dapat menurunkan sifat magnetik sampel barium heksaferit
2. Proses milling selama 30 jam yang disertai proses annealing hingga temperatur  $1000^\circ\text{C}$  ditahan selama 3 jam, dapat memperbaiki sifat magnetik sampel barium heksaferit dengan semakin meningkatnya nilai koersivitas intrinsik

sampel dan nilai magnetisasi remanen cenderung kembali seperti harga sebelum dilakukan proses milling, ini menunjukkan bahwa kerusakan sistem fasa ataupun struktur kristal akibat proses milling tidak ada lagi.

Sehingga dapat disimpulkan nanokristal barium heksaferit dapat didapatkan dari metode *High Energy Milling* dengan waktu milling yang lama, agar didapat partikel berukuran nano.

## 2.2 Barium Heksaferit sebagai Material Absorber

Barium heksaferit merupakan salah satu material absorber karena sifat elektrik dan magnetik lossesnya pada frekuensi gelombang mikro[9]. Beberapa penelitian material barium heksaferit dalam aplikasinya sebagai material absorber telah dilakukan. Seperti yang dilakukan Ghaesami pada tahun 2006 , material barium heksaferit  $\text{BaFe}_{12-x}(\text{Mn}_{0.5}\text{Cu}_{0.5}\text{Ti})_{x/2}\text{O}_{19}$  untuk  $x=0;1;2;3$  disintesis dengan metode keramik, menunjukkan struktur magnetoplumbit telah terbentuk pada semua sampel. Sampel juga memiliki magnetik suseptibilitas yang tinggi dan koersivitas yang menunjukkan kemampuan penyerapan gelombang mikro yang lebih lebar. Absorber gelombang untuk aplikasi lebih dari 15GHz, dan dengan *reflection loss* yang memuaskan dapat didapatkan pada ketebalan 1.8mm dengan mengontrol nilai substitusi Mn,Cu dan Ti pada barium ferrite.[9]

Pada tahun 2007 Priyono melakukan substitusi pada material barium heksaferit dengan rumus kimia  $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Mn}_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  dengan metode paduan mekanik untuk material anti radar daerah serapan S band. Hasilnya menunjukkan penyerapan gelombang mikro pada frekuensi S-band dapat diperoleh dari material barium heksaferit yang disubstitusi  $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Mn}_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  . Priyono juga berkesimpulan bahwa meningkatnya fraksi ion Mn dan Ti pada material penyerap gelombang mikro tidak mempengaruhi karakteristik serapan frekuensi S-band kecuali pada frekuensi lebih tinggi dari 2.5 GHz, peningkatan fraksi ion memperbesar jangkauan frekuensi serapan.[11] Pada tahun 2010 ion Zn dan Co disubstitusi pada barium ferrite tipe W  $\text{Ba}(\text{Zn}_x\text{Co}_{1-x})_2\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$  ( $0.1 \leq x \leq 0.9$ ) dengan metode kopresipitasi, hasil yang didapat nilai koersivitas menurun seiring dengan meningkatnya nilai x, dimana nilai saturasi magnetisasi juga menurun. Sifat

penyerap gelombang mikro diuji pada frekuensi 8-12GHz, *reflection loss* optimal saat -24.8 dB mencapai 10GHz.[25] Pada tahun 2012 Priyono melakukan sintesis dan karakterisasi material barium heksaferit yang di substitusi dengan Mn,Co dan Ti dengan metode *sol-gel*. Menunjukkan hasil yakni, masuknya ion Mn,Co dan Ti mengakibatkan bergesernya daerah serapan gelombang mikro ke X-band[15].

Pada tahun 2015, Verma melakukan penelitian tentang material barium heksaferit dengan mol rasio  $BaO.xFe_2O_3$  berbeda untuk  $x=5$  s/d 6 dilakukan dengan metode *screen printing*. *Reflection loss* menunjukkan bahwa sifat penyerapan gelombang elektromagnetik dapat terjadi pada frekuensi 12-18 GHz dengan memvariasi rasio mol Fe/Ba.[9]. Pada tahun 2016, Zhang et al menunjukkan hasil substitusi material barium heksaferit yang di substitusi dengan ion Co dan Ti dengan metode *sol-gel* dan *solid state reaction* dengan rumus kimia  $Ba(CoTi)_{1.9} Fe_{9.56}O_{19}$  menunjukkan dengan metode *sol-gel* dalam range 0.5-11GHz, ketebalan 3mm menunjukan maksimum *reflection loss* -35.69 dB pada 10.2 GHz. Pada metode *solid state reaction* maksimum *reflection loss* -19.02 pada 5.66 GHz. Sehingga dapat disimpulkan kemampuan material barium heksaferit dengan metode *sol-gel* mampu menyerap gelombang mikro lebih baik dibanding dengan metode *solid state reaction*.[7]

Beberapa penelitian diatas menunjukkan telah dilakukan berbagai penelitian untuk mencari substitusi ion yang sesuai dan metode yang sesuai untuk menjadikan barium heksaferit sebagai material absorber gelombang mikro frekuensi X band.

### 2.3 Sifat Magnetik Material

Sifat dan karakteristik bahan magnet berkaitan dengan suseptibilitas magnetik (*magnetik susceptibility*)  $\chi_m$  dan permeabilitas magnetik (*magnetik permeability*)  $\mu$  [16]. Permeabilitas ( $\mu$ ) adalah kemampuan suatu bahan untuk dilewati garis gaya magnet. Benda akan mudah dilewati gaya garis magnet karena memiliki permeabilitas tinggi. Untuk medium udara dan sampel non magnetik, permeabilitas dinyatakan sebagai permeabilitas ruang hampa  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} H/m$ , yang dinotasikan:



$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}. \quad (2.1)$$

B merupakan induksi magnetik

Suseptibilitas magnetik adalah ukuran dasar bagaimana sifat kemagnetan suatu bahan ditunjukkan dengan adanya respon terhadap induksi medan magnet.

[17] Secara umum suseptibilitas magnetik dapat ditulis sebagai berikut:

$$\chi_m = \frac{M}{H} \quad (2.2)$$

$\chi_m$  adalah suseptibilitas magnet bahan (besaran tidak berdimensi),  $M$  adalah Magnetisasi dan  $H$  adalah kuat medan magnetik. Suseptibilitas magnetik dapat diartikan sebagai derajat kemagnetan suatu benda. Suseptibilitas magnetik ini akan menentukan sifat magnetik dari suatu bahan. Berdasarkan nilai suseptibilitas magnetiknya terdapat tiga kelompok bahan magnet, yaitu:

1.  $\chi_m < 0$  : bahan diamagnetik
2.  $\chi_m > 0$ , dan  $\chi_m \ll 1$  : bahan paramagnetik
3.  $\chi_m > 0$  dan  $\chi_m \gg 1$  : bahan ferromagnetik

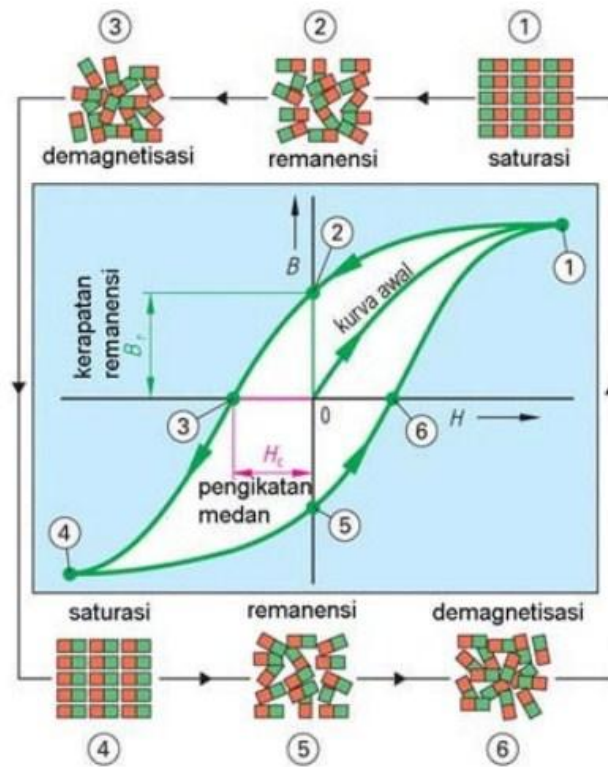
Bahan diamagnetik adalah bahan yang resultan medan magnet atomis masing-masing atom atau molekulnya nol, tetapi orbit dan spinnya tidak nol[18]. Bahan ini memiliki sifat kemagnetan suatu bahan dimana jika bahan diberi medan magnet luar  $H$ , maka akan terinduksi dengan adanya perubahan elektron orbital yang disebabkan oleh medan magnet luar. Bahan dapat bersifat magnet apabila susunan atom dalam bahan tersebut mempunyai spin elektron yang tidak berpasangan. Dalam bahan diamagnetik hampir semua spin elektron berpasangan, akibatnya bahan ini tidak menarik garis gaya. Contoh sampel diamagnetik yaitu: bismut, perak, emas, tembaga dan seng.

Bahan paramagnetik adalah bahan yang resultan medan magnet atomis masing masing atom/ molekulnya tidak nol, tetapi resultan medan magnet atomis total seluruh atom/ molekul dalam sampel nol, hal ini disebabkan karena gerakan atom/ molekul acak, sehingga resultan medan magnet atomis masing-masing atom saling meniadakan[18]. Bahan ini memiliki sifat kemagnetan suatu bahan dimana

jika bahan tersebut jika diberikan medan magnet luar, maka momen magnet pada bahan tersebut akan searah pada arah medan magnet yang diberikan. Dalam bahan ini hanya sedikit spin elektron yang tidak berpasangan, sehingga bahan ini sedikit menarik garis-garis gaya. Contoh bahan paramagnetik : aluminium, magnesium dan wolfram.

Bahan ferromagnetik mempunyai resultan medan magnet atomis besar, hal ini disebabkan oleh momen magnetik spin elektron. Pada bahan ini banyak spin elektron yang tidak berpasangan, masing-masing spin elektron yang tidak berpasangan ini akan menimbulkan medan magnetik, sehingga medan magnet total yang dihasilkan oleh satu atom menjadi lebih besar[18]. Bahan ferromagnetik memiliki sifat kemagnetan dimana terjadi kesejajaran momen momen magnet pada suatu material karena diberikan medan magnet luar. Pada bahan ini terdapat interaksi diantara atom atom berdekatan. Bahan ini juga mempunyai sifat remanensi, artinya bahwa setelah medan magnet luar dihilangkan, akan tetap memiliki medan magnet, karena itu bahan ini sangat baik sebagai sumber magnet permanen.

Karakterisasi suatu material ferromagnetik dapat dilihat dari kurva hysteresis, yakni kurva yang menunjukkan hubungan antara magnetisasi  $M$  yang terjadi pada suatu bahan dengan medan magnetik  $H$  yang ditimbulkannya atau disebut juga kurva hysteresis intrinsik. Kurva hysteresis juga dapat menampilkan kurva yang merepresentasikan hubungan induksi medan magnet  $B$  dengan medan magnet yang ditimbulkan  $H$ , atau disebut juga kurva hysteresis normal.

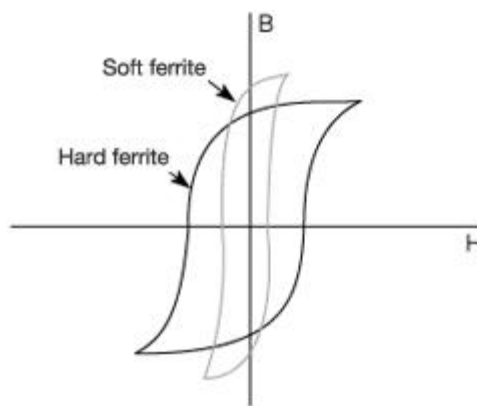


Gambar 2.3 Kurva Histeresis[19]

Mula mula bahan magnet belum termagnetisasi, kemudian mulai diberikan medan magnet luar  $H$  hingga mencapai titik 1, yaitu titik saturasi, Saturasi merupakan magnetisasi bahan yang tidak mengalami perubahan sekalipun medan magnet eksternal ( $\vec{H}$ ) diperbesar. Kemudian medan magnet luar sedikit dikit mulai dihilangkan hingga posisi 2, yakni titik remanen, Remanensi (sisa) adalah magnetisasi sisa ketika medan magnet eksternal ( $\vec{H}$ ) tidak diberikan lagi pada bahan tersebut. Kemudian dilakukan pembalikan terhadap medan magnet luar yang terus bertambah sehingga induksi magnet menjadi 0 atau titik no 3. Nilai arah medan balik saat nilai induksi magnet nol adalah koersivitas. Koersivitas merupakan ketahanan bahan magnetik untuk mengubah magnetisasinya. Medan Koersif ( $H_c$ ) merupakan medan daya yang diperlukan untuk mnghilangkan induksi remanen setelah melalui proses induksi elektromagnetik. Kemudain nilai medan magnet luar dinaikan dengan arah negatif sehingga mencapai titik saturasi no 4, kemudian nilai medan magnet luar  $H$  dihilangkan hingga titik no 5, yakni nilai remanen negatif. Selanjutnya karena masih terdapat nilai remanen negatif,

medan magnet luar dinaikan arah positif sehingga mencapai nilai  $H_c$  koersivitas yang positif titik no 6.

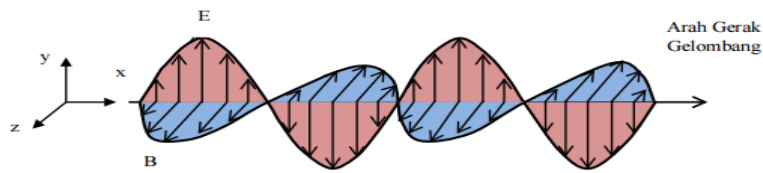
Kurva histeresis juga dapat menjelaskan sifat bahan magnet yakni bahan magnet keras (*hard*) atau bahan magnet lunak (*soft*). Magnet keras (*hard*) memiliki nilai koersivitas yang besar lebih dari 10 kA/m yang ditunjukkan dengan lebarnya kurva hysteresis. Sedangkan magnet lunak (*soft*) memiliki nilai koersivitas yang kecil yakni dibawah 1 kA/m yang ditunjukkan dengan kecilnya lebar kurva hysteresis.



**Gambar 2.4. Kurva histeresis magnet keras(*hard*) dan lunak(*soft*)**

## **2.4 Sifat Penyerapan Gelombang Mikro**

Gelombang mikro adalah gelombang elektromagnetik yang memiliki frekuensi berkisar antara 300MHz sampai 30 GHz. Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang dapat merambat walaupun tidak ada medium dan terdiri dari medan listrik dan medan magnetik yang tegak lurus seperti yang diilustrasikan pada gambar 5. Gelombang mikro pada aplikasinya banyak digunakan untuk pemanasan makanan,telekomunikasi dan RADAR.



**Gambar 2.5** Rambatan Gelombang Elektromagnetik

Seiring dengan meningkatnya penggunaan frekuensi tinggi pada alat komunikasi, yang menimbulkan polusi gelombang elektromagnetik sehingga menyebabkan terganggunya sistem elektronik, maka diperlukan material yang berfungsi sebagai penyanggah atau penyerap polusi gelombang mikro. Selain itu material ini juga diperlukan dalam bidang militer sebagai material pencegah deteksi *RADAR*. Karakterisasi material sebagai material penyerap atau absorber adalah berdasarkan permitivitas dan permeabilitas material itu sendiri. Permitivitas adalah ukuran efek material terhadap medan listrik. Permitivitas muncul akibat dari polarisasi dielektrik material. Sedangkan permeabilitas adalah ukuran efek material terhadap medan magnet.

Parameter fisis yang digunakan dalam menganalisa penyerapan gelombang mikro oleh material adalah *RL* (*Reflection Loss*) yang didapat dari pengujian menggunakan alat *VNA* (*Vector Network Analyzer*). Serapan gelombang mikro terjadi akibat interaksi gelombang dengan material yang menghasilkan energy *Reflection Loss (RL)* yang umumnya didisipasikan dalam bentuk energi panas. Karakteristik material penyerap gelombang mikro yakni harus memiliki nilai impedansi, nilai permeabilitas dan permitivitasnya harus sesuai dengan permeabilitas dan permitivitas udara agar terjadi resonansi impedansi, sehingga nilai *Reflection Loss* material menjadi besar.

*Reflection Loss (RL)* dapat dirumuskan :

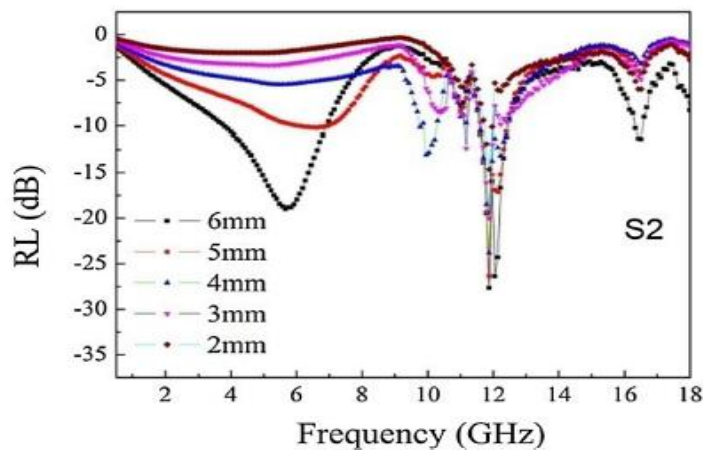
$$RL = 20 \log \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \quad (2.3)$$

$$\text{Dengan nilai } Z_{in} = \sqrt{\frac{\mu r}{\epsilon r}} \tan \left[ j \left( \frac{2\pi f_r d}{c} \right) \sqrt{(\mu r \epsilon r)} \right] \quad (2.4)$$

Nilai *Reflection Loss* menunjukkan besarnya daya serap suatu sampel atau material terhadap gelombang mikro. Nilai negatif pada *reflection loss* menunjukkan bahwa material tersebut mampu menyerap gelombang mikro, dimana semakin besar nilai negatif *reflection loss* maka semakin besar daya serap sampel terhadap gelombang mikro [20].

Material heksaferit dapat menjadi material absorber yang mampu menyerap 76% gelombang yang datang dan memantulkan 24 % gelombang datang, karena nilai impedansi material dengan pancaran frekuensi yang datang sama, sehingga terjadi resonansi gelombang, dan terjadi interaksi antar atom dalam struktur material dengan frekuensi yang datang.[12]

Berikut ini adalah salah satu contoh hasil pengujian VNA untuk material  $Ba(CoTi)_{1.9}Fe_{9.56}O_{19}$  yang disintesis dengan metode *Solid State Reaction*.



Gambar 2.6 Grafik hubungan RL dengan Frekuensi daerah serapan material  $Ba(CoTi)_{1.9}Fe_{9.56}O_{19}$  disintesis dengan metode *Solid State Reaction*

## 2.5 Mechanical Alloying (Milling)

Terdapat beberapa teknik untuk mensintesis material barium ferrite, diantaranya teknik sol-gel,co-presipitasi, reaksi hidrotermal, metode kristalisasi kaca dan metode *solid state reaction* dengan *Milling*. [7] Metode *solid state reaction* atau metode keramik dengan proses *Milling* merupakan metode

konvensional yang paling sering digunakan dalam membuat material keramik, karena mudah untuk dibuat dan dikontrol dan biayanya relative murah.[8].

Milling adalah salah satu metode untuk mencampur material. Selain mencampur atau membuat paduan yang homogen, milling juga berfungsi untuk mengurangi ukuran butir, semakin lama waktu milling, maka ukuran partikel menjadi kecil. Secara umum milling terdiri dari beberapa jenis, diantaranya *Attritor Mill*, *Planetary Mill* dan *High Energy Milling*. Parameter yang berpengaruh terhadap hasil akhir yakni tipe milling, kecepatan milling, waktu milling, ukuran ball mill dan rasio ball mill terhadap berat sampel. Waktu milling adalah parameter paling penting untuk mencapai keadaan *steady* antara *fracturing* dan *cold welding* partikel.

Prinsip *Mechanical Alloying* adalah, larutan padat dari paduan magnetik yang dibuat berupa serbuk material penyusun dipadukan secara mekanik sehingga memungkinkan diperoleh paduan dengan fasa amorf. Untuk itu setelah proses *Milling* maka diperlukan perlakuan panas, agar terbentuk fasa yang diinginkan. Proses ini melibatkan energy tumbukan antara *ball mill* dan dinding vial yang mengakibatkan terjadi penurunan ukuran partikel paska *Milling*.



**Gambar 2.7.** Kiri: *Spex Shaker Mill*, kanan : *Vial Dan Ball Mill*

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

##### **3.1.1 Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan mulai dari bulan Januari 2017 sampai dengan Juli 2017.

##### **3.1.2 Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fisika Material FMIPA, Universitas Negeri Jakarta. Pengujian XRD dilakukan di Beacukai Indonesia, Pengujian Permagraph dilakukan di Universitas Indonesia, dan Pengujian VNA dilakukan di Universitas Mercu Buana.

#### **3.2 Metode Penelitian**

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Metode eksperimen dilakukan untuk mensintesis material nanokristal barium heksaferit yang disubstitusi dengan ion  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  dan  $\text{Ti}^{4+}$  yang dilakukan dengan metode *Mechanical Alloying*. Alat yang digunakan adalah HEM (*High Energy Milling*) dan *Planetary Mill*. Sampel kemudian karakterisasi dengan 3 alat yakni XRD (*X-Ray Diffractometer*) untuk melihat grafik fasa hasil sintesis material barium heksaferit yang telah disubstitusi dengan ion  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  dan  $\text{Ti}^{4+}$ , *Permagraph* untuk melihat sifat kemagnetan sampel yang telah disintesis dari kurva histeresis yang dihasilkan, dan VNA (*Vector Network Analyzer*) untuk melihat kemampuan material sebagai material penyerap gelombang mikro X band.



### **3.3 Alat dan Bahan Penelitian**

#### **3.3.1 Alat Penelitian**

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Alat uji *X-Ray Diffraction* (XRD),
2. Alat uji *Vector Network Analyzer*(VNA)
3. Alat uji *Permagraph*
4. Furnace
5. Oven
6. *High Energy Milling & Planetary Mill*
7. Timbangan digital
8. Kertas Timbang
9. *Vial*
10. *Ball mill*,
11. Spatula
12. Mortar

#### **3.3.2 Bahan Penelitian**

Bahan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Sigma Aldrich
2. TiO<sub>2</sub> Merck
3. BaCO<sub>3</sub> Merck
4. ZnO Merck
5. Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Merck
6. Alkohol

### 3.4 Prosedur Penelitian

#### 3.4.1 Persiapan Sintesis Sample $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$ dan $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$

Tahap persiapan sampel dimulai dengan perhitungan stoikiometri dan menimbang sampel yang akan digunakan. Untuk tahap awal sintesis, akan dilakukan sintesis  $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$  dengan sampel dasar  $BaCO_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $ZnO$ , dan  $Co_3O_4$  dengan kemurnian lebih dari 99%, untuk  $x=0;0.2;0.4;0.6;0.8;1$ . Sintesis kedua yang dilakukan adalah membuat 10 gram  $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$  untuk  $x=0.2;0.4;0.6;0.8;1$  dari bahan dasar yang sama seperti sintesis pertama, dengan tambahan  $TiO_2$ . Hasil perhitungan stoikiometri untuk sampel dasar sintesis  $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$  adalah sebagai berikut:

**Table 1. Perhitungan Massa Sampel Dasar  $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$**

Senyawa	Massa (gram)					
	X=0	X=0.2	X=0.4	X=0.6	X=0.8	X=1
<b>BaCO<sub>3</sub></b>	0.8877	0.8857	0.8837	0.8817	0.8797	0.8776
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	4.2024	4.0531	3.9054	3.756649	3.609382	3.462776
<b>ZnO</b>	-	0.07122	0.142109	0.212684	0.282941	0.352883
<b>Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub></b>	-	0.07025	0.140176	0.209791	0.279092	0.348083

Hasil perhitungan stoikiometri untuk sampel dasar sintesis  $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$  adalah sebagai berikut:

**Table 2. Perhitungan Massa Bahan Dasar  $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$**

Senyawa	Massa (gram)				
	X=0.2	X=0.4	X=0.6	X=0.8	X=1
<b>BaCO<sub>3</sub></b>	1.7767	1.7753	1.77394	1.77335	1.773869
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	8.271067	8.124408	7.977983	7.835427	7.697727
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0.042084	0.09111	0.140058	0.186915	0.233419
<b>ZnO</b>	0.042858	0.092786	0.142634	0.190354	0.235337
<b>Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub></b>	0.042276	0.091524	0.140694	0.187765	0.234481

### 3.4.2 Proses Pencampuran Sampel Material $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$ dan $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$

Setelah perhitungan stoikiometri dilakukan untuk mendapat berat masing-masing sampel, langkah selanjutnya adalah sampel ditimbang sesuai dengan perhitungan stoikiometri.

Sampel yang telah ditimbang, kemudian dicampur (*Milling*) dengan *HEM* (*High Energy Milling*). *High Energy Milling* merupakan teknik unik dengan menggunakan energi tumbukan antara bola-bola penghancur dan dinding chamber yang diputar dan digerakkan dengan cara tertentu (Ihsan, Y, 2006). Pada pembuatan sampel dilakukan dengan metode *wet milling*, dimana sampel  $BaCO_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Co_3O_4$ ,  $TiO_2$  dan  $ZnO$  dimasukkan kedalam wadah (*vial*) yang berukuran tinggi 5.7 cm dan berdiameter 4 cm. Kemudian dicampur dengan *ball mill* bermassa 3.7 gram dengan diameter 1 cm sebanyak 10 buah, kemudian ditambahkan alkohol sebanyak 20 ml. Penambahan *ball mill* dan alkohol bertujuan untuk menjadi media pencampuran sampel.

Pencampuran sampel dengan metode *HEM* (*High Energy Milling*) ini dilakukan untuk mendapat pencampuran sampel yang homogen. Proses ini dilakukan selama 30 menit dengan waktu operasi 10 menit dan waktu berhenti 5 menit.

### 3.4.3 Proses Kalsinasi Material $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$ dan $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$

Setelah proses *Milling*, selanjutnya dilakukan proses kalsinasi. Sampel yang telah di *Milling* kemudian dipanaskan dulu di oven agar alkohol sebagai media pencampuran dapat menguap. Sampel yang telah kering kemudian dipindahkan ke cawan, lalu di masukan ke dalam alat *furnace* untuk dilakukan proses kalsinasi. Proses kalsinasi dilakukan pada suhu  $750^{\circ}C$ , sampel disimpan didalam alat *furnace* dari suhu ruang sampai suhu  $750^{\circ}C$ , kemudian suhu ditahan 3 jam, lalu setelah 3 jam, suhu diturunkan kembali menjadi suhu kamar. Proses kalsinasi adalah proses pembakaran tahap awal yang merupakan reaksi

dekomposisi secara *endothermic* dan berfungsi untuk melepaskan gas-gas dalam bentuk karbonat/hidroksida sehingga menghasilkan serbuk dalam bentuk oksida dengan kemurnian tinggi. Proses kalsinasi bertujuan untuk menghilangkan impuritas pada sampel.

#### **3.4.4 Proses Kompaksi Material $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$ dan $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$**

Setelah sampel melalui proses kalsinasi, sampel kemudian dicampur dengan perekat, lalu diletakan di cetakan dengan ukuran diameter 2.5 cm dengan kompaksi hidrolik untuk dilakukan proses kompaksi agar sampel dapat melekat satu sama lain, dan agar proses terjadi difusi saat sintering terjadi lebih mudah. Proses kompaksi dilakukan dengan beban 7 ton.

#### **3.4.5 Proses Sintering Material $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$ dan $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$**

Setelah sampel di kompaksi, sampel kemudian dilakukan proses sintering, sampel disimpan didalam *furnace* dari suhu kamar hingga suhu nya 1100°C, kemudian suhu ditahan selama 5 jam, lalu diturunkan kembali ke suhu kamar. Proses *sintering* adalah suatu proses pemadatan dari sekumpulan serbuk pada suhu tinggi sehingga mendekati titik leburnya. Pada proses *sintering* terjadi pengikatan massa partikel pada serbuk oleh interaksi antar molekul atau atom. Atom-atom tersebut akan berdifusi menjadi padat. Saat proses sintering sampel akan mengalami penyusutan massa akibat lepasnya oksigen yang digunakan. Tujuan dilakukannya proses sintering adalah untuk membentuk fasa yang diinginkan.

Melalui proses *sintering* terjadi perubahan struktur mikro seperti pengurangan jumlah dan ukuran pori, pertumbuhan butir serta peningkatan densitas. Faktor-faktor yang menentukan proses dan mekanisme sintering antara lain jenis sampel, komposisi sampel dan ukuran partikel. Dengan dilakukannya sintering maka diharapkan didapat serbuk padatan yang kuat. Proses sintering akan menghilangkan ketidakmurnian sampel, mengurangi rongga-rongga diantara butir-butir dan menjaga homogenitas butir menuju fasa tunggal.

### **3.4.6 Karakterisasi Struktur Kristal dan Fasa yang terbentuk dari Sintesis Material $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$ dan $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$**

Setelah proses sintering, seluruh sampel yang telah dibuat disiapkan untuk dikarakterisasi. Karakterisasi pertama yang akan dilakukan dengan alat XRD (*X-ray Diffractometer*) tujuannya untuk mengetahui struktur kristal pada sampel dan fasa yang terbentuk hasil sintesis.

### **3.4.7 Karakterisasi Sifat Magnetik yang Terbentuk dari Sintesis $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$ dan $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$**

Karakterisasi sifat kemagnetan menggunakan alat *Permagraph*. Prinsip kerja *Permagraph* yakni memberikan medan magnet luar terhadap sampel, sehingga terukur medan magnet luar dan magnetisasi yang dihasilkan. Hasil pengukuran akan ditunjukkan dengan kurva histeresis, kurva antara medan magnet luar yang diberikan dengan magnetisasi yang timbul.

### **3.4.8 Proses Milling Untuk Membuat Nanokristal $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$ dan $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$**

Setelah dilakukan karakterisasi dengan Difraksi Sinar-X dan *Permagraph* pada material  $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$  dan  $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$  hasil sintesis, material kemudian digerus setengah kasar dengan mortar lalu kemudian di milling lagi selama 30 jam untuk menjadikannya material berukuran nano atau nanokristal  $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$  dan  $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$ . Semua sampel di *Milling* dengan *Planetary Mill* yang beroperasi selama 30 menit dan rest time 30 menit, dengan kecepatan 50 rpm.

Sampel  $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$  dan  $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$  diletakkan pada vial berukuran tinggi 5.8 cm dengan diameter 11.5 cm. Untuk sampel  $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$  digunakan ball 2 buah ball mill masing masing 32 gram dan  $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$  digunakan ball 3 buah ball mill masing masing 32 gram. Masing masing sampel juga diberi alkohol sebagai media pencampuran.

#### **3.4.9 Proses Annealing Material Nanokristal $BaFe_{12-x}(CoZn)_xO_{19}$ dan $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$**

Setelah sampel di *Milling* selama 30 jam, selanjutnya sampel diberikan perlakuan panas atau annealing, perlakuan panas ini berguna untuk memperbaiki struktur kristal dan fasa yang telah rusak akibat di *milling* selama 30 jam. Proses annealing dilakukan dengan alat *furnace* dengan suhu  $750^{\circ}C$ , sampel disimpan dalam alat *furnace* dari suhu ruangan hingga suhu mencapai  $750^{\circ}C$ , lalu kemudian suhu ditahan selama 1 jam, lalu diturunkan kembali ke suhu ruang.

#### **3.4.10 Proses Kompaksi Material Nanokristal $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$ dan $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$**

Setelah sampel melalui proses Annealing, sampel kemudian kompaksi agar sampel dapat melekat satu sama lain, dan mudah saat dikarakterisasi. Proses kompaksi adalah proses pemadatan serbuk menjadi sample.

#### **3.4.11 Karakterisasi Struktur Kristal dan Fasa yang terbentuk dari Sintesis Material Nanokristal $BaFe_{11}(CoTiZn)_{1/3}O_{19}$ setelah dikompaksi**

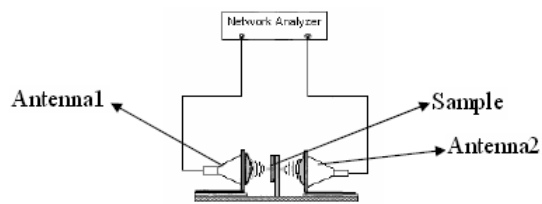
Salah satu sampel kemudian diuji dengan *XRD (X-RAY Diffractometer)* untuk melihat perubahan fasa dan ukuran kristal sampel hasil *milling* 30 jam,

#### **3.4.12 Karakterisasi Sifat Magnetik yang Terbentuk dari Material Nanokristal $BaFe_{12}O_{19}$**

Salah satu sampel barium heksaferit diuji dengan alat *Permagraph* untuk melihat sifat magnetik material setelah *dimilling* 30jam.

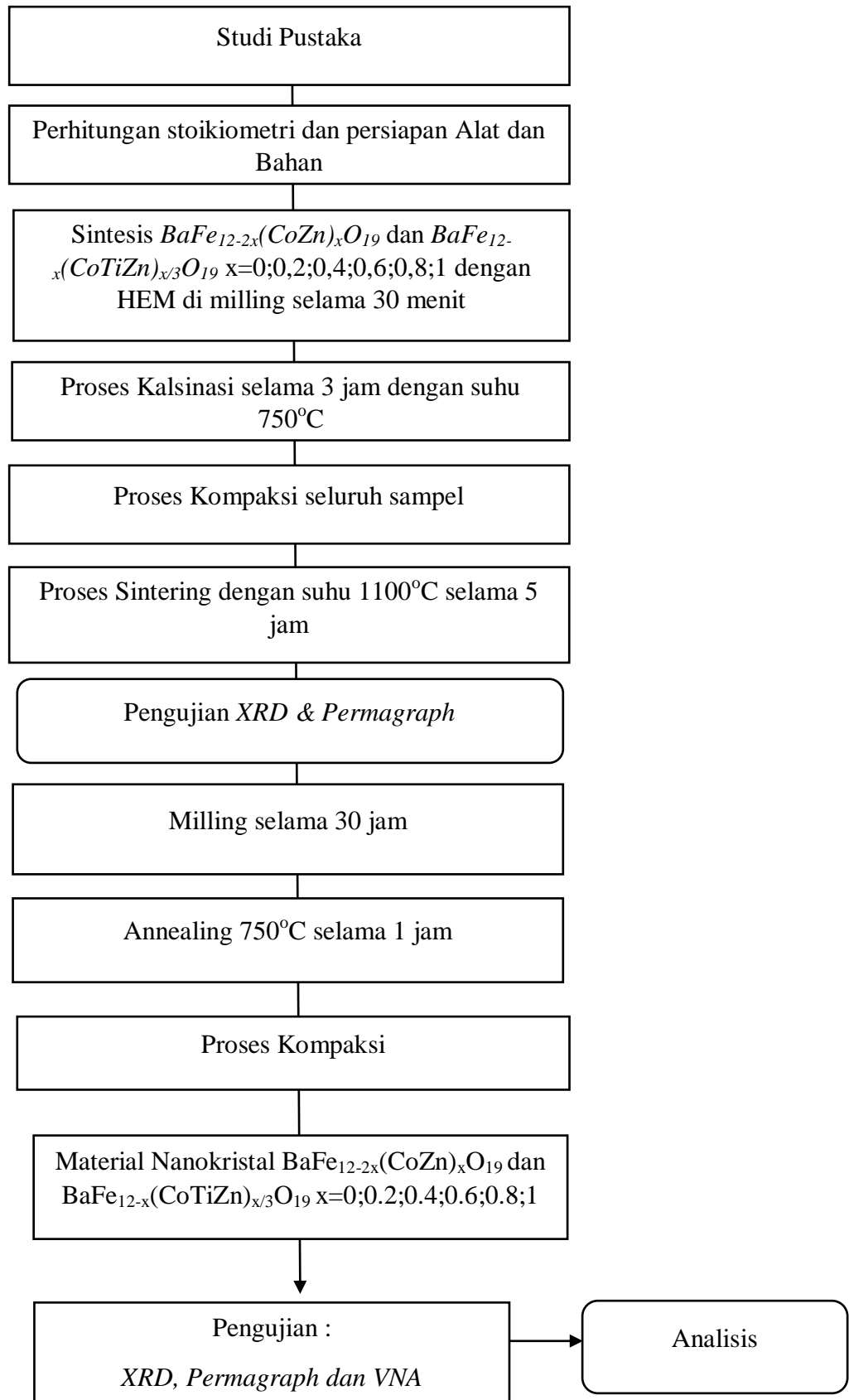
### 3.4.13 Karakterisasi Sifat Penyerapan Gelombang Mikro frekuensi X band Hasil Sintesis Material Nanokristal $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$ dan $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$

Pengujian atau karakterisasi yang terakhir yakni menggunakan alat VNA (*Vector Network Analyzer*) dilakukan untuk mengetahui daerah serapan yang mampu dilakukan sampel yang telah disintesis terhadap gelombang mikro frekuensi X band. Cara kerja alat uji VNA (*Vector Network Analyzer*) adalah dengan melihat nilai refleksi, transmisi dan absorpsi yang diterima probe adapter.



Gambar 3.1 Prinsip kerja VNA

### 3.5 Diagram Alir Penelitian





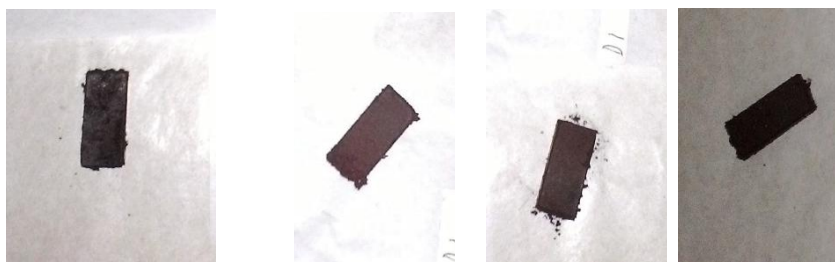
## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil

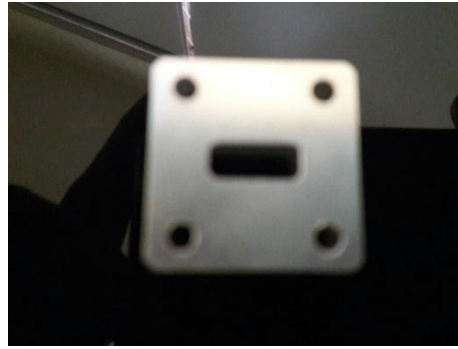
#### 4.1.1 Preparasi Sampel $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$ dan $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_xO_{19}$

Telah berhasil dibuat material barium heksaferit tersubstitusi ion Co dan Zn  $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$  untuk  $x=0;0.2;0.4;0.6;0.8;1$  sebanyak 5 gram dan  $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_xO_{19}$  untuk  $x=0.2;0.4;0.6;0.8;1$  sebanyak 10 gram dengan metode *mechanical alloying*. Mula mula bahan dasar  $BaCO_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $ZnO$ ,  $TiO_2$  dan  $Co_3O_4$  di campur dengan *ball mill* dan alkohol lalu *dimilling* selama 30 menit, kemudian sampel dikalsinasi selama 3 jam dengan suhu  $750^\circ$  lalu kompaksi dengan beban 6 ton dan disintering selama 5 jam dengan suhu  $1100^\circ$  sampel kemudian *dimilling* lagi selama 30 jam dengan *Planetary Mill* agar ukurannya menjadi nano. Setelah itu dilakukan proses *annealing* pada sampel, sampel di panaskan dengan suhu  $750^\circ$  selama 1 jam untuk memperbaiki struktur yang rusak akibat *milling* 30 jam.

Semua sampel kemudian dicampur dengan perekat lalu dicetak dalam cetakan berbentuk kotak dan dikompaksi dengan beban 6 ton. Semua sampel yang telah dikompaksi seperti pada gambar 4.1 disiapkan untuk karakterisasi sifat penyerap gelombang elektromagnetik menggunakan alat VNA. Untuk pengujian VNA sampel diletakan disampel holder seperti pada gambar 4.2.



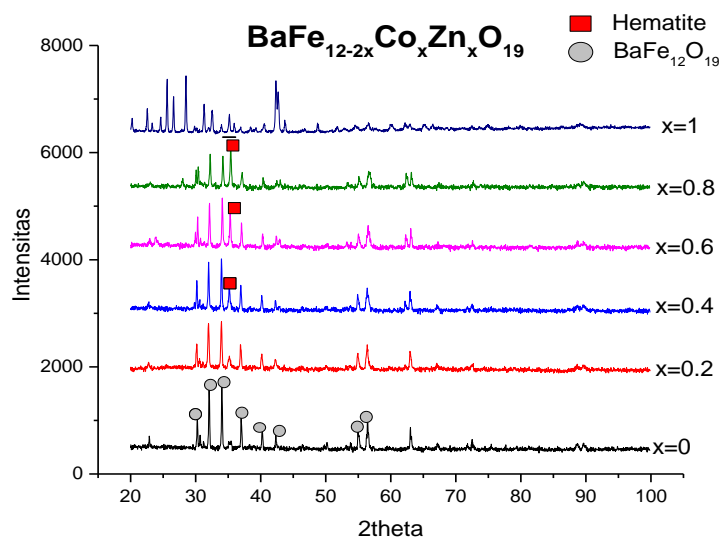
**Gambar 4.1 Preparasi Sampel untuk karakterisasi Sifat Penyerap Gelombang Elektromagnetik**



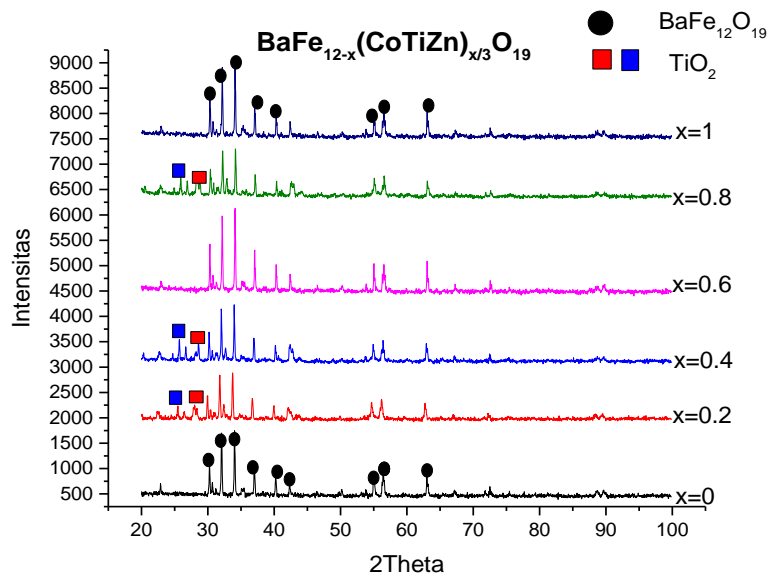
Gambar 4.2 Sample Holder Pengujian VNA

#### 4.1.2 Hasil Pengukuran Difraksi Sinar-X terhadap Material Sintesis $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$ dan $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_xO_{19}$

Hasil pengukuran difraksi sinar-x menggunakan sumber radiasi  $Cu(K\alpha)$  dengan panjang gelombang  $1.54 \text{ \AA}$  dari sudut  $2\theta$  sampai  $100$  menunjukkan terbentuknya pola difraksi sinar-x pada material sintesis  $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$  untuk  $x = 0;0.2;0.4;0.6;0.8;1$  dan  $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_xO_{19}$  untuk  $x = 0.2;0.4;0.6;0.8;1$  seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.3 dan 4.4.



Gambar 4.3 Pola difraksi sinar-x  $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$  untuk  $x = 0;0.2;0.4;0.6;0.8;1$

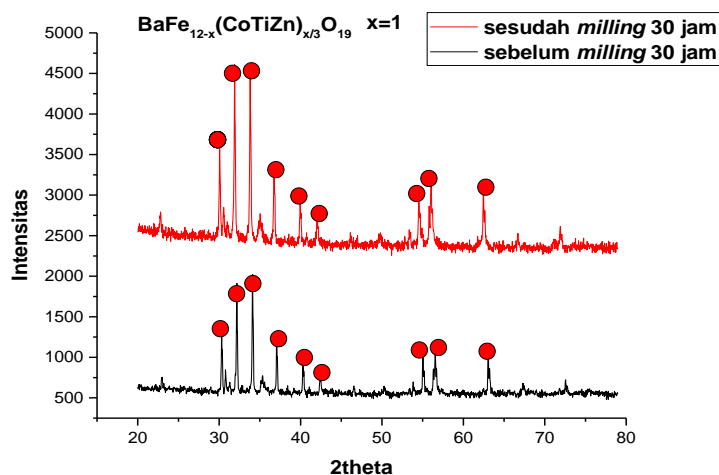


**Gambar 4.4** Pola Difraksi sinar-x  $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_xO_{19}$  untuk  $x = 0.2;0.4;0.6;0.8;$

Pola difraksi yang dihasilkan pada material sintesis  $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$  untuk  $x = 0;0.2;0.4;0.6;0.8;1$  dan  $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_xO_{19}$  untuk  $x = 0.2;0.4;0.6;0.8;1$  seperti pada gambar 4.3 dan 4.4 menunjukkan fasa dominan yang terbentuk adalah fasa material magnet barium heksaferit, dengan hadirnya fasa hematite pada material  $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$  saat komposisi  $x=0.4,0.6$  dan  $0.8$ , dan terbentuknya fasa non magnet pada komposisi  $x=1$ . Serta hadirnya fasa anatase  $TiO_2$  pada material  $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_xO_{19}$  saat komposisi  $x=0.2,0.4$  dan  $0.8$ .

#### **4.1.2.1 Hasil Pengukuran Difraksi Sinar-X Material Sintesis Nanokristal $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_x/3O_{19}$ $x=1$ setelah *milling* 30 jam**

Pola difraksi yang dihasilkan pada material sintesis  $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_xO_{19}$  pada komposisi  $x=1$  setelah *milling* 30 jam menunjukkan tidak terjadinya perubahan fasa terhadap material sintesis sebelum *dimilling* seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Pola difraksi sinar-x BaFe<sub>12-x</sub>(CoTiZn)<sub>x</sub>O<sub>19</sub> pada komposisi x=1 setelah dan sebelum milling 30 jam

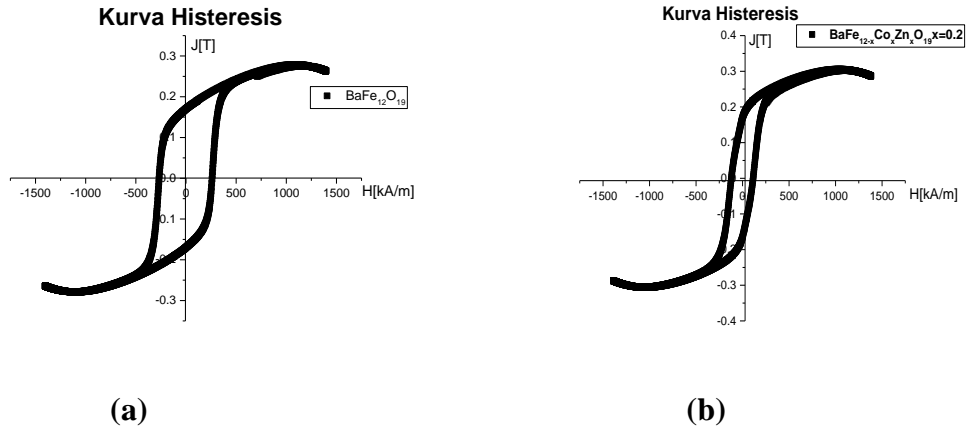
#### 4.1.3 Hasil Pengukuran Sifat Magnetik Material Sintesis BaFe<sub>12-2x</sub>(CoZn)<sub>x</sub>O<sub>19</sub> dan BaFe<sub>12-x</sub>(CoTiZn)<sub>x</sub>O<sub>19</sub>

Pengukuran sifat magnet dilakukan dengan alat *Permagraph*, yang memiliki medan magnet luar maksimal sebesar 1 Tesla. Sampel yang diukur disiapkan dengan spesifikasi ukuran sebagaimana ditunjukkan pada tabel 3.

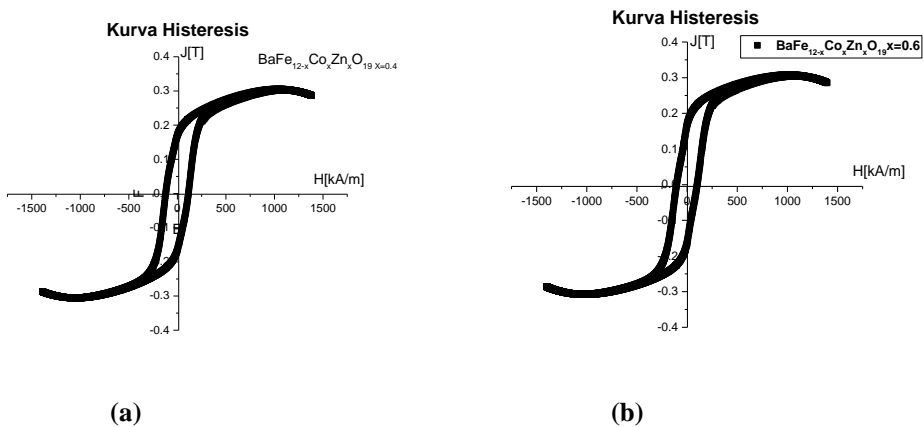
Table 3. Spesifikasi Ukuran Sampel

Sampel	Mu(gram)	Tebal(mm)	Densitas(g/mm)
<b>BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub></b>	4.514	0.92	4.96
<b>BaFe<sub>12-2x</sub>(CoZn)<sub>x</sub>O<sub>19</sub> x=0.2</b>	4.354	0.95	4.57
<b>BaFe<sub>12-2x</sub>(CoZn)<sub>x</sub>O<sub>19</sub> x=0.4</b>	4.448	0.99	4.45
<b>BaFe<sub>12-2x</sub>(CoZn)<sub>x</sub>O<sub>19</sub> x=0.6</b>	4.332	0.99	4.37
<b>BaFe<sub>12-2x</sub>(CoZn)<sub>x</sub>O<sub>19</sub> x=0.8</b>	4.424	0.95	4.62
<b>BaFe<sub>12-2x</sub>(CoZn)<sub>x</sub>O<sub>19</sub> x=1</b>	4.282	0.92	4.63
<b>BaFe<sub>12-x</sub>(CoTiZn)<sub>x</sub>O<sub>19</sub> x=0.2</b>	9.156	1.91	4.79
<b>BaFe<sub>12-x</sub>(CoTiZn)<sub>x</sub>O<sub>19</sub> x=0.4</b>	8.916	1.88	4.73
<b>BaFe<sub>12-x</sub>(CoTiZn)<sub>x</sub>O<sub>19</sub> x=0.6</b>	8.725	1.92	4.54
<b>BaFe<sub>12-x</sub>(CoTiZn)<sub>x</sub>O<sub>19</sub> x=0.8</b>	9.02	1.88	4.79
<b>BaFe<sub>12-x</sub>(CoTiZn)<sub>x</sub>O<sub>19</sub> x=1</b>	9.225	2.00	4.61

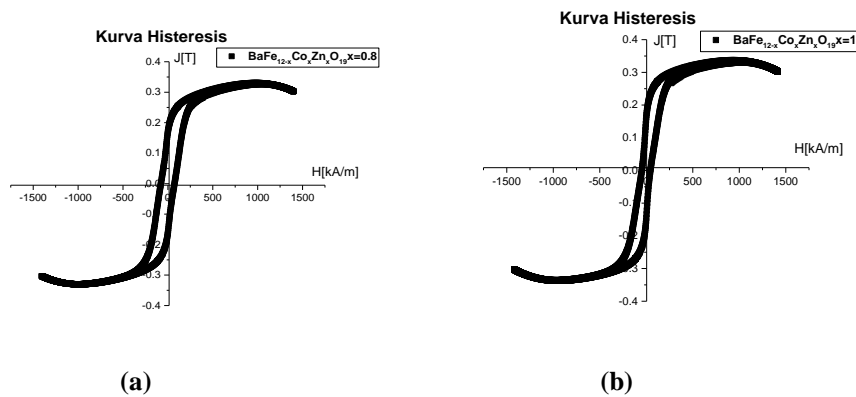
Dari hasil pengukuran sifat magnet dengan alat *Permagraph* terhadap sampel  $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$  dan  $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_xO_{19}$  diperoleh data berupa nilai magnetisasi dan nilai medan magnet luar, yang kemudian data tersebut ditampilkan berupa kurva histeresis seperti ditunjukkan pada gambar berikut:



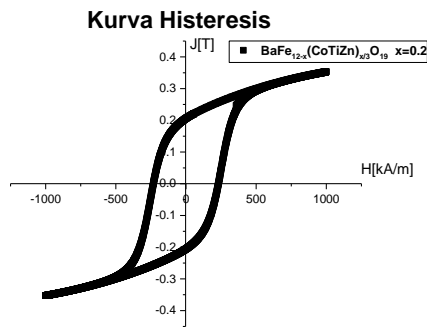
Gambar 4.6 Kurva Histeresis a)  $BaFe_{12}O_{19}$  b)  $BaFe_{12-2x}CoZn_xO_{19}$   $x=0.2$



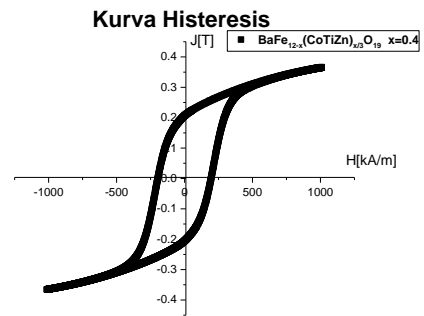
Gambar 4.7 Kurva Histeresis  $BaFe_{12-2x}CoZn_xO_{19}$  a)  $x=0.4$  b)  $x=0.6$



Gambar 4.8 Kurva Histeresis  $BaFe_{12-2x}CoZn_xO_{19}$  a)  $x=0.8$  b)  $x=1$

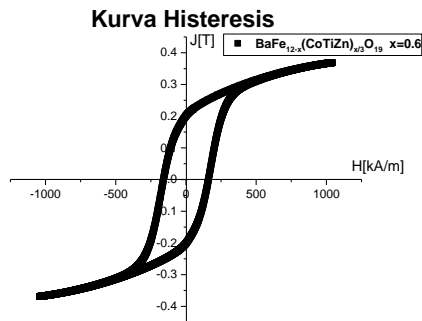


(a)

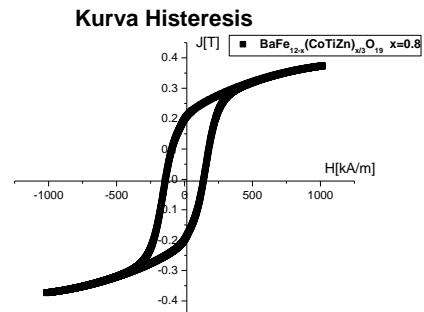


(b)

**Gambar 4.9. Kurva Histeresis  $\text{BaFe}_{12-x}(\text{CoTiZn})_{x/3}\text{O}_{19}$  a) $x=0.2$  b) $x=0.4$**

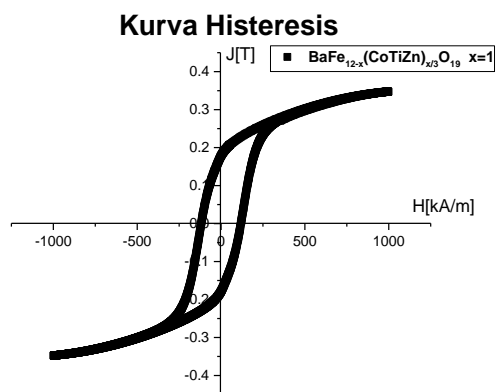


(a)



(b)

**Gambar 4.10 Kurva Histeresis  $\text{BaFe}_{12-x}(\text{CoTiZn})_{x/3}\text{O}_{19}$  a) $x=0.6$  b) $x=0.8$**



**Gambar 4.11 Kurva Histeresis  $\text{BaFe}_{12-x}(\text{CoTiZn})_{x/3}\text{O}_{19}$   $x=1$**

Dari data medan magnet luar(H) dan magnetisasi(M) yang dihasilkan didapatkan nilai nilai sifat kemagnetan sampel  $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$  dan  $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_xO_{19}$  seperti nilai medan koersivitas, magnetisasi remanen, dan magnetisasi saturasi yang ditunjukkan pada tabel 4 dan 5.

**Table 4. Parameter sifat kemagnetan  $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$**

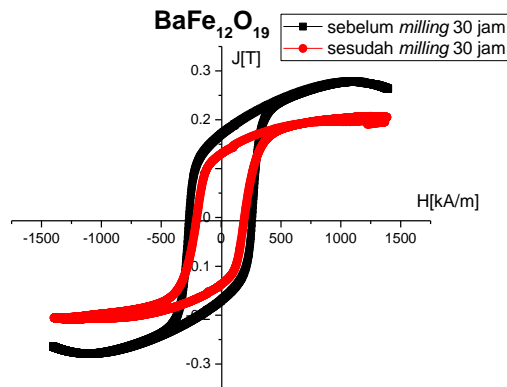
<b>komposisi</b>	<b>X=0</b>	<b>X=0.2</b>	<b>X=0.4</b>	<b>X=0.6</b>	<b>X=0.8</b>	<b>X=1</b>
<b>Mr [T]</b>	0.17	0.18	0.17	0.16	0.17	0.16
<b>Ms [T]</b>	0.26	0.29	0.28	0.28	0.30	0.30
<b>Hc[kA/m]</b>	265.56	141.7	118.3	102.1	77	47.13

**Table 5. Parameter sifat kemagnetan  $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$**

<b>Komposisi</b>	<b>X=0</b>	<b>X=0.2</b>	<b>X=0.4</b>	<b>X=0.6</b>	<b>X=0.8</b>	<b>X=1</b>
<b>Mr [T]</b>	0.17	0.20	0.20	0.20	0.19	0.17
<b>Ms [T]</b>	0.26	0.35	0.36	0.36	0.37	0.34
<b>Hc[kA/m]</b>	265.56	232.02	196.04	158.41	140.08	117.24

#### **4.1.3.1 Hasil Pengukuran Sifat Magnetik Material Nanokristal $BaFe_{12}O_{19}$ setelah *milling* 30 jam**

Hasil pengukuran sifat magnet dengan alat *Permagraph* terhadap material nanokristal  $BaFe_{12}O_{19}$  sesudah *milling* 30 jam menunjukkan terjadinya perubahan kurva histeresis dibandingkan dengan kurva histeresis sebelum *dimilling* seperti ditunjukkan pada gambar 4.12. Dengan nilai koersivitas yang didapat adalah 201,359 kA/m, nilai magnetisasi saturasi 0.19 Tesla, dan nilai magnetisasi remanen 0.13 Tesla.



Gambar 4.12 Kurva histeresis  $BaFe_{12}O_{19}$  setelah *milling* 30 jam

#### 4.1.4 Hasil Pengukuran Sifat Penyerapan Gelombang Elektromagnetik terhadap Material Nanokristal $BaFe_{12}O_{19}$ , $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$ $x=0.6$ dan $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_xO_{19}$ $x=1$

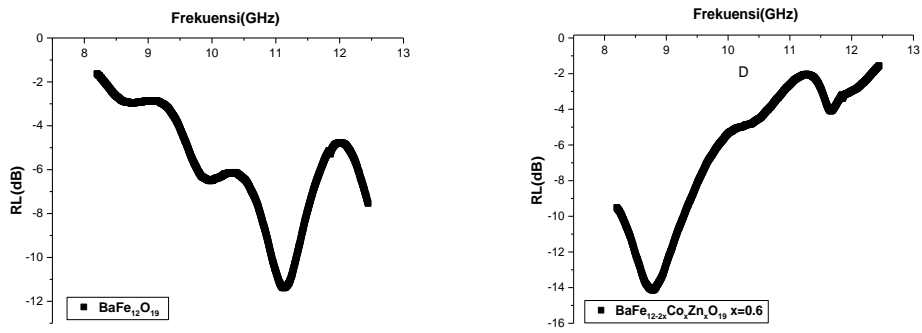
Pengukuran sifat penyerapan gelombang elektromagnetik, dilakukan dengan alat VNA (*Vector Network Analyzer*) dengan frekuensi 8.2 GHz - 12.4 GHz terhadap sampel  $BaFe_{12}O_{19}$ ,  $BaFe_{12-2x}Co_xZn_xO_{19}$   $x=0.6$ , dan  $BaFe_{12-2x}(CoTiZn)_xO_{19}$   $x=1$ . Data hasil pengukuran berupa frekuensi, S11 real dan S11 imajiner kemudian hasil tersebut dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan (4.1 dan 4.2).

$$R = \sqrt{S11^2 + S11i^2} \quad (4.1)$$

$$RL = 20Log(R) \quad (4.2)$$

Hasil perhitungan kemudian diplot dalam kurva frekuensi dan *Reflection Loss* seperti ditunjukkan pada gambar 4.13 dan 4.14 sebagai berikut:



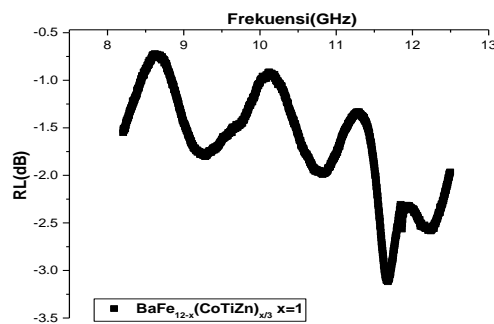


a)

b)

**Gambar 4.13 Kurva Reflection Loss a)  $BaFe_{12}O_{19}$  b)  $BaFe_{12-2x}Co_xZn_xO_{19}$   $x=0.6$**

Pada gambar 4.13(a) sampel  $BaFe_{12}O_{19}$  menunjukkan nilai *Reflection Loss* maksimum sebesar -11.39 dB pada frekuensi 11.1 GHz dengan lebar pita serapan dari 9.78 - 11.7 GHz. Sampel  $BaFe_{12-2x}Co_xZn_xO_{19}$  untuk  $x=0.6$  memiliki nilai *Reflection Loss* maksimum sebesar -14.4 dB pada frekuensi 8.78 GHz dengan lebar pita serapan 8.2 - 9.46 GHz yang ditunjukkan gambar 4.13(b) dan  $BaFe_{12-2x}(CoTiZn)_xO_{19}$   $x=1$  memiliki nilai *Reflection Loss* maksimum -3.11 dB pada frekuensi 11.76 GHz dengan lebar pita 11.6 – 11.8 GHz yang ditunjukkan pada gambar 4.14.

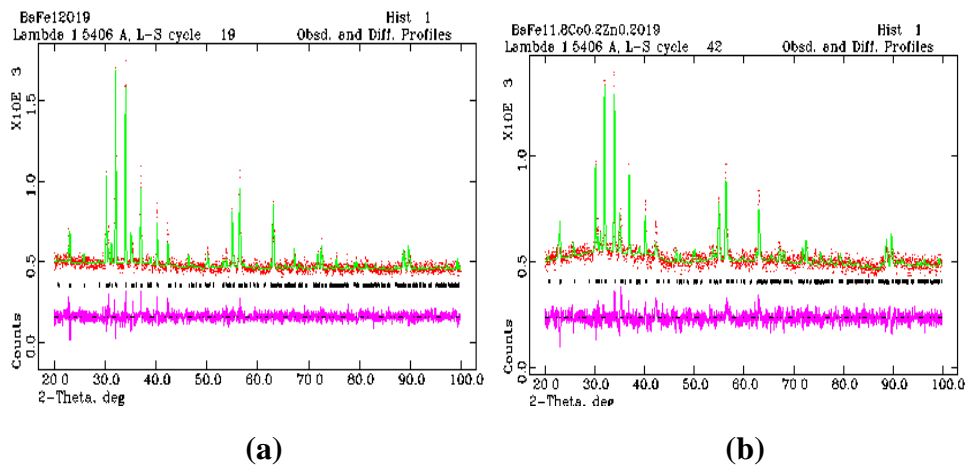


**Gambar 4.14. Kurva Reflection Loss  $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$   $x=1$**

## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Pengaruh Substitusi ion Co Zn Ti terhadap fasa barium heksaferit

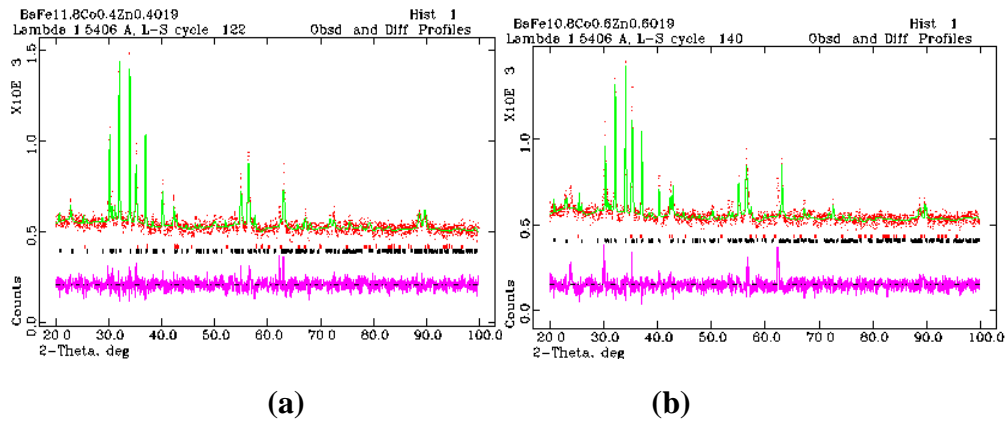
Analisa kualitatif hasil pengukuran dengan difraksi sinar-x dilakukan dengan membandingkan profil puncak difraksi sinar-x sampel dengan *COD(Crystallography Open Database)* yang ada pada perangkat lunak *Match*. Analisa kualitatif dilakukan dengan metode *refinement* menggunakan perangkat lunak *GSAS(General Structure Analysis System)*. Proses *refinement* menggunakan perangkat lunak *GSAS* akan menunjukkan nilai '*chi square*' yang menjelaskan pencocokan yang baik antara data eksperimen dengan data base dari *COD(Crystallography Open Database)* dari perangkat lunak *Match*. Nilai '*chi square*' yang berkisar antara 1 sampai 1.3 menggambarkan telah tercapainya suatu kesesuaian yang bagus antara sampel eksperimen yang di-*refinemnet* dengan database hasil perhitungan perangkat lunak *GSAS*. Hasil *refinement* akan menghasilkan grafik powplot seperti pada gambar 23 sampai gambar 28.



Gambar 4.15 Hasil Powplot dengan EXPGUI dari perangkat lunak GSAS a)  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ , b)  $\text{BaFe}_{11.6}(\text{CoZn})_{0.2}\text{O}_{19}$

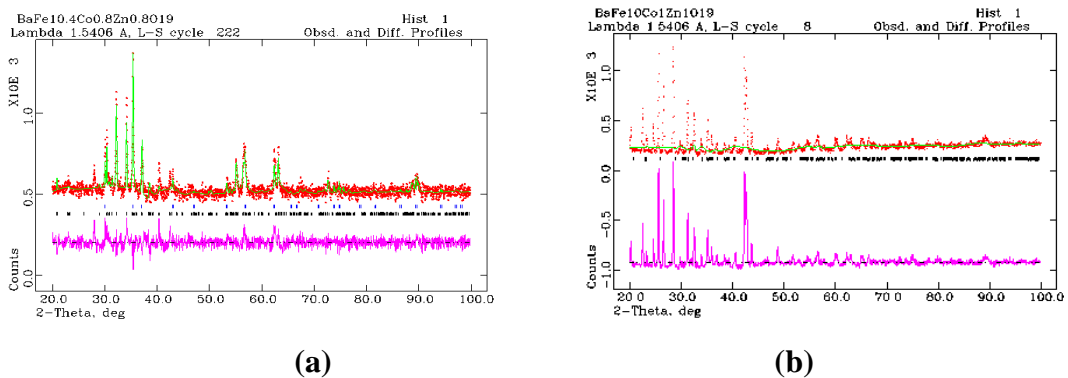
Hasil *refinement* pada sampel pertama yakni  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  yang ditunjukkan pada gambar 4.15 menunjukkan terbentuknya fasa tunggal barium heksaferit yang ditunjukkan dengan kecocokan terhadap material  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  referensi dari *COD(Crystallography Open Database)* yang ada perangkat lunak *Match* dengan nomer entry 96-900-8138, dengan nilai '*chi square*' yang didapat adalah 1.149. Untuk  $x=0.2$ , juga menunjukkan terbentuknya fasa tunggal barium heksaferit, yang

ditunjukkan dengan kecocokan terhadap fasa barium heksaferit dari *COD* dengan nomer entry 96-100-8327, dengan nilai '*chi square*' yang didapat yakni 1.195.



**Gambar 4.16.** Hasil Powplot dengan EXPGUI dari perangkat lunak GSAS a)  $\text{BaFe}_{11.2}(\text{CoZn})_{0.4}\text{O}_{19}$ , b)  $\text{BaFe}_{10.8}(\text{CoZn})_{0.6}\text{O}_{19}$

Sampel ketiga dan keempat yakni  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{CoZn})_x\text{O}_{19}$   $x=0.4$  dan  $x=0.6$  menunjukkan adanya fasa lain selain fasa barium heksaferit, hal ini ditunjukkan dari kecocokan fasa eksperimen terhadap fasa barium heksaferit dengan nomer entry 96-100-8328 dan 96-900-8138, dan dengan fasa hematite  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dengan nomer entry 96-153-2121, hasil *refinement* untuk  $x=0.4$  dengan kedua fasa tersebut menunjukkan hasil nilai '*chi square*' sebesar 1.147, dan nilai '*chi square*' untuk  $x=0.6$  adalah 1.394.

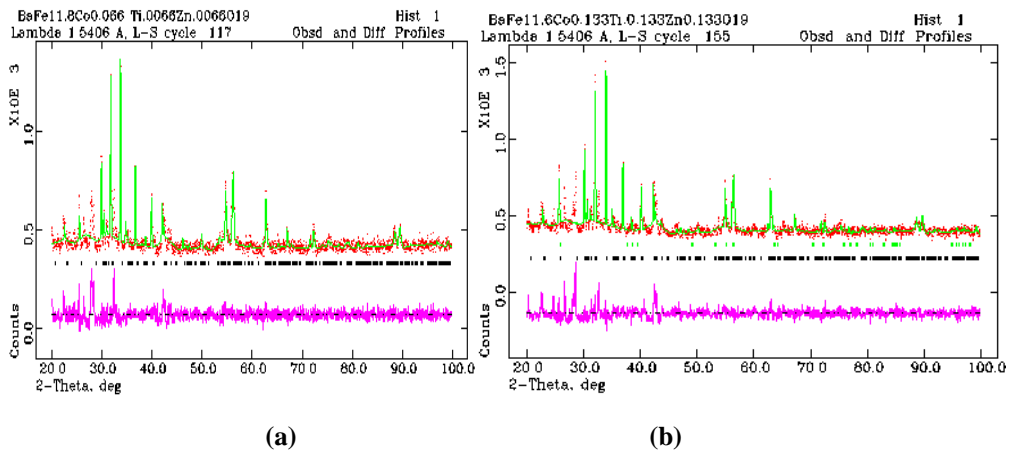


**Gambar 4.17** Hasil Powplot dengan EXPGUI dari perangkat lunak GSAS a)  $\text{BaFe}_{10.4}(\text{CoZn})_{0.8}\text{O}_{19}$ , b)  $\text{BaFe}_{10}(\text{CoZn})_1\text{O}_{19}$

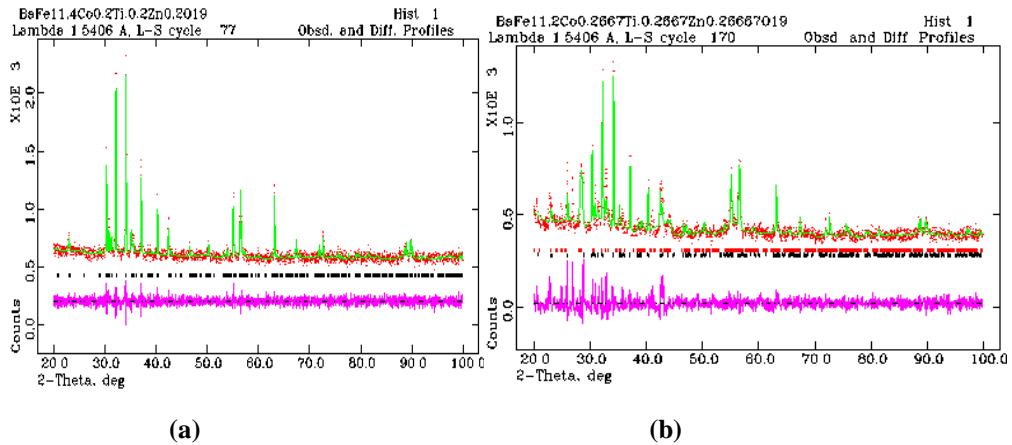
Untuk  $x=0.8$ , menunjukkan munculnya fasa kedua, yang ditunjukkan dari kecocokan dengan fasa eksperimen terhadap fasa barium heksaferit dengan nomer entry 96-900-8138, dan fasa hematite  $(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{10.667}$  dengan nomer entry 96-152-

8612. Hasil *refinement* terhadap data teoritis barium heksaferit dan fasa hematite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )<sub>10.667</sub> dengan nomer entry 96-152-8612 menunjukkan nilai '*chi square*' 1.285. Sampel  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{CoZn})_x\text{O}_{19}$  untuk x=1 tidak berhasil direfinement dengan GSAS karena adanya ketidakcocokan fasa barium heksaferit dengan fasa hasil sintesis.

Hasil *refinement*  $\text{BaFe}_{12-x}(\text{CoTiZn})_{x/3}\text{O}_{19}$  untuk x=0.2 menunjukkan kecocokan antara fasa eksperimen dengan fasa  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  dengan nomer entry 96-100-8327. Hasil *refinement* dengan fasa barium heksaferit dengan perangkat lunak GSAS menunjukkan nilai '*chi square*' yakni 1.599. Hasil *refinement* untuk x=0.4, menunjukan adanya kecocokan dengan fasa barium heksaferit dengan nomer entry 96-100-8328, dan fasa  $\text{TiO}_2$  anatase dengan nomer entry 96-101-0943, hasil *refinement* dengan perangkat lunak GSAS menunjukkan nilai '*chi square*' 1.981.

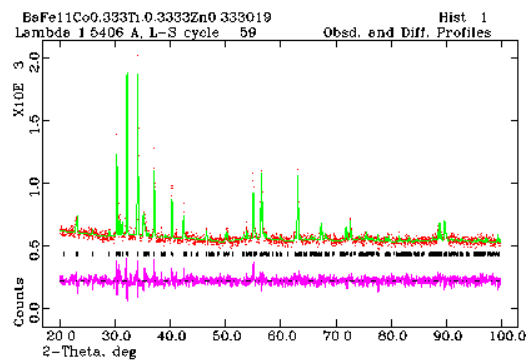


**Gambar 4.18. Hasil Powplot dengan EXPGUI dari perangkat lunak GSAS**  
**a)  $\text{BaFe}_{11.8}(\text{CoTiZn})_{0.2/3}\text{O}_{19}$ , b)  $\text{BaFe}_{11.6}(\text{CoTiZn})_{0.4/3}\text{O}_{19}$**



**Gambar 4.19 Hasil Powplot dengan EXPGUI dari perangkat lunak GSAS**  
**a) BaFe<sub>11.4</sub>(CoTiZn)<sub>0.6/3</sub>O<sub>19</sub>, b) BaFe<sub>11.2</sub>(CoTiZn)<sub>0.8/3</sub>O<sub>19</sub>**

Untuk komposisi  $x=0.6$  menunjukkan terbentuknya fasa tunggal barium heksaferit yang ditunjukkan dari kecocokan dengan fasa BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> dengan nomer entry 96-900-8138. Hasil *refinement* fasa barium heksaferit dengan nomer entry 96-900-8138 dengan perangkat lunak GSAS menunjukkan nilai '*chi square*' yakni 1.285, Untuk sampel  $x=0.8$  menunjukkan adanya dua fasa yang terbentuk, hal ini dilihat dari kecocokan dengan fasa barium heksaferit dengan nomer entry 96-100-8328, dan fasa barium monoferite dengan nomer entry 96-410-7897, hasil *refinement* dengan perangkat lunak GSAS menunjukkan nilai '*chi square*' 1.735.



**Gambar 4.20 Hasil Powplot dengan EXPGUI dari perangkat lunak GSAS**  
**BaFe<sub>11</sub>(CoTiZn)<sub>1/3</sub>O<sub>19</sub>,**

Hasil *refinement* BaFe<sub>11</sub>(CoTiZn)<sub>1/3</sub>O<sub>19</sub> menunjukkan terbentuknya fasa tunggal barium heksaferit, hal ini ditunjukkan dari kecocokan dengan fasa BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> dengan nomer entry 96-900-8138. Hasil *refinement* fasa barium

heksaferit dengan nomer entry 96-900-8138 dengan perangkat lunak GSAS menunjukkan nilai 'chi square' yakni 1.054

Parameter kisi dari hasil *refinement* dengan perangkat lunak GSAS ditunjukkan pada tabel 6 dan 7.

**Table 6. Paramater kisi  $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xO_{19}$**

<b>Parameter kisi(Å)</b>	<b>X=0</b>	<b>X=0.2</b>	<b>X=0.4</b>	<b>X=0.6</b>	<b>X=0.8</b>	<b>X=1</b>
A	5.887	5.884	5.886	5.885	5.887	5.73
B	5.887	5.884	5.886	5.885	5.887	5.73
C	23.23	23.2	23.23	23.21	23.21	23.4

**Table 7. Paramater kisi  $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$**

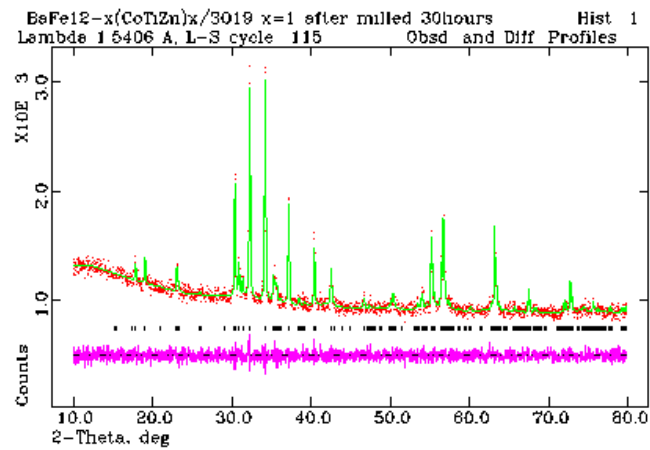
<b>Parameter kisi</b>	<b>X=0</b>	<b>X=0.2</b>	<b>X=0.4</b>	<b>X=0.6</b>	<b>X=0.8</b>	<b>X=1</b>
A	5.887	5.891	5.891	5.884	5.89	5.891
B	5.887	5.891	5.891	5.884	5.89	5.891
C	23.23	23.2	23.2	23.18	23.8	23.2

Analisa kuantitatif dengan perangkat lunak GSAS menunjukkan terbentuknya barium heksaferit fasa tunggal pada material  $BaFe_{12-2x}Co_xZn_xO_{19}$  untuk  $x=0,2$ . Hal ini berarti substitusi ion Co dan Zn dengan komposisi  $x=0,2$  mampu masuk ke kisi kristal dan bergabung dengan ion Fe, sehingga tidak merubah struktur fasa barium heksaferit. Pada komposisi  $x=0,4$  muncul fasa kedua yakni fasa hematite dengan intensitas rendah, dan terjadi pertumbuhan intensitas fasa hematite pada  $x=0,6$  dan  $x=0,8$ . Munculnya fasa hematite menunjukkan bahwa bahan dasar  $Fe_2O_3$  tidak berpadu secara homogen. Pada komposisi  $x=1$ , terlihat bahwa terjadi kerusakan struktur kristal, sehingga pola

difraksi yang terbentuk tidak sama dengan pola difraksi barium heksaferit. Kerusakan struktur kristal terjadi akibat jumlah ion substitusi tidak mampu masuk ke kisi kristal dan tidak mampu bergabung dengan ion Fe, sehingga ion substitusi merusak struktur kristal barium heksaferit. Pada material  $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$  untuk  $x=0,6$  dan  $x=1$ . Fasa tunggal barium heksaferit tersubstitusi ini menunjukkan bahwa ion substitusi Co,Zn dan Ti dengan komposisi  $x=0.6$  dan  $x=1$  mampu masuk ke kisi kristal dan bergabung dengan ion Fe, sehingga tidak merubah struktur fasa barium heksaferit. Dari pola difraksi gabungan dapat dilihat bahwa muncul fasa lain pada  $x=0.2;0.4;$  dan  $0.6$ . Pada  $x=0.2$  dan  $x=0.4$  diduga muncul fasa  $TiO_2$  anatase, dan fasa lain yang tidak teridentifikasi dan muncul fasa barium monoferite pada  $x=0.8$ . Fasa selain barium heksaferit ini diduga muncul akibat komposisi substitusi yang tidak pas. Komposisi substitusi yang tidak pas ini menyebabkan sejumlah ion substitusi tidak ikut bergabung dengan ion Fe sehingga membentuk fasa selain fasa barium heksaferit.

#### **4.2.1.1 Pengaruh Substitusi ion Co Zn Ti pada material $BaFe_{12-2x}(CoTiZn)_xO_{19}$ $x=1$ terhadap fasa barium heksaferit setelah milling 30 jam**

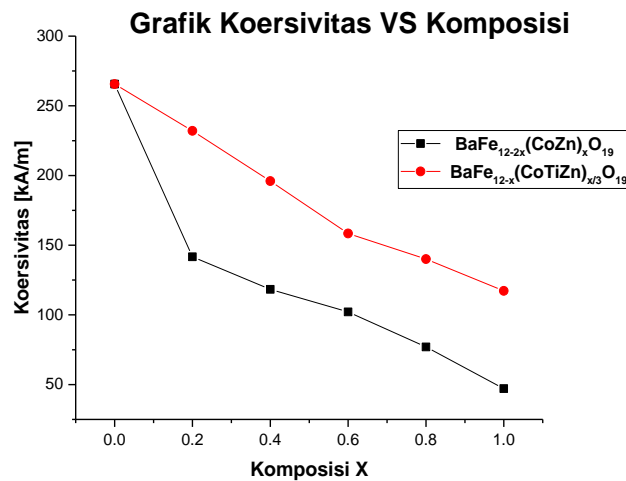
Hasil analisa kuantitatif dengan *GSAS* untuk material  $BaFe_{12-2x}(CoTiZn)_xO_{19}$   $x=1$  dengan fasa barium heksaferit dengan nomer entry *COD* 96-900-8138 menghasilkan nilai *chi square* 1.232, menunjukkan bahwa tidak terjadi perubahan struktur fasa dari barium heksaferit setelah *milling*, dan hasil *refinement* menunjukkan hasil parameter kisi a,b,c berturut-turut 5.884, 5.884, 23.173. Namun terjadi sedikit pelebaran puncak yang menunjukkan terjadinya penurunan ukuran kristal material akibat dari proses *milling* selama 30 jam. Hasil perhitungan ukuran kristal dengan persamaan Debye Scherrer, didapat nilai ukuran kristal 1.06 nm pada puncak 2theta yakni 34.13 derajat.



Gambar 4.22 Hasil Powplot dengan EXPGUI dari perangkat lunak GSAS  $BaFe_{11}(CoTiZn)_{1/3}O_{19}$  setelah milling

#### 4.2.2 Efek Substitusi ion Co Zn Ti terhadap Sifat Magnetik Barium Heksaferit

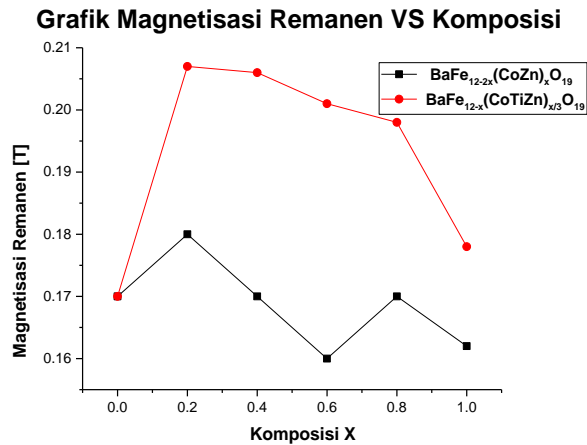
Substitusi ion Co Zn Ti berpengaruh kepada perubahan nilai koersivitas bahan, nilai magnetisasi dan nilai remanen seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 4.23 Grafik nilai koersivitas vs komposisi  $BaFe_{12-2x}Co_xZn_xO_{19}$  dan  $BaFe_{12-x}(CoTiZn)_{x/3}O_{19}$

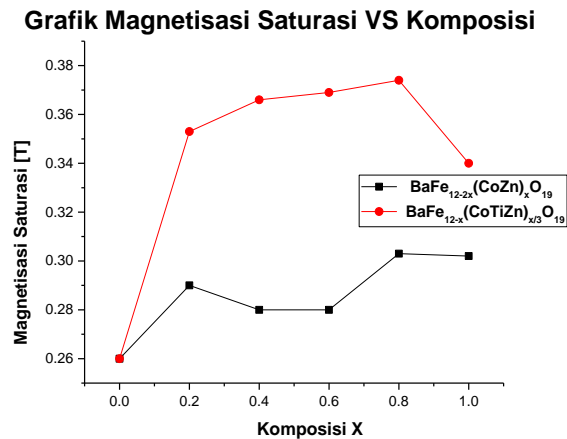


Gambar 4.23 menunjukkan perbandingan nilai koersivitas dengan komposisi bahan untuk  $BaFe_{12-2x}Co_xZn_xO_{19}$ , dan  $BaFe_{12-2x}(CoTiZn)_xO_{19}$ . Dapat terlihat dari gambar, terjadi penurunan nilai koersivitas material seiring dengan meningkatnya nilai komposisi x, hal ini terjadi karena substitusi ion pada material akan merubah momen magnet material tersebut sehingga merubah nilai koersivitasnya. Penurunan yang signifikan terjadi pada material  $BaFe_{12-2x}Co_xZn_xO_{19}$  yang mengalami penurunan nilai koersivitas hingga 47.13 kA/m pada  $x=1$ . Sedangkan  $BaFe_{12-2x}(CoTiZn)_xO_{19}$  untuk  $x=1$  penurunannya hanya sampai 117.24 kA/m. Perbedaan yang cukup jauh ini akibat dari substitusi ion Ti yang merupakan ion non magnetik, sehingga perubahan momen magnet tidak terlalu besar berdampak pada penurunan nilai koersivitas juga tidak terlalu signifikan.



**Gambar 4.24. Grafik nilai Magnetisasi Remanen vs Komposisi  $BaFe_{12-2x}Co_xZn_xO_{19}$  dan  $BaFe_{12-2x}(CoTiZn)_xO_{19}$**

Gambar 4.24 menunjukkan nilai magnetisasi remanen vs komposisi, terlihat pada  $BaFe_{12-2x}Co_xZn_xO_{19}$  terjadi kenaikan dari  $x=0$  hingga  $x=0.2$  kemudian penurunan hingga  $x=0.6$  dan kenaikan pada  $x=0.8$  hingga penurunan kembali pada  $x=1$ . Sedangkan  $BaFe_{12-2x}(CoTiZn)_xO_{19}$  terjadi kenaikan nilai magnetisasi remanen hingga  $x=0.2$  kemudian terjadi penurunan hingga  $x=1$ . Nilai magnetisasi remanen tertinggi material  $BaFe_{12-2x}Co_xZn_xO_{19}$  terjadi pada  $x=0.2$  dengan nilai 0.18 T, dan  $BaFe_{12-2x}(CoTiZn)_xO_{19}$  juga pada  $x=0.2$  dengan nilai 0.207 T, hal ini menunjukkan substitusi ion Ti meningkatkan nilai remanen bahan.



**Gambar 4.25 Grafik nilai Magnetisasi Saturasi vs Komposisi  $BaFe_{12-2x}Co_xZn_xO_{19}$  dan  $BaFe_{12-2x}(CoTiZn)_xO_{19}$**

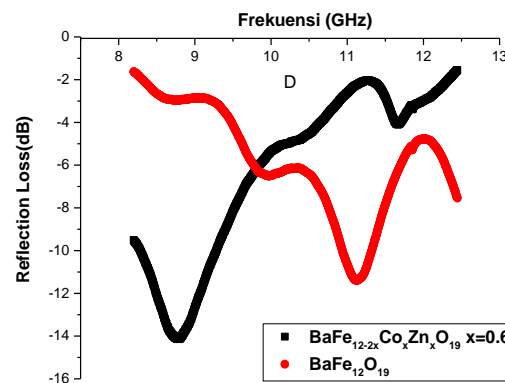
Gambar 4.25 menunjukkan grafik nilai magnetisasi saturasi dengan komposisi, terlihat pada  $BaFe_{12-2x}Co_xZn_xO_{19}$  terjadi kenaikan dari  $x=0$  hingga  $x=0.2$  dan terjadi penurunan pada  $x=0.4, 0.6$  dan  $1$ . Sedangkan  $BaFe_{12-2x}(CoTiZn)_xO_{19}$  terjadi kenaikan nilai magnetisasi remanen hingga  $x=0.8$  kemudian terjadi penurunan pada  $x=1$ . Nilai magnetisasi saturasi tertinggi material  $BaFe_{12-2x}Co_xZn_xO_{19}$  terjadi pada  $x=0.8$  dengan nilai  $0.303T$ , dan  $BaFe_{12-2x}(CoTiZn)_xO_{19}$  juga pada  $x=0.8$  dengan nilai  $0.374T$ . Ion Ti yang merupakan ion non magnetik merubah momen magnet barium heksaferit ahan sehingga meningkatkan nilai remanen dan nilai magnetisasi remanen .

#### 4.2.2.1 Efek Sifat Magnetik BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> Setelah milling 30 jam

Sifat magnetik BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> setelah *milling* 30 jam menunjukkan terjadi perubahan nilai koersivitas, nilai magnetisasi remanen dan saturasi dibandingkan dengan sebelum *milling*. Nilai koersivitas, magnetisasi saturasi bergantung pada komposisi bahan dan ukuran kristal, pada sampel yang sama ini membuktikan bahwa terjadinya penurunan ukuran kristal akibat *milling* 30 jam.

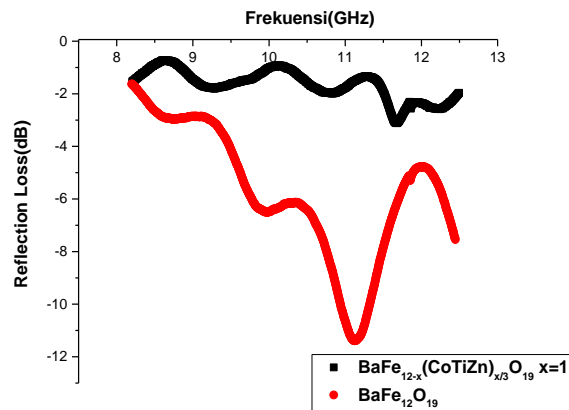
#### 4.3.3 Efek Substitusi ion Co Zn Ti terhadap Sifat Penyerap Gelombang Elektromagnetik

Efek substitusi ion Co,Zn, dan Ti ditunjukkan pada kurva *reflection loss* dan frekuensi seperti pada gambar 4.26 dan 4.27.



Gambar 4.26 Reflection Loss vs Frekuensi BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> dan BaFe<sub>12-2x</sub>Co<sub>x</sub>Zn<sub>x</sub>O<sub>19</sub> untuk x=0.6

Pada gambar 4.26 terlihat bahwa substitusi ion Co dan Zn memiliki nilai *reflection loss* lebih besar dibanding barium heksaferit sebelum substitusi, namun pada frekuensi yang rendah.



**Gambar 4.27** Reflection Loss vs Frekuensi BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> dan BaFe<sub>12-x</sub>(CoTiZn)<sub>x/3</sub>O<sub>19</sub> untuk x=1

Pada gambar 4.27 terlihat bahwa substitusi ion Co, Ti dan Zn memiliki nilai *reflection loss* yang sangat kecil dibanding barium heksaferit sebelum substitusi. Hal ini menunjukkan bahwa substitusi ion Co Zn Ti dengan komposisi x=1 pada barium heksaferit akan menurunkan nilai *reflection loss* bahan.

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan data yang telah diolah dan dianalisa, dapat di simpulkan bahwa:

1. Barium heksaferit tersubstitusi ion Co dan Zn  $BaFe_{12-2x}Co_xZn_xO_{19}$  membentuk fasa tunggal barium heksaferit pada komposisi  $x=0.2$ . Barium heksaferit tersubstitusi ion Co,Ti dan Zn  $BaFe_{12-2x}(CoTiZn)_xO_{19}$  membentuk fasa tunggal barium heksaferit pada  $x=0.6$  dan  $x=1$
2. Ukuran kristal yang didapat pada puncak tertinggi barium heksaferit tersubstitusi ion Co Zn TI adalah 1.06 nm
3. Substitusi ion Co,Ti dan Zn  $BaFe_{12-2x}Co_xZn_xO_{19}$  dan  $BaFe_{12-2x}(CoTiZn)_xO_{19}$  untuk  $x=0;0.2;0.4;0.6;0.8;1$  menurunkan nilai koersivitas barium heksaferit.
4. Substitusi ion Co,Ti dan Zn  $BaFe_{12-2x}(CoTiZn)_xO_{19}$  untuk  $x=1$  pada barium heksaferit menurunkan nilai *reflection loss* bahan.

## Daftar Pustaka

- [1]Kojima,in:E.P.Wohlfarth(Ed.) *Fundamental properties of hexagonal ferrites with magnetoplumbite structure*, Ferromagnetik Materials, thirded. North Holland Publishing Company ,Amsterdam,1982,pp.305–391Ch.5.
- [2]S.Verma et al, *Structural,Magnetik And Microwave Properties Of Barium Hexaferrite Thick Films With Different Fe/Ba Mole Ratio*, Journal of Magnetism and Magnetik Materials 396 (2015)308–312
- [3]Sukanta Das et al. *Microwave Absorption Properties of Double Layer RADAR Absorbing Material based on Doped Barium Hexaferrite/TiO<sub>2</sub>/Conducting Carbon Black*, Journal Engineering, Hindawi Publishing Corporation, Volume 2014,468313
- [4] S.P. Gairola et al. *Modified Composition Of Barium Ferrite To Act As A Microwave Absorber In X-Band Frequencies*, Solid State Communications 150 (2010) 147\_151
- [5] Rachmawati S, Zainuri M. *Pelapisan Single Layer Penyerap Gelombang Radar Dispersi Barium M-Heksaferit/Polianilin pada Rentang X-Band*. Jurnal Sains Dan Seni ITS Vol. 5 No. 2 (2016) 2337-3520
- [6] A. Gruskova et al. *Influence Of Co-Ti Substitution On Coercivity In Ba Ferrite*. Journal of Magnetism and Magnetik materials 242-245(2002) 423-425
- [7] D Zhang et al. *Ba(CoTi) 1.9 Fe 9.56 O 19 Ferrites Prepared by Sol Gel Method and Solid State Method Techniques*. Journal applied physics A 2016 19:306 Springer.
- [8]Daulay, S. 2012. *Pengaruh Substitusi Mn Pada Sifat Magnetik Barium Heksaferit*. Skripsi. Universitas Indonesia: Depok.

- [9]A. Ghasemi et al. *Electromagnetik Properties and Microwave Absorbing Characteristics of Doped Barium Hexaferrite*, Journal of Magnetism and Magnetik Materials 302 (2006) 429–435
- [10] J.Li et al. *Niti Equiatomic Co-Substitution Of Hexagonal M-Type Ba(NiTi)<sub>x</sub>Fe<sub>12-2x</sub>O<sub>19</sub> Ferrites* . Journal of alloys and compound 649(2015)782-787)
- [11] Priyono, Manaf A. *Material Magnetik Barium Heksaferit Tipe-M untuk Material Anti Radar pada Frekuensi S-band*. Jurnal SainsMateri Indonesia Vol. 11, No. 2, Februari 2010, hal : 75 – 78 ISSN : 1411-1098
- [12]K.F Qodri. *Efek Subtitusi Parsial Ion La Pada Material Sistem Laxsr1-Xo.6(Fe1.5Mn0.25Ti0.25O3) Terhadap Sifat Absorpsi Gelombang Mikro* Thesis UI 2012
- [13] Parwer N. *Study of Barium Hexaferrite (BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>) Synthesised by Sol Gel Auto-Combustion Technique* Dept of physics and astronomy, National Institute of Technology, Rourkela.
- [14] M.M. Hessian M. Radwan M.M. Rashad\_ *Enhancement of magnetik properties for the barium hexaferrite prepared through ceramic route* · Journal of Analytical and Applied Pyrolysis (2007)
- [15]Sulistyo, Indras Marhaendrajaya dan Priyono *Sintesis Dan Karakterisasi Material Magnetik Barium Hexaferrite Tersubstitusi Menggunakan Teori Sol-Gel Untuk Aplikasi Serapan Gelombang Mikro Pada Frekuensi X-Band* Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika FSM Universitas Diponegoro Berkala Fisika ISSN : 1410 - 9662 Vol. 15, No. 2, April 2012, hal 63 – 68
- [16] Istiyono, E. *Analisis Sifat Magnetik Sampel yang mengalami proses Annealing dan Quenching*. Laporan penelitian. Universitas Negeri Yogyakarta:Yogyakarta, (2009)
- [17]Hauser, H. dan Kumar, M.“*Handbook of Powder Metallurgy 2<sup>nd</sup> Edition*”.Chemical Publising Co: New York.(1982)

- [18] Halliday, Resnick. *Fisika Jilid 1 (Terjemahan)*. Jakarta: Penerbit Erlangga. W. Mark, H. Richard. (1984)
- [19] <http://teknikelektro.org/kurva-histerisis/> diakses 26 Desember pukul 20.40
- [20] Wijaya, P.G.C.P. dan Pintowantoro, S. *Sifat Dielektrik Pada Proses Reduksi Pasir Besi Akibat Gelombang Mikro*. Jurnal Teknik POMITS, **Vol 1(1)**, (2012) hal 1-4
- [21] Subiyanto, I.. *Pengaruh Impedansi Pada Sampel  $La_{0.67}Sr_{0.33}Mn_{1-x}Ti_xO_3$  Untuk Penyerap Gelombang Elektromagnetik*. Tesis. Universitas Indonesia: Depok. (2011)
- [22] Mujamillah, *Vibrating Sample Magnetometer Tipe Oxford VSM 1.2 H*, Seminar Nasional Sampel Magnet, Serpong 11 Oktober 2000
- [23] Li Jie et al *Structural and magnetic properties of M–Ti (M= Ni or Zn) co-substituted M-type barium ferrite by a novel sintering process* J Mater Sci: Mater Electron. Springer (2014)
- [24] Ambarwanti D, Handoko E, Marpaung A. M, *Struktur dan Sifat Kemagnetan Material Magnet BaFe dengan Metode Ultrasonic Mixing* Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVIII HFI Jateng & DIY, Yogyakarta, 26 April 2014 ISSN : 0853-0823
- [25] Z.F. Zi, J.M. Dai, Q.C. Liu, H.Y. Liu, X.B. Zhu, Y.P. Sun, *Magnetic and microwave absorption properties of W-type  $Ba(Zn_xCo_{1-x})_2Fe_{16}O_{27}$  hexaferrite platelets*. J. Appl. Phys. 109 07E536, 1–3 (2011)
- [26] Akmal Johan, *Analisis Sampel Magnet Nanokristalin Barium Heksaferit ( $BaO \cdot 6Fe_2O_3$ ) dengan Menggunakan High-Energy Milling*, Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan, Indonesia Jurnal Penelitian Sains Volume 14 Nomer 1(B) 14105



[27] Gurkan, N., *Studies on Interaction of Electromagnetic Waves With Barium Hexaferrite Ceramics*, Metallurgical and Materials Engineering Department, Middle East Technical University. 2008

## Lampiran 1

### 1. Alat yang digunakan saat Penelitian

a. Vial



b. *High Energy Milling*



c. Cawan



d. Furnace



e.



Kompaksi

f. Furnace



g. Tumbukan



h. Vial Planetary Mill



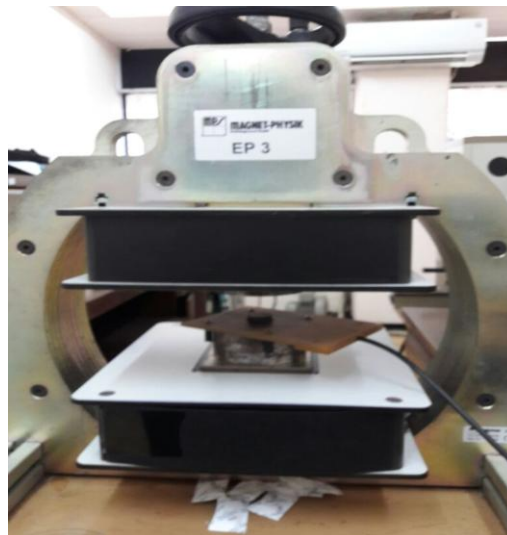
i. Planetary Mill



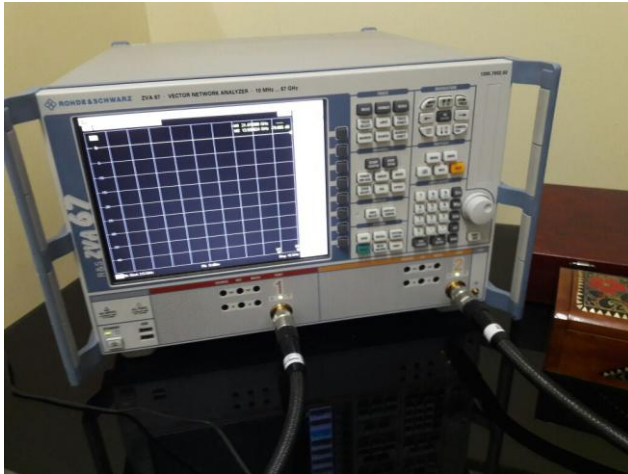
j. Pengujian XRD



k. Permagraph



L. pengukuran VNA

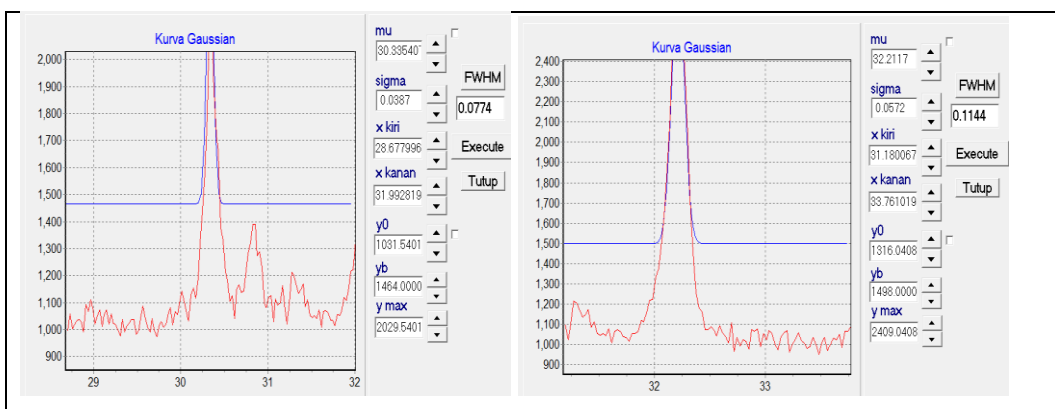


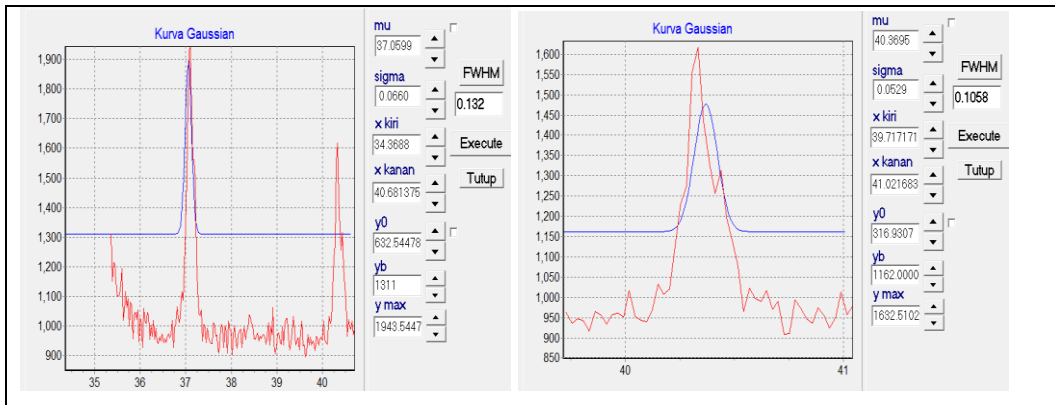
## 2. Perhitungan ukuran kristal

Perhitungan ukuran kristal menggunakan persamaan Debye Scherree:

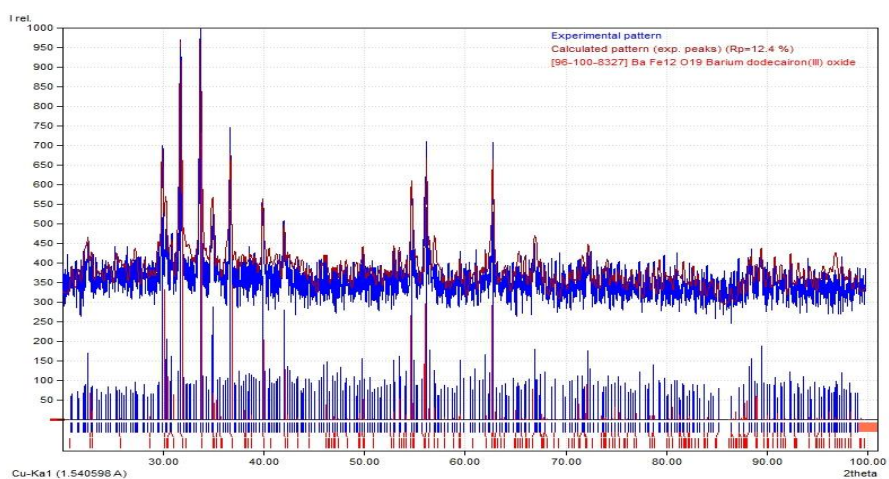
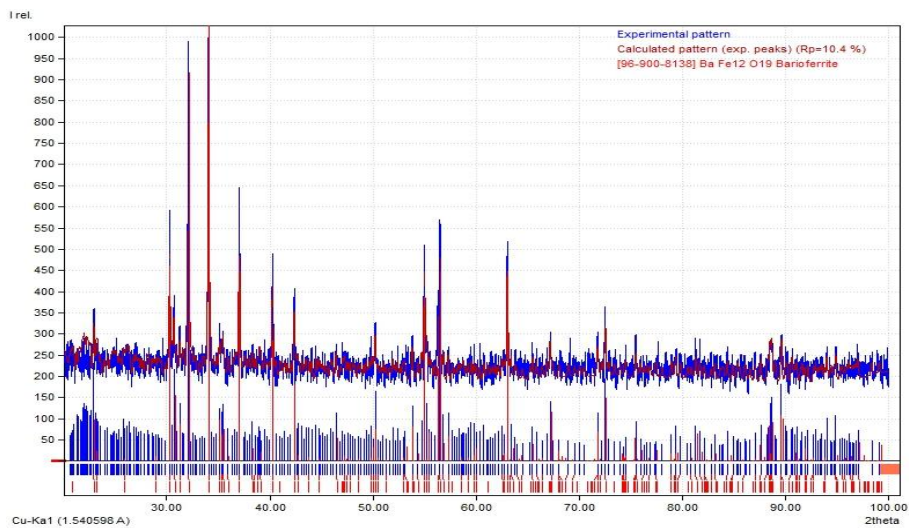
$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}$$

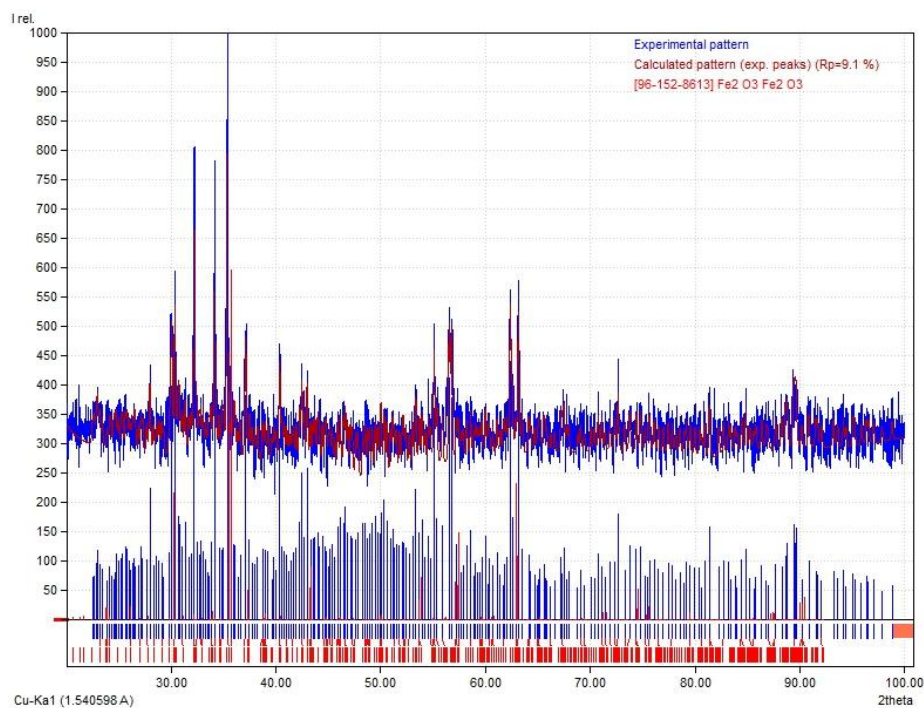
2theta	FWHM	Ukuran Kristal(nm)
30.35	0.0774	1.937856
32.19	0.1144	1.37007
34.13	0.1422	1.064887
37.1	0.132	1.156765
40.35	0.1058	1.45768





### 3. Grafik Pencocokan dengan Match





#### 4. Lampiran data pengukuran VNA

a.  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$

Frekuensi(Hz)	S11 real	S11 imajiner
7.50E+09	0.71968	-0.37213
7.50E+09	0.70616	-0.39382
7.51E+09	0.69425	-0.41341
7.51E+09	0.67853	-0.43536
7.52E+09	0.66526	-0.45388
7.52E+09	0.64814	-0.47188
7.52E+09	0.6318	-0.4932
7.53E+09	0.61757	-0.51036
7.53E+09	0.60279	-0.52614
7.53E+09	0.58959	-0.54201
7.54E+09	0.57231	-0.55883
7.54E+09	0.55407	-0.57522
7.55E+09	0.53559	-0.59108
7.55E+09	0.51744	-0.60676
7.55E+09	0.50001	-0.62136
7.56E+09	0.48121	-0.63367
7.56E+09	0.46184	-0.6467
7.56E+09	0.44523	-0.65939
7.57E+09	0.4253	-0.67135

b.  $BaFe_{12-2x}Co_xZn_xO_{19}$   $x=0.6$

Frekuensi(Hz)	S11 real	S11imajiner
7.50E+09	0.34065	0.19213
7.50E+09	0.34526	0.18113
7.51E+09	0.34576	0.171
7.51E+09	0.35032	0.16016
7.52E+09	0.35127	0.14851
7.52E+09	0.35282	0.13723
7.52E+09	0.35541	0.12401
7.53E+09	0.35737	0.11399
7.53E+09	0.35736	0.10469
7.53E+09	0.35825	0.09507
7.54E+09	0.35926	0.08382
7.54E+09	0.35968	0.07327
7.55E+09	0.35871	0.0618
7.55E+09	0.35875	0.05176
7.55E+09	0.35907	0.04074
7.56E+09	0.35837	0.03072
7.56E+09	0.35795	0.02079
7.56E+09	0.35634	0.00983
7.57E+09	0.35408	-0.00102
7.57E+09	0.3528	-0.01057
7.58E+09	0.35196	-0.02042
7.58E+09	0.35021	-0.03048
7.58E+09	0.34743	-0.03937
7.59E+09	0.3446	-0.04941
7.59E+09	0.34355	-0.05859
7.59E+09	0.34005	-0.06847
7.60E+09	0.33737	-0.07853

c.  $BaFe_{12-2x}(CoTiZn)_xO_{19}$   $x=1$ .

Frekuensi(Hz)	S11real	S11 imajiner
7.50E+09	-0.08069	0.90819
7.50E+09	-0.05312	0.91241
7.51E+09	-0.03323	0.91274
7.51E+09	-0.01421	0.91262
7.52E+09	0.01128	0.91139
7.52E+09	0.03102	0.91164
7.52E+09	0.05845	0.90827
7.53E+09	0.08033	0.90825
7.53E+09	0.09812	0.90288
7.53E+09	0.11546	0.90048
7.54E+09	0.13989	0.89666
7.54E+09	0.16229	0.8945
7.55E+09	0.18143	0.88542
7.55E+09	0.20721	0.87962
7.55E+09	0.22743	0.87338
7.56E+09	0.24789	0.87072
7.56E+09	0.26886	0.86018
7.56E+09	0.28884	0.85516
7.57E+09	0.30986	0.84312
7.57E+09	0.33018	0.83625
7.58E+09	0.35251	0.82405
7.58E+09	0.371	0.81675
7.58E+09	0.39098	0.80854
7.59E+09	0.40981	0.7976



## RIWAYAT HIDUP



Donna Bellina Sya'ban lahir di Tasikmalaya, 22 Oktober 1995. Penulis merupakan anak ketiga dari Alm Bapak Benny Achmad Sya'ban dan Ibu Indrawati. Penulis menempuh pendidikan Sekolah Dasarnya di SDN HARJA XVI Bekasi, Kemudian melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 25 Bekasi, kemudian menamatkan Sekolah Menengah Atas nya di SMA MARTIA BHAKTI Bekasi pada tahun 2013. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikannya di Universitas Negeri Jakarta dengan jurusan Fisika yang diambilnya. Pada tugas akhir sebagai syarat mendapat gelar sarjana penulis membuat tugas akhir dengan judul '*Sintesis Nanokristal Barium Heksaferit Tersubstitusi Ion Co Ti Dan Zn Dengan Metode Mechanical Alloying Untuk Aplikasi Penyerap Gelombang Radar*'.