









## PERSETUJUAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

SINTESIS  $Ba(Fe,Zn,Co,Ti)_{12}O_{19}$  DENGAN METODE SOL GEL UNTUK  
APLIKASI MATERIAL MAGNETIK PENYERAP GELOMBANG RADAR

Nama : Gilang Widiantoro  
No.Reg : 3225130900

	Nama	Tanda tangan	Tanggal
Penanggungjawab			
Dekan	:Prof. Dr. Suyono, M.Si NIP. 19671218 199303 1 005		23/8/17
Wakil Penanggung Jawab			
Wakil Dekan I	:Dr. Muktiningsih, M.Si NIP. 19640511 198903 2 001		23/8/17
Ketua	:Prof. Dr. Agus Setyo Budi, M.Sc NIP. 19630426 198803 1 002		18/8/17
Sekretaris	:Dr. Anggara Budi Susila, M.Si NIP. 19601001 199203 1 001		18/8/17
Anggota			
Pembimbing I	:Dr. Erfan Handoko, M.Si NIP. 19730201 200312 1 002		21/8/17
Pembimbing II	:Dr. Iwan Sugihartono, M.Si NIP. 19791010 200801 1 018		21/8/17
Penguji	:Dr. Mangasi Alion Marpaung, M.Si NIP. 19571123 198703 1 002		21/8/17

Dinyatakan lulus ujian skripsi tanggal: 15 Agustus 2017

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul **“Sintesis  $Ba(Fe,Zn,Co,Ti)_{12}O_{19}$  Dengan Metode Sol-Gel Untuk Aplikasi Material Magnetik 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.

Bekasi, Agustus 2017

  
Gilang Widianoro

## ABSTRAK

**Gilang Widianoro.** Sintesis  $Ba(Fe,Zn,Co,Ti)_{12}O_{19}$  Dengan Metode Sol-Gel Untuk Aplikasi Material Magnetik Penyerap Gelombang RADAR. Dibawah bimbingan ERFAN HANDOKO, IWAN SUGIHARTONO

Telah dilakukan proses sintesis material magnetik  $BaFe_{12-2x}(ZnCo)_xTi_xO_{19}$  dengan metode sol gel untuk  $x = 0; 0.5; 1$ . Diawali dengan pelarutan serbuk  $Fe_2O_3$  (99.9%) pada  $HNO_3$  (60%) lalu ditambahkan serbuk  $BaCO_3$  (99%),  $ZnO$  (99%),  $Co_3O_4$  (99%) dan  $TiO_2$ (99%) sehingga diperoleh larutan pembentuk material magnet. Proses homogenisasi larutan dilakukan dengan *magnetic stirrer* dan *hot plate* pada suhu  $90^\circ C$  selama 3 jam dan dilanjutkan pengeringan larutan. Kristalisasi pada suhu  $1100^\circ C$  selama 1 jam telah diperoleh fasa barium heksaferrit diikuti dengan keberadaan fasa kedua (*hematite*) dalam jumlah yang cukup besar berdasarkan pengukuran difraksi sinar-X. Dari kurva histerisis hasil Permagraph diperoleh bahwa nilai koersivitas mengalami penurunan pada peningkatan jumlah substitusi. Nilai serapan material  $BaFe_{12-2x}(ZnCo)_xTi_xO_{19}$  yang paling optimum terbentuk saat  $x=1$  dengan nilai *Reflection Loss* sebesar - 20.93 dB dan koefisien refleksi sebesar 8.98 % pada frekuensi 9.74 GHz.

**Kata Kunci:**  $BaFe_{12-2x}(ZnCo)_xTi_xO_{19}$ , *Reflection Loss*, *sol-gel*, *sifat kemagnetan*

## ABSTRACT

**Gilang Widiatoro.** Synthesis  $\text{Ba}(\text{Fe,Zn,Co,Ti})_{12}\text{O}_{19}$  by Sol-Gel Method for Application RADAR-Absorbing Material. Under the guidance of ERFAN HANDOKO, IWAN SUGIHARTONO

Magnetic material  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  for  $x = 0; 0.5; 1$  have been synthesized by sol-gel method. As starting materials,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  powders (99.9 %) were dissolved in  $\text{HNO}_3$  (60 %) and  $\text{BaCO}_3$  (99%),  $\text{ZnO}$  (99%),  $\text{Co}_3\text{O}_4$  (99%),  $\text{TiO}_2$  (99%) powders was then added, magnetic material solution forming were produced. Homogenization process performed by hot plate and magnetic stirrer at  $90^\circ\text{C}$  for 3 h and continued drying solution. Based on the data from X-Ray Diffractometer obtained barium hexaferrite phase followed by second phase (hematite) with crystallization at  $1100^\circ\text{C}$  during 1 h. Hysteresis loop from Permagraph show that coercivity ( $H_c$ ) decrease with increasing number of substitution. The most optimum value of absorption material's  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  formed when  $x=1$  with Reflection Loss -20.93 dB and reflection coefficient 8.98 % at 9.74 GHz.

**Keywords:**  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ , Reflection Loss, sol-gel, magnetic properties

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah swt. atas segala rahmat dan hidayahNya, maka karya ilmiah ini berhasil diselesaikan oleh penulis. Jenis penelitian yang dipilih adalah penelitian Sains yang dilaksanakan sejak bulan Februari 2017 dengan judul Sintesis  $Ba(Fe,Zn,Co,Ti)_{12}O_{19}$  Dengan Metode Sol Gel Untuk Aplikasi Material Magnetik Penyerap Gelombang RADAR.

Terimakasih penulis ucapkan kepada bapak Dr. Erfan Handoko, M.Si dan bapak Dr. Iwan Sugihartono, M.Si selaku dosen pembimbing I dan pembimbing II atas waktu, bimbingan dan saran yang membangun. Terimakasih pula kepada pembimbing akademik ibu Dewi Mulyati, M.Sc yang telah membimbing penulis secara akademik selama kuliah di Program Studi Fisika UNJ. Di samping itu penghargaan penulis disampaikan ke Koordinator Program Studi Fisika yaitu ibu Dr. Widyaningrum Indrasari, M.Si. Wakil Dekan Bidang Akademik ibu Dr. Muktiningsih, M.Si dan Dekan FMIPA UNJ bapak Prof. Dr. Suyono, M.Si yang telah membantu selama penyelesaian studi.

Ungkapan terimakasih disampaikan kepada Ayah dan Ibu atas segala doa dan kasih sayangnya. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada analis dan teknisi Laboratorium Fisika FMIPA UNJ serta teman-teman seangkatan Fisika 2013 atas bantuan dan persahabatannya. Semoga karya ilmiah ini bermanfaat.

Bekasi, Agustus 2017

Gilang Widianoro

## DAFTAR ISI

<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>1</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>2</b>
1.1 Latar Belakang .....	2
1.2 Identifikasi Masalah .....	3
1.3 Pembatasan Masalah .....	3
1.4 Perumusan Masalah.....	4
1.5 Tujuan Penelitian.....	4
1.6 Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Struktur Kristal Barium Hexaferrite.....	5
2.2 Sejarah Perkembangan Barium Heksaferrit .....	5
2.3 Metode Sol-Gel .....	7
2.3.1 Proses Sol-Gel .....	8
2.4 Sifat Magnetik Material.....	9
2.5 Material Penyerap Gelombang Mikro ( <i>Microwave Absorber</i> ) .....	12
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>15</b>
3.1 Tujuan Operasional .....	15
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian .....	15
3.3.1 Waktu Penelitian .....	15
3.3.2 Tempat Penelitian.....	15
3.3 Alat dan Bahan Penelitian .....	15
3.3.1 Alat Penelitian .....	15
3.3.2 Bahan Penelitian.....	15
3.4 Metode Penelitian.....	16
3.5 Prosedur Penelitian.....	16
3.5.1 Preparasi Material Dengan Komposisi $BaFe_{12-2x}(ZnCo)_xTi_xO_{19}$ .....	16
3.5.2 Proses Pembuatan Material $BaFe_{12-2x}(ZnCo)_xTi_xO_{19}$ Dengan Metode Sol Gel .....	16
3.5.3 Karakterisasi Sampel Menggunakan Difraksi Sinar – X .....	17
3.5.4 Karakterisasi Sifat Magnetik dengan Permagraph.....	18
3.5.5 Karakterisasi Absorpsi Gelombang Mikro dengan VNA .....	18
3.6 Diagram Alir Penelitian.....	20

<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>21</b>
4.1 <b>HASIL .....</b>	<b>21</b>
4.1.1  Preparasi Material $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ .....	21
4.1.2  Pengukuran Difraksi Sinar-X Material $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ .....	22
4.1.3  Pengukuran Sifat Magnetik Material $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ .....	24
4.1.4  Pengukuran Sifat Penyerapan Gelombang RADAR Material $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ .....	26
4.2 <b>Pembahasan .....</b>	<b>28</b>
4.2.1  Pengaruh Substitusi Ion Zn, Co dan Ti Terhadap Fasa Barium Heksaferrit.....	28
4.2.2  Efek Substitusi Ion Zn, Co dan Ti Terhadap Sifat Magnetik.....	29
4.2.3  Efek Substitusi Ion Zn, Co dan Ti Terhadap Sifat Penyerapan Gelombang RADAR.....	32
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>34</b>
5.1  Kesimpulan.....	34
5.2  Saran.....	34
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>35</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>39</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Jenis Gelombang Mikro Berdasarkan Daerah Jangkauan.....	13
Tabel 3.1. Perhitungan massa material dasar .....	16
Tabel 4.1. Ukuran kristal material $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ ( $x=0$ dan $x=1$ ) .....	23
Tabel 4.2. Ukuran material $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ .....	24
Tabel 4.3. Perhitungan nilai $M_s$ , $M_r$ dan $H_c$ material $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ .....	25
Tabel 4.4. Interval frekuensi serapan pada nilai RL tertentu .....	28



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Struktur Kristal Barium Hexaferrite.....	5
Gambar 2.2. Tahapan Preparasi Metode Sol-Gel.....	9
Gambar 2.3. Dipol-dipol magnet material diamagnetik.....	10
Gambar 2.4. Dipol-dipol magnet material paramagnetik.....	10
Gambar 2.5. Dipol-dipol magnet material ferromagnetik.....	11
Gambar 2.6. Kurva histeresis untuk <i>soft magnet</i> dan <i>hard magnet</i> .....	12
Gambar 2.7. Interaksi gelombang dengan material .....	13
Gambar 3.1. Prinsip dasar hukum Bragg .....	17
Gambar 3.2. Skema pengujian VNA .....	18
Gambar 3.3. Diagram Alir Penelitian Dengan Metode Sol Gel.....	20
Gambar 4.1. Preparasi material $BaFe_{12-2x}(ZnCo)_xTi_xO_{19}$ .....	21
Gambar 4.2. Hasil preparasi material (a) $x = 0$ , (b) $x = 0.5$ , (c) $x = 1$ .....	22
Gambar 4.3. Hasil pengukuran difraksi sinar-X material (a) $x=0$ dan (b) $x=1$ .....	22
Gambar 4.4. Set up alat Permagraph.....	24
Gambar 4.5. Hasil pengukuran Permagraph material (a) $x=0$ , (b) $x=0.5$ , (c) $x=1$ .....	25
Gambar 4.6. Sampel holder dan alat VNA .....	26
Gambar 4.7. Material $BaFe_{12-2x}(ZnCo)_xTi_xO_{19}$ (a) $x=0$ , (b) $x=0.5$ , (c) $x=1$ .....	26
Gambar 4.8. Hasil pengukuran VNA material (a) $x=0$ , (b) $x=0.5$ , (c) $x=1$ .....	27
Gambar 4.9. Hasil Pencocokan ( <i>Matching</i> ) Material $BaFe_{12-2x}(CoZn)_xTi_xO_{19}$ .....	28
Gambar 4.10. Grafik histeresis material $BaFe_{12-2x}(ZnCo)_xTi_xO_{19}$ .....	30
Gambar 4.11. Grafik parameter sifat magnetik terhadap substitusi.....	31
Gambar 4.12. Grafik hubungan <i>Reflection Loss</i> dengan frekuensi.....	32
Gambar 4.13. Grafik hubungan koefisien refleksi dengan frekuensi.....	33

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Preparasi material $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ .....	39
Lampiran 2. Grafik Pencocokan dengan MATCH .....	40
Lampiran 3. Data pengukuran VNA .....	41

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dewasa ini penelitian terkait material penyerap gelombang RADAR sangat pesat dikembangkan. Dengan tujuan yang sama yaitu mendapatkan material dengan tingkat penyerapan yang tinggi terhadap gelombang RADAR untuk diaplikasikan pada pesawat dan kapal tempur sebagai amunisi persenjataan perang suatu negara. Baik pesawat maupun kapal yang telah dilapisi dengan material tersebut mampu untuk mereduksi jarak pendeteksian atau bahkan menghilangkannya. Hal tersebut disebabkan karena terserapnya gelombang elektromagnetik yang dikirimkan oleh RADAR. RADAR memanfaatkan gelombang mikro dalam mendeteksi keberadaan suatu benda [1]. Gelombang mikro adalah gelombang elektromagnetik dengan rentang frekuensi 1-20 GHz [2].

Penemuan dan pengembangan barium hexaferrite telah membuat ongkos produksi yang murah guna mendapatkan media penyimpanan magnetik [3], *ferrofluids* [4], sensor [5] dan material penyerap gelombang mikro [6-8]. Barium hexaferrite merupakan magnet permanen dengan performansi tinggi yang disebabkan oleh saturasi magnet yang relatif besar, temperatur *Curie* dan koersivitas yang tinggi, tahan terhadap korosi serta stabilitas kimia yang sangat baik [9].

Telah dikembangkan beberapa metode untuk memproduksi barium hexaferrite berukuran nano dengan struktur domain tunggal, yaitu *glass crystallization* [10], *mechanical alloying* [11], *solid state reaction* [12], *sol-gel route* [13], *sol-gel auto-combustion* [14-15] dan kopresipitasi [16].

Metode sol-gel dikenal sebagai salah satu *wet method* dalam sintesis nanopartikel yang cukup mudah dan sederhana guna merekayasa suatu material. Keuntungan yang didapat dalam menggunakan metode sol-gel adalah tidak membutuhkan peralatan khusus, kemungkinan untuk terjadinya aglomerasi partikel sangat kecil, mudahnya unsur-unsur *dopants* untuk dimasukkan ke dalam

produk akhir, temperatur proses yang relatif rendah, homogenitas struktur mikro yang tinggi dengan distribusi ukuran yang sempit [17].

Sifat anisotropi material yang semakin menurun menyebabkan koersivitas menjadi tinggi, sehingga akan melemahkan sifat absorpsi material tersebut. Untuk dapat menjadi material absorber maka dibutuhkan medan koersivitas yang rendah [18] dan nilai koersivitas suatu material sangat bergantung pada ukuran butir dan arah dipol magnetnya [19].

Nilai medan koersivitas yang serendah mungkin dengan saturasi magnet tinggi merupakan syarat yang harus dipenuhi sebagai material penyerap gelombang RADAR [20]. Untuk dapat merealisasikan sifat-sifat tersebut maka diperlukan adanya pendopingan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan substitusi ion  $\text{Fe}^{3+}$  oleh ion  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$  dan ion  $\text{Ti}^{4+}$  yang disintesis menggunakan metode sol-gel guna memperoleh material magnetik dengan komposisi  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  untuk  $x = 0; 0.5; 1$ . Dengan adanya substitusi tersebut diharapkan dapat mempengaruhi struktur dan sifat magnetik barium hexaferrite guna yaitu menghasilkan ukuran pada skala nanometer dan nilai koersivitas yang rendah sebagai syarat penyerap gelombang RADAR.

## **1.2 Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, maka permasalahan yang dapat diidentifikasi adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana fasa yang terbentuk pada material  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  untuk  $x = 0; 0.5; 1$  yang disintesis dengan metode sol gel.
2. Bagaimana sifat magnetik material  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ .
3. Bagaimana sifat absorpsi material  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ .

## **1.3 Pembatasan Masalah**

Dengan begitu luasnya cakupan penelitian terkait barium hexaferrite, maka penulis membatasi permasalahan pada beberapa parameter berikut:

1. Membuat  $\text{BaFe}_{12-x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  dengan metode sol gel untuk untuk  $x = 0; 0.5; 1$  aplikasi material magnetik penyerap gelombang RADAR.
2. Pengujian yang dilakukan meliputi uji XRD, Permagraph dan VNA.

#### 1.4 Perumusan Masalah

Perumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana mendapatkan material dengan nilai medan koersivitas yang rendah guna memenuhi syarat sebagai penyerap gelombang RADAR.

#### 1.5 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Membuat material magnetik  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  dengan metode sol gel untuk  $x = 0; 0.5; 1$ .
2. Mengetahui fasa yang terbentuk pada material magnetik dengan komposisi  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ .
3. Mengetahui sifat magnetik material  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ .
4. Mengetahui sifat absorpsi dan nilai *reflection loss* material dengan komposisi  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ .

#### 1.6 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan yang ingin ditempuh, maka penelitian ini akan menghasilkan beberapa manfaat yaitu sebagai berikut:

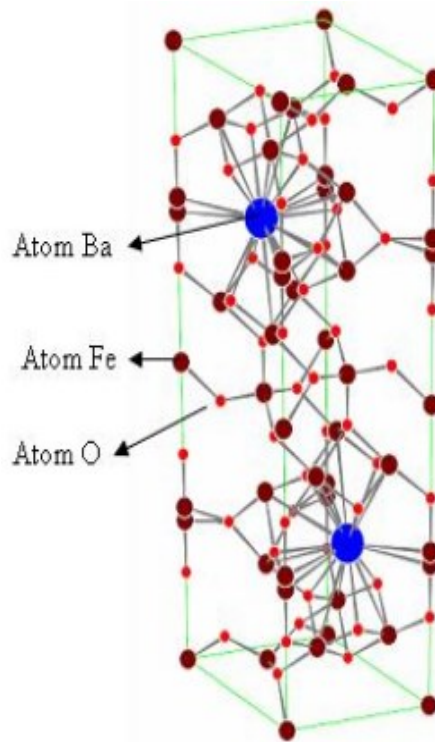
1. Mendapatkan material magnet dengan komposisi  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  untuk  $x = 0; 0.5; 1$  guna aplikasi material magnetik penyerap gelombang RADAR.
2. Memberikan informasi terkait penelitian barium hexaferrite tersubstitusi Zn, Co dan Ti untuk pengembangan material penyerap gelombang RADAR lebih lanjut.

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Struktur Kristal Barium Hexaferrite

Barium hexaferrite merupakan material berbasis oksida dengan struktur heksagonal. Struktur kristal heksagonal dicirikan oleh dua parameter kisi yaitu lebar kristal  $a = b = 0.588$  nm dan tinggi kristal  $c = 2.32$  nm dengan space grup P63/mmc [21].



Gambar 2.1. Struktur Kristal Barium Heksaferrit

#### 2.2 Sejarah Perkembangan Barium Heksaferrit

Diawal tahun 1950-an, penemuan dan pengembangan barium hexaferrite telah memungkinkan untuk memperoleh ongkos produksi yang murah dalam pembuatan media penyimpanan magnetik, ferrofluids, sensor dan material penyerap gelombang mikro. Samiksha Verma dan kawan-kawan [1] mengobservasi struktur dan sifat magnetik barium hexaferrite *thick films* yang

disubstitusi menggunakan ion Co dan Ti. Pada penelitian ini  $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Co}_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  diperoleh nilai magnetisasi *BaM films* yang lebih rendah dibandingkan *BaM powders*, namun terjadi penurunan yang cukup drastis pada medan koersivitasnya yaitu dari 2 kOe ( $x=0$ ) menjadi 0.080 kOe ( $x=1$ ) yang dapat digunakan untuk aplikasi gelombang mikro.

R. Muller *et al.* [2] menyelidiki struktur dan sifat magnetik barium hexaferrite *ferrofluids* yang dipreparasi menggunakan *oleic acid* sebagai *surfactant* dan *Isopar M* sebagai *carrier liquid*. Sementara partikel ferrite dipreparasi dengan metode *glass crystallization*. M. Karmakar dan kawan-kawan [3] telah melakukan penelitian terhadap karakterisasi sensor *acetone* dan *ethanol* menggunakan barium hexaferrit *nanocrystalline*. Hasilnya menunjukkan bahwa barium hexaferrite sebagai sensor yang menjanjikan untuk dapat mendeteksi uap *acetone* dan *ethanol* dengan cepat pada konsentrasi rendah (20 ppm).

Priyono dan Windu Ganar Prasongko [4] membuat material magnetik  $\text{BaFe}_9\text{Mn}_{0,75}\text{Co}_{0,75}\text{Ti}_{1,5}\text{O}_{19}$  untuk aplikasi penyerap gelombang elektromagnetik dengan menggunakan metode sol-gel. Hasil karakterisasi magnetik diperoleh nilai koersivitas sebesar 3,8 kA/m dan magnetisasi 0,29 Tesla. Analisis morfologi sampel menggunakan *SEM* menunjukkan adanya heterogenitas ukuran partikel. Pengujian absorpsi menunjukkan bahwa terjadi penyerapan pada rentang frekuensi 8-12 GHz. Eko Andri Susanto, Erfan Handoko dan Mangasi Alion Marpaung [5] telah mengembangkan material barium hexaferrite tipe-W  $\text{BaCoTiFe}_{16}\text{O}_{27}$  sebagai material penyerap gelombang elektromagnetik dengan metode *ultrasonic mixing* dan *solid state reaction* pada temperatur 1100°C selama 3 jam. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai remanen magnet yang didapat adalah 0.08655 Tesla, medan koersivitas sebesar 38,1509 kA/m dan saturasi magnet 0.19709 Tesla. Kurva histerisis memiliki celah sempit dan memperlihatkan nilai koersivitas yang relatif kecil sebagai bukti bahwa material penyerap gelombang elektromagnetik telah terbentuk. Reza Shams Alam *et al.* [6] melakukan karakterisasi sifat magnetik dan penyerap gelombang mikro terhadap barium hexaferrite  $\text{BaMg}_{x/2}\text{Co}_x\text{Ti}_{2x}\text{Fe}_{12-4x}\text{O}_{19}$  ( $x = 0 - 0.5$ ) yang disintesis menggunakan

metode kopresipitasi. Dalam penelitian ini nilai medan koersivitas mengalami tren yang menurun dari 3660 Oe menjadi 708 Oe seiring dengan meningkatnya jumlah substitusi. Sampel barium hexaferrite dengan  $x = 0.5$  dapat digunakan sebagai material penyerap gelombang mikro yang efisien dalam rentang frekuensi 10-16 GHz.

Barium hexaferrite telah menjadi primadona dalam penelitian dan pengembangan material magnetik dikarenakan ongkos produksi yang murah. Belakangan ini, material dengan saturasi magnet yang relatif besar, temperatur *Curie* dan koersivitas yang tinggi, tahan terhadap korosi serta stabilitas kimia yang baik sangat menarik perhatian cukup besar dari para peneliti. Sifat-sifat tersebut dimiliki oleh material magnetik barium hexaferrite.

### 2.3 Metode Sol-Gel

Metode sol-gel merupakan salah satu metode yang cukup sederhana dan mudah dalam mensintesis material oksida logam berukuran nano. Metode ini dikenal sebagai *wet method* karena melibatkan larutan sebagai media dalam proses sintesisnya. Untuk material dasar dapat digunakan senyawa nitrat dengan *fuel* berupa senyawa organik yang merupakan sumber C dan H. Salah satu *fuel* yang sering digunakan dalam metode *sol-gel* adalah *citric acid* yang merupakan asam lemah [21]. Sol adalah sistem koloid dari partikel halus yang terdispersi dalam suatu zat cair, sedangkan gel merupakan suatu sol yang mengadsorpsi medium pendispersinya sehingga terjadi koloid yang agak padat. Oleh karena itu, proses sol-gel didefinisikan sebagai pembentukan senyawa anorganik melalui reaksi kimia yang mengakibatkan terjadinya perubahan fasa dari sol menjadi gel.

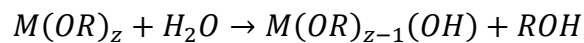
Keuntungan yang diperoleh dalam menggunakan metode sol-gel adalah tidak membutuhkan peralatan khusus, kemungkinan untuk terjadinya aglomerasi partikel sangat kecil, mudahnya unsur-unsur *dopants* untuk dimasukkan ke dalam produk akhir, temperatur proses yang relatif rendah, homogenitas struktur mikro yang tinggi dengan distribusi ukuran yang sempit serta terbentuknya produk akhir berukuran nanopartikel [17].



### 2.3.1 Proses Sol-Gel

#### A. Hidrolisis

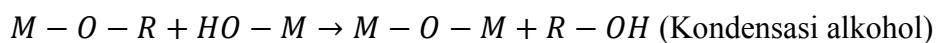
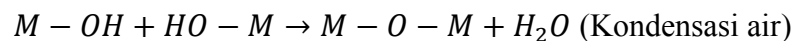
Pada tahapan pertama dilakukan pelarutan logam prekursor dalam alkohol dengan penambahan air pada kondisi asam, netral maupun basa sehingga terhidrolisis dan menghasilkan sol koloid. Dengan persamaan reaksi adalah sebagai berikut:



Faktor yang sangat mempengaruhi dalam proses hidrolisis adalah rasio prekursor dan jenis katalis yang digunakan.

#### B. Kondensasi

Pada tahapan ini akan terjadi transisi dari sol menjadi gel guna menghasilkan produk akhir berupa polimer dengan ikatan  $M - O - M$  serta air dan alkohol sebagai produk samping. Dengan persamaan reaksi adalah sebagai berikut:



#### C. Pematangan

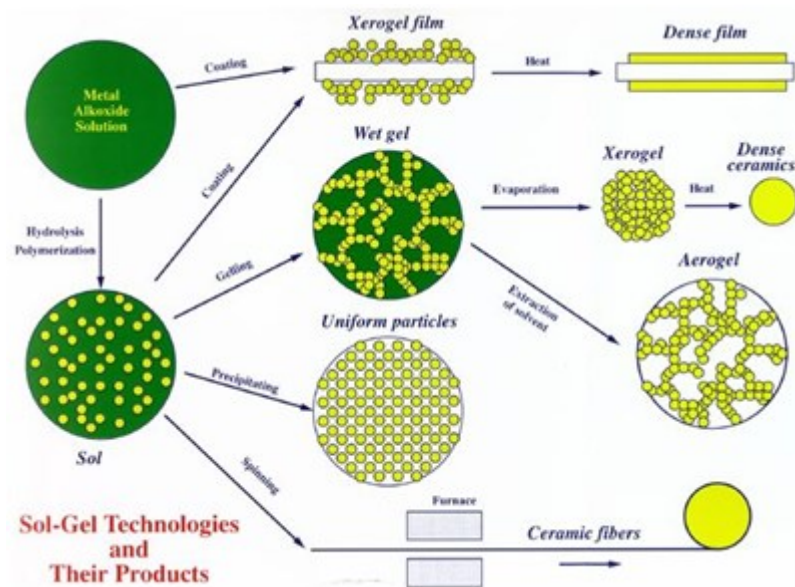
Setelah kedua tahapan di atas selesai maka dilanjutkan dengan proses pematangan gel yang terbentuk atau lebih dikenal dengan proses *ageing*. Pada proses ini, akan terbentuk jaringan gel yang lebih kuat, kaku dan menyusut di dalam larutan.

#### D. Pengeringan

Pengeringan merupakan tahapan terakhir dalam proses sol-gel. Pada tahap ini dilakukan penguapan terhadap cairan yang tidak diinginkan untuk mendapatkan struktur sol gel dengan luas permukaan yang tinggi.

Metode sintesis nanopartikel menggunakan sol-gel untuk material berbasis oksida berbeda satu sama lain, bergantung pada prekursor dan bentuk produk akhirnya. Faktor-faktor yang mempengaruhi struktur dan sifat fisik gel adalah

pemilihan bahan baku material, laju hidrolisis dan kondensasi serta modifikasi kimiawi dari sistem sol-gel.



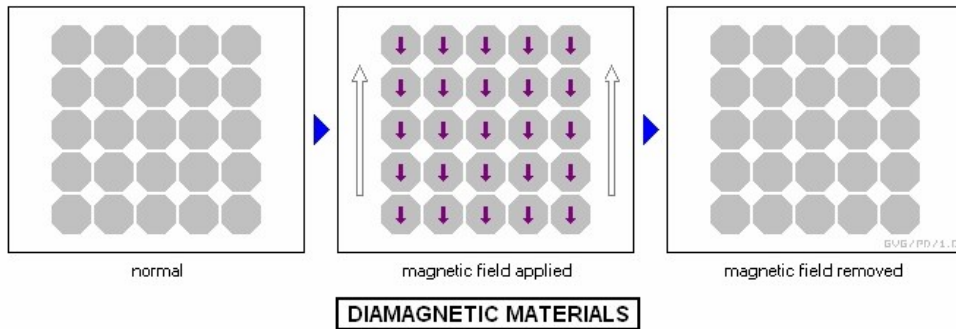
Gambar 2.2. Tahapan Preparasi Metode Sol-Gel [22]

## 2.4 Sifat Magnetik Material

Magnet muncul disebabkan oleh mobilitas elektron sehingga menghasilkan arus dan mengakibatkan adanya dipol-dipol magnet tertentu. Sifat magnetik material menggambarkan respon material terhadap medan magnet luar yang dibagi menjadi tiga golongan yaitu diamagnetik, paramagnetik dan ferromagnetik.

### A. Diamagnetik

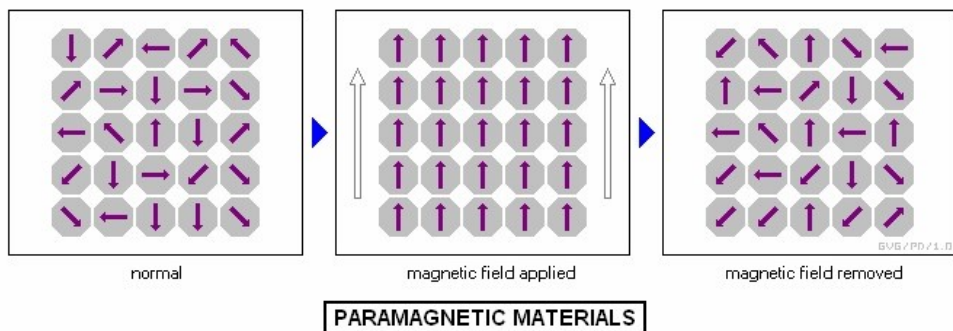
Diamagnetik adalah bentuk magnetisasi yang sangat lemah. Apabila bahan diamagnetik dikenakan medan magnet luar maka tidak akan termagnetisasi sehingga tidak terdapat medan magnet yang tersimpan dalam bahan tersebut. Sifat diamagnetik bahan ditimbulkan oleh gerak orbital elektron. Bahan dapat bersifat magnet apabila mempunyai spin elektron yang tidak berpasangan, sedangkan dalam bahan diamagnetik hampir semua spin elektron berpasangan. Permeabilitas bahan diamagnetik adalah  $\mu < \mu_0$  dan suseptibilitas magnetiknya  $\chi_m < 0$ .



Gambar 2.3. Dipol-dipol magnet material diamagnetik

### B. Paramagnetik

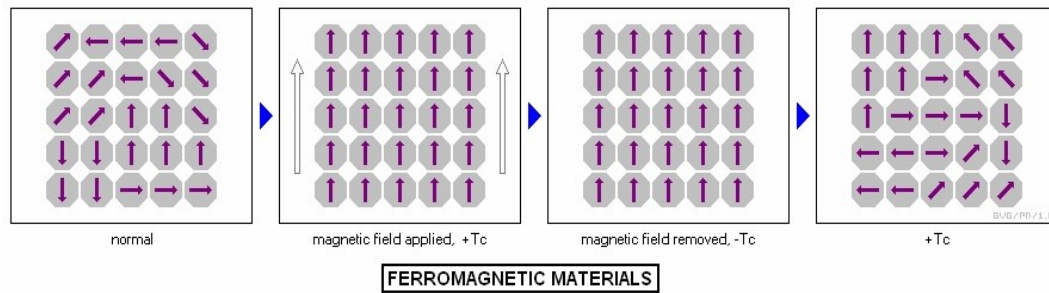
Bahan yang apabila dikenakan medan magnet luar akan termagnetisasi, namun ketika dihilangkan tidak terdapat medan magnet yang tersimpan (magnet remanen). Permeabilitas bahan paramagnetik adalah  $\mu > \mu_0$  dan suseptibilitas magnetik bahannya  $\chi_m > 0$ .



Gambar 2.4. Dipol-dipol magnet material paramagnetik

### C. Ferromagnetik

Pada bahan ferromagnetik terdapat banyak spin elektron yang tidak berpasangan (domain magnet) sehingga syarat untuk dapat menjadi magnet telah terpenuhi. Apabila dikenakan medan magnet luar maka bahan ferromagnetik akan termagnetisasi dan ketika medan magnet luarnya dihilangkan terdapat magnet remanen. Oleh karena itu, ferromagnetik dikenal sebagai magnet kuat. Permeabilitas bahan ferromagnetik adalah  $\mu \gg \mu_0$  dan suseptibilitas bahannya  $\chi_m \gg 0$ .

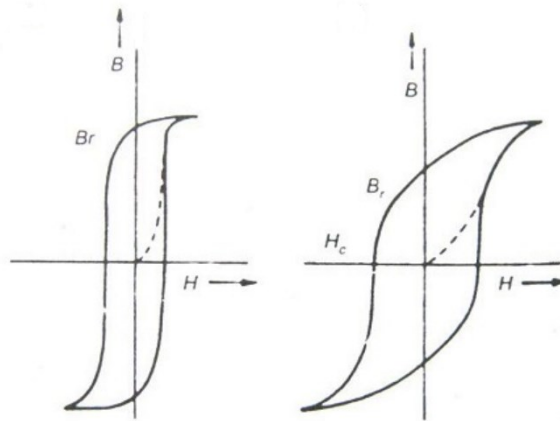


Gambar 2.5. Dipol-dipol magnet material ferromagnetik

Jika momen magnetik dari atom yang berdekatan diarahkan ke dalam arah yang berlawanan satu sama lain (anti paralel) maka material tersebut dikatakan *anti ferromagnetik*. Sedangkan bahan *ferrimagnetik* memiliki karakteristik magnetik yang sama dengan ferromagnetik secara makroskopik. Yang membedakan adalah sumber momen magnetiknya.

#### D. Kurva Hysterisis

Apabila suatu bahan yang memiliki potensi magnet dikenakan medan magnet luar maka akan termagnetisasi, ditandai dengan dipol-dipol magnet yang searah dengan medan magnet luarnya. Kemudian bahan akan mencapai saturasi ( $M_s$ ) ketika dipol-dipol magnet telah terarahkan seluruhnya. Setelah bahan tersaturasi, maka medan magnet luarnya dihilangkan secara perlahan hingga  $H = 0$ . Namun masih terdapat medan magnet yang tersimpan dikenal sebagai remanen magnet ( $M_r$ ). Selanjutnya diberikan medan magnet balik ( $H_c$ ) pada bahan tersebut yang mengakibatkan dipol magnet kembali acak, sehingga nilai magnetisasinya kembali menghilang ( $M = 0$ ). Proses magnetisasi ini akan menghasilkan kurva yang dinamakan kurva hysteresis seperti tampak pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.6. Kurva histeresis untuk *soft magnet* dan *hard magnet* [23]

Perbedaan antara *soft magnet* dan *hard magnet* terletak pada besarnya medan magnet balik ( $H_c$ ) yang diberikan untuk kembali mengacak domain-domain magnet yang telah terarahkan di dalam suatu bahan. Dari gambar di atas, dapat dilihat bahwa *soft magnet* memiliki bentuk yang ramping dikarenakan mudahnya bahan untuk termagnetisasi dan hilang magnetisasi (demagnetisasi) dengan medan magnet luar yang kecil. Sedangkan *hard magnet* memiliki bentuk yang melebar karena membutuhkan medan magnet luar yang besar untuk bahan termagnetisasi dan hilang magnetisasi.

## 2.5 Material Penyerap Gelombang Mikro (*Microwave Absorber*)

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi berdampak pada meningkatnya frekuensi gelombang mikro yang digunakan. Untuk perangkat komunikasi seperti ponsel, jaringan internet terbatas (*Wi-Fi*), GPS, bahkan RADAR menggunakan frekuensi pada jangkauan 8,2 – 12,4 GHz (*X-Band*) [24]. Seiring dengan adanya pergeseran frekuensi tersebut maka akan menimbulkan interferensi gelombang elektromagnetik yang semakin tinggi. Sehingga kinerja alat-alat berbasis gelombang mikro menjadi terganggu.

Jenis penyerap gelombang mikro dibagi menjadi 2, yaitu rekayasa teknik dan rekayasa material. Rekayasa material secara aplikasi lebih fleksibel dibandingkan dengan rekayasa teknik karena faktor bentuk dan ketebalan yang jauh lebih kecil. Parameter yang digunakan adalah *reflection loss* dalam desibel

(dB), yang nilainya bergantung pada kekasaran, permitivitas, permeabilitas, tebal lapisan, dan ukuran partikel [25]. Besarnya nilai *reflection loss* bahan disebabkan adanya resonansi impedansi karena *permeability relative* ( $\mu_r$ ) dan *permittivity relative* ( $\epsilon_r$ ) yang bersesuaian dengan nilai  $\mu$  dan  $\epsilon$  di udara [26]. Kombinasi sifat instrinsik material yaitu sifat magnetik dan listrik mampu untuk dapat mengalokasikan material magnet sebagai penyanggah gelombang mikro pada rentang frekuensi tertentu [24].

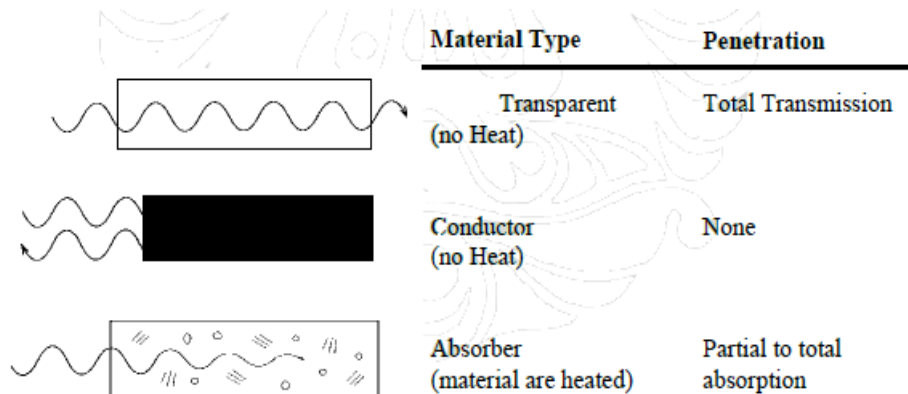
Parameter-parameter yang diperoleh melalui pengujian VNA (*Vector Network Analyzer*) adalah  $S_{11}$  (refleksi) dan  $S_{21}$  (transmisi). Sebelum melakukan perhitungan terhadap nilai *reflection loss* (RL) terlebih dahulu diperoleh nilai R (*reflection*) dengan menggunakan persamaan.

$$R = \sqrt{(S_{11\ re})^2 + (S_{11\ im})^2} \quad (2.1)$$

Nilai *reflection loss* (RL) dihitung dengan menggunakan persamaan matematis yaitu sebagai berikut :

$$RL = 20 \log(R) \text{ (dB)} \quad (2.2)$$

Gelombang mikro adalah gelombang elektromagnetik yang berada dalam jangkauan 0.3 – 300 GHz dengan rentang panjang gelombang antara 1 m – 1 mm [27]. Gelombang yang merupakan salah satu perilaku cahaya akan memiliki respon apabila dikenakan pada bahan yaitu refleksi, absorpsi dan transmisi seperti pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.7. Interaksi gelombang dengan material [27]

Gelombang mikro dibagi dalam beberapa daerah jangkauan yaitu sebagai berikut:

Tabel 2.1. Jenis Gelombang Mikro Berdasarkan Daerah Jangkauan [28]

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

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Tujuan Operasional**

Penelitian ini bertujuan untuk membuat material magnetik dengan komposisi  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  dengan metode sol gel  $x = 0; 0.5; 1$ . Sehingga diharapkan dapat mempengaruhi struktur dan sifat magnetik barium hexaferrite guna yaitu menghasilkan nilai koersivitas yang rendah sebagai syarat material penyerap gelombang RADAR.

#### **3.2 Waktu dan Tempat Penelitian**

##### **3.3.1 Waktu Penelitian**

Penelitian ini dimulai pada bulan Februari 2017 – selesai.

##### **3.3.2 Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Energi dan Material Kampus B Universitas Negeri Jakarta, Rawamangun, Jakarta Timur.

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

##### **3.3.1 Alat Penelitian**

- |                      |                               |
|----------------------|-------------------------------|
| 1. Timbangan digital | 6. Hot plate magnetic stirrer |
| 2. Spatula logam     | 7. Mortar dan pestle          |
| 3. Gelas kimia       | 8. Termometer                 |
| 4. Kertas timbang    | 9. Oven                       |
| 5. Buret             | 10. Furnace                   |

##### **3.3.2 Bahan Penelitian**

- |                            |                       |                               |
|----------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| 1. $\text{BaCO}_3$         | 4. ZnO                | 7. $\text{NH}_4\text{OH}$ 25% |
| 2. $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | 5. $\text{TiO}_2$     | 8. <i>DI Water</i>            |
| 3. $\text{Co}_3\text{O}_4$ | 6. $\text{HNO}_3$ 60% |                               |



### 3.4 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Dalam penelitian ini dilakukan sintesis barium hexaferrite dengan substitusi ion Zn, Co, dan Ti terhadap ion Fe guna memperoleh material magnetik dengan komposisi  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  dengan metode sol gel untuk  $x = 0; 0.5; 1$ .

### 3.5 Prosedur Penelitian

#### 3.5.1 Preparasi Material Dengan Komposisi $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$

Preparasi material dilakukan di Laboratorium Energi dan Material Kampus B Universitas Negeri Jakarta, Rawamangun, Jakarta Timur. Masing- masing bahan dasar pembentuk material ditimbang sesuai dengan stoikiometrinya sehingga diperoleh produk akhir sampel magnet dengan massa 2.5 gram.

Tabel 3.1. Perhitungan massa material dasar

Material Dasar	Massa (gram)		
	x = 0	x = 0.5	x = 1
BaCO <sub>3</sub>	0.443	0.444	0.444
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.155	2.066	1.977
ZnO	-	0.023	0.046
Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	-	0.022	0.045
TiO <sub>2</sub>	-	0.045	0.089

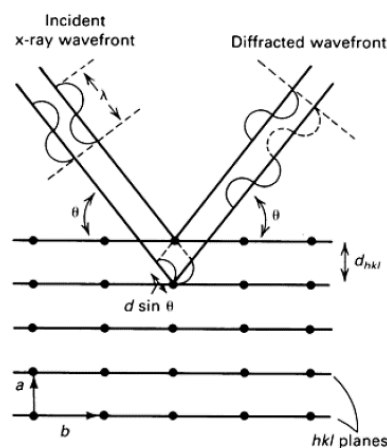
#### 3.5.2 Proses Pembuatan Material $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ Dengan Metode Sol Gel

Pembuatan material pada penelitian ini dilakukan dengan metode kopresipitasi. Preparasi diawali dengan menimbang setiap material dasar serbuk Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (99.9 %) dan serbuk BaCO<sub>3</sub> (99 %) sesuai komposisi akhir yang akan dibuat. Kemudian masing-masing material dasar dilarutkan pada HNO<sub>3</sub> 60 % dan ditambahkan basa NH<sub>4</sub>OH sampai pH = 7-8. Proses homogenisasi larutan dilakukan dengan *hot plate magnetic stirrer* pada suhu 80°C selama 3 jam dan dilanjutkan pengeringan larutan. Lalu sampel dihaluskan dengan menggunakan mortar dan dicetak menjadi bentuk pelet. Selanjutnya dilakukan proses sintering

pada suhu 1100°C selama 1 jam untuk mengaktifasi sampel dan memperkuat ikatan antar serbuk. Pengujian yang dilakukan meliputi uji difraksi sinar-X dan Permagraph.

### 3.5.3 Karakterisasi Sampel Menggunakan Difraksi Sinar – X

Karakterisasi ini dilakukan untuk memperoleh informasi terkait fasa yang terbentuk dalam *powder* BHF yang telah disintesis. Difraksi sinar-x merupakan salah satu teknik pengujian yang tidak merusak bahan. Prinsip dasar difraksi sinar-x adalah hukum Bragg yang ditunjukkan oleh gambar berikut.



Gambar 3.1. Prinsip dasar hukum Bragg

Bragg menggambarkan pola – pola difraksi yang terbentuk dengan persamaan matematis yaitu sebagai berikut :

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (3.1)$$

Dengan  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar-x,  $d$  adalah jarak antar bidang kristal dan  $\theta$  adalah sudut difraksi yang terbentuk. Sinar-x yang ditembakkan pada bahan akan menumbuk elektron dan menghasilkan difraksi. Apabila sinar tersebut mengenai  $d$  yang sama maka akan terjadi interferensi maksimum akibat adanya kesamaan fasa gelombang, sehingga menyebabkan tingginya intensitas dalam pola difraksi yang terbentuk. Sinar-x yang digunakan adalah sinar dengan spektrum karakteristik ( $k\alpha$ ) karena sinar ini hanya memiliki satu panjang

gelombang dan nilainya kecil yaitu sekitar  $0.5 - 2.5 \text{ \AA}$ , sehingga dapat masuk ke dalam bahan target dan menghasilkan difraksi.

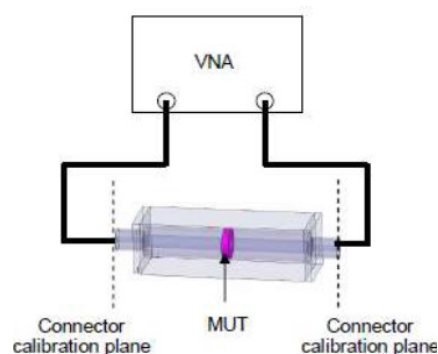
Data yang didapat dalam pengujian ini berupa intensitas dan  $2\theta$ . Kemudian data-data tersebut dimasukkan ke dalam program APD (*Automated Powder Diffraction*) untuk mengubah extension file menjadi udf. Selanjutnya dilakukan konversi data dari udf ke raw menggunakan program bella. Lalu dilakukan analisis dengan program GSAS dengan memasukkan parameter yang didapat dari program MATCH dan ICDD. Dengan melakukan refinement secara berulang-ulang maka akan diperoleh hasil yaitu parameter kisi, fasa, fraksi fasa dan bidang hkl dari sampel magnet.

#### 3.5.4 Karakterisasi Sifat Magnetik dengan Permagraph

Karakterisasi ini dilakukan untuk memperoleh informasi terkait besaran-besaran yang menggambarkan sifat magnetik sampel yang dimuat ke dalam kurva histeresis. Dari kurva tersebut kita dapat mengetahui besarnya saturasi magnet, remanen magnet dan medan koersivitas magnet.

#### 3.5.5 Karakterisasi Absorpsi Gelombang Mikro dengan VNA

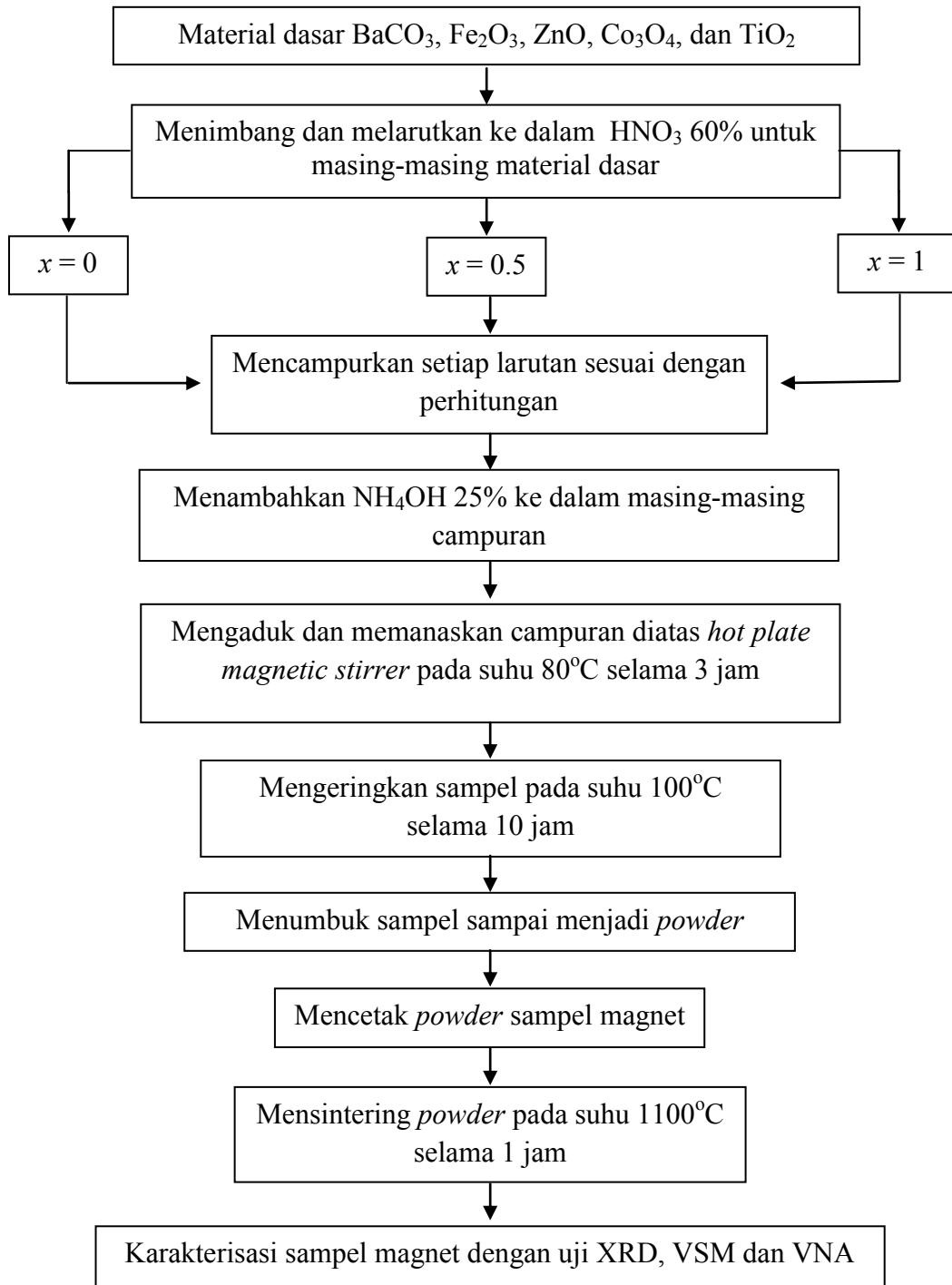
Sifat absorpsi material merupakan sifat material dalam menyerap gelombang elektromagnetik yang dipancarkan dalam rentang frekuensi tertentu. Karakterisasi ini bertujuan untuk mengukur nilai absorpsi dan *reflection loss* sampel magnet. Skema pengujian VNA diberikan oleh gambar berikut.



Gambar 3.2. Skema pengujian VNA

Pengujian VNA (*Vector Network Analyzer*) dilakukan menggunakan metode TRL (*Transmission Reflection Line*), yaitu dengan menempatkan bahan uji (*Material Under Test*) pada *waveguide* atau posisi koaksial. Kalibrasi diawali dengan mengukur transmisi line di udara yang ditransmisikan oleh *port* pertama dan diterima oleh detektor *port* sehingga konstanta transmisi diketahui. Kemudian pada port pertama diberikan beban untuk memperoleh nilai refleksi menjadi nol dan koefisien transmisi menjadi tak hingga (*open reflection*). Kemudian MUT diletakkan pada *coaxial transmission line* untuk mengetahui koefisien transmisi S21 dan koefisien refleksi S11 – S22 bahan uji.

### 3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.3. Diagram Alir Penelitian Dengan Metode Sol Gel

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 HASIL

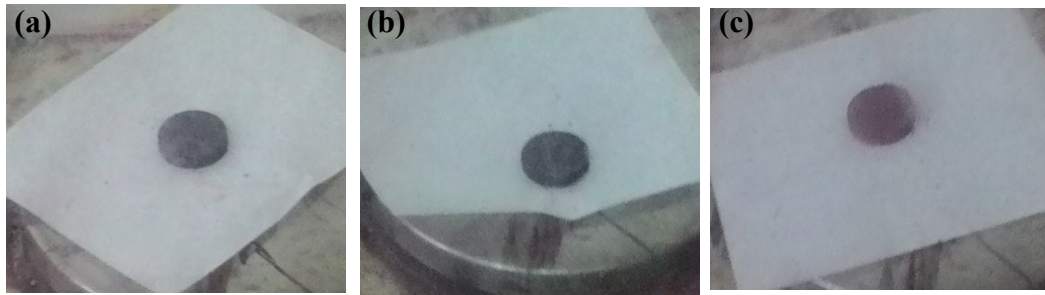
#### 4.1.1 Preparasi Material $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$

Sintesis material ini dilakukan menggunakan metode sol-gel dengan variasi  $x = 0; 0.5; 1$ . Material dengan komposisi bahan dasar  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{BaCO}_3$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Co}_3\text{O}_4$  dan  $\text{TiO}_2$  serbuk disiapkan. Kemudian ditambahkan  $\text{HNO}_3$  60% lalu dipanaskan di atas *hot plate* dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer*. Setelah larutan diperoleh, dilanjutkan dengan proses pencampuran diatas *magnetic stirrer*. Namun sebelumnya dipanaskan terlebih dahulu menggunakan *hot plate* sampai suhu  $80\text{-}90^\circ\text{C}$ . Proses pemanasan dan pengadukan dilakukan secara berulang selama 10 menit. Untuk memperoleh waktu pengadukan 3 jam maka proses pengulangan tersebut membutuhkan waktu selama 6 jam. Selanjutnya sampel dikeringkan menggunakan oven selama 10 jam pada suhu  $100^\circ\text{C}$ . Sampel yang telah kering, ditumbuk sampai menjadi serbuk yang halus lalu dicetak membentuk padatan dengan diameter sebesar 2 cm.



Gambar 4.1. Preparasi material  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$

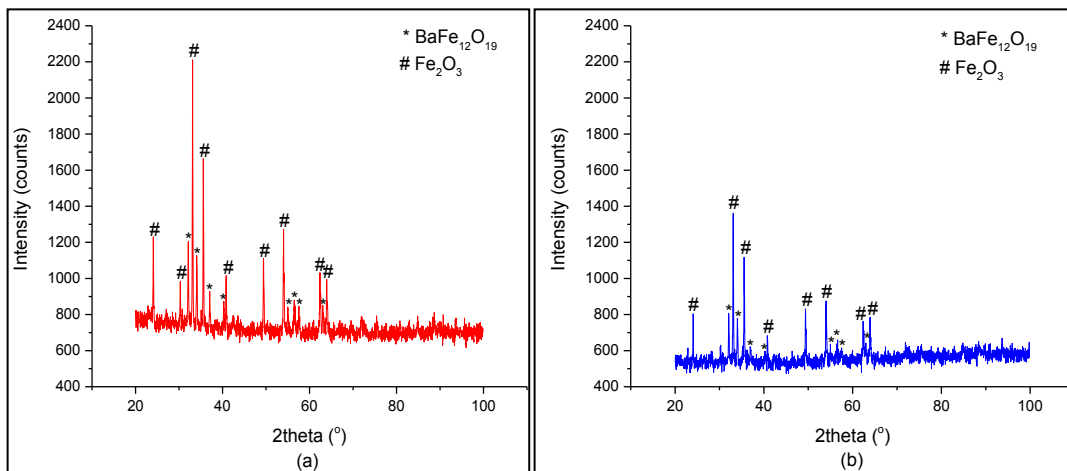
Proses selanjutnya adalah memberikan perlakuan panas pada sampel yang telah berbentuk padatan dengan menggunakan *furnace* pada suhu  $1100^\circ\text{C}$  selama 1 jam agar terbentuk fasa barium heksaferrit.



Gambar 4.2. Hasil preparasi material (a)  $x = 0$ , (b)  $x = 0.5$ , (c)  $x = 1$

#### 4.1.2 Pengukuran Difraksi Sinar-X Material $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$

Hasil pengukuran difraksi sinar-X dengan anoda Cu yang memiliki panjang gelombang  $1.54056 \text{ \AA}$  pada interval sudut  $20^\circ$ - $100^\circ$  diperoleh nilai intensitas dan  $2\theta$  untuk  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$   $x=0$  dan  $x=1$  sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.3. Hasil pengukuran difraksi sinar-X material (a)  $x=0$  dan (b)  $x=1$

Gambar diatas merupakan pola difraksi sampel  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  untuk  $x=0$  dan  $x=1$ , menunjukkan bahwa adanya keberadaan fasa *hematite* yang cukup besar untuk kedua sampel ditunjukkan oleh teridentifikasinya puncak-puncak tertinggi pola difraksi ketika dicocokkan dengan kode PDF #96-901-5965 pada software MATCH. Namun demikian, fasa barium heksaferrit juga terbentuk pada kedua sampel tersebut ditandai dengan teridentifikasinya puncak-puncak pola difraksi ketika dicocokkan dengan kode PDF #96-100-8842 pada software

MATCH. Perbedaan yang terlihat pada pola difraksi sampel  $x=0$  dan  $x=1$  adalah pada intensitas masing-masing puncak yang terbentuk, dimana intensitas pola difraksi  $x=0$  lebih tinggi dibandingkan dengan intensitas pola difraksi  $x=1$ .

Menurut Obradors, bidang hkl (114), (017) dan (110) menunjukkan terbentuknya kristalin barium heksaferrit [16]. Dengan menggunakan persamaan *Scherrer* besarnya ukuran kristal dapat diperoleh, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.1 berikut.

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (4.1)$$

Dimana:

$D$  = ukuran kristal (nm)

$k$  = konstanta *Scherrer* (0,9)

$\lambda$  = panjang gelombang (1,54 Å)

$\beta$  = lebar puncak difraksi pada setengah maksimum (FWHM) (rad)

$\theta$  = sudut difraksi (°)

Tabel 4.1. Ukuran kristal material  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  ( $x=0$  dan  $x=1$ )

Sampel	Arah Bidang	Posisi 2theta (°)	FWHM (°)	D (nm)
$\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$	(114)	34.09	0.2024	6.37
$\text{BaFe}_{11}(\text{ZnCo})_{0.5}\text{Ti}_{0.5}\text{O}_{19}$		34.05	0.1748	7.38
$\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$	(017)	32.13	0.2004	6.47
$\text{BaFe}_{11}(\text{ZnCo})_{0.5}\text{Ti}_{0.5}\text{O}_{19}$		32.09	0.1512	8.58
$\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$	(110)	30.29	0.2054	6.34
$\text{BaFe}_{11}(\text{ZnCo})_{0.5}\text{Ti}_{0.5}\text{O}_{19}$		30.27	0.1662	7.84

Pada Tabel 4.1 ditunjukkan besarnya ukuran butir sampel  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  ( $x=0$  dan  $x=1$ ) untuk arah bidang hkl yaitu (114), (017) dan (110). Dapat dilihat bahwa adanya perubahan ukuran kristal pada masing-masing sampel. Sehingga proses substitusi yang dilakukan pada material barium heksaferrit dapat dikatakan berhasil.



#### 4.1.3 Pengukuran Sifat Magnetik Material $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$

Pengukuran sifat magnetik material  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  dilakukan dengan menggunakan Permagraph yang memiliki medan magnet luar maksimum 1 Tesla. Sebelum dilakukan pengukuran, sampel disiapkan dengan spesifikasi ukuran dan sifat sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 4.2 berikut.

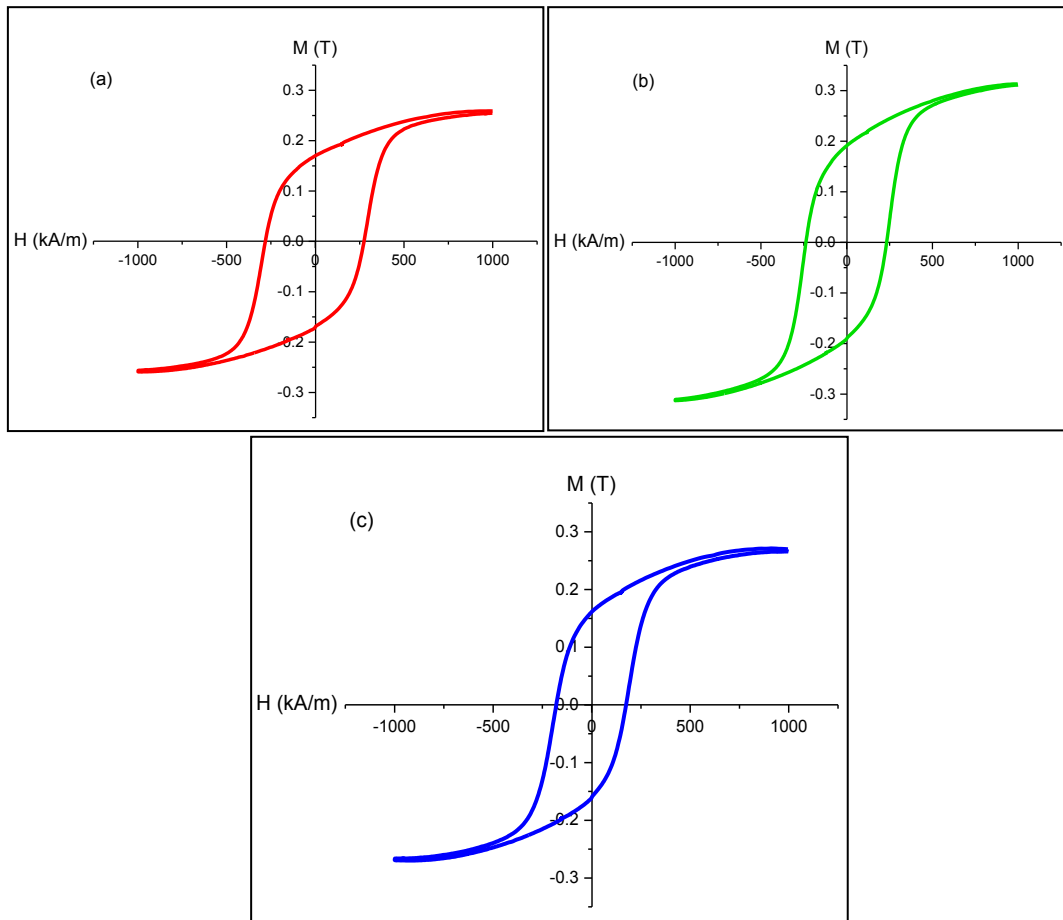


Gambar 4.4. Set up alat Permagraph

Tabel 4.2. Ukuran material  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$

Sampel	Massa (g)	Diameter (cm)	Tebal (mm)	Densitas ( $\text{g/cm}^3$ )
$\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$	1.94	1.90	2.50	4.23
$\text{BaFe}_{11.5}(\text{ZnCo})_{0.25}\text{Ti}_{0.25}\text{O}_{19}$	2.47	1.90	3.50	4.02
$\text{BaFe}_{11}(\text{ZnCo})_{0.5}\text{Ti}_{0.5}\text{O}_{19}$	1.94	1.90	2.50	4.23

Hasil pengukuran material  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  ( $x = 0; 0.5; 1$ ) diperoleh data berupa H (medan magnet luar) dan M (magnetisasi) yang kemudian ditampilkan berupa grafik histerisis seperti ditunjukkan pada Gambar 4.5 berikut.



Gambar 4.5. Hasil pengukuran Permagraph material (a)  $x=0$ , (b)  $x=0.5$ , (c)  $x=1$

Gambar diatas merupakan hasil pengukuran sifat magnetik  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ . Setelah melalui proses perhitungan, diperoleh parameter-parameter sifat magnetik sampel  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  untuk  $x = 0; 0.5; 1$  sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.3 berikut:

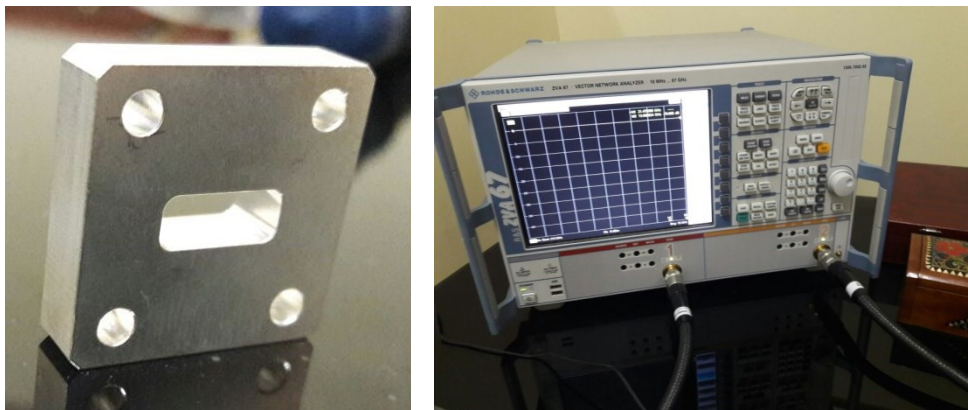
Tabel 4.3. Perhitungan nilai  $M_s$ ,  $M_r$  dan  $H_c$  material  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$

Sampel	$M_s$ (Tesla)	$M_r$ (Tesla)	$H_c$ (kA/m)
$\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$	0.27	0.17	281.27
$\text{BaFe}_{11.5}(\text{ZnCo})_{0.25}\text{Ti}_{0.25}\text{O}_{19}$	0.31	0.19	236.32
$\text{BaFe}_{11}(\text{ZnCo})_{0.5}\text{Ti}_{0.5}\text{O}_{19}$	0.26	0.16	180.23

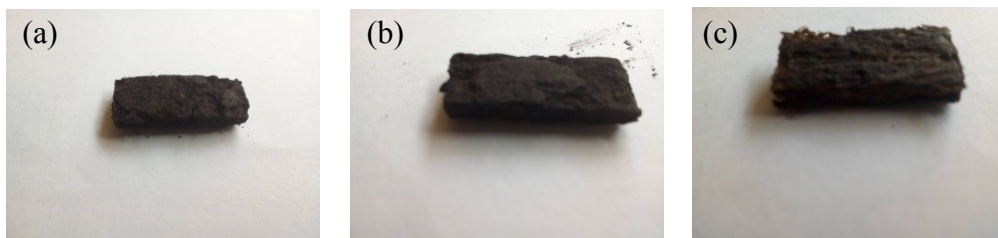
Dapat dilihat bahwa adanya perubahan nilai saturasi magnet ( $M_s$ ), magnetisasi remanen ( $M_r$ ) dan medan koersivitas ( $H_c$ ) pada masing-masing sampel. Sehingga proses substitusi yang dilakukan pada material barium heksaferrit dapat dikatakan berhasil.

#### 4.1.4 Pengukuran Sifat Penyerapan Gelombang RADAR Material $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$

Pengukuran sifat penyerap gelombang pada material  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  dilakukan dengan menggunakan VNA (*Vector Network Analyzer*) pada interval frekuensi 8.2-12.4 GHz. Sebelum diukur, sampel harus dipreparasi terlebih dahulu agar sesuai dengan sampel *holder* yang digunakan. Sampel disiapkan, lalu ditumbuk sampai menjadi halus kembali, kemudian ditambahkan perekat. Selanjutnya sampel dicetak dengan penekanan sebesar 5 ton/cm<sup>2</sup>. Setelah dicetak, sampel dikeringkan menggunakan oven pada suhu 80°C selama 1 jam. Selanjutnya sampel dimasukkan ke dalam sampel *holder* pada Gambar 4.6 untuk dapat dilakukan pengukuran VNA.



Gambar 4.6. Sampel holder dan alat VNA



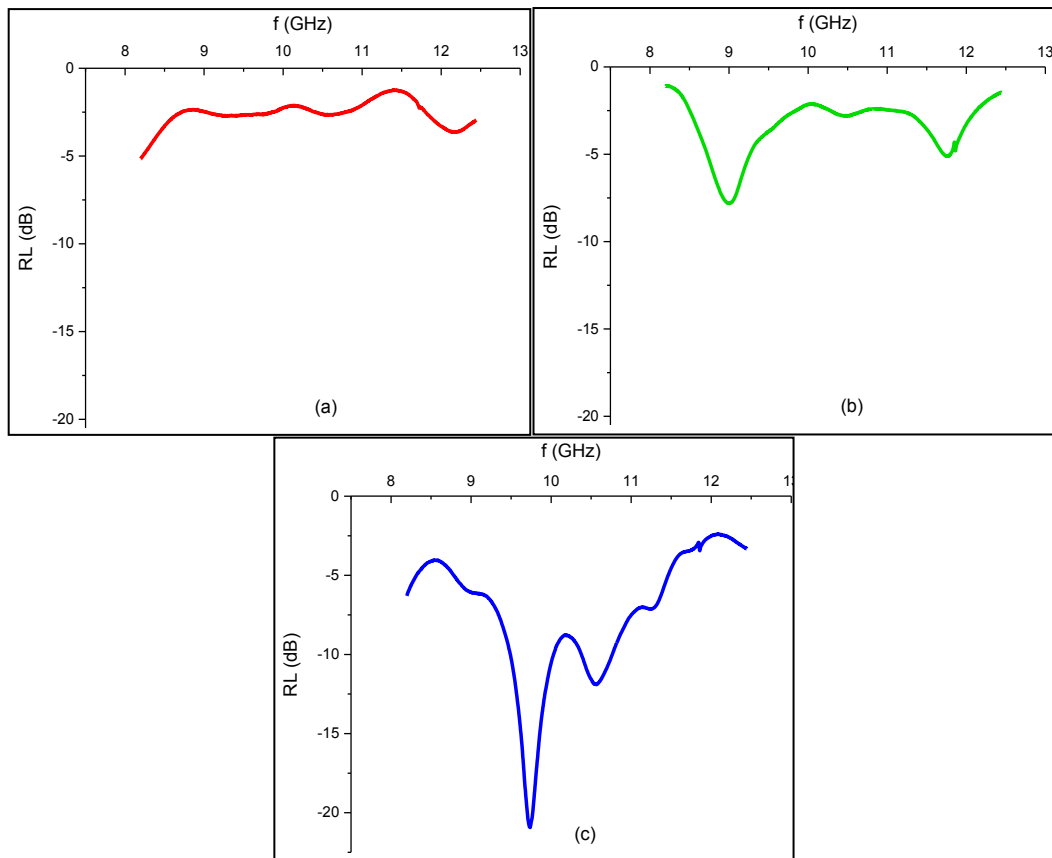
Gambar 4.7. Material  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  (a)  $x=0$ , (b)  $x=0.5$ , (c)  $x=1$

Data hasil pengukuran VNA adalah frekuensi vs signal refleksi, berupa data  $S_{11}$  *real* dan  $S_{11}$  *imaginer*. Dari hasil tersebut kemudian dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$R = \sqrt{(S_{11\ re})^2 + (S_{11\ im})^2} \quad (4.2)$$

$$RL = 20 \log(R) \quad (4.3)$$

Sebagaimana hasilnya terlihat pada Gambar 4.8 berikut.



Gambar 4.8. Hasil pengukuran VNA material (a)  $x=0$ , (b)  $x=0.5$ , (c)  $x=1$

Gambar diatas merupakan grafik frekuensi vs *Reflection Loss* yang dimiliki material  $BaFe_{12-2x}(ZnCo)_xTi_xO_{19}$  pada interval frekuensi gelombang RADAR yaitu 8.2-12.4 GHz. Setelah melalui proses perhitungan, diperoleh nilai *Reflection Loss* (RL) untuk interval frekuensi tertentu sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4. Interval frekuensi serapan pada nilai RL tertentu

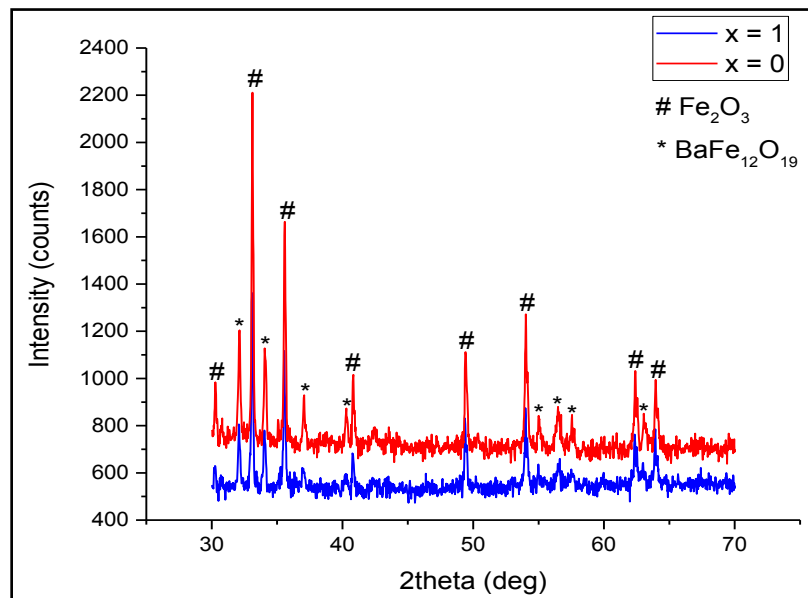
Sampel	<i>Absorption Band (GHz)</i>				
	< -5 dB	< -10 dB	< -15 dB	< -20 dB	< -25 dB
x = 0	8.20-12.40	-	-	-	-
x = 0.5	9.27-12.40	8.20-12.40	-	-	-
x = 1	8.20-12.40	8.79-11.50	9.50-9.98	9.62-9.86	9.71-9.77

Dapat dilihat bahwa adanya perubahan nilai *Reflection Loss* (RL) pada interval frekuensi tertentu dari masing-masing sampel. Sehingga proses substitusi yang dilakukan pada material barium heksaferrit dapat dikatakan berhasil.

## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Pengaruh Substitusi Ion Zn, Co dan Ti Terhadap Fasa Barium Heksaferrit

Pengaruh substitusi ion Zn, Co dan Ti terhadap fasa magnetik dalam pembentukan material magnetik  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{CoZn})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  ( $x = 0; 0.5; 1$ ) sebagaimana pola difraksi sinar-X yang ditunjukkan pada Gambar 4.8 berikut.



Gambar 4.9. Hasil Pencocokan (*Matching*) Material  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{CoZn})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$

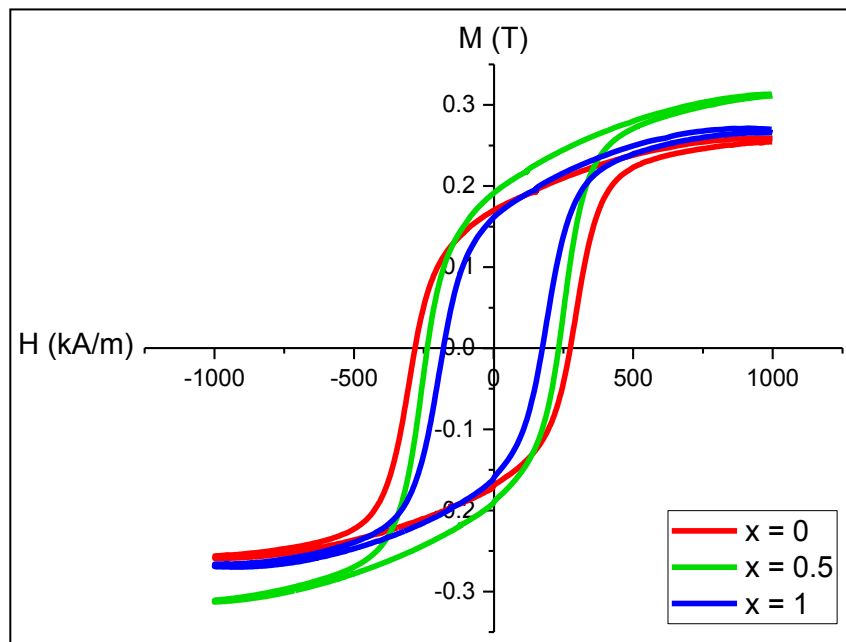
Berdasarkan gambar di atas dapat dilihat bahwa untuk pola difraksi sampel  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{CoZn})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  ( $x=1$ ) menyerupai pola difraksi sampel  $\text{BaFe}_{12-}$

$_{2x}(\text{CoZn})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  ( $x=0$ ). Sehingga proses substitusi yang diberikan pada barium heksaferrit dapat dikatakan berhasil karena terjadinya kesamaan pola difraksi sinar-X yang terbentuk pada saat sebelum ( $x=0$ ) dan sesudah ( $x=1$ ) substitusi. Namun secara kualitatif ditunjukkan bahwa fasa barium heksaferrit yang terbentuk pada kedua sampel berjumlah sedikit, ditandai dengan banyaknya pola difraksi sampel yang tidak teridentifikasi ketika dicocokkan dengan pola difraksi  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  yang terdapat pada COD [29]. Puncak-puncak tertinggi pada grafik hasil pengukuran difraksi sinar-X adalah fasa *hematite*. Hal tersebut dikarenakan sedikitnya serbuk  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang terlarut dalam  $\text{HNO}_3$  sehingga tidak dapat bereaksi secara sempurna dengan barium untuk membentuk  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ . Walaupun temperatur pembentukan fasa  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  telah diberikan pada material namun serbuk  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang tidak larut akan tetap menjadi fasa *hematite*. Fasa ini merupakan fasa kedua yang keberadaannya sangat dihindari dalam sintesis suatu bahan. Fasa *hematite* dikenal sebagai fasa transisi menuju barium heksaferrit yang terbentuk ketika suhu dan waktu reaksi tidak memadai [30]. Pada penelitian ini, waktu yang digunakan untuk perlakuan panas hanya 1 jam sehingga masih banyak fasa *hematite* yang belum bertransisi menjadi barium heksaferrit.

Dapat dilihat pada Tabel 3 bahwa ukuran kristal yang dimiliki sampel  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{CoZn})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  ( $x=1$ ) lebih besar dibandingkan dengan  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{CoZn})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  ( $x=0$ ) untuk arah bidang hkl yaitu (114), (017) dan (110). Untuk intensitas arah bidang hkl yang paling tinggi (114), ukuran butir sampel  $x=1$  sebesar 7.38 nm sedangkan sampel  $x=0$  ukuran butirnya sebesar 6.37 nm. Hal ini menunjukkan bahwa ion Zn, Co dan Ti dapat dikatakan telah masuk tersubstitusi untuk menggantikan sebagian ion Fe pada material barium heksaferrit.

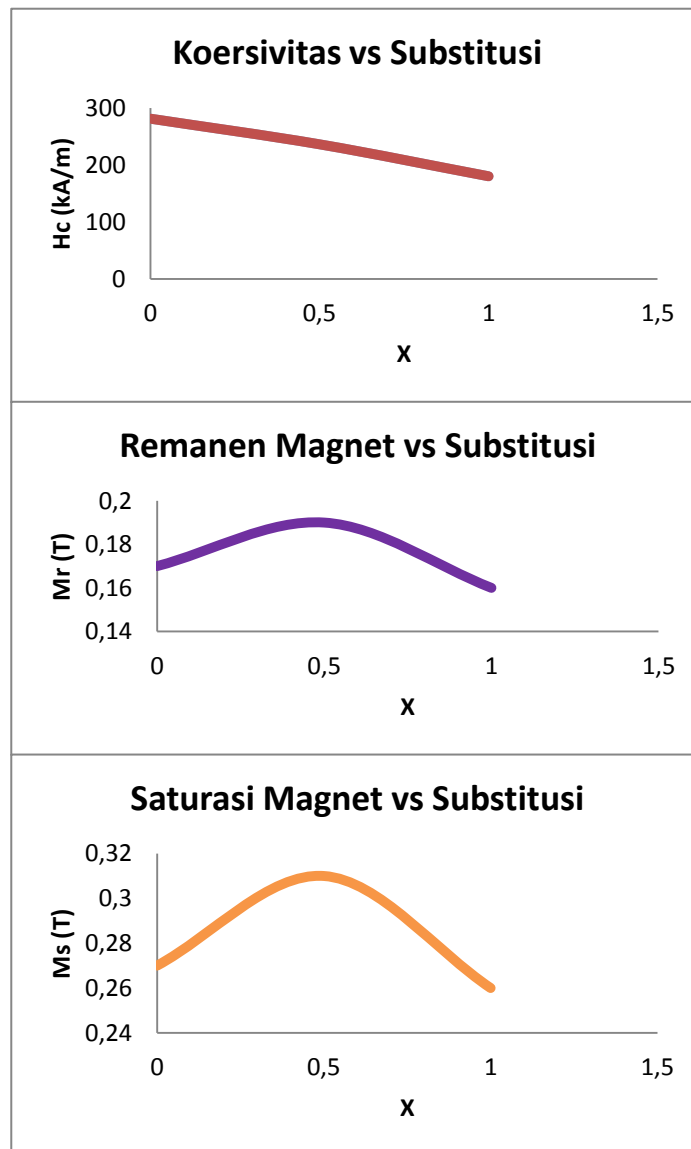
#### **4.2.2 Efek Substitusi Ion Zn, Co dan Ti Terhadap Sifat Magnetik**

Hasil pengukuran sifat magnetik berupa grafik histerisis yang dapat dilihat pada Gambar 4.9 berikut.



Gambar 4.10. Grafik histerisis material  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$

Berdasarkan data yang telah diperoleh melalui perhitungan, dapat dilihat bahwa sampel dengan nilai magnetisasi paling besar adalah sampel  $x=0.5$  dengan  $M_r$  sebesar 0.191 T. Hal ini mengindikasikan bahwa dipol magnet yang dimiliki sampel  $x=0.5$  lebih banyak dibandingkan sampel  $x=0$  dan  $x=1$ , namun dengan arah dipol yang masih acak. Penurunan magnetisasi ( $M_r$ ) yang terjadi pada sampel  $x=1$  dikarenakan adanya penurunan medan koersivitas jika dibandingkan dengan sampel  $x=0.5$ . Barium heksaferrit memiliki medan koersivitas sebesar 200 kA/m [31], dari data di atas dilihat bahwa terjadi penurunan nilai  $H_c$  seiring dengan bertambahnya jumlah substitusi yang diberikan. Hal tersebut diakibatkan oleh adanya perubahan momen dipol karena substitusi ion Zn, Co dan Ti ke dalam Fe. Puncaknya terjadi pada saat  $x=1$ , nilai medan koersivitas yang diperoleh  $H_c < 200$  kA/m. Medan koersivitas yang kecil disebabkan oleh dipol magnet  $x=1$  memiliki orientasi arah yang hampir sama sehingga hanya membutuhkan sedikit medan magnet luar untuk dapat membuatnya tersaturasi. Sehingga dapat dikatakan bahwa proses substitusi yang diberikan pada barium heksaferrit berhasil, karena sifat magnet yang dimiliki masing-masing sampel berbeda. Hal ini juga akan berpengaruh pada sifat penyerap gelombangnya.



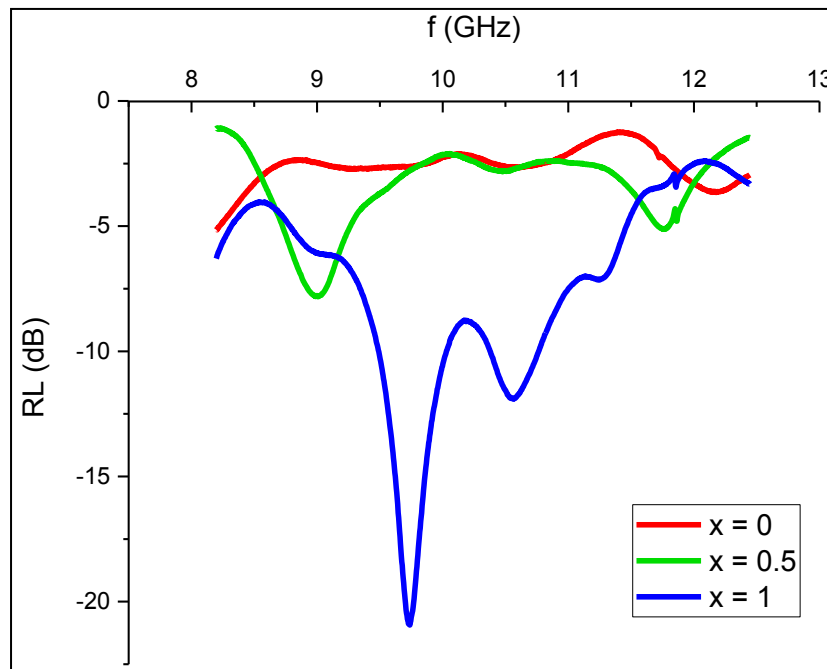
Gambar 4.11. Grafik parameter sifat magnetik terhadap substitusi

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa nilai saturasi magnet dan remanen magnet paling optimum terjadi pada saat  $x=0.5$ , yang menjadikan material  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{CoZn})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  ( $x=0.5$ ) baik untuk aplikasi magnet permanen karena besarnya medan magnet yang tersimpan ketika medan magnet luarnya dihilangkan. Sedangkan untuk medan koersivitas material  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{CoZn})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  semakin menurun seiring dengan bertambahnya jumlah substitusi, puncaknya terjadi pada saat  $x=1$  yaitu sebesar 180.23 kA/m. Sehingga material  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{CoZn})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  ( $x=1$ ) ini memiliki kemampuan untuk menjadi material penyerap gelombang RADAR [18].



### 4.2.3 Efek Substitusi Ion Zn, Co dan Ti Terhadap Sifat Penyerapan Gelombang RADAR

Hasil pengukuran sifat penyerapan gelombang setelah melalui proses perhitungan diperoleh nilai *Reflection Loss* (RL) untuk interval frekuensi 8.2-12.4 GHz sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 4.11 berikut.

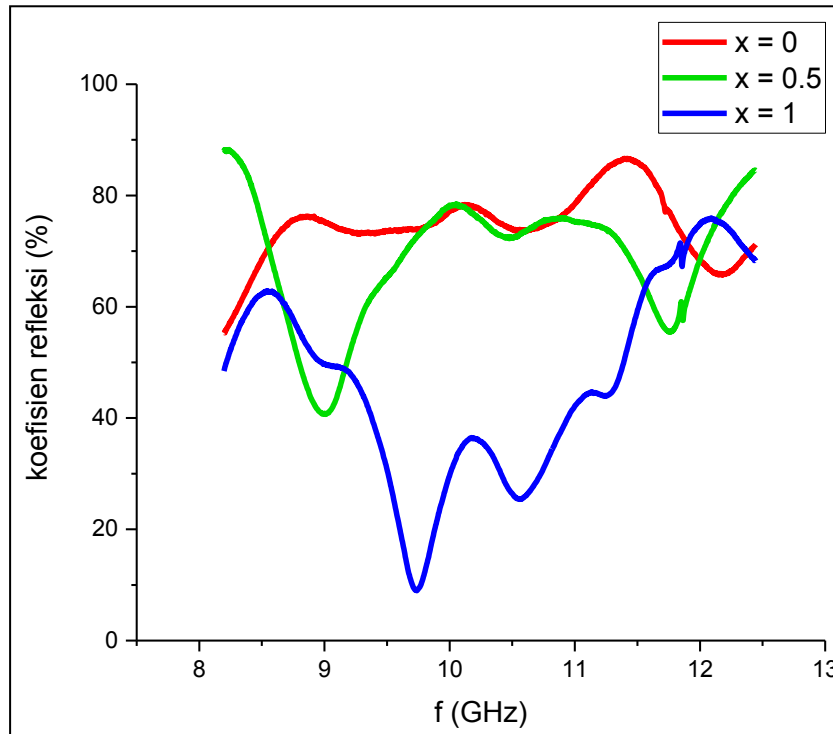


Gambar 4.12. Grafik hubungan *Reflection Loss* dengan frekuensi

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa sampel  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  untuk  $x = 0; 0.5; 1$  memiliki nilai RL yang negatif. Artinya semua material tersebut merupakan material penyerap gelombang RADAR. Berdasarkan data yang telah diperoleh pada Tabel 4.4, menunjukkan bahwa masing-masing material memiliki rentang frekuensi serapan untuk nilai RL tertentu. Pada sampel  $x=0$ , nilai *Reflection Loss* yang diperoleh  $< -5$  dB, sampel  $x=0.5$  nilai *Reflection Loss*  $< -10$  dB dan sampel  $x=1$  nilai *Reflection Loss*  $< -25$  dB dalam rentang frekuensi 8.2-12.4 GHz. Nilai *Reflection Loss* yang paling optimum dimiliki oleh sampel  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  ( $x=1$ ) yaitu sebesar -20.93 dB pada frekuensi 9.74 GHz.

Berdasarkan nilai *Reflection Loss* yang telah diperoleh, maka dilakukan perhitungan koefisien refleksi material  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  ( $x = 0; 0.5; 1$ )

untuk interval frekuensi 8.2-12.4 GHz sebagaimana hasil yang ditunjukkan pada Gambar 4.12 berikut.



Gambar 4.13. Grafik hubungan koefisien refleksi dengan frekuensi

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa koefisien refleksi material  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  ( $x = 0; 0.5; 1$ ) yang paling optimum terjadi pada saat  $x=1$  yaitu sebesar 8.98% pada frekuensi 9.74 GHz. Tentu dengan semakin kecilnya koefisien refleksi suatu material maka semakin baik penyerapan yang dilakukan terhadap gelombang RADAR. Substitusi ion Zn, Co dan Ti pada penelitian ini mengakibatkan nilai medan koersivitas barium heksaferrit yang semakin menurun seiring dengan bertambahnya jumlah substitusi. Sehingga akan mempengaruhi sifat material terhadap penyerapan gelombang RADAR, karena untuk dapat menjadi material absorber maka dibutuhkan medan koersivitas yang rendah [18].

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Telah disintesis material  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  untuk  $x = 0; 0.5; 1$  menggunakan metode sol gel.
2. Hasil XRD menunjukkan bahwa terbentuknya fasa barium heksaferrit diikuti dengan keberadaan fasa kedua (*hematite*) dalam jumlah yang cukup besar.
3. Dari kurva histerisis hasil Permagraph diperoleh nilai koersivitas mengalami penurunan pada peningkatan jumlah substitusi, sehingga dapat dikatakan bahwa substitusi ion Zn, Co dan Ti yang dilakukan telah berhasil.
4. Nilai rata-rata koefisien refleksi pada interval frekuensi gelombang RADAR (8.2-12.4 GHz) material  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$   $x = 0$  sebesar 74.49%,  $x=0.5$  sebesar 68.90% dan  $x=1$  sebesar 47.05%.
5. Nilai serapan material  $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  yang paling optimum terbentuk pada saat  $x=1$  yaitu dengan  $\text{RL} = -20.93$  dB dan koefisien refleksi sebesar 8.92% pada frekuensi 9.74 GHz.

#### **5.2 Saran**

1. Pastikan terlebih dahulu setiap material dasar terlarut secara sempurna dalam pelarut asam yang digunakan.
2. Perhatikan pelarut yang digunakan karena untuk setiap material dasar dapat terlarut pada molaritas larutan yang berbeda-beda.
3. Usahakan suhu pencampuran masing-masing larutan ditahan agar tetap stabil.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mawaddah. 2010. *Studi Tentang Secondary Surveillance Radar (SSR) Untuk Menentukan Berbagai Informasi Pesawat Terbang Di PT. Angkasa Pura II Polonia Medan*. Skripsi. Medan: Universitas Negeri Sumatera.
- [2] Yu, Hsuan-Fu and Pei-Chi Liu. 2006. *Effects of pH and calcination temperatures on the formation of citrate-derived hexagonal barium ferrite particles*. Journal of Alloys and Compounds 416, 222 – 227.
- [3] Verma, Samiksha, O.P. Pandey, Andrea Paesano, Jr. and Puneet Sharma. 2016. *Structural and magnetic properties of Co-Ti substituted barium hexaferrite thick films*. Journal of Alloys and Compounds.
- [4] Muller, R., R. Hiergeist, W. Gawalek, A. Hoell and A. Wiedenmann. 2002. *Magnetic and structural investigations on barium hexaferrite ferrofluids*. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 252, 43 – 45.
- [5] Karmakar, M, B. Mondal, M. Pal and K. Mukherjee. 2014. *Acetone and ethanol sensing of barium hexaferrite particles: A casestudy considering the possibilities of non-conventional hexaferritesensor*. Sensors and Actuators B 190, 627 – 633.
- [6] Priyono dan Windu Ganar Prasongko. 2013. *Pembuatan Material Magnetik Komposit  $BaFe_9Mn_{0,75}Co_{0,75}5Ti_{1,5}O_{19}$ / Elastomer untuk Aplikasi Penyerap Gelombang Elektromagnetik*. Jurnal Sains dan Matematika Vol. 21 (1).
- [7] Susanto, Eko Andri, Erfan Handoko dan Mangasi Alion Marpaung. 2014. *Material magnet barium heksaferrat tipe-W sebagai material penyerap gelombang elektromagnetik*. Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVIII HFI Jateng & DIY, Yogyakarta. ISSN: 0853 – 0823 .
- [8] Alam, Reza Shams, Mahmood Moradi, Hossein Nikmanesh, Joao Ventura dan Mohammad Rostami. 2015. *Magnetic and microwave absorption properties of  $BaMg_{x/2}Mn_{x/2}Co_xTi_{2x}Fe_{12-4x}O_{19}$  hexaferrite nanoparticles*. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 308, 8 – 11.

- [9] Feng Y.B., T. Qiu and C.Y. Shen. 2007. *Absorbing Properties and Structural Design of Microwave Absorbers Based on Carbonyl Iron and Barium Ferrite*. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 318, 8 – 13.
- [10] Rezlescu, L., E. Rezlescu, P.D. Popa and N. Rezlescu. 1999. *Fine barium hexaferrite powder prepared by the crystallisation of glass*. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 193, 288 – 290.
- [11] Sharma, P., R.A. Rocha, S.N. de Medeiros and A. Paesano Jr.. 2007. *Structural and magnetic studies on barium hexaferrites prepared by mechanical alloying and conventional route*. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 443, 37 – 42.
- [12] Li, Jie, Huaiwu Zhang, V.G. Harris, Yulong Liao and Yingli Liu. 2015. *Ni – Ti equiatomic co-substitution of hexagonal M-type  $Ba(NiTi)_xFe_{12-2x}O_{19}$  ferrites*. Journal of Alloys and Compounds 649, 782 – 787.
- [13] Wei Zhong, Weiping Ding, Yumei Jiang, Ning Zhang, Jianrong Zhang, Youwei Du, and Qiejie Yan. 1997. *Preparation and Magnetic Properties of Barium Hexaferrite Nanoparticles Produced by the Citrate Process*. Journal of the American Ceramic Society Vol. 80 (12).
- [14] Junliang, Liu, ZhangWei, Guo Cuijing and Zeng Yanwei. 2009. *Synthesis and magnetic properties of quasi-single domain M-type barium hexaferrite powders via sol–gel auto-combustion: Effects of pH and the ratio of citric acid to metal ions (CA/M)*. Journal of Alloys and Compounds 479, 863 – 869.
- [15] Junliang, Liu, Zeng Yanwei, Guo Cuijing, Zhang Wei and Yang Xiaowei. 2010. *One-step synthesis of barium hexaferrite nano-powders via microwave-assisted sol–gel auto-combustion*. Journal of the European Ceramic Society 30, 993 – 997.
- [16] Din, Muhammad F., Ishtiaq Ahmad, Mukhtar Ahmad, M.T. Farid, M. Asif Iqbal, G. Murtaza, Majid Niaz Akhtar, Imran Shakir, Muhammad Farooq Warsi and Muhammad Azhar Khan. 2014. *Influence of Cd substitution on structural, electrical and magnetic properties of M-type*

- barium hexaferrites co-precipitated nanomaterials*. Journal of Alloys and Compounds 584, 646 – 651.
- [17] Bahadur, D., S. Rajakumar and Ankit Kumar. 2006. *Influence of fuel ratios on auto combustion synthesis of barium ferrite nanoparticles*. Journal of Chemical Sciences 118, 15-21.
- [18] Ghasemia, A., A. Hossienpourb, A. Morisakod, A. Saatchia and M. Salehia. 2006. *Electromagnetic properties and microwave absorbing characteristics of doped barium hexaferrite*. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 302, 429 – 435.
- [19] Gramatyka, P., R. Nowosielski, P. Sakiewicz and T. Raszka. 2006. *Soft magnetic composite based on nanocrystalline  $Fe_{73,5}Cu_1Nb_3Si_{13,5}B_9$  and Fe powders*. Journal of Achievement Materials and Manufacturing Engineering Vol 15.
- [20] Li, Xiangcheng, Rongzhou Gong, Zekun Feng, Junbing Yan, Xiang Shen, and Huahui He. *Effect of Particle Size and Concentration on Microwave-Absorbing Properties of  $Cu_xCo_{2-x}Y$  ( $x = 0, 1$ ) Hexaferrite Composites*. Journal of the American Ceramic Society 89, 1450 – 1452.
- [21] Xu, Guoqing, Hongliang Ma, Minjian Zhong, Jiong Zhou, Yuezhong Yue and Zhengming He. 2006. *Influence of pH on characteristics of  $BaFe_{12}O_{19}$  powder prepared by sol-gel auto-combustion*. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 301, 383 – 388.
- [22] Richardson, J.T. 1989. *Principles of Catalyst Development*. New York: Plenum Press.
- [23] Afza, Erini. 2011. *Pembuatan Magnet Permanen Ba – Hexaferrite ( $BaO.6Fe_2O_3$ ) dengan Metode Koopresipitasi dan Karakterisasinya*. Skripsi. Medan: Universitas Negeri Sumatera.
- [24] Zvezdin, A. K., A. S. Logginov, G. A. Meshkov and A. P. Pyatakov. 2007. *Multiferroics: Promising Materials for Microelectronics, Spintronics, and Sensor Technique*. Bulletin of the Russian Academy of Sciences 71, 1561–1562.

- [25] Hojamberdiev M., Xu Y, Wang F, Liu W and Wang J. 2009. *La – Modification of Multiferroic BiFeO<sub>3</sub> by Hydrothermal Method at Low Temperature*. Inorganic Material 45, 1183 – 1187.
- [26] Pereira, F. M. M., Junior C.A.R and Santos M.R.P. 2008. *Structural and Dielectric Spectroscopy Studies of the M-Type Barium Strontium Hexaferrite Alloy (Ba<sub>x</sub>Sr<sub>1-x</sub>Fe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>)*. Journal of Material Sciences 19, 627 – 638.
- [27] Muller, Collomb. 1992. *A New Representation of the Bipiramidal Site in the SrFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> M-Type Hexagonal Ferrite Between 4.6 and 295 K*. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 103, 194 – 203.
- [28] Khasanah, Qodri Fitrothul. 2012. *Efek Substitusi Parsial Ion La Pada Material Sistem La<sub>x</sub>Sr<sub>1-x</sub>O.6(Fe<sub>1.5</sub>Mn<sub>0.25</sub>Ti<sub>0.25</sub>O<sub>3</sub>) Terhadap Sifat Absorpsi Gelombang Mikro*. Tesis. Jakarta: Universitas Indonesia.
- [29] X. Obradors, et al. 1985. “*X-ray analysis of the structural and dynamic properties BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> hexagonal ferrite at room temperature.*” Journal of Solid State Chemistry 56, pp. 171-181,.
- [30] Guk-Hwan Ahn, Tae-Yeon Hwang, Jongryoul Kim, Jin Bae Kim, Nam Seok Kang, Seil Kim, Yo-Min Choi, Yong-Ho Choa, Journal of Alloys and Compound 58 (2014) 145-150.
- [31] Spaldin, Nicola A. 2003. *Magnetic Materials Fundamentals and Applications*. New York: Cambridge University Press.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Preparasi material $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{ZnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$



Proses pelarutan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{BaCO}_3$  pada  $\text{HNO}_3$  60%



Proses pencampuran larutan dasar dan penambahan asam sitrat

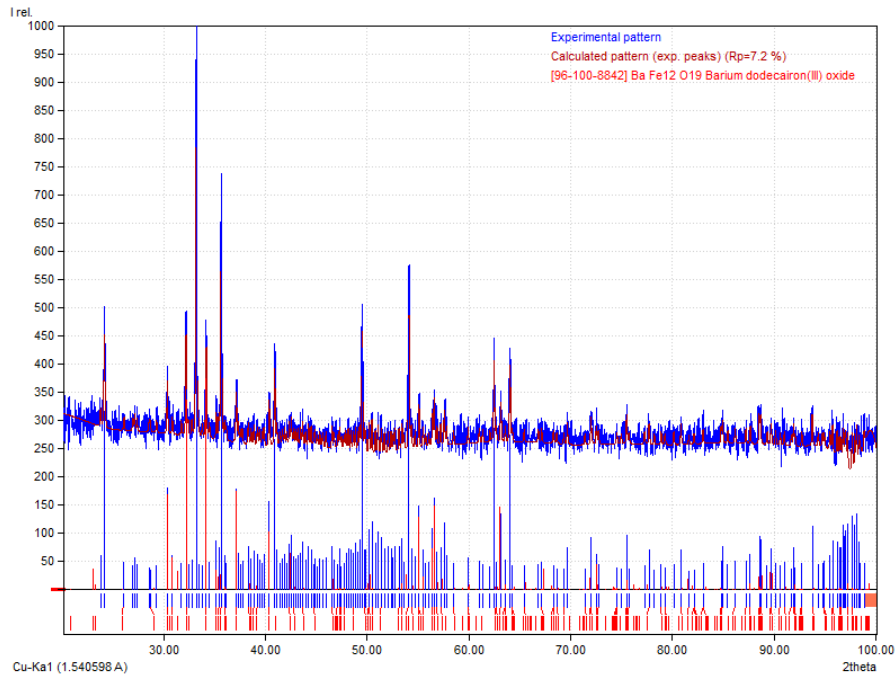


Proses homogenisasi dan pengeringan larutan

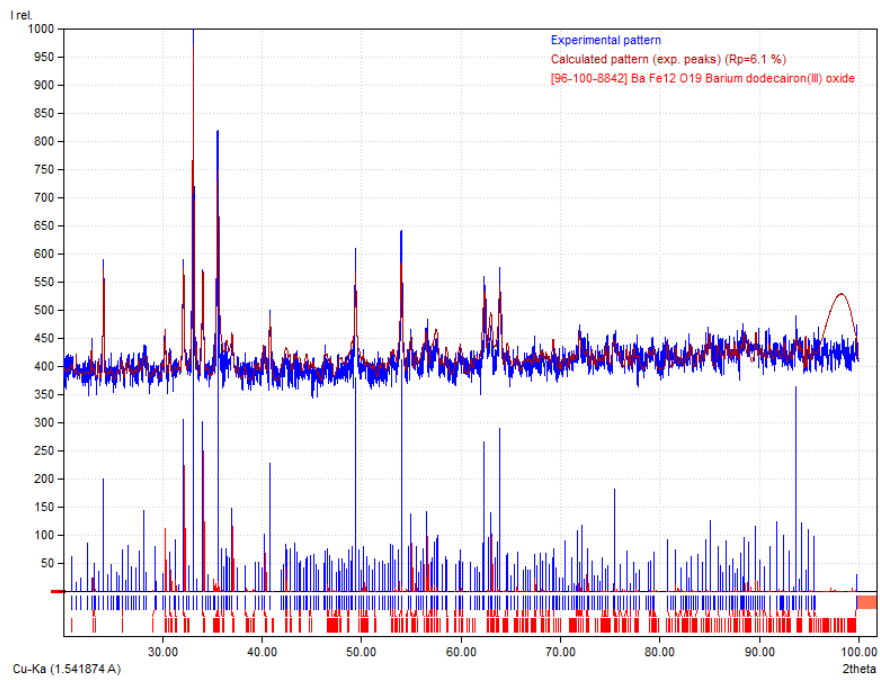


## Lampiran 2. Grafik Pencocokan dengan MATCH

### a) Material $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$



### b) Material $\text{BaFe}_{11}(\text{ZnCo})_{0.5}\text{Ti}_{0.5}\text{O}_{19}$



Lampiran 3. Data pengukuran VNA

a) Material BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>

Frekuensi (Hz)	S <sub>11</sub> real	S <sub>11</sub> imaginer
8.20E+09	-1.61E-01	-5.29E-01
8.20E+09	-1.74E-01	-5.26E-01
8.21E+09	-1.84E-01	-5.22E-01
8.21E+09	-1.97E-01	-5.22E-01
8.21E+09	-2.08E-01	-5.18E-01
8.22E+09	-2.18E-01	-5.14E-01
8.22E+09	-2.30E-01	-5.12E-01
8.22E+09	-2.41E-01	-5.08E-01
8.23E+09	-2.52E-01	-5.05E-01
8.23E+09	-2.64E-01	-4.99E-01
8.24E+09	-2.76E-01	-4.95E-01
8.24E+09	-2.87E-01	-4.92E-01
8.24E+09	-2.98E-01	-4.87E-01
8.25E+09	-3.09E-01	-4.80E-01
8.25E+09	-3.19E-01	-4.77E-01
8.25E+09	-3.30E-01	-4.69E-01
8.26E+09	-3.41E-01	-4.65E-01
8.26E+09	-3.51E-01	-4.59E-01
8.27E+09	-3.63E-01	-4.52E-01
8.27E+09	-3.72E-01	-4.46E-01
8.27E+09	-3.82E-01	-4.39E-01

(b) Material  $\text{BaFe}_{11.5}(\text{ZnCo})_{0.25}\text{Ti}_{0.25}\text{O}_{19}$

Frekuensi (Hz)	$S_{11}$ real	$S_{11}$ imajiner
8.20E+09	-1.34E-02	-4.84E-01
8.20E+09	-2.58E-02	-4.87E-01
8.21E+09	-4.13E-02	-4.90E-01
8.21E+09	-5.39E-02	-4.91E-01
8.21E+09	-6.84E-02	-4.94E-01
8.22E+09	-8.09E-02	-4.93E-01
8.22E+09	-9.59E-02	-4.93E-01
8.22E+09	-1.10E-01	-4.93E-01
8.23E+09	-1.24E-01	-4.91E-01
8.23E+09	-1.38E-01	-4.91E-01
8.24E+09	-1.52E-01	-4.90E-01
8.24E+09	-1.65E-01	-4.90E-01
8.24E+09	-1.80E-01	-4.86E-01
8.25E+09	-1.92E-01	-4.84E-01
8.25E+09	-2.07E-01	-4.81E-01
8.25E+09	-2.18E-01	-4.76E-01
8.26E+09	-2.32E-01	-4.74E-01
8.26E+09	-2.46E-01	-4.70E-01
8.27E+09	-2.59E-01	-4.65E-01
8.27E+09	-2.71E-01	-4.60E-01
8.27E+09	-2.84E-01	-4.55E-01

(c) Material  $\text{BaFe}_{11}(\text{ZnCo})_{0.5}\text{Ti}_{0.5}\text{O}_{19}$

Frekuensi (Hz)	$S_{11}$ real	$S_{11}$ imajiner
8.20E+09	-6.39E-01	6.05E-01
8.20E+09	-6.25E-01	6.23E-01
8.21E+09	-6.12E-01	6.33E-01
8.21E+09	-5.99E-01	6.48E-01
8.21E+09	-5.83E-01	6.60E-01
8.22E+09	-5.68E-01	6.71E-01
8.22E+09	-5.54E-01	6.86E-01
8.22E+09	-5.39E-01	6.96E-01
8.23E+09	-5.23E-01	7.10E-01
8.23E+09	-5.05E-01	7.23E-01
8.24E+09	-4.89E-01	7.31E-01
8.24E+09	-4.75E-01	7.44E-01
8.24E+09	-4.56E-01	7.53E-01
8.25E+09	-4.38E-01	7.63E-01
8.25E+09	-4.22E-01	7.72E-01
8.25E+09	-4.02E-01	7.81E-01
8.26E+09	-3.85E-01	7.90E-01
8.26E+09	-3.66E-01	7.98E-01
8.27E+09	-3.51E-01	8.04E-01
8.27E+09	-3.29E-01	8.12E-01
8.27E+09	-3.10E-01	8.19E-01

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

**Gilang Widianoro.** Lahir di Air Rupik, 5 September 1996 dari pasangan Bapak Sumarno dan Ibu Widayati sebagai anak tunggal.

Mengenyam pendidikan formal dimulai dari SDN 04 Pagi Sukapura (2001-2007), SMPN 231 Jakarta (2007-2010), SMAN 102 Jakarta (2010-2013), dan Program Studi Fisika FMIPA Universitas Negeri Jakarta (September 2013-September 2017).

Semasa kuliah penulis pernah menjadi asisten Laboratorium Elektronika, pada tahun 2015 bergabung dengan Jakarta Cakratunggal Steel Mills dalam menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan, dan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Subang, Jawa Barat, yang diadakan oleh Universitas Negeri Jakarta. Diluar bidang akademik, penulis pernah bergabung dalam BEM Jurusan Fisika di bidang Perkoin tahun kepengurusan 2014/2015.

*Email:* gilangwidianoro@gmail.com