



TESIS - SF-092006

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI BARIUM
M-HEKSAFERIT $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$
SEBAGAI MATERIAL PENYERAP RADAR**

Muktamar Cholifah Aisiyah
NRP 01111550012001

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Mochamad Zainuri, M.Si

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN MATERIAL
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS ILMU ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



THESIS - SF- 092006

**SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF
BARIUM M-HEXAFERRITE $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$
AS A RADAR ABSORBING MATERIAL**

Muktamar Cholifah Aisiyah
NRP 01111550012001

SUPERVISOR
Dr. Mochamad Zainuri, M.Si

MAGISTER PROGRAM
DEPARTEMENT OF MATERIAL
PHYSIC DEPARTEMENT
FACULTY OF NATURAL SCIENCE
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2018

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Sains (M.Si)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

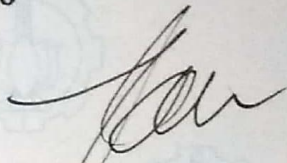
Oleh:

MUKTAMAR CHOLIFAH AISIYAH
NRP. 01111550012001

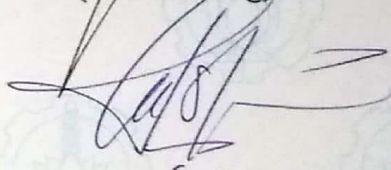
Tanggal Ujian : 24 Juli 2018
Periode Wisuda : September 2018

Disetujui Oleh:

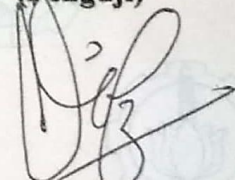
1. Dr. Mochamad Zainuri, M.Si
NIP. 19640130 199002.1.001
2. Dr. Mashuri, M.Si
NIP. 19691216 199402.1.001
3. Prof. Dr. Darminto, M.Si
NIP. 19600303 198701.1.002




(Pembimbing)



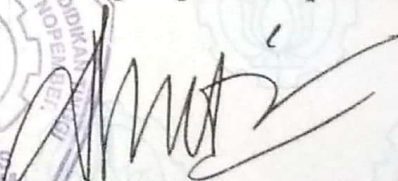
(Penguji)



(Penguji)



Dekan Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember



Prof. Dr. rer.nat. Agus Rubivanto, M.Eng., Sc.
NIP. 19650619 198903 1 001

SINTESIS DAN KARAKTERISASI BARIUM M-HEKSAFERIT $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ SEBAGAI MATERIAL PENYERAP RADAR

Nama : Muktamar Cholifah Aisiyah
NRP : 0111550012001
Dosen Pembimbing : Dr. M. Zainuri, M.Si.

ABSTRAK

Telah dilakukan sintesis Barium M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$) menggunakan bahan dasar BaCO_3 , bahan alam berupa batu besi sebagai sumber Fe dalam bentuk Hematit (Fe_2O_3) dan ion dopan Cu^{2+} dan Zn^{2+} menggunakan metode solid state dengan suhu kalsinasi 1000°C selama 5 jam. Barium M-Heksagonal ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) merupakan material yang memiliki sifat kemagnetan yang tinggi. Untuk mengurangi sifat kemagnetan bahan tanpa merubah struktur kristalnya maka dilakukan substitusi ion dopan terhadap ion Fe^{3+} . Penelitian ini difokuskan pada pengaruh konsentrasi ion dopan dengan variasi $x = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8$ dan 1. Hasil analisis XRD menunjukkan 100% fasa Barium M-Heksaferit pada $x = 0,8$ dan diperoleh fasa sekunder berupa Hematit dan Franklinit pada nilai x lainnya. Hasil tersebut didukung oleh analisa FTIR dan SEM-EDX, yang diperoleh nilai panjang gelombang pembentukan, morfologi material dan elemen-elemen yang terkandung pada Barium M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$), diperoleh persebaran ion dopan dengan persentasi 2,78 - 2,89%. Hasil analisa VSM menunjukkan bahwa diperoleh nilai medan koersivitas (H_c) 0,0205 – 1,31 Tesla dengan nilai perbandingan magnetisasi remanensi (M_r) terhadap magnetisasi saturasi (M_s) 0,19 – 0,49. Hasil uji konduktivitas listrik diperoleh nilai 0,0352 – 0,0426 S/cm.

Kata kunci : Hematit, Barium M-Heksaferit, Metode *solid state*, Material Penyerap Radar (RAM).

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF BARIUM M-HEXAFERRIT $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ AS RADAR ABSORBING MATERIAL

Name of student : Muktamar Cholifah Aisiyah
NRP : 01111550012001
Supervisor : Dr. M. Zainuri, M.Si.

ABSTRACT

Research on powder synthesis of Barium M-Hexaferrite ($\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$) using BaCO_3 , iron stone as a source of Fe in form of Hematite ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) and was doped with Cu^{2+} and Zn^{2+} ions with solid state method and calcined at 1000°C for 5 hours has been conducted. Barium M-Hexaferrite ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) which is a material has a very high magnetization properties. To reduce magnetism properties but does not alter the crystal structure, substituted Fe^{3+} ions by dopant ions. This current study is focused on the influence of concentration of dopant ions with x value of 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 and 1. The result of XRD analysis shown that, the best Barium M-Hexaferrite ($\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$) have formed 100%, it was obtained at $x = 0.8$. In the other x have obtained secondary phases that are Hematite and Franklinite. These results have been supported by FTIR and SEM-EDX analysis, it was obtained the wavelenght values in material formation, the material morphology and the elements contained of Barium M-Hexaferrite ($\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$) that the dopant ions have spread evenly with a content 2.78 – 2.89%. The result of VSM analysis shown that the coercivity field is 0.0205 – 1.31 Tesla with ratio of remanensi magnetization (M_r) to saturation magnetization (M_s) in between 0.19 – 0.49 S/cm. Barium M-Hexaferrite ($\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$) have electrical conductivity value 0.0352 – 0.0426 S/cm.

Keywords : Hematite, Barium M-Hexaferrit, Solid state method, Radar absorbing material (RAM).

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil'alamin

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga tesis dengan judul **"Sintesis dan Karakterisasi Barium M-Heksaferit $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ Sebagai Material Penyerap Radar"** dapat terselesaikan dengan baik. Tesis ini disusun berdasarkan data yang diambil mulai Februari 2017 hingga April 2018 dan didukung berbagai teori dari referensi yang menunjang. Penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu, memberi dukungan serta terlibat dalam penelitian ini, kepada:

1. Allah SWT atas nikmat dan karunia-Nya yang tak pernah putus, sebagai pemilik ilmu.
2. Bapak Dr. M. Zainuri, M.Si selaku dosen pembimbing, yang telah memberikan dukungan, bimbingan, motivasi, kepercayaan, kritik dan saran dalam proses menyelesaikan tesis ini.
3. Bapak Prof. Dr. Darminto, M.Sc dan Dr. Mashuri, M.Si selaku dosen penguji, terima kasih atas masukan kritik dan saran yang menambah wawasan dalam kesempurnaan tesis ini.
4. Bapak Drs. Ahmad Sarijo Yusuf, M.Pd. dan Ibu Sudarseh selaku kedua orang tua beserta Hajar Rafika Rani, Isa Ahmad Ansori, Shohifa Hafida dan Shofa Asia selaku saudara yang selalu memberi perhatian, kasih sayang dan dukungan. Tak lupa suami tercinta Arief Rahman atas dukungan dan motivasinya.
5. Bapak dan ibu Dosen Pengajar Jurusan Fisika atas ilmu, arahan dan motivasinya yang diberikan selama ini kepada penulis.
6. Staf Jurusan Fisika atas pelayanan akademik yang diberikan selama ini kepada penulis. Terima kasih atas bantuan dan dukungannya.
7. Semua teman kos muslimah keputih perintis IV yang selalu mendukung, memotivasi setiap harinya, bantuan dan kebersamaanya.
8. Semua teman-teman satu bimbingan, terima kasih atas kerjasamanya dan kebersamaanya.
9. Semua teman-teman Pascasarjana Fisika angkatan 2015 tanpa terkecuali.

10. Seluruh teman-teman Jurusan Fisika Intitut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak luput dari kesalahan dan kekurangan. Saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan untuk perbaikan dalam kegiatan serupa yang akan datang. Penulis juga berharap laporan ini dapat memberi manfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juni 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	
2.1 <i>Radar Absorbing Material</i> (RAM)	5
2.2 Barium M-Heksaferit	6
2.3 Penyusun Barium M-Heksaferit	8
2.3.1 Hematit (α -Fe ₂ O ₃).....	8
2.3.2 Barium Karbonat (BaCO ₃)	10
2.3.3 Tembaga (Cu).....	10
2.3.4 Seng (Zn).....	10
2.4 Metode <i>Solid State</i>	11
2.5 Sifat Kemagnatan Barium M-Heksaferit	12
2.6 Pengaruh Substitusi Ion Dopan dan Sifat Kemagnetanya	16

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan	21
3.2 Prosedur Eksperimen.....	21
3.3 Karakterisasi	22
a. X-Ray Diffractometer (XRD).....	22
b. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR).....	23
c. Scanning Electron Microscopy (SEM).....	23
d. Konduktivitas Listrik.....	23
e. Vibrating Sample Magnetometer (VSM)	23
3.4 Diagram Alir Penelitian.....	24
a. Sintesis Hematit (α -Fe ₂ O ₃)	24
b. Sintesis Barium M-Hexaferrit BaFe _{12-2x} Cu _x Zn _x O ₁₉	25

BAB 4 PEMBAHASAN

4.1 Proses Sintesis Serbuk BaFe _{12-2x} Cu _x Zn _x O ₁₉	27
4.2 Karakterisasi Pola Difraksi BaFe _{12-2x} Cu _x Zn _x O ₁₉	28
4.3 Karakterisasi Mikrostruktur BaFe _{10,4} Cu _{0,8} Zn _{0,8} O ₁₉	33
4.4 Identifikasi Ikatan Molekuler BaFe _{12-2x} Cu _x Zn _x O ₁₉	37
4.5 Karakterisasi Sifat Kemagnetan BaFe _{12-2x} Cu _x Zn _x O ₁₉	40
4.6 Karakterisasi Sifat Kelistrikan BaFe _{12-2x} Cu _x Zn _x O ₁₉	44

BAB 5 KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran	47

DAFTAR PUSTAKA	49
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN	51
-----------------------	-----------

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Struktur kristal Barium M-Heksaferit	7
Gambar 2.2 Struktur kristal magnetik (Fe_3O_4).....	8
Gambar 2.3 Struktur kristal hematit (Fe_2O_3)	9
Gambar 2.4 Ilustrasi skema Proses <i>milling</i> suatu material	11
Gambar 2.5 Faktor-faktor penting yang mempengaruhi dalam proses <i>milling</i> ...	12
Gambar 2.6 Kurva saat proses megnetisasi	13
Gambar 2.7 (a) Skema demagnetisasi	14
Gambar 2.7 (a) Kurva soft magnetic dan hard magnetik.....	14
Gambar 2.8 Struktur kristal Barium M-Heksaferit berdasarkan 2 formula	18
Gambar 2.9 Distribusi ion Fe pada struktur Kristal Barium M-Heksaferit	19
Gambar 3.1 Diagram alir sintesis Hematit (Fe_2O_3)	24
Gambar 3.2 Diagram alir sintesis $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$	25
Gambar 4.1 Pola difraksi sinar-X Magnetit dan Hematit	27
Gambar 4.2 Hasil pola difraksi sinar-X $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$	30
Gambar 4.3 Pola difraksi kristal $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$	30
Gambar 4.4 Hasil refinement Barium M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{10,4}\text{Cu}_{0,8}\text{Zn}_{0,8}\text{O}_{19}$)	31
Gambar 4.5 (a) Hasil uji SEM Material M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{10,4}\text{Cu}_{0,8}\text{Zn}_{0,8}\text{O}_{19}$) perbesaran 2000x	34
Gambar 4.5 (b) Hasil uji SEM Material M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{10,4}\text{Cu}_{0,8}\text{Zn}_{0,8}\text{O}_{19}$) perbesaran 3000x	34
Gambar 4.6 Hasil spektrum EDX Material M-Heksaferit pada $x = 0,8$ ($\text{BaFe}_{10,4}\text{Cu}_{0,8}\text{Zn}_{0,8}\text{O}_{19}$)	35
Gambar 4.7 Pola penyerapan FTIR Barium M-Heksaferit $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$	37
Gambar 4.8 (a) Kurva Histerisis Barium M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{12-x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$) pada $x = 0,2$	37
Gambar 4.8 (b) Kurva Histerisis Barium M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{12-x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$) pada $x = 0,6$	37
Gambar 4.8 (c) Kurva Histerisis Barium M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{12-x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$) pada $x = 0,8$	37

Gambar 4.9 Grafik Konduktivitas terhadap Peningkatan Komposisi Ion Dopan
Sampel Barium M-Heksaferit $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ 44

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Konfigurasi Elektron	17
Tabel 4.1 Komposisi fasa Barium M-Heksaferit $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$	32
Tabel 4.2 Parameter kisi Barium M-Heksaferit $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$	32
Tabel 4.3 Elemen-elemen yang terkandung Barium M-Heksaferit pada $x = 0,8$ ($\text{BaFe}_{10,4}\text{Cu}_{0,8}\text{Zn}_{0,8}\text{O}_{19}$)	36
Tabel 4.4 Daftar spektroskopi FTIR Barium M-Heksaferit dibandingkan dengan data referensi	38
Tabel 4.5 Perbandingan hasil uji sifat magnetik Barium M-Heksaferit dengan referensi	43
Tabel 4.6 Konduktivitas Listrik Barium M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$) ...	45

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Hasil <i>Rietveld</i> dengan Software <i>Rietica</i>	51
Lampiran 2 Data Referensi File ICSD	61
Lampiran 3 Stokiometri Sintesis $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$	75

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi pertahanan negara merupakan hal yang paling strategis dalam menjaga kedaulatan dan keamanan bangsa terhadap pihak asing yang akan menyusup. Salah satu alat pertahanan adalah Radar (*radio detection and ranging*). Radar merupakan alat deteksi posisi benda dengan menggunakan gelombang radio (*microwave*). Alat tersebut umumnya digunakan oleh angkatan udara untuk mendeteksi pesawat asing yang masuk dan menyusup ke wilayah suatu negara. Deteksi Radar pada target didasarkan pada *Radar Cross Section (RCS)* yang merupakan daerah efektif pada target, memantulkan kembali gelombang yang dipancarkan oleh Radar dan tergantung pada bentuk, ukuran serta orientasi dari target (Knott,2005).

Teknologi tandingan yang juga sedang dikembangkan adalah pesawat siluman (*Stealth Technology*) yang tidak terdeteksi oleh radar. Tujuan dari teknologi pesawat siluman adalah untuk mengurangi penampang target yang terdeteksi oleh penerima radar, sehingga mampu mereduksi RCS dan meningkatkan keberhasilan misi militer di wilayah musuh. Reduksi RCS dapat dilakukan dengan cara memanipulasi bentuk dari pesawat menjadi kacar dan tidak terdeteksi oleh penerima Radar. Menurut Ma et all (2010), hal tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan peredam radar, baik material maupun struktur penyerap radar (RAM/RAS), yang bertujuan meminimalkan gelombang yang dipantulkan, diteruskan dan diubah menjadi panas oleh energi elektromagnetik. Peredam radar ini memiliki kinerja yang baik dalam menyerap gelombang mikro di lingkungan suhu rendah. Sehingga hal tersebut mampu digunakan untuk pengembangan pesawat militer generasi baru.

Gelombang yang dipantulkan oleh Radar adalah gelombang elektromagnetik. Gelombang tersebut merupakan penjalaran dari medan magnet dan medan listrik secara tegak lurus, sebagai sumber elektrik dan magnetik dari gelombang. Sumber elektrik gelombang elektromagnetik dapat diserap oleh material konduktif, sedangkan sumber magnetik gelombang elektromagnetik dapat diserap

oleh material magnetik (Jiang, et all. 2009). Oleh karena itu, diperlukan suatu material yang bersifat konduktif dan magnetik yang baik karena serapannya terhadap gelombang elektromagnetik.

Barium M-Heksaferit merupakan salah satu material yang dikembangkan saat ini sebagai penyerap radar yang mampu menyerap gelombang mikro karena memiliki stabilitas kimia yang baik, magnetisasi saturasi tinggi, *magnetocrystallin* anisotropi tinggi, resonansi feromagnetik dalam band microwave dan sifat dielektrik yang baik sehingga mendapat perhatian sebagai material penyerap gelombang elektromagnetik karena rugi magnetiknya (*magnetic losses*) sebagai serapan magnetik. Serapan magnetik Barium M-Heksaferit berasal dari resonansi gerak domain magnetik dan relaksasi spin pada frekuensi tinggi medan elektromagnetik. Namun material tersebut memiliki medan koersivitas yang terlalu tinggi (bersifat *hard magnetik*), mengakibatkan medan yang diperlukan untuk magnetisasi menjadi nol, sehingga menyebabkan pengaruh medan luar menjadi sangat tinggi dan tidak dapat diminialisir. Hal tersebut merupakan masalah yang harus dihindari, karena tingginya nilai medan koersivitas menyebabkan sifat anisotropik material semakin meningkat sehingga menjadikan sifat absorpsinya menjadi semakin lemah. Anisotropi kristalin Barium M-Heksaferit memiliki frekuensi resonansi yang sangat tinggi yaitu sekitar 50-60 Hz (Ghasemi, et al. 2006). Masalah tersebut dapat diatasi dengan cara substitusi ion Fe^{3+} yang memiliki jari-jari 0,69 Å dengan kation logam lain yang memiliki ukuran yang hampir sama, seperti Zn^{2+} , Cu^{2+} , Mg^{2+} , Ni^{2+} , Mn^{2+} , Co^{2+} , Ga^{3+} , Al^{3+} , Ti^{4+} , dengan jari-jari 0,88 Å; 0,87 Å; 0,86 Å; 0,83 Å; 0,81 Å; 0,79 Å; 0,76 Å; 0,675 Å; 0,605 Å sehingga anisotropi dari Barium M-Heksaferit dapat direduksi (Sozeri, 2015).

Penelitian Sozeri (2015) melaporkan ion doping yang lebih cocok digunakan untuk struktur Barium M-Heksaferit adalah Co^{2+} , Ni^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} karena memiliki parameter kisi kisaran 3,98 – 4,05 Å. Pada penelitian ini, salah satu ion Fe^{3+} digantikan oleh ion Cu^{2+} dan Zn^{2+} . Sampel Barium M-Heksaferit dalam bentuk $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ disintesis dengan metode *wet milling*. Pendopongan ion dilakukan untuk mereduksi sifat anisotropik magnetik dari Barium M-Heksaferit, sebagai akibat, arah acak momen gaya menjadikan domainnya menjadi random oleh munculnya ion dopan. Selain itu, tingginya nilai medan koersivitas bisa

diturunkan dengan membuat ukuran serbuk (butir) mencapai orde nano. Interaksi antar butir yang efektif adalah ukuran butir < 380 nm karena akan memberikan implikasi terhadap ketiga sifat kemagnetan yaitu magnetisasi remanen, medan koercivitas dan produk energi maksimum (Tarihoran, 2002).

Penelitian Amalia (2014) dan Nuraini (2015) menunjukkan bahwa Hematit mampu menyerap gelombang mikro. Hematit (α - Fe_2O_3) merupakan bahan *ferrite* yang telah banyak dikembangkan sebagai penyerap gelombang dan dapat ditemukan dalam bahan alam seperti pasir besi atau batuan besi (bahan *magnetite* Fe_3O_4) di Indonesia dengan biaya operasional yang lebih murah dan mudah disintesis. Penelitian ini akan mensintesis Barium M-Heksaferit dengan Hematit sebagai fasa impurity untuk menghasilkan $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ dengan $x = 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1$. Material tersebut akan dilakukan identifikasi dan karakterisasi dengan pengujian *X-Ray Diffractometer (XRD)*, *Fourier Transform Infrared (FTIR)*, *Scanning Electron Microscopy (SEM)*, *Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)* dan *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)*.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana karakteristik dari material Hematit dan Barium M-Heksaferit
- b. Bagaimana pengaruh konsentrasi ion doping Cu dan Zn pada karakteristik Barium M-Heksaferit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$.
- c. Bagaimana sifat listrik dan magnetik Barium M-Heksaferit yang di doping ion Cu dan Zn.
- d. Bagaimana mikrostruktur Barium M-Heksaferit yang di doping ion Cu dan Zn.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin diperoleh pada penelitian ini adalah untuk:

- a. Membentuk serbuk Barium M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$) menggunakan metode *solid state*.
- b. Mengetahui sifat listrik Barium M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$).
- c. Mengetahui sifat magnetik Barium M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$)

- d. Mengetahui mikrostruktur Barium M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$).

1.4 Batasan Masalah

Masalah pada penelitian ini dibatasi oleh beberapa hal yaitu:

- a. Batuan besi yang disintesis menjadi Hematit adalah pasir besi berasal dari Tanah Laut, Kalimantan Selatan.
- b. Hematit disintesis menggunakan metode kopresipitasi dengan temperatur kalsinasi 700°C selama 5 jam.
- c. Sintesis Barium M-Heksaferit $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ dengan variasi $x = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1$
- d. Karakterisasi mikrostruktur, sifat listrik, sifat magnetik, fasa dan struktur kristal Barium M-Heksaferit sebagai pengaruh dari substitusi ion doping Cu dan Zn.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan material penyerap radar (RAM) yang memiliki nilai absorpsi gelombang mikro yang tinggi supaya dapat diterapkan pada pembuatan pelapis pesawat anti radar (pesawat siluman).

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 *Radar Absorbing Material (RAM)*

Radar Absorbing Material (RAM) merupakan suatu bahan yang memiliki kemampuan menyerap gelombang elektromagnetik sehingga dapat meminimalkan gelombang yang dipantulkan. RAM mulai dikenal sejak tahun 1930 setelah radar dikembangkan. Radar adalah suatu alat untuk mendeteksi objek melalui gelombang radar (*microwave*). Analisa sinyal yang dipantulkan radar dapat ditentukan lokasi objek dan melalui analisa lanjut dapat ditentukan jenis objek. Deteksi radar pada objek didasarkan pada *Radar Cross Section (RCS)*, yang merupakan efektif objek terdeteksi. Jelas tidaknya objek dapat diidentifikasi dari besar kecilnya RCS (Knott,2005).

Penyerapan gelombang radar didasarkan pada dua aspek yaitu desain geometri yang dirancang bersudut *Radar Absorbing Structure (RAS)* sehingga pantulan gelombang elektromagnetik tidak dapat ditangkap kembali oleh receiver, dan metode pelapisan yang berbasis pada *Radar Absorbing Material (RAM)*. RAM terdiri dari dua bahan serapan yaitu *dielectric* dan *magnetic absorber*. *Dielectric absorber* bergantung pada hilangnya ohmik energi yang dapat dicapai. Sifat dielektrik dapat dikutip dari konstanta dielektrik dan kehilangan tangen δ . Sedangkan *magnetic absorber* bergantung pada kurva histerisis magnetik. Gelombang elektromagnetik merupakan penjalaran medan listrik dan medan magnet secara tegak lurus. dapat diserap oleh material konduktif. Sumber listrik dari gelombang elektromagnetik dapat diserap oleh material dielektrik, sedangkan sumber magnetik dapat diserap material magnetik. Perpaduan kedua material tersebut dapat menjadi material penyerap gelombang radar yang baik karena serapan magnetik dan elektriknya (Jiang, 2008).

Banyak jenis material penyerap radar (RAM). Perisai radiasi radar saat ini cara yang paling efektif mengendalikan gangguan elektromagnetik dan menghamburkan muatan elektrostatik, yaitu menggunakan magnet atau dielektrik. Tantangan utama adalah merancang struktur yang akan memiliki dampak terbesar pada sifat elektromagnetik untuk digunakan dalam kendali radar. Permittivitas ϵ dan

permeabilitas μ adalah parameter fisik mendasar yang menggambarkan sifat elektromagnetik untuk menentukan perilaku hamburan gelombang elektromagnetik. Permittivitas terkait pada hilangnya medan listrik, sebagian besar hasilnya dari polarisasi dipol listrik pada frekuensi gelombang mikro. Sedangkan permeabilitas terkait pada hilangnya medan magnet magnetik, hasil dari magnetisasi dipol magnet (Kitaitsev, 2007)

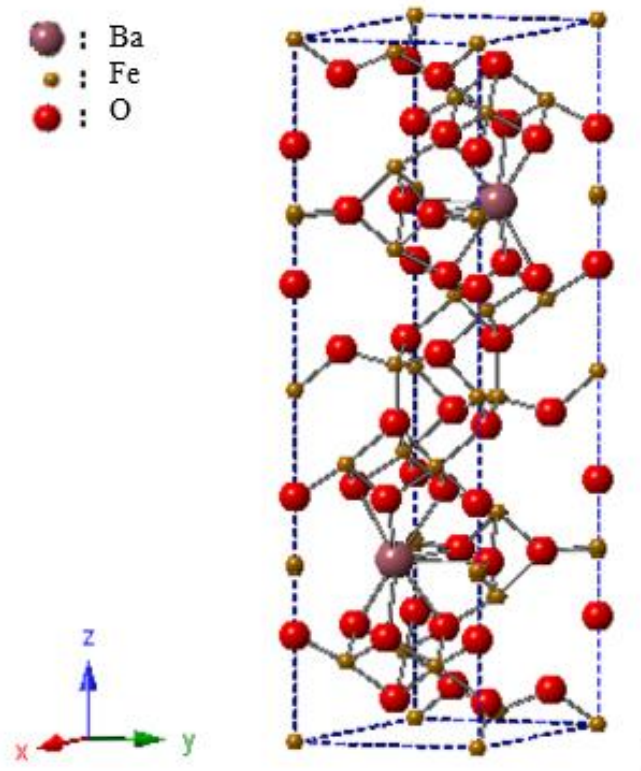
2.2 Barium M-Heksaferit

Magnet *barium ferrite* mulai dikembangkan pada awal tahun 1960, sebagai alternatif untuk menggantikan penggunaan magnet logam. Magnet ini termasuk klasifikasi material keramik magnet keras yang memiliki struktur heksagonal. Barium heksaferit mempunyai kestabilan kimia yang bagus, relatif murah dan kemudahan dalam produksi, sehingga sangat cocok dipergunakan dalam peralatan teknologi pada jangkauan yang cukup luas (Warson, 1980).

Barium Heksaferit dibagi dalam beberapa tipe berdasarkan rumus kimia dan struktur kristalnya yaitu tipe M ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$), Y ($\text{BaMe}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$), tipe W ($\text{BaMe}_2\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$), tipe Z ($\text{Ba}_3\text{Me}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$), tipe X ($\text{Ba}_2\text{Me}_2\text{Fe}_{28}\text{O}_{46}$) dan tipe U ($\text{Ba}_4\text{Me}_2\text{Fe}_{36}\text{O}_{66}$). Tipe-tipe Barium Heksaferit ditentukan oleh jumlah kandungan besi dan oksigennya. Ion Me merupakan kation logam yang memiliki rasio jari-jari ion yang sesuai atau hampir sama dengan ion Fe seperti dan sesuai sifat yang ingin dimunculkan (Ahmeda, 2008).

Struktur Barium M-Heksaferit Pertama kali dilaporkan oleh grup peneliti dari Laboratorium Philips dengan formula $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ yang merupakan bahan oksida dengan struktur kristal heksagonal yang dicirikan dengan dua parameter kisi yaitu a (lebar dari bidang hexagonal) dan c (tinggi dari bidang heksagonal) dengan *space group*. Nilai parameter kisi Barium M-Heksaferit $a = 5,892 \text{ \AA}$, $c = 23,183 \text{ \AA}$, $\alpha = \beta = 90^\circ$, $\gamma = 120^\circ$. Kristalin Barium M-Heksaferit terdiri dari 64 ion per unit cell dalam 11 simetri yang berbeda dan simetri grup P 63/M M C. 24 ion Fe^{3+} terdistribusi pada 5 simetri yaitu 3 bagian oktahedral, 1 tetrahedral, dan 1 bypiramidal. Unit sel kristal Barium M-Heksaferit dibagi dalam 2 blok yaitu S (*cubic close packing* dari 2 layer oksigen yang membentuk struktur spinel) dan R (*hexagonal close packing* dari 3 layer oksigen) (Albanese, 1997).

Barium M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) merupakan salah satu material yang banyak dikembangkan karena sifat kemagnetannya yang mampu dilakukan rekayasa melalui mekanisme substitusi ion. Hal tersebut bertujuan untuk menjangkau range kemagnetan dari sifat kemagnetan paling lemah ke yang paling kuat. Dengan sifat yang demikian, material tersebut dapat diaplikasikan sebagai material penyerab radar (*Radar Absorbing Material*). Heksaferit adalah bahan magnetik lunak dengan permeabilitas yang relatif besar. Heksaferit memiliki sifat anisotropi magnetokristalin dan magnetisasi saturasi yang tinggi. Struktur kristal Barium M-Heksaferit adalah heksagonal dengan terlihat pada Gambar 2.1 yang merupakan salah satu magnet permanen dan Gambar 2.2 merupakan pola difraksi dari Barium M-Heksaferit (Obradors, 1985).



Gambar 2.1 Struktur kristal Barium M-Heksaferit dengan kode database 1008841 CIF (<http://www.crystallography.net>).

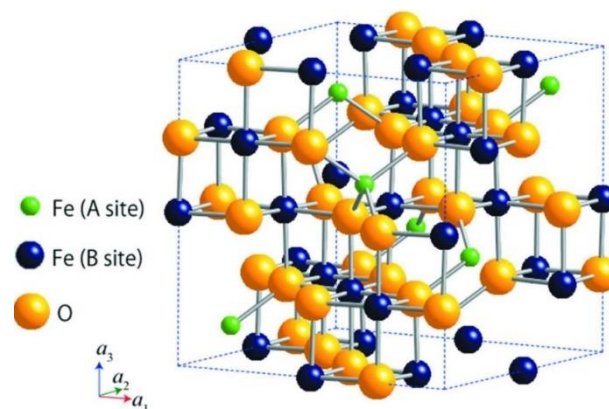
Dalam beberapa tahun terakhir, heksagonal *ferrite* telah banyak diaplikasikan, seperti magnet permanen, telekomunikasi, *magneto-optical*, media penyimpanan data, dan *electromagnetic shielding fields*. Namun, medan koersivitas

(Hc) terlalu tinggi untuk beberapa aplikasi baru. Untuk mengatasi masalah ini, ion besi dalam fasa-M bisa disubstitusi dengan kation logam lain yang ukurannya hampir sama Misalnya Zn^{2+} , Cu^{2+} , Mg^{2+} , Ni^{2+} , Mn^{2+} , Co^{2+} , Ga^{3+} , Al^{3+} , Ti^{4+} , dengan jari-jari 0,88 Å; 0,87 Å; 0,86 Å; 0,83 Å; 0,81 Å; 0,79 Å; 0,76 Å; 0,675 Å; 0,605 Å. Sedangkan Fe^{3+} memiliki jari-jari 0,69 Å. *Divalent* logam transisi seperti Co, Zn, Ti, dan Mn lebih sering digunakan selain karena persamaan jari-jari ionik, juga konfigurasi elektronnya (Mallick, 2007). Sebagian besar, substitusi berlangsung secara serentak di *spin-down* dan *spin-up sublattices* mengakibatkan penurunan medan koersivitas dan magnetisasi saturasi (Rosler, 2003).

2.3 Penyusun Barium M-Heksaferrit

2.3.1 Hematit (α - Fe_2O_3)

Pasir besi dimanfaatkan dalam industri baja karena kaya akan kandungan besi (Fe). Salah satu kandungan magnetik pasir besi adalah besi (III) oksida (Fe_2O_3) yang bersifat feromagnetik. Ada beberapa fasa besi (III) oksida yaitu fasa α - Fe_2O_3 , fasa β - Fe_2O_3 , fasa γ - Fe_2O_3 dan fasa ε - Fe_2O_3 . Hematit (fasa α - Fe_2O_3) merupakan material hasil proses oksidasi mineral magnetik dari pasir besi. Pasir besi memiliki fasa Magnetit (Fe_3O_4) merupakan besi oksida yang paling stabil di bawah kondisi temperatur ruang yang umumnya ditemukan di alam. Magnetit secara umum dinamakan ferit oksida (*Ferrous-ferric oxide*). Material ini secara alami di alam sebagai mineral magnetit dan merupakan anggota dari grup spinel seperti pada Gambar 2.2.

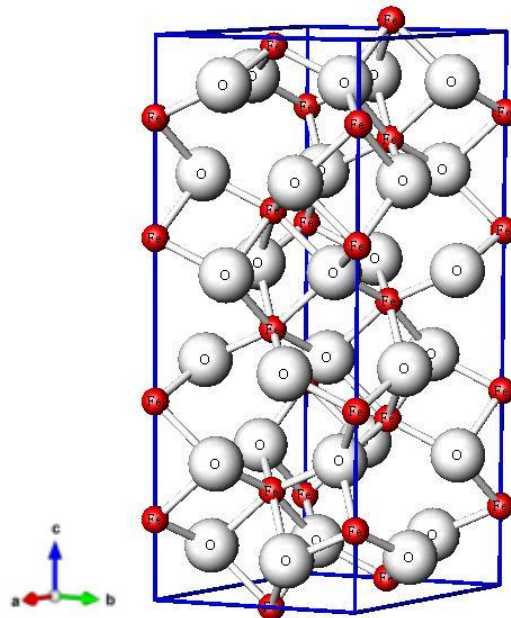


Gambar 2.2 Struktur kristal magnetik (Fe_3O_4) dengan kode database 1513301 CIF

(<http://www.crystallography.net>).

Serbuk besi Magnetit (Fe_3O_4) berwarna hitam, bersifat magnet permanen dan merupakan bahan feromagnetik. Pada Gambar 2.2, dalam Magnetit (Fe_3O_4) mengandung ion Fe^{2+} di *site* A dan ion Fe^{3+} di *site* B. Rumus kimia Magnetit/ferit sering ditulis dalam bentuk $\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$, dengan satu bagian adalah *Wustite* (FeO) dan bagian lain adalah Hematit (Fe_2O_3). Struktur (Fe_3O_4) membentuk spinel *invers* dalam bentuk kubik. Berdasarkan data *crystallography* (CIF) dengan kode 1513301, diketahui bahwa Fe_3O_4 memiliki *space group* $\text{Fd-}3\text{m}$ dengan parameter kisi $a=b=c=8,3814 \text{ \AA}$ dan sudut $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$. Temperatur *currie* dari Magnetit adalah 858 K, dan larut lambat dalam asam klorida.

Pada sintesis Barium M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) menggunakan Magnetit (Fe_3O_4), fasa yang terbentuk tidak hanya fasa Barium M-Heksaferit namun juga fasa Hematit (Fe_2O_3) seperti pada Gambar 2.3. Fasa hematit sebagai fasa sekunder disebabkan karena adanya ion Fe yang terkandung dalam magnetit, ion Fe^{2+} dan ion Fe^{3+} . Barium M-Heksaferit hanya memerlukan ion Fe^{3+} untuk membentuk struktur heksagonalnya. Sedangkan sebagian yang lain yaitu ion Fe^{2+} dan ion Fe^{3+} , berikatan dengan ion O^{2-} dalam bentuk Fe_3O_4 . Pembentukan Barium M-Heksaferit menggunakan suhu yang tinggi $\sim 1000^\circ\text{C}$. Pada temperatur tersebut Fe_3O_4 akan bertransformasi menjadi fasa stabil Hematit Fe_2O_3 (Ristiani, 2016).



Gambar 2.3 Struktur kristal hematit (Fe_2O_3) dengan kode database 1528612 CIF

(<http://www.crystallography.net>).

Hematit bersifat antiferomagnetik di bawah temperatur Neel (955 K) dan temperatur Morin (260 K). Hematit memiliki dua *sublattices* magnetik yang terorientasi pada struktur kristal corundum bidang [111]. Pada Gambar 2.3 struktur *rhombohedral* hematit memiliki parameter kisi $a = b = 8,3320 \text{ \AA}$, $c = 25,1130 \text{ \AA}$, $\alpha = \beta = 90^\circ$ dan $\gamma = 120^\circ$ dapat dilihat pada Gambar 2.3 (Jorgensen, 2007).

Bahan keramik yang bersifat magnetik umumnya merupakan golongan *ferrite*, yang merupakan oksida yang disusun oleh hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) sebagai komponen utama. Bahan ini menunjukkan induksi magnetik spontan meskipun medan magnet dihilangkan. Material *ferrite* juga dikenal sebagai magnet keramik, bahan itu tidak lain adalah oksida besi yang disebut *ferrous ferrite* (ferit besi) (Ferreira, 2005).

2.3.2 Barium Karbonat (BaCO_3)

Barium karbonat memiliki struktur kristal *orthorombic* seperti yang terlihat pada Gambar 2.4 dengan parameter kisi $a = b = 5,2580 \text{ \AA}$, $c = 5,6400 \text{ \AA}$ dan $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$. Barium karbonat dikenal dengan *witherite*, yang merupakan senyawa yang digunakan sebagai bahan pembuat keramik. Barium Karbonat mempunyai sifat yang mudah larut dalam air atau asam lemah (Holl, 2000).

2.3.3 Tembaga (Cu)

Tembaga adalah logam yang berwarna merah muda, yang memiliki sifat fisik lunak, dapat ditempa, dan liat. Tembaga dengan simbol Cu, memiliki nomor atom 29, massa atom 65,37 g/mol, konfigurasi elektron $[\text{Ar}]3d^{10}4s^1$ yang terdapat pada golongan IB unsur transisi di dalam tabel periodik dan melebur pada suhu 1083°C . Tembaga murni memiliki struktur kristal kubik dengan parameter kisi $a = 3,61538$ dan *space group* $Fm\bar{3}m$ (Catherine, 2011).

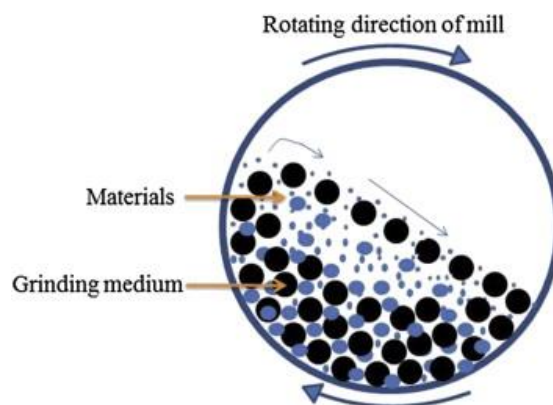
2.3.4 Seng (Zn)

Seng merupakan salah satu unsur dengan simbol Zn, memiliki nomor atom 30, massa atom 65,37 g/mol, konfigurasi elektron $[\text{Ar}]3d^{10}4s^2$ dan terdapat pada golongan IIB unsur transisi di dalam tabel periodik. Seng liat pada suhu $110\text{-}150^\circ\text{C}$, melebur pada suhu 410°C , dan mendidih pada suhu 906°C . Pada Gambar

2.6 struktur *rhombohedral* seng memiliki parameter kisi $a = b = 2,6648 \text{ \AA}$, $c = 4,9467 \text{ \AA}$, $\alpha = \beta = 90^\circ$ dan $\gamma = 120^\circ$ (Wyckoff, 1963).

2.4 Metode *Solid State*

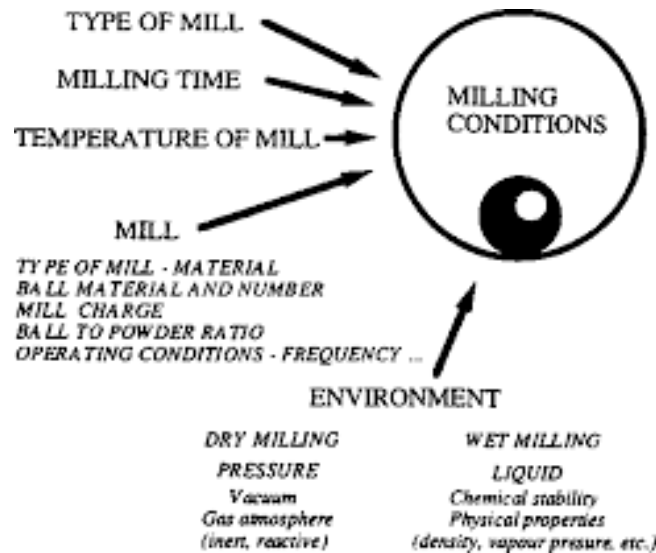
Solid state reaction adalah salah satu teknik pencampuran beberapa alloy (*Mechanical Alloying*). Metode *solid state* merupakan metode reaksi padatan dengan memanfaatkan proses deformasi untuk membentuk suatu senyawa/paduan. Penggunaan metode ini sangat mudah dan juga relatif murah karena tidak menggunakan proses pemanasan pada suhu tinggi namun dilakukan *milling* seperti pada Gambar 2.4. *Miling* atau penggilingan adalah teknik yang telah lama digunakan untuk memperoleh partikel berukuran mikro atau nano. Teknik *milling* dapat dilakukan secara kering (*dry milling*) maupun tersuspensi dalam cairan (*wet milling*). Sehingga *Milling* tetap merupakan pilihan yang populer karena lebih ekonomis, lebih cepat dan mudah untuk di-*scale up*. Pada *dry milling* dapat menghasilkan partikel dibawah ukuran 50 mikron biasa disebut mikronisasi. Mikronisasi diperoleh dari tumbukan antar partikel atau tumbukan partikel dengan medianya. Sedangkan pada *wet milling* digunakan untuk memperoleh partikel padat yang berukuran dibawah 1 mikron sampai ke ukuran 50 - 150 nm (Khadka, 2014).



Gambar 2.4 Ilustrasi skema Proses *milling* suatu material (Liversidge, 1995)

Selama proses *milling*, secara periodik material akan terjebak diantara bola-bola yang saling bertumbukan secara plastis terdeformasi. Bola-bola yang bertumbukan menyebabkan perpatahan, kemudian terjadi penyatuan dingin (*cold welding*). Dalam sintesis bahan menggunakan metode ini, sangat penting

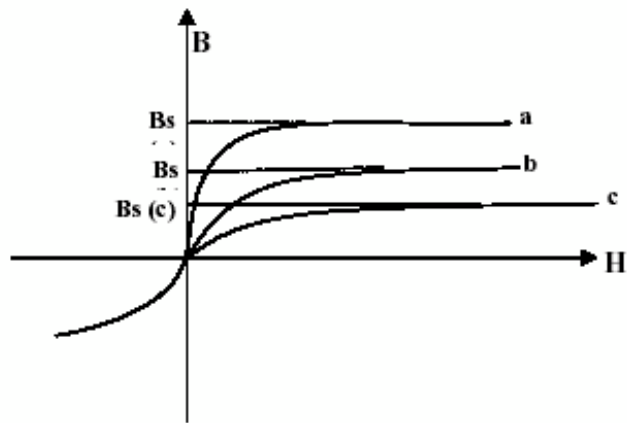
melakukan pencampuran berdasarkan stokiometri yang cocok, memilih pereaksi yang tepat dan menggunakan wadah reaksi yang tepat, supaya diperoleh prekursor yang diinginkan secara tepat pula. Sedangkan untuk variabel-variabel yang mempengaruhi proses *milling* dapat dilihat Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Faktor-faktor penting yang mempengaruhi dalam proses *milling* (Liversidge, 1995)

2.5 Sifat Kemagnetan Barium M-Heksaferit

Sifat-sifat kemagnetan suatu bahan dapat diperlihatkan dalam kurva histerisis yaitu kurva hubungan intensitas magnet (H) terhadap medan magnet (B). Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6 merupakan kurva histerisis pada saat magnetisasi. Kurva tidak berbentuk garis lurus sehingga dapat dikatakan bahwa hubungan antara B dan H tidak linier. Dengan kenaikan harga H , mula-mula B turut naik cukup besar, tetapi mulai dari nilai H tertentu terjadi kenaikan nilai B yang kecil dan makin lama nilai B akan konstan. Harga medan magnet untuk keadaan saturasi disebut dengan B_s atau medan magnet saturasi. Saturasi magnetisasi adalah keadaan dimana terjadi kejenuhan, nilai medan magnet B akan selalu konstan walaupun medan eksternal H dinaikkan terus (Kraus, 1990).

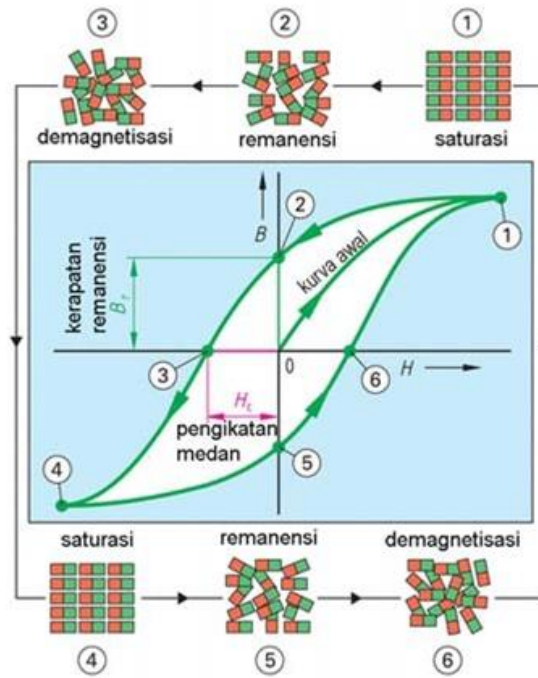


Gambar 2.6 Kurva saat proses magnetisasi (Kraus,1990)

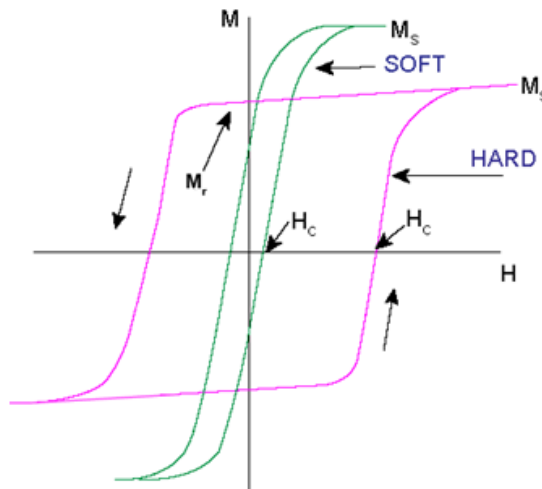
Bahan yang mencapai saturasi untuk harga H rendah disebut magnet lunak seperti yang ditunjukkan kurva (a). Sedangkan bahan yang saturasinya terjadi pada harga H tinggi disebut magnet keras seperti yang ditunjukkan kurva (c). Setelah mencapai saturasi ketika intensitas magnet H diperkecil hingga mencapai $H = 0$, ternyata kurva B tidak melewati jalur kurva semula. Pada harga $H = 0$, medan magnet atau rapat fluks B mempunyai harga $B_r \neq 0$ seperti ditunjukkan pada kurva histeresis pada Gambar 2.7. Harga B_r ini disebut dengan induksi remanen atau remanensi bahan. Remanen atau ketertambatan adalah sisa medan magnet B dalam proses magnetisasi pada saat medan magnet H dihilangkan, atau remanensi terjadi pada saat intensitas medan magnetik H berharga nol dan medan magnet B menunjukkan harga tertentu.

Pada Gambar 2.7 (a) tampak bahwa setelah harga intensitas magnet $H = 0$ atau dibuat negatif (dengan membalik arus lilitan), kurva $B(H)$ akan memotong sumbu pada harga H_c . Intensitas H_c inilah yang diperlukan untuk membuat rapat fluks $B=0$ atau menghilangkan fluks dalam bahan. Intensitas magnet H_c ini disebut koersivitas bahan. Koersivitas digunakan untuk membedakan *hard magnet* atau *soft magnet* seperti pada Gambar 2.7 (b). Semakin besar gaya koersivitasnya maka semakin keras sifat magnetnya. Bahan dengan koersivitas tinggi berarti tidak mudah hilang kemagnetannya. Untuk menghilangkan kemagnetannya diperlukan intensitas magnet H yang besar. Bila selanjutnya harga diperbesar pada harga negatif sampai mencapai saturasi dan dikembalikan melalui nol, berbalik arah dan terus diperbesar pada harga H positif

hingga saturasi kembali, maka kurva $B(H)$ akan membentuk satu lintasan tertutup yang disebut kurva histeresis. Bahan yang mempunyai koersivitas tinggi kemagnetannya tidak mudah hilang. Bahan seperti itu baik untuk membuat magnet permanen (O'Handley, 2000).



(a)



(b)

Gambar 2.7 Kurva histeresis material magnetik berdasarkan, (a) Skema demagnetisasi, (b) Kurva soft magnetic dan hard magnetik (O'Handley, 2000)

Magnet permanen dapat diberi indeks berdasarkan momen koersif yang diperlukan untuk menghilangkan induksi. Patokan ukuran yang lebih baik adalah hasil kali B dan H . Barium M-Heksaferit ($BaFe_{12}O_{19}$) mempunyai nilai H_c yang sangat besar, tetapi $B-H_{maks}$ sedang-sedang saja., karena rapat fluks lebih rendah dibandingkan bahan magnet permanen lainnya. Magnet lunak merupakan pilihan tepat untuk penggunaan pada arus bolak-balik atau frekuensi tinggi, karena harus mengalami magnetisasi dan demagnetisasi berulang kali selama selang satu detik seperti pada Gambar 2.7 (a). Spesifikasi yang agak kritis untuk magnet lunak adalah induksi jenuh (tinggi), medan koersif (rendah), dan permeabilitas maksimum (tinggi). Rasio B/H disebut permeabilitas. Nilai rasio B/H yang tinggi berarti bahwa magnetisasi mudah terjadi karena diperlukan medan magnet kecil untuk menghasilkan rapat fluks yang tinggi (induksi) (Smith, 1996).

Ferrite merupakan jenis magnet permanen yang tergolong sebagai material keramik dan hanya memiliki remanensi magnet maksimal sekitar 0,2 - 0,6 T dan koersivitasnya relatif rendah sekitar 100 - 400 kA/m. Memang dibandingkan dengan magnet dari bahan logam/alloy (*smco*, *alnico*, dan *ndfeb*) memang jauh perbedaannya, tetapi produksi magnet *ferrite* di dunia masih cukup besar karena bahan bakunya lebih murah dibandingkan dengan magnet dari jenis logam. Jadi kebutuhan pasar akan magnet permanen *ferrite* masih tinggi. Keunggulan lainnya dari magnet *ferrite* adalah memiliki suhu kritis (T_c) relatif tinggi dan lebih tahan korosi. Ferit merupakan bahan dasar magnet permanen yang banyak digunakan dalam industri karena sifat bahan feromagnetik biasanya terdapat dalam bahan *ferrite*. Bahan feromagnetik 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 (Halliday, 1989).

Medan magnet dari masing-masing atom dalam bahan feromagnetik sangat kuat, sehingga interaksi diantara atom-atom tetangganya menyebabkan sebagian besar atom akan mensejajarkan diri membentuk kelompok-kelompok, kelompok inilah yang dikenal dengan domain. Domain-domain dalam bahan

feromagnetik, dalam ketiadaan medan eksternal, momen magnet dalam tiap domain akan paralel, tetapi domain-domain diorientasikan secara acak, dan yang lain akan terdistorsi karena pengaruh medan eksternal. Domain dengan momen magnet paralel terhadap medan eksternal akan mengembang, sementara yang lain mengerut. Semua domain akan menyebar dengan medan eksternal pada titik saturasi, artinya bahwa setelah seluruh domain sudah terarahkan, penambahan medan magnet luar tidak memberi pengaruh apa-apa karena tidak ada lagi domain yang perlu disearahkan, keadaan ini disebut dengan penjenahan (saturasi). Bahan ini juga dihilangkan, akan tetap memiliki medan magnet, karena itu bahan ini sangat baik sebagai sumber magnet permanen. Permeabilitas bahan $\mu \gg \mu_0$ dengan suseptibilitas bahan $\chi \gg 0$ (Moulson, 1985).

Magnet Barium M-Heksaferit mudah dimagnetisasi di arah c. Harga medan koersivitas akan sangat besar jika ukuran partikel mencapai ukuran dimana dalam partikel tersebut hanya terdapat satu dominan (daerah pada kristal dengan semua momen magnetnya hanya memiliki satu arah), akan semakin sulit sampai arah domainnya kembali random. Sehingga nilai koersivitas semakin tinggi (Zainuri, 2010).

2.6 Pengaruh Substitusi Ion Dopan dan Sifat Kemagnetanya

Substitusi ion terjadi apabila terjadi perpindahan atom yang memiliki ukuran yang relative sama atau lebih kecil 15% dari atom induknya. Atom dapat berpindah jika terdapat kekosongan (*vacancy*) dan memiliki energy vibrasi yang cukup untuk melewati energy hambatan. Penambahan ion dopan yang memiliki ukuran yang relative sama dengan ion Fe pada struktur Barium M-Heksaferit, tidak akan merubah struktur kristalnya jika terjadi penyusupan ion dopan berhasil mensubstitusi ion Fe nya namun akan merubah parameter kisi dan temperature curie dari material tersebut. Sehingga kehadiran ion dopan ini sebagai pengganggu dalam kemagnetan Barium M-Heksaferit dan sifat kemagnetanya akan menjadi lebih lunak. Penambahan ion dopan dengan momen magnet yang lebih rendah akan mereduksi sifat magnetic ferrit (Triwikantoro dkk, 2009).

Peningkatan konsentrasi ion doping x akan meningkatkan viskositas magnet dan medan fluktuasi ketika aktivasi semakin menurun. Hal ini disebabkan oleh

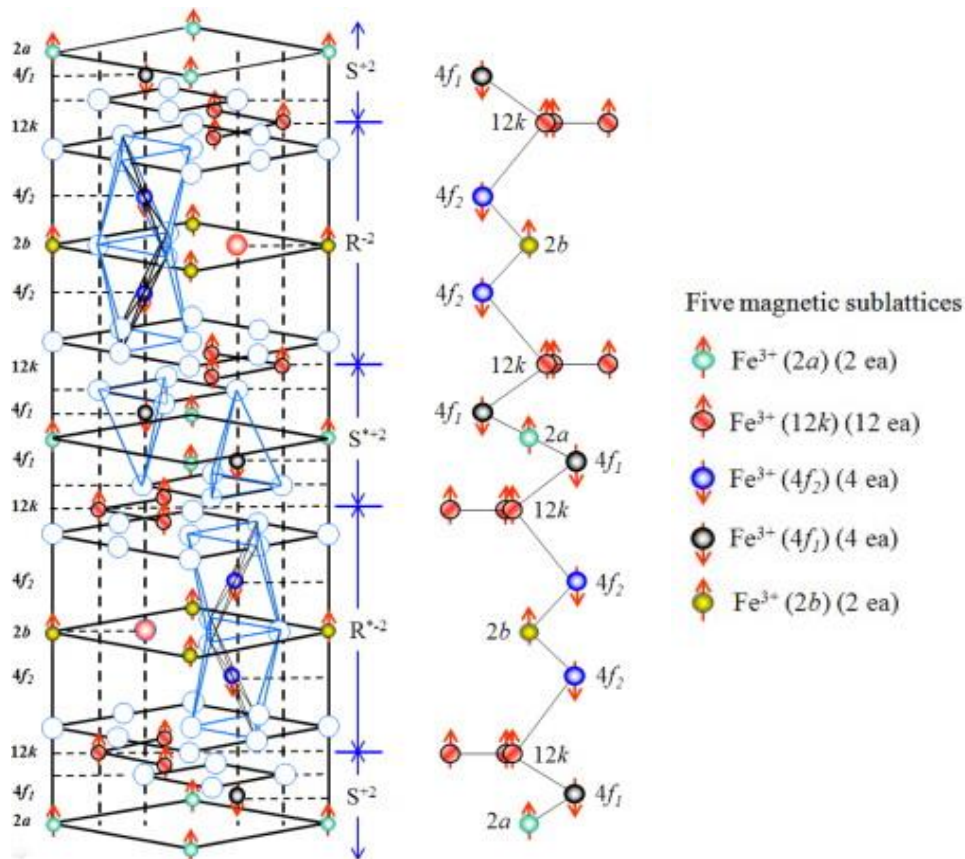
penurunan ukuran partikel, medan anisotropic serta distribusi yang lebih luas yang berhubungan dengan tinggi hambatan distribusi energi. Interaksi antar partikel demagnetizing menurun dengan peningkatan x . Karena interaksi ini cenderung membalikkan momen magnetik, peluruhan magnetisasi meningkat. Volume aktivasi dihitung jauh lebih kecil dibandingkan volume fisik partikel, hal ini menunjukkan pembalikan magnetic menjadi kacau.

Kemagnetan suatu bahan erat kaitanya dengan konfigurasi elektron. Aturan Hund memungkinkan electron-elektron pengisi tiap-tiap level energi dengan arah sembarang. Akan tetapi prinsip larangan Pauli menyatakan bahwa hanya ada 2 elektron yang berada dalam suatu level energy dengan arah berlawanan. Hal ini berlaku untuk sederetan unsur-unsur logam dalam system periodik dalam kulit 3d yang sebagian terisi elektron dan sebagian kosong. Dengan demikian untuk menentukan momen magnetik yaitu dengan memenuhi kulit 3d terlebih dahulu secara maksimum, yaitu 5 elektron dengan arah spin up . selanjutnya dengan arah anti parallel dari arah semula. Momen magnetik ditentukan berdasarkan spin yang tidak berpasangan (Triwikantoro dkk, 2009). Momen magnetik untuk sebagian logam transisi ditunjukkan pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Konfigurasi Elektron

Ion	Konfigurasi Elektron	Jumlah Elektron Tak Berpasangan
Fe^{2+}	$4s^2 3d^6$	4
Fe^{3+}	$4s^2 3d^5$	5
Cu^{2+}	$4s^1 3d^{10}$	1
Zn^{2+}	$4s^2 3d^{10}$	0

Substitusi ion pada Barium M-Heksaferit berlangsung secara serentak di spin up dan spin down sublattices. Gambar 2.8 menunjukkan bagian unit sel Barium M-Heksaferit daerah $\text{SRS}^*\text{R}^*\text{S}$. Daerah S merupakan lapisan spinel-like blok ($\text{O}_4\text{-O}_4$) dengan komposisi $\text{Fe}_6\text{O}_8^{2+}$. Daerah R merupakan lapisan blok ($\text{O}_4\text{-BaO}_3\text{-O}_4$) dengan komposisi $\text{BaFe}_6\text{O}_{11}^{2-}$. Daerah arsenik (*) menunjukkan bahwa sub unit berotasi 180° mengelilingi sumbu heksagonal.



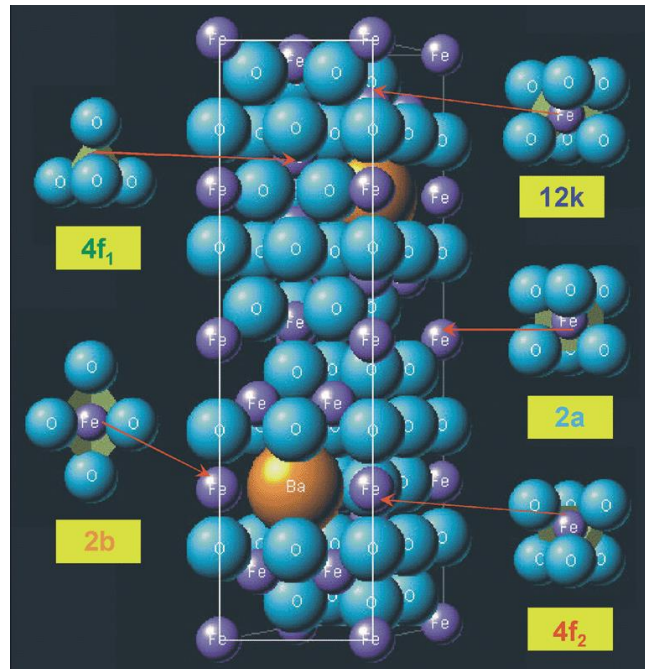
Gambar 2.8 Struktur kristal Barium M-Heksaferit berdasarkan 2 formula

Kation besi didistribusikan dalam lima jenis situs yaitu tiga oktahedral (12k, 2a, 4f2), satu tetrahedral (4f1) dan satu situs pseudotetrahedral (2b), dapat dilihat pada Gambar 2.9. Substitusi ion harus mengarah pada peningkatan magnetisasi saturasi (M_s) dengan rumus:

$$M_s = 6\mu_{12k} - 2\mu_{4f1} - 2\mu_{4f2} + \mu_{2b} + \mu_{2a}$$

Dengan μ merupakan momen magnetik ion Fe^{3+} yang bernilai $5\mu_B$ pada 0 K (Rosler, 2003).

Satu unit sel pada Barium M-Hexaferrit memiliki 38 ion O^{2-} , 2 ion Ba^{2+} , dan 24 ion Fe^{3+} . Ion Fe^{3+} dalam 12k, 2a dan 2b (16 atom tiap unit sel) memiliki spin up. Sedangkan ion Fe^{3+} dalam 4f1 dan 4f2 (8 atom tiap satu unit sel) memiliki spin down. Sehingga jumlah totalnya adalah 8 pasangan spin up – spin down dan 8 spin up yang dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.9 Distribusi ion Fe pada struktur Kristal Barium M-Heksaferrit (Pullar,2012)

Oleh karena itu, momen magnet total setiap unit sel adalah $8 \times 5 \mu_B = 40 \mu_B$ yang berisi 2 ion Ba^{2+} . Pada saat substitusi ion Fe dilakukan, maka konsentrasi ion dopan akan sangat menentukan momen magnet total material yang terbentuk. Substitusi ion (dengan momen magnetik kecil) di situs tetrahedral dan oktahedral mengakibatkan momen magnetik totalnya kecil. Ini artinya bahwa adanya ion dopan pada ion Fe^{3+} berpotensi meningkatkan magnetisasi saturasi yang berakibat pada menurunkan medan koersivitas dan sifat anisotropi magnetokristalnya berdasarkan rumus:

$$H_c = \frac{2K}{M_s}$$

Dengan K merupakan konstanta anisotropik (Saragih, 2005).

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

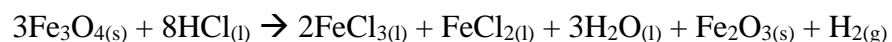
Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *ultrasonic cleaner*, *magnetic stirrer*, *Furnace* tipe RHF 1400, *ball mill*, oven, mortar besi, mortar keramik, krusibel alumina, ayakan 140 mesh, *beaker glass*, spatula, pipet tetes, kertas pH, kertas saring dan timbangan digital.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini untuk sintesis Barium M-Heksaferit adalah Fe₃O₄ pada batuan besi dari Tanah Laut, Kalimantan Selatan yang disintesis menjadi Hematit (Fe₂O₃), *Barium Carbonat* (BaCO₃), *Hydrochloric Acid* (HCl 12,06 M), *Amonia Solution* (NH₄OH 6,6 M), Aquades, Alkohol dan ion doping berupa *Copper* (Cu) dan *Zinc* (Zn).

3.2 Prosedur Eksperimen

Penelitian ini menggunakan bahan alam sebagai bahan dasar yaitu pasir besi. Pasir besi disintesis menjadi Hematit (α -Fe₂O₃) menggunakan metode kopresipitasi dengan tahapan sebagai berikut:

- a. Pasir besi dihaluskan dengan cara ditumbuk menggunakan mortar besi. Diayak dengan ayakan 140 mesh.
- b. Pasir besi dicuci dengan alkohol 96% menggunakan ultrasonic cleaner selama 30 menit sebanyak 5 kali, yang bertujuan untuk menghilangkan pengotor pada permukaan pasir besi.
- c. Pasir besi dilarutkan dalam larutan HCl dan di-stirer pada suhu 85°C selama 1 jam. Hal tersebut bertujuan untuk mendapatkan Fe dalam orde ion (nano) yang berupa FeCl₂ dan FeCl₃ berdasarkan reaksi kimia berikut:



- d. Hasil pelarutan disaring menggunakan kertas saring. Larutan yang dihasilkan dilakukan titrasi dengan menambahkan NH₄OH secara perlahan

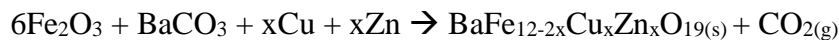
(diteteskan) dengan di-*stirer* hingga pH 9. Hal tersebut bertujuan supaya dihasilkan endapan pasir besi berdasarkan reaksi kimia berikut:



- e. Endapan pasir besi dicuci dengan aquades hingga pH 7 dan dikeringkan.
- f. Endapan yang dikering dihaluskan dengan mortar keramik. Endapan tersebut merupakan serbuk Fe_3O_4 .
- g. Fe_3O_4 dikalsinasi pada temperatur 700°C selama 5 jam supaya diperoleh Hematit (Fe_2O_3).

Hematit tersebut yang dihasilkan, disintesis menjadi Barium M-Hexaferrit $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ yang dilakukan dengan metode *solid state* sebagai berikut:

- a. Hematit, BaCO_3 , dopan Cu dan Zn ditimbang sesuai stokiometri dari reaksi kimia berikut:



- b. Hematit, BaCO_3 , dopan Cu dan Zn dicampur.
- c. Ditambah dengan alkohol sebanyak 100 ml dan di-*milling* selama 2 jam dengan frekuensi 150 Hz.
- d. Hasil *milling* dikeringkan.
- e. Sampel dikalsinasi pada temperatur 1000°C .
- f. Dilakukan uji XRD, FTIR, SEM-EDX, Konduktivitas Listrik dan VSM.

3.3 Karakterisasi

a. X-Ray Diffractometer (XRD)

Difraksi sinar-X bertujuan untuk mengidentifikasi fasa Hematit dan BaM yang dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Sumber radiasi berasal dari Cu-K α dengan panjang gelombang $1,540561 \text{ \AA}$ dioperasikan pada tegangan 40 kV dan arus 30 mA.

b. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Pengujian FTIR bertujuan untuk menganalisa jenis ikatan kimia dan struktur molekul, dengan cara menganalisa bahan dengan menghasilkan penyerapan spektrum infrared untuk mengetahui gugus fungsi dalam suatu molekul. Uji FTIR dilakukan di Laboratorium Instrumentasi Kimia ITS dengan Shimadzu tipe 8400s.

c. Scanning Electron Microscopy (SEM)

Pengujian SEM bertujuan untuk mengetahui morfologi dan struktur mikro material yang dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan SEM EVO MA 10

d. Konduktivitas Listrik

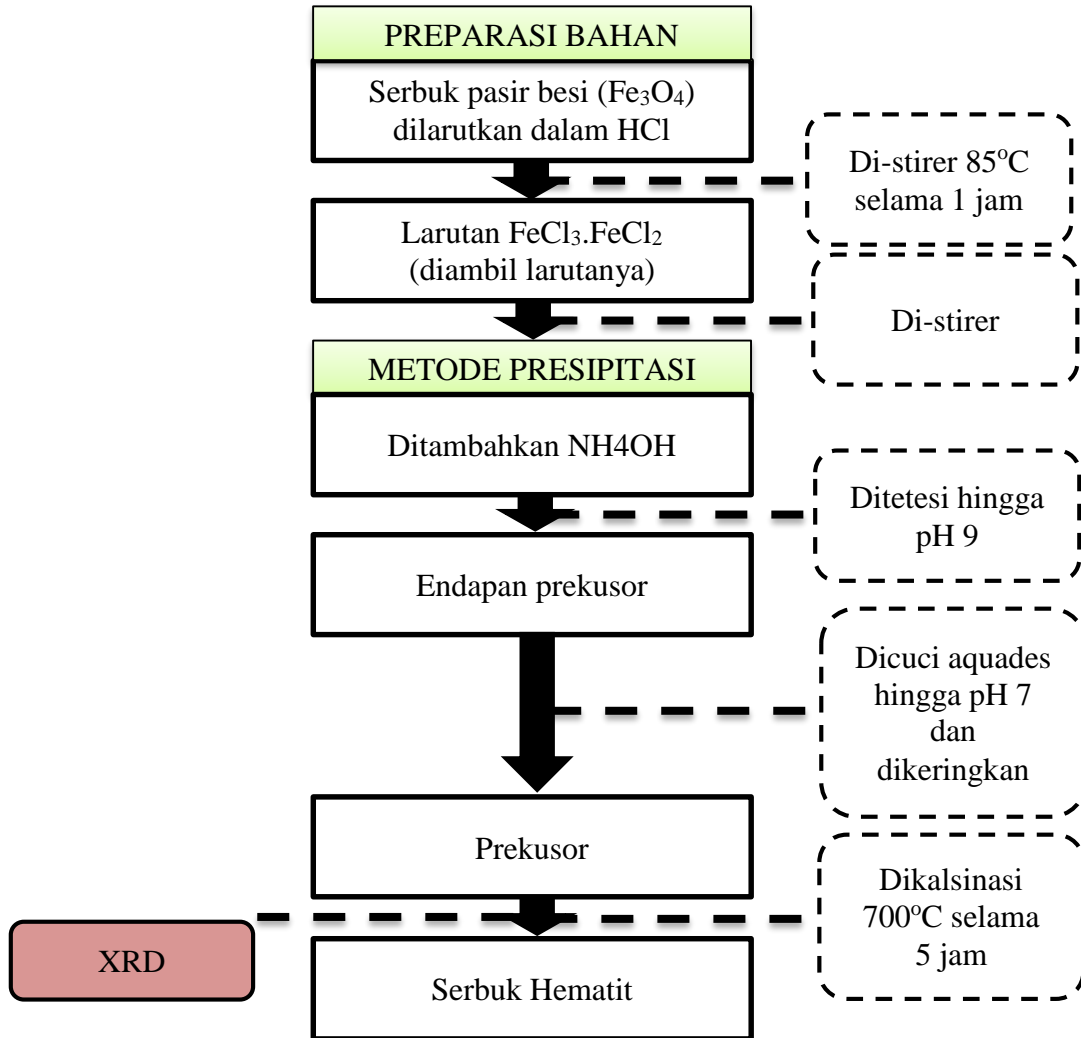
Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui konduktivitas listrik dari Barium M-Heksaferit yang telah didoping ion Cu dan Zn. Metode pengukuran nilai konduktivitas listrik dilakukan dengan menggunakan LCR Meter di Universitas Negeri Malang.

e. Vibrating Sample Magnetometer (VSM)

Pengujian VSM bertujuan untuk mengidentifikasi sifat magnetisasi Hematit dan BaM melalui kurva histerisis, baik sebagai fungsi temperatur (maksimal 300 K) dan sebagai fungsi medan luar (maksimal $\pm 1,2$ T). Pengujian VSM dilakukan di BATAN Serpong dengan VSM tipe OXFORD VSM 1,2H.

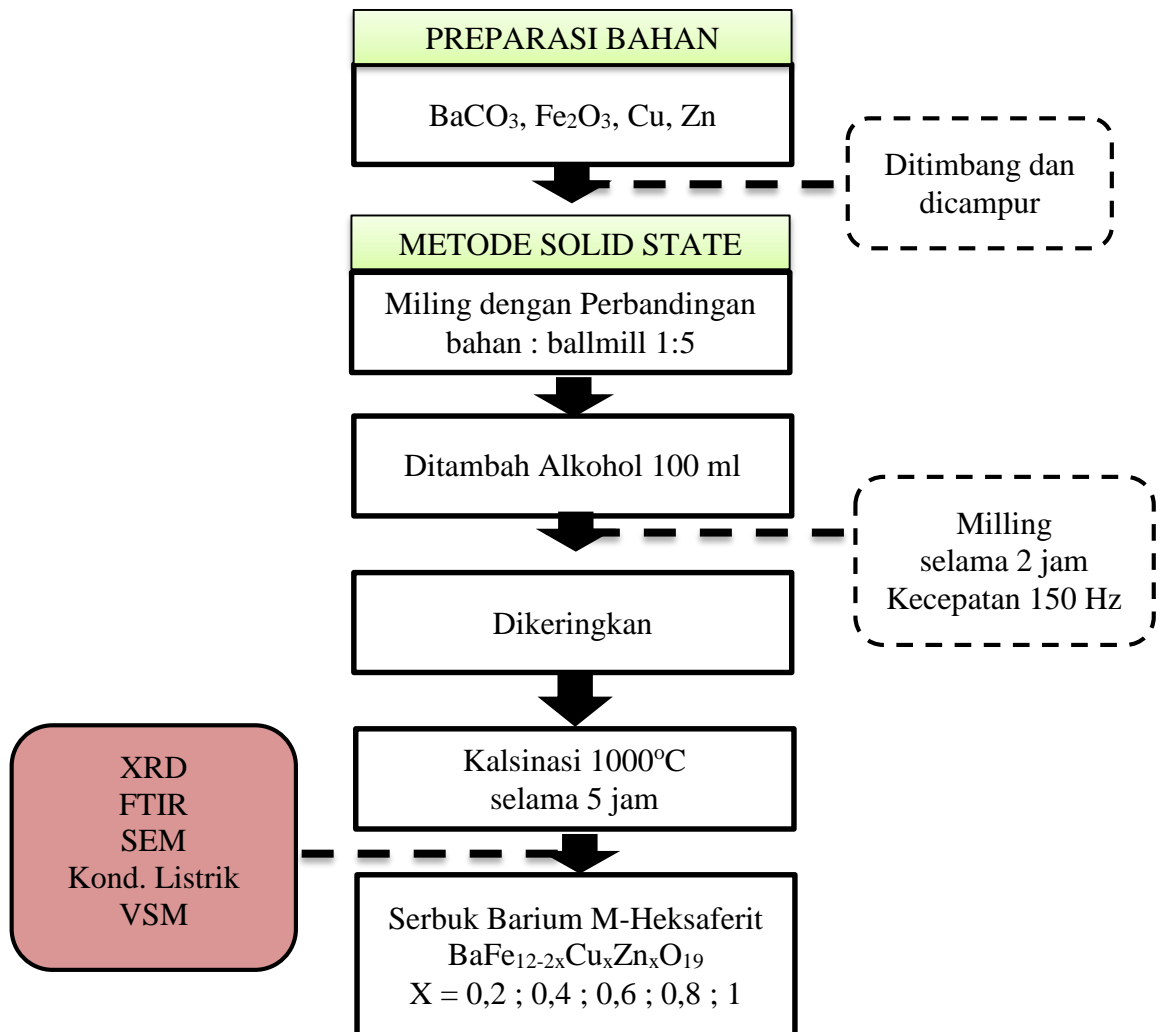
3.4 Diagram Alir Penelitian

a. Sintesis Hematit (α -Fe₂O₃)



Gambar 3.1 Diagram alir sintesis Hematit (Fe₂O₃)

b. Sintesis Barium M-Hexaferrit $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$



Gambar 3.2 Diagram alir sintesis Barium M-Hexaferrit $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$

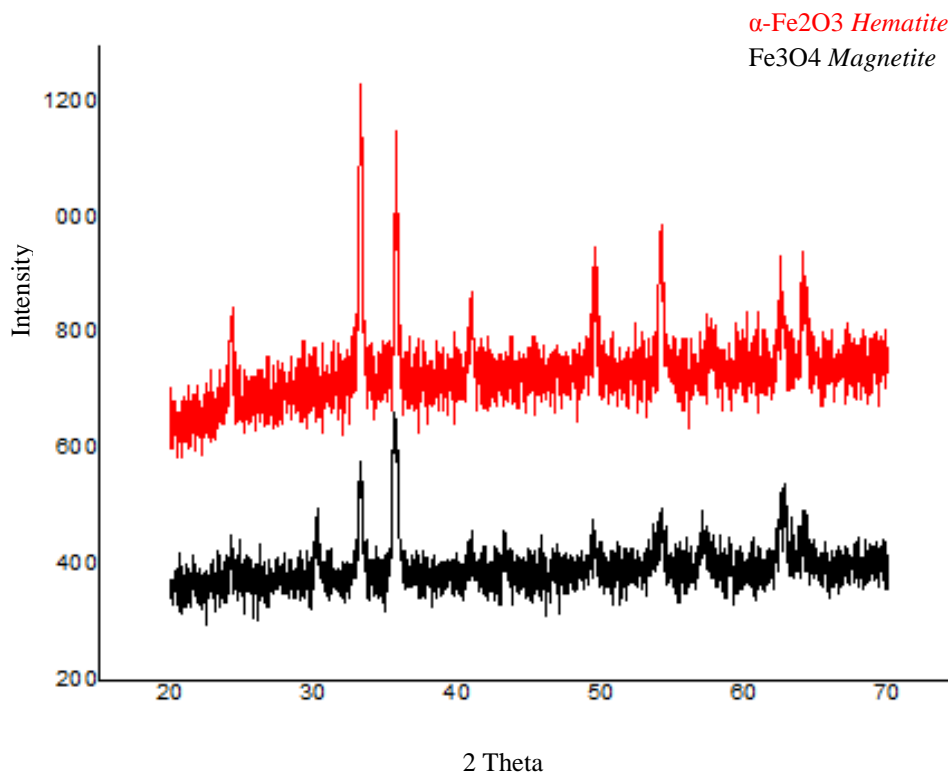
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses Sintesis Serbuk Barium M-Heksaferit $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$

Bahan dasar dalam sintesis Barium M-Heksaferit sebagai material penyerap radar adalah Hematit (Fe_2O_3). Material Hematit dibuat dari batuan besi alam dari Tanah Laut Propinsi Kalimantan Selatan. Batuan besi yang telah dipreparasi dengan cara pengalusan dan pemurnian, menghasilkan pasir besi yang didominasi oleh fasa magnetit (Fe_3O_4) seperti pada Gambar 4.1. Berdasarkan hasil penelitian Rachmawati (2016), hasil pemurnian pasir besi mampu menghilangkan bahan pengotor non magnetik dan pengotor organik yang menempel pada permukaan pasir besi, serta menghasilkan peningkatan kandungan Fe hingga mencapai 98,55%. Pada pasir besi fasa magnetit (Fe_3O_4) memiliki sumber ion Fe^{2+} dan Fe^{3+} .



Gambar 4.1 Pola difraksi sinar-X Magnetit dan Hematit

Sintesis Barium M-Heksaferit yang didoping ion Cu dan Zn dengan variasi nilai $x = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1$ dilakukan dengan metode solid state. Metode solid

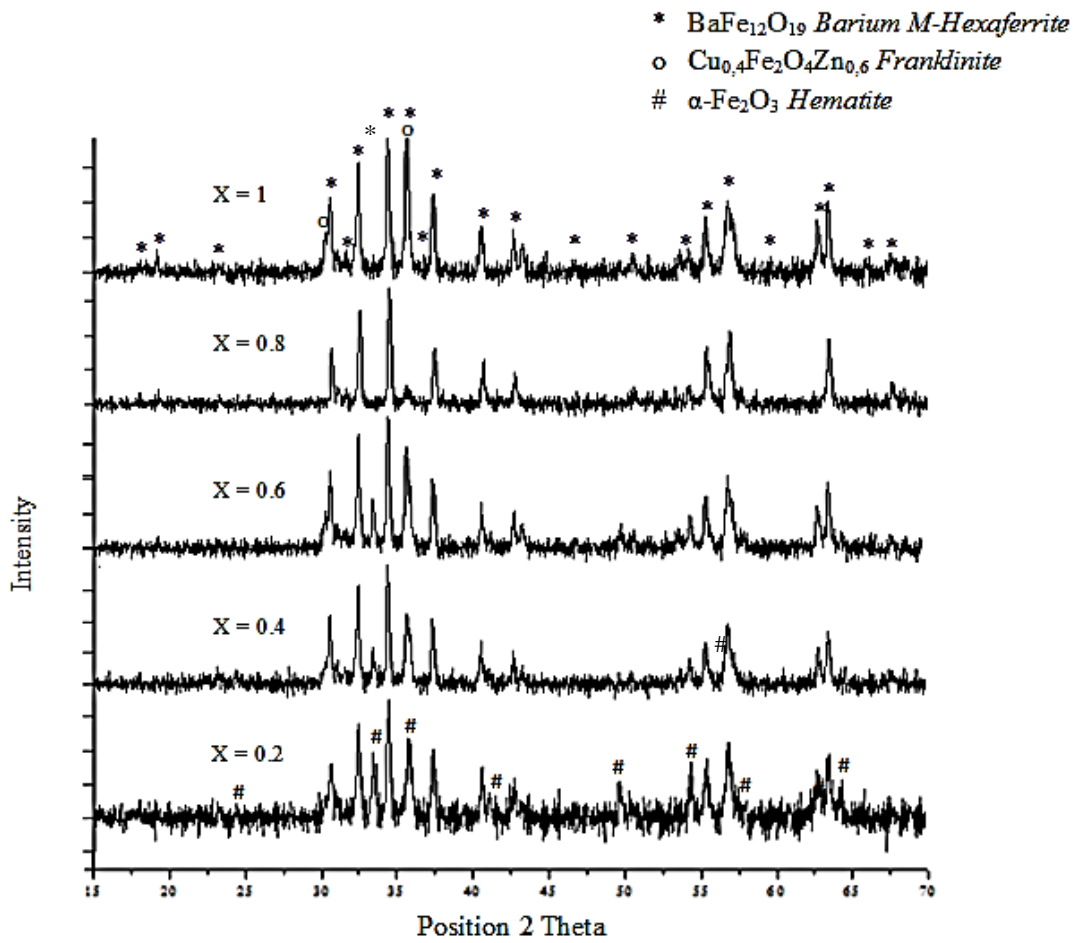
stade dipilih dengan beberapa pertimbangan, yaitu proses yang mudah dengan waktu yang relatif singkat, biaya murah dan mampu menghasilkan fase Barium M-Heksaferit lebih efisien. Metode *solid state reaction* dilakukan dengan pencampuran bahan-bahan dasar dalam keadaan padat berupa BaCO_3 , Fe_2O_3 dan ion doping berupa Cu dan Zn dalam proses milling, menggunakan *ball mill* berupa *Zirconia ball* pada *Zirconium Jar*. Tujuan dari proses milling adalah untuk memberikan beban berulang yang dapat mengakibatkan terjadinya deformasi plastis sehingga menghasilkan ukuran material yang tereduksi. Pada proses milling, harus menggunakan bola yang lebih keras dari material. Bola Zirkonia yang digunakan memiliki massa 3,3217 gr dan nilai densitas yang tinggi yaitu 5,7 gr/cm³, sedangkan Barium M-Heksaferit memiliki densitas 5,269 gr/cm³. Dalam proses milling berdasarkan *powder to ball ratio* (PBR), perbandingan massa serbuk dengan bola yang ideal adalah 1:4. Hal tersebut bertujuan supaya proses reduksi mampu berjalan dengan maksimal (Baltec, 2012). Sehingga dalam penelitian ini dilakukan dengan metode milling (*wet milling*) menggunakan alkohol sebagai media pelarutnya. Hematit (Fe_2O_3), yang telah disintesis dicampurkan dengan BaCO_3 dan ion doping Cu dan Zn sesuai perhitungan stokiometri ke dalam *Zirconium Jar*, kemudian dipasangkan pada *planetary ball mill* dengan kecepatan 150 rpm suhu ruang. Waktu *milling* selama 2 jam dengan waktu pause 30 menit.

4.2 Karakterisasi Pola Difraksi $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$

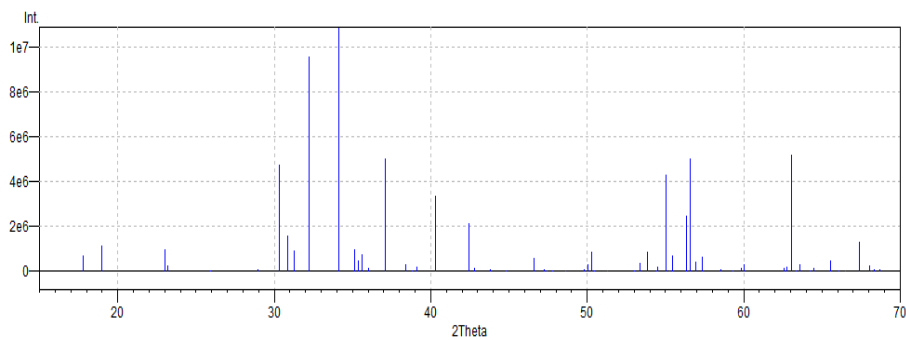
Metode yang digunakan untuk mengkarakterisasi bahan uji hasil percobaan Barium M-Heksaferit $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ menggunakan difraksi sinar-x dengan Tipe Philips X'Pert MTD (*Multi Purpose Diffractometer*) di Laboratorium Material dan Metalurgi ITS Surabaya. Analisis tersebut menggunakan sumber radiasi berupa atom Cu dengan panjang gelombang $\text{Cu}_{\text{K}\alpha}$ 1,54060 Å, dioperasikan pada tegangan 40 kV, 30 mA. Sampel dikarakterisasi dengan menggunakan difraksi sinar-x dengan pola difraksi (sudut 2θ) dan mengikuti persamaan Bragg $2d_{\text{hkl}} \sin \theta_{\text{B}} = n\lambda$. Identifikasi fasa hasil XRD dianalisis menggunakan metode Rietveld dengan software Rietica, data input $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ (CIF File 1008841), Fe_2O_3 (CIF File 2101168), dan $\text{Cu}_{0,4}\text{Fe}_2\text{O}_4\text{Zn}_{0,6}$ (CIF File 9012443).

Analisis difraksi yang terjadi pada semua kondisi pendopongan sampel memungkinkan terbentuknya fasa Barium M-Heksaferit, Hematit dan Franklinit, dengan fasa dominan berupa fasa Barium M-Heksaferit. Pola difraksi dengan variasi konsentrasi doping ion Zn^{2+} dan Cu^{2+} dapat dilihat pada Gambar 4.2. Pada konsentrasi doping $x=0,2$; $0,4$ dan $0,6$ teramati fasa Barium M-Heksaferit, fasa Hematit dan fasa Franklinit, dimana ion Cu^{2+} dan Zn^{2+} terlarut dalam struktur kristal Barium M-Heksaferit, menggantikan Fe^{3+} pada posisi tetrahedral (Pullar,2012). Sedangkan pada terbentuknya fasa Hematit dan fasa Franklinit, hal ini disebabkan selain ion Zn^{2+} dan Cu^{2+} menggantikan Fe^{3+} pada posisi tetrahedral, juga terjadi substitusi pada sebagian posisi tetrahedral pada struktur Hematit. Selain itu pada Gambar 4.2 teramati bahwa adanya perubahan posisi puncak 2θ pada masing-masing variabel substitusi nilai x . Sehingga dapat dikatakan terjadi pergeseran posisi puncak 2θ . Hal tersebut disebabkan proses pendopongan merubah parameter kisi mengikuti persamaan $2d_{hkl} \sin \theta_B = n\lambda$.

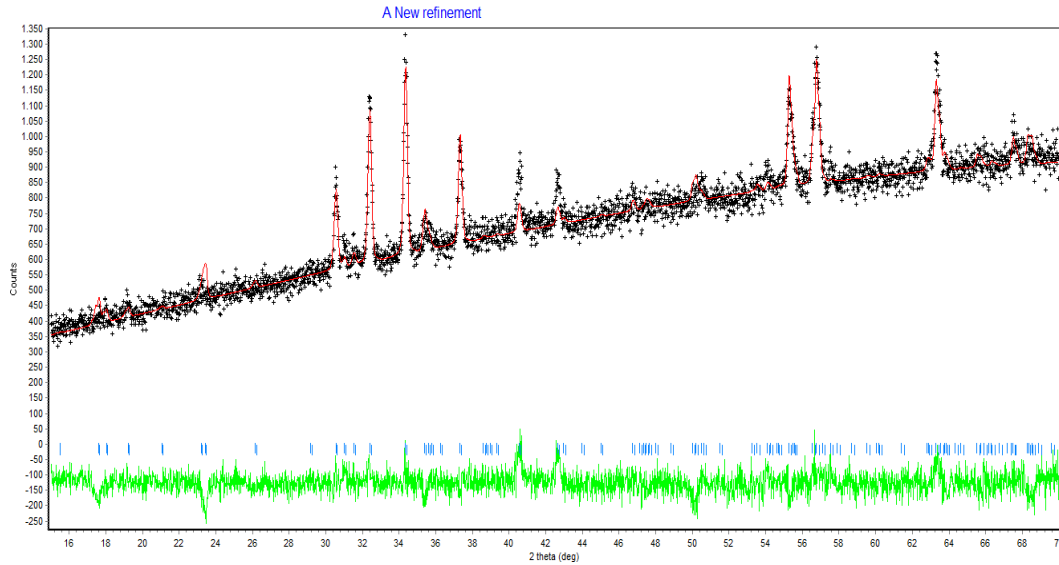
Pada pola difraksi sinar-X Barium M-Heksaferit, sebelum dilakukan refinement adalah perlu dilakukan penentuan fasa input sebagai model terhitung (Gambar 4.3). Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara menganalisa kemungkinan-kemungkinan fasa-fasa yang terbentuk melalui metode *Search-Match*. Pada $x = 0,2$; $0,4$ dan $0,6$ terdapat 3 kemungkinan fasa yang terbentuk yaitu fasa Barium M-Heksaferit sebagai fasa dominan dengan fasa sekunder fasa Hematit dan Fasa Franklinit. Namun komposisi fasa tidak dapat dilakukan pada metode ini, dikarenakan kemunculan fasa sekunder tidak stabil karena munculnya fasa tersebut adalah secara bergantian. Sedangkan pada $x = 0,8$ tidak terdeteksi fasa sekunder dan pada $x = 1$ hanya terdapat fasa sekunder berupa fasa franklinit. Sehingga perlu dilakukan analisis lebih lanjut dengan menggunakan metode *Rietveld-Rietica*. Untuk memperoleh kesesuaian antara pola difaksi terhitung (model) dengan pola difraksi terukur yang didasarkan pada data struktur kristal maka dilakukan penghalusan (*refinement*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.2 Hasil pola difraksi sinar-X Barium M-Heksaferit doping Cu dan Zn ($\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$) yang dikalsinasi pada temperatur 1000°C



Gambar 4.3 Pola difraksi kristal Barium M-Heksaferit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ (referensi) (Obradors, 1985)



Gambar 4.4 Hasil refinement Barium M-Heksaferit pada $x = 0,8$ ($\text{BaFe}_{10,4}\text{Cu}_{0,8}\text{Zn}_{0,8}\text{O}_{19}$)

Penghalusan dilakukan dengan metode Rietveld pada *software Rietica* menggunakan 3 input yaitu $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$, Fe_2O_3 dan $\text{Cu}_{0,6}\text{Fe}_2\text{O}_4\text{Zn}_{0,4}$. Berdasarkan hasil analisis kuantitatif, diperoleh komposisi fasa Barium M-Heksaferit hingga mencapai 100% pada substitusi 0,8. Hasil *refinement* tersebut dapat diterima karena nilai Gof mencapai nilai $\leq 4\%$. Semakin kecil indek yang diperoleh maka semakin tinggi kesesuaian antara model perhitungan dengan pengamatan. pada Gambar 4.3 diperoleh pula kesesuaian nilai intensitas dengan puncak FWHM dengan nilai sampel *displacement* yang sangat kecil sehingga dapat dikatakan keadaan tersebut telah stabil. Adapun hasil refinement tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.1. Berdasarkan Tabel 4.1, sebagian besar fasa yang terbentuk adalah fasa Barium M-Heksaferit. Substitusi pada konsentrasi $x = 0,8$ merupakan hasil terbaik dibandingkan pada konsentrasi ion dopan lainnya. Kation logam Fe^{3+} memiliki jari-jari ionik $0,69 \text{ \AA}$ sedangkan ion Cu^{2+} memiliki jari-jari $0,87 \text{ \AA}$ dan Zn^{2+} memiliki jari-jari $0,88 \text{ \AA}$ (Sozeri, 2015). Terjadinya perbesaran pada parameter kisi antara referensi dengan hasil penelitian mengkonfirmasi bahwa ion Cu^{2+} dan Zn^{2+} menggantikan posisi Fe^{3+} (tetrahedral) dalam struktur Barium M-Heksaferit. Selain itu, tidak terjadi pergeseran sudut yang cukup berarti, hal tersebut dikarekan ratio jari-jari ion doping dengan kation Fe^{3+} adalah hampir sama.

Tabel 4.1 Komposisi fasa Barium M-Heksaferit $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$

Konsentrasi Doping	Koposisi Fasa Relatif %			
	Fasa 1	Fasa 2	Fasa 3	Gof
	Barium M-Heksaferit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$	Hematit Fe_2O_3	Franklinit $\text{Cu}_{0,4}\text{Fe}_2\text{O}_4\text{Zn}_{0,6}$	
X = 0,2	89,72	8,95	1,33	0,9183
X = 0,4	89,12	3,44	7,44	1,808
X = 0,6	91,28	1,44	7,28	2,981
X = 0,8	100	-	-	1,489
X = 1	96,79	-	3,21	2,261

Tabel 4.2 Parameter kisi Barium M-Heksaferit $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$

Konsentrasi Doping	Parameter Kisi				
	Fasa 1		Fasa 2		Fasa 3
	Barium M-Heksaferit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$		Hematit Fe_2O_3		Franklinit $\text{Cu}_{0,4}\text{Fe}_2\text{O}_4\text{Zn}_{0,6}$
	a = b	c	a = b	c	a = b = c
X = 0,2	5,891286	23,244238	4,965485	14,254686	8,314208
X = 0,4	5,893507	23,237295	5,205110	13,050876	8,392670
X = 0,6	5,864387	23,128439	4,163507	16,649191	8,377064
X = 0,8	5,889231	23,216942	-	-	-
X = 1	5,894321	23,246843	-	-	8,458124
Referensi ICSD	5,892000	23,183000	5,035500	13,74710	8,402000

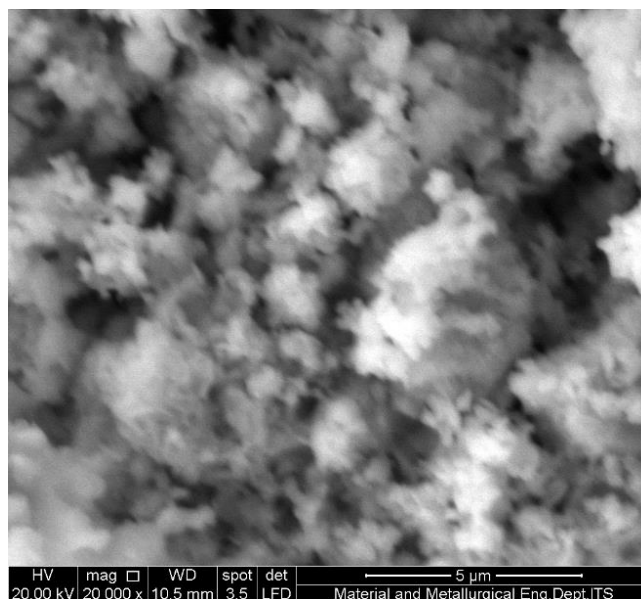
Dapat diamati Tabel 4.2 untuk mengetahui parameter kisi Barium M-Heksaferit secara teori dengan sampel. Perubahan parameter kisi tidak menunjukkan perubahan yang signifikan. Namun perubahan yang cukup terlihat adalah pada kisi c pada Barium M-Heksaferit. Menurut Pullar (2012), Substitusi ion Fe^{3+} pada posisi tetrahedral dengan ion doping (Cu^{2+} dan Zn^{2+}) yang merupakan doping *aliovalent* (ion dopan yang memiliki valensi yang berbeda dengan ion induknya). Karena valensi ion Cu^{2+} dan Zn^{2+} lebih kecil dari pada ion Fe^{3+} maka ion dopan Cu^{2+} dan Zn^{2+} bertindak sebagai *acceptor*. Ketika ion dopan Cu^{2+} dan Zn^{2+} mensubstitusi ion Fe^{3+} maka kompensasi muatan dicapai dengan terbentuknya vakansi pada posisi atom yang digantikan posisinya. Seiring penambahan

konsentrasi doping dapat menyebabkan perubahan konstanta kisi pada kisi c akibat pembentukan vakansi yang meningkat (Rahanam, 2003).

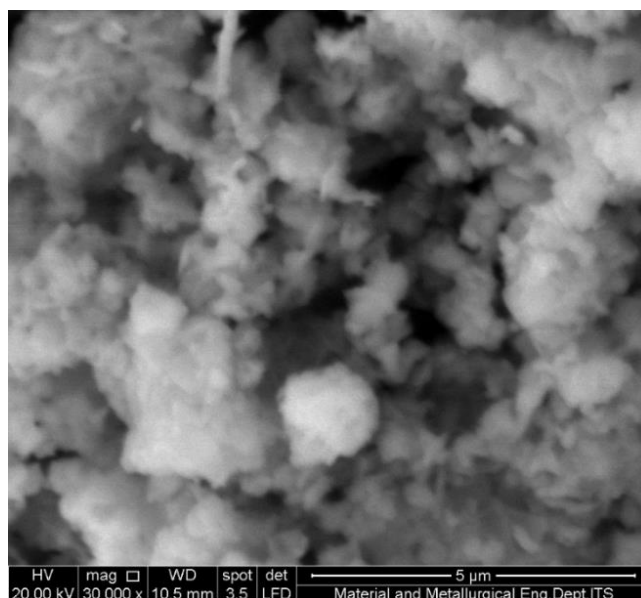
Terbentuknya fase sekunder yaitu Hematit dan Franklinit dapat dijelaskan akibat temperatur yang digunakan. Proses pemanasan yang sangat mempengaruhi perubahan dimensi sampel. Menurut Efendi dkk (2003), semakin tinggi temperatur pemanasan maka nilai penyusutan semakin meningkat. Hal ini dikarenakan oleh transport massa (difusi) atom antar partikel yang menyebabkan terbentuknya butir dan eliminasi pori. Sehingga menyebabkan perbedaan komposisi fasa yang terjadi ketika proses tersebut dengan pemberian nilai konsentrasi x yang berbeda. Pada saat pemberian energi panas didalam *furnace* sama artinya dengan pemberian energi aktivasi pada atom penyusun bahan tersebut. Sehingga dengan adanya energi aktivasi menyebabkan atom penyusun bahan akan bervibrasi kemudian melepaskan ikatannya dan bergerak ke posisi baru atau berpindah ke kisi yang lain, proses tersebut disebut dengan proses difusi. Sehingga semakin tinggi suhu pemanasan, maka semakin banyak atom-atom yang mempunyai energi yang sama atau melebihi energi aktivasi untuk dapat tersebar dari posisinya dan bergerak menuju ke tempat-tempat kekosongan (vacancy) yang menyebabkan proses pepadatan dan penghilangan pori semakin cepat. Sehingga Franklinit muncul disebabkan karena, selain ion doping Cu^{2+} dan Zn^{2+} menggantikan posisi Fe^{3+} pada posisi tetrahedral pada struktur Barium M-Heksaferit, namun juga menggantikan posisi Fe^{3+} pada posisi tetrahedral pada struktur Hematit

4.3 Karakterisasi Mikrostruktur $\text{BaFe}_{10,4}\text{Cu}_{0,8}\text{Zn}_{0,8}\text{O}_{19}$

Material telah dilakukan karakterisasi struktur fase dan ikatan kimia gugus fungsi, kemudian dilakukan pengujian SEM EDX. Pengujian SEM EDX dilakukan bertujuan untuk mengetahui secara kualitatif dan kuantitatif elemen-elemen sebaran yang terkandung pada material. Komposisi elemen-elemen pada material dapat dianalisis oleh detektor dispersi energi alat EDX. Gambar mikroskopis material hasil uji SEM perbesaran 20.000 – 30.000 kali dapat dilihat pada Gambar 4.5.



(a)



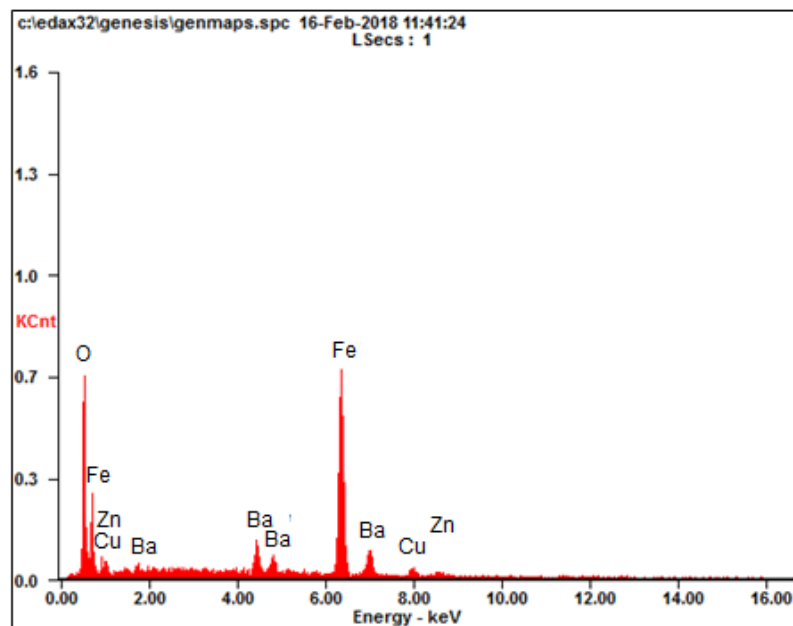
(b)

Gambar 4.5 Hasil uji SEM Material M-Hexaferrit doping Cu dan Zn pada $x = 0,8$
 $(\text{BaFe}_{10,4}\text{Cu}_{0,8}\text{Zn}_{0,8}\text{O}_{19})$ (a) perbesaran 2000x (b) perbesaran 3000x

Berdasarkan hasil SEM pada Gambar 4.5, morfologi material dalam perbesaran 30.000x masih belum terlihat jelas ukuran material, beberapa bagian terlihat cenderung mengalami aglomerasi. Hal tersebut dimungkinkan akibat proses milling yang dilakukan. Namun beberapa bagian terlihat membentuk single domain. Semakin kecil ukuran partikel maka cenderung membentuk single domain pada partikelnya dan menentukan sifat magnetiknya (Noly, 2012). Selain itu,

material tersebut terlihat cenderung memanjang yang mengindikasikan terbentuk barium heksaferit, berstruktur heksagonal memanjang pada sumbu c.

Bila ditinjau dari proses sintesis, Barium M-Heksaferit disintesis dengan bahan dasar Fe_2O_3 yang dihasilkan dari sintesis menggunakan metode kopresipitasi. Dalam metode tersebut dilakukan pelarutan Fe dengan asam klorida yang bertujuan untuk memperoleh ion Fe dalam bentuk ion. Berdasarkan hasil penelitian Nuraini (2015), Hematit hasil sintesis metode kopresipitasi menghasilkan ukuran partikel sekitar 20 nm. Dengan ukuran partikel tersebut maka Hematit yang dihasilkan termasuk kedalam bahan nanopartikel. Sebuah partikel dapat dikatakan nanopartikel apabila memiliki ukuran diameter rentang antara 1-100 nm. Dalam penelitian ini, hasil analisa kuantitatif, hematite memiliki ukuran kristal sekitar 30,437 nm sedangkan Barium M-Heksaferit memiliki ukuran kristal sekitar 69,866 nm. Untuk mengetahui secara kualitatif dan kuantitatif elemen-elemen yang terkandung pada material dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan Tabel 4.3.



Gambar 4.6 Hasil spektrum EDX Material M-Heksaferit pada $x = 0,8$
($\text{BaFe}_{10,4}\text{Cu}_{0,8}\text{Zn}_{0,8}\text{O}_{19}$)

Tabel 4.3 Elemen-elemen yang terkandung Barium M-Heksaferit pada $x = 0,8$ ($\text{BaFe}_{10,4}\text{Cu}_{0,8}\text{Zn}_{0,8}\text{O}_{19}$)

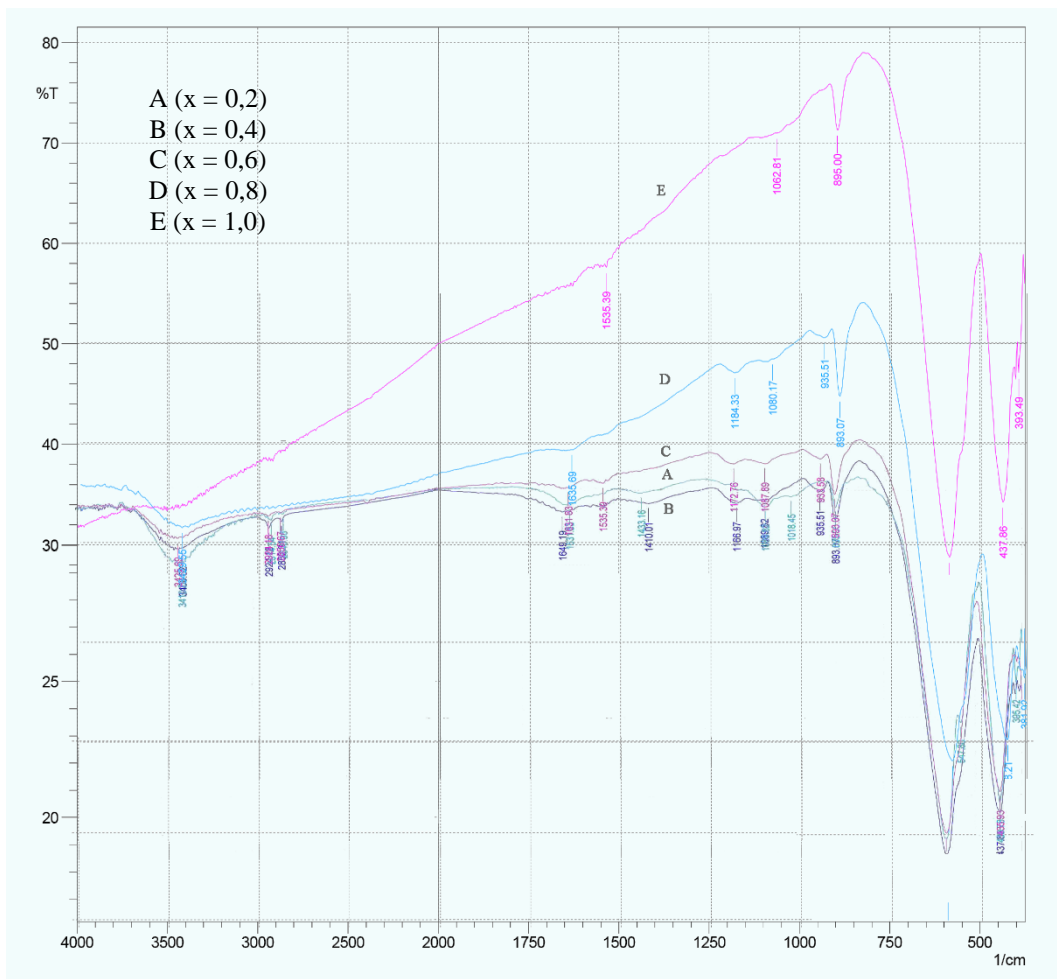
Elemen	Atom dalam 1 Sel (At%)	% Error
O	51,05	0,16
Fe	39,67	0,18
Cu	2,89	0,13
Zn	2,78	0,1
Ba	3,61	0,13
Total	100	

Pada Gambar 4.6 merupakan hasil analisis lebih lanjut dari SEM, yaitu menggunakan EDX untuk mengetahui persebaran elemen-elemennya. Berdasarkan pengamatan dapat diketahui persebaran ion dopan seiring dengan persebaran ion Fe. Persebaran tersebut mampu mengindikasikan bahwa ion dopan berhasil tersubstitusi ke dalam ion Fe. Hal tersebut dapat didukung dengan data persentase atom pada serbuk Barium M-Heksaferit pada Tabel 4.6.

Persentase atom mengacu pada jumlah-jumlah atom pada satu sel $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ adalah atom O memiliki persentase sebesar 59,4%, atom Fe memiliki persentase sebesar 37,5% dan atom Ba memiliki persentase sebesar 3,1%. Perbedaan nilai persentase tersebut dengan Tabel 4.6 dimungkinkan dikarenakan adanya kehadiran ion doping Cu^{2+} dan Zn^{2+} sehingga mengalami sedikit pergeseran nilai. Dapat dikatakan bahwa telah terbentuk 100% fasa Barium M-Heksaferit karena tidak terlalu merubah persentase atom dalam 1 sel, hal tersebut juga ditunjang berdasarkan hasil pencocokan *Match!* diperoleh fasa tunggal berupa Barium M-Heksaferit. Sehingga perbedaan nilai persentase atom hasil eksperimen dibandingkan hasil perhitungan mengindikasikan sebagian Fe^{3+} telah digantikan oleh Cu^{2+} dan Zn^{2+} . Fenomena tersebut menunjukkan bahwa substitusi Cu^{2+} dan Zn^{2+} pada $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ telah masuk pada situs Fe^{3+} .

4.4 Identifikasi Ikatan Molekuler $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$

Analisis adanya ikatan Cu dan Zn pada Barium M-Heksaferit sebagai ion doping melalui analisis hasil XRD masih belum cukup, maka perlu dilakukan analisis lebih lanjut untuk menginterpretasikan terjadinya proses substitusi ion doping Cu dan Zn terhadap struktur ikatan kristal dengan menggunakan analisis *Fourier Transform Infra Red* (FTIR). Barium M-Heksaferit terbentuk melalui proses kopresipitasi yang terdiri dari proses inklusi, oklusi dan absorpsi. Untuk mengetahui jenis ikatan molecular yang terbentuk pada material penyerap radar yang telah berhasil disintesis dapat dilakukan karakterisasi FTIR. Hasil analisis Barium M-Heksaferit yang didoping Cu dan Zn dengan $x = 0,8$ dapat diamati pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Pola penyerapan FTIR Barium M-Heksaferit $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$

Umumnya FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi pada suatu senyawa, terutama senyawa organik. Setiap serapan pada bilangan gelombang tertentu menggambarkan adanya suatu gugus fungsi spesifik dari senyawa tersebut. Hasil analisa FTIR biasanya berupa grafik hubungan intensitas IR terhadap bilangan gelombang. Untuk identifikasi, hasil grafik serapan sample akan dibandingkan dengan grafik bilangan gelombang standard (Tabel 4.4). Pada data Tabel 4.4 merupakan data bilangan gelombang hasil uji FTIR sampel untuk semua nilai konsentrasi x sebagai konsentrasi ion doping ion Cu^{2+} dan Zn^{2+} yang tersubstitusi ke dalam struktur Barium M-Heksaferit, untuk menjelaskan apakah fase Barium M-Heksaferit sudah terbentuk ion doping berhasil menyusup dan menggantikan kation Fe^{3+} .

Tabel 4.4 Daftar spektroskopi FTIR Barium M-Heksaferit dibandingkan dengan data referensi

Bilangan gelombang Barium M-Heksaferit yang terbentuk cm^{-1}					Bilangan gelombang referensi cm^{-1}	Jenis ikatan senyawa
A	B	C	D	E		
395,42	437,86	435,93	393,49	381,92	440	Fe-O Stretching
439,78			437,86	428,21		
547,8	584,45	584,45	584,45	580,59	585	Fe-O Stretching
588,31						
859	893,07	893,07	895	893,07	895	Ba-O Stretching
	935,51	933,58		935,51		
1018,45	1089,82	1087,89	1062,81	1080,17	± 1100	Fe-O-Fe Stretching
1089,82	1166,97	1172,76		1184,33		
1433,16	1410,01	1535,39	1535,39	1635,69	± 1500	Fe-O-Fe Stretching
1631,83	1649,19	1631,83				
2848,96	2852,81	2856,67	-	-	± 2900	
2914,54	2924,18	2924,18				
3410,26	3400,62	3425,69	-	3429,55	± 3400	

Kanagesan et al. (2010), Ting (2010)

Menurut Kanagesan et al. (2010), untuk mengkonfirmasi adanya ikatan molekular pada Barium M-Heksaferit ditunjukkan dengan terjadinya vibrasi metal oxide yang umumnya terjadi pada panjang gelombang yang ditunjukkan pada Tabel

4.4. Serapan pada bilangan gelombang 440 cm^{-1} dan 585 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi ikatan atom oksigen dengan ion logam (Fe) masing masing adalah Fe-O (Fe-O₄) *bending* dan Fe-O (Fe-O₄) *stretching* yang mengkonfirmasi adanya pembentukan heksaferit. Selain itu, kehadiran dari Ba-O *stretching* dapat dikonfirmasi dengan adanya puncak vibrasi pada bilangan gelombang 895 cm^{-1} . Dengan adanya vibrasi *bending* maupun *stretching* Fe-O (Fe-O₄) dan vibrasi Ba-O *stretching* dalam hasil FTIR tersebut menunjukkan bahwa Barium Heksaferit telah terbentuk.

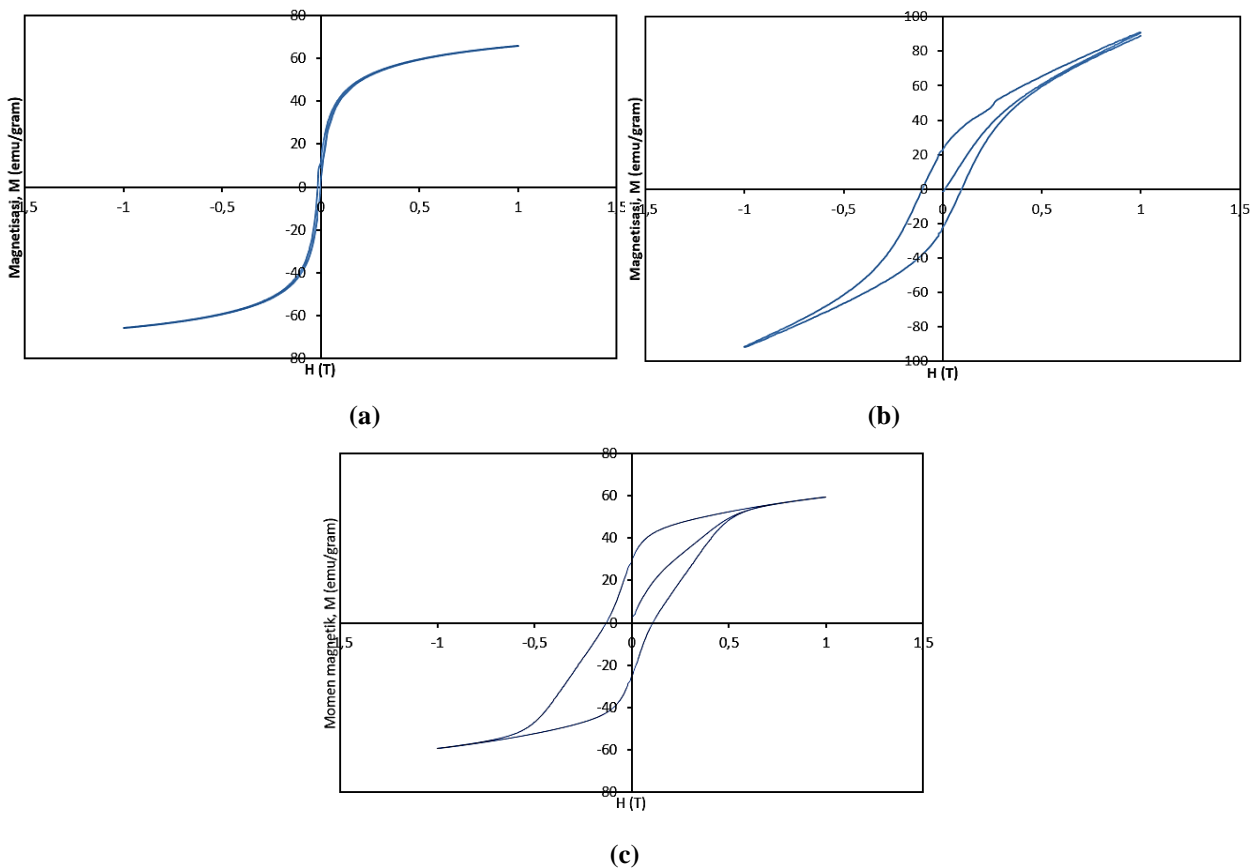
Pada Gambar 4.4 karakteristik penyerapan getaran dapat dibagi menjadi tiga kelompok bilangan gelombang, yaitu $V_1 < 850\text{ cm}^{-1}$, $V_2 = 850 - 1000\text{ cm}^{-1}$ dan $V_3 > 1000\text{ cm}^{-1}$. Pada umumnya, ada dua pita absorpsi pada panjang gelombang di range $400\text{ cm}^{-1} - 700\text{ cm}^{-1}$ yang terkait dengan Fe-O *stretching* pada posisi oktahedral dan tetrahedral. Dalam penelitian ini dapat diamati pada Gambar 4.3, posisi oktahedral dan tetrahedral terdapat pada puncak panjang gelombang $437,86\text{ cm}^{-1}$ dan $584,45\text{ cm}^{-1}$. Pernyataan tersebut sesuai dengan Ting (2010) bahwa karakteristik getaran pada puncak panjang gelombang sekitar 450 cm^{-1} dan 570 cm^{-1} adalah karakteristik pada ikatan Fe-O yang merupakan karakteristik dari Barium Ferit. Karakteristik lain dari Barium Ferit adalah puncak panjang gelombang sekitar 895 cm^{-1} , pada puncak tersebut merupakan Ba-O *stretching*.

Sedangkan untuk mengetahui terjadinya substitusi ion doping Cu dan Zn dapat ditinjau dengan karakteristik getaran pada logam-oksigen-logam *stretching* (Fe-O-Fe), spektrum tersebut berada pada puncak panjang gelombang di sekitar $1100\text{ cm}^{-1} - 1500\text{ cm}^{-1}$. Hal tersebut dapat teramati bahwa terdapat puncak panjang gelombang $1065,81\text{ cm}^{-1}$ dan $1535,39\text{ cm}^{-1}$. Perubahan bilangan gelombang tersebut bisa dikarenakan akibat munculnya ion doping yang menyusup ke dalam struktur Barium M-Heksaferit. Selain itu untuk puncak-puncak yang sering muncul dalam struktur Barium M-Heksaferit adalah puncak dengan panjang gelombang sekitar 3400 cm^{-1} yang merupakan molekul air yang terabsorpsi dan puncak panjang gelombang sekitar 2900 cm^{-1} yang berhubungan dengan dioksida di atmosfer. Namun dalam hasil penelitian ini tidak ditemukan puncak panjang gelombang baik di sekitar 2900 cm^{-1} maupun 3400 cm^{-1} . Sehingga sampel tersebut dapat dikatakan

100% terbentuk fasa Barium M-Heksaferit yang telah berhasil didoping oleh Cu dan Zn dengan $x = 0,8$.

4.5 Karakterisasi Sifat Kemagnetan $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$

Sifat kemagnetan Barium M-Heksaferit dapat diketahui dengan melakukan pengukuran kurva histereris dengan peralatan *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM). Besarnya sifat magnet bahan dapat diketahui melalui kurva histeresis berikut pada Gambar 4.8. Pada kurva tersebut dapat diketahui besarnya magnetisasi remanen (M_r) dan Koersivitas (H_c). Gambar 4.8 menunjukkan kurva histeresis sampel uji dengan $x = 0,2$; $0,6$; $0,8$. Dapat dilihat bahwa kurva memiliki lebar yang semakin besar.



Gambar 4.8 Kurva Histeresis Barium M-Heksaferit doping Cu dan Zn ($\text{BaFe}_{12-x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$) pada (a) $x = 0,2$ (b) $x = 0,6$ dan (c) $x = 0,8$

Material Barium M-Heksaferit secara teoritis memiliki magnetisasi saturasi (M_s) sebesar 72 emu/g. Medan Koersivitas (H_c) sebesar 6700 Oe (Zainuri, 2010). Sehingga Barium M-Heksaferit bersifat *hard magnetic* karena menghasilkan

koersivitas yang tinggi. Menurut Ozguri (2009), besarnya nilai medan koersivitas dari Barium M-Heksaferit diakibatkan oleh sifat anisotropik kristalin yang dimilikinya. Selain itu, harga medan koersivitas sangat besar juga dikarenakan jika ukuran partikel hanya memiliki 1 domain. hal tersebut akan mengakibatkan semakin sulit menghilangkan medan induksinya ($B=0$) sampai arah domainnya menjadi random. Domain adalah daerah pada kristal dimana semua momen magnet hanya memiliki 1 arah. Dan bahan magnetik ini mudah dimagnetisasi di sumbu c. Oleh karena itu, perlu dilakukan substitusi ion untuk mengurangi sifat koersifitasnya dan medan anisotropi yang dimiliki oleh Barium M-Heksaferit.

Substitusi ion terjadi apabila terdapat perpindahan atom yang memiliki ukuran relatif sama atau lebih kecil 15% dari atom induknya. Artinya terdapat kekosongan (*vacancy*) yang menyebabkan atom akan berpindah atau melakukan substitusi dalam proses difusi. Ada kemungkinan yang dapat terjadi pada difusi substitusi, yaitu perpindahan atom itu sendiri menuju *vacancy* atau perpindahan *vacancy* menggantikan atom yang pindah. Ion Cu^{2+} bersifat paramagnetik karena memiliki 1 elektron yang tidak berpasangan dan umumnya paramagnetik memiliki momen magnetik yang rendah mendekati 0. sedangkan ion Zn^{2+} bersifat diamagnetik, karena semua elektronnya berpasangan dan momen magnetik $0 \mu_B$. Kedua ion tersebut memiliki dimensi jari-jari ion yang hampir sama yaitu sekitar 0,079 nm, sangat memungkinkan terjadi difusi substitusi ion Fe^{3+} , sehingga diharapkan dapat mengakibatkan momen magnetik total Barium M-Heksagonal menurun.

Dalam menentukan sifat magnetik berdasarkan kurva histerisis, ada besaran-besaran yang penting yang harus diperhatikan diantaranya magnetik saturasi (M_s), medan koersivitas (H_c) dan magnetik remanensi (M_r). Nilai magnetisasi saturasi (magnetisasi jenuh) adalah kemampuan partikel nano untuk mempertahankan kesearahan domain-domain magnetiknya ketika berada pada medan magnet luar. Sedangkan magnetik remanensi adalah remanensi magnet yang tersisa (belum searah medan) didalam bahan setelah medan magnet luar ditiadakan. Pada Gambar 4.8 menunjukkan kurva histerisis yang memiliki perbedaan yang sangat signifikan. Secara garis besar, mengindikasikan perubahan

sifat kemagnetan dari sampel Barium M-Heksaferit $\text{BaFe}_{19}\text{O}_{19}$ yang bersifat *hard magnetik* menjadi $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ bersifat *soft magnetik*.

Kurva histerisis (a) merupakan hasil uji dari sampel $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ dengan $x = 0,2$. Pada kurva histerisis $x = 0,2$ memiliki nilai koersifitas mendekati nol dengan magnetik remanensi yang juga kecil. Pada sampel $x = 0,2$ memiliki fase sekunder berupa Hematit (Fe_3O_4). Menurut Jacob (2010), Hematit cenderung bersifat ferromagnetik lemah. Sifat tersebut memiliki perilaku seperti bahan ferromagnetik lain pada umumnya, namun nilai magnetisasi remanensinya sangat kecil. Pada saat medan magnet eksternal diaplikasikan maka momen-momen magnetik akan terpolarisasi searah dengan medan magnet tersebut. Semakin banyak arah orientasi momen dipol magnetiknya, maka semakin banyak energi polarisasinya. Sehingga akan semakin tinggi nilai magnetisasi saturasinya.

Kurva histerisis (b) merupakan hasil uji dari sampel $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ dengan $x = 0,6$. Pada sampel $x = 0,2$ memiliki fase sekunder berupa Franklinit ($\text{Cu}_{0,4}\text{Fe}_2\text{O}_4\text{Zn}_{0,6}$). Franklinit muncul disebabkan karena, selain ion doping Cu^{2+} dan Zn^{2+} menggantikan posisi Fe^{3+} pada posisi tetrahedral Barium M-Heksaferit, juga menggantikan posisi Fe^{3+} pada posisi tetrahedral Hematit. Franklinit cenderung bersifat paramagnetik, atau bisa dikatakan bersifat ferromagnetik lemah. Karena ia akan bersifat magnetik ketika terdapat medan magnet disekitarnya. Saat medan magnet luar hilang, maka sifat magnetik nya juga hilang. Sehingga nilai magnetisasi saturasinya cukup tinggi mendekati bahan ferromagnetik, terlebih terdapat fase ketiga yaitu hematit. Dan ciri khas kurva histerisis bahan ini adalah condong miring ke kanan sebagai ciri khas bahan paramagnetik. Sedangkan kurva histerisis (c) merupakan sampel yang memiliki fase tunggal yaitu Barium M-Heksaferit yang telah didoping ion Cu^{2+} dan Zn^{2+} . Hal tersebut mengakibatkan kurva histerisis sampel ini, nilai magnetik saturasi (M_s), medan koersivitas (H_c) dan magnetik remanensi (M_r) lebih tinggi dibandingkan sampel yang lain. Namun terlepas dari $x = 0,2$ dan $0,6$, jika dibandingkan dengan referensi yang memiliki fasa tunggal dan dihasilkan dari metode *milling* dalam sintesis Barium M-Heksaferit, maka dapat dilihat perbandingannya pada Tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5 Perbandingan hasil uji sifat magnetik Barium M-Heksaferit dengan referensi

Perlakuan	Referensi (Tanpa Doping)		Sampel				
	Coercivity (T)	$\frac{Mr}{Ms}$	x	Coercivity (T)	Mr (emu/g)	Ms (emu/g)	$\frac{Mr}{Ms}$
Kalsinasi 1000°C	4,800	0,47					
Milling 2 jam	1,900	0,15	0,2	0,0205	12,9	65,70	0,19
			0,6	0,0995	22,1	88,90	0,25
			0,8	0,1310	29,6	59,50	0,49

Referensi: Kaynar, 2015

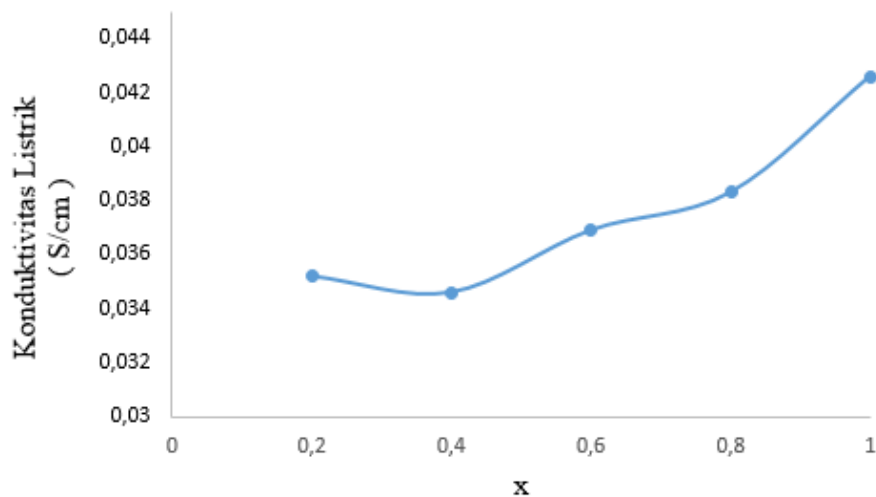
Pada Tabel 4.5 terlihat bahwa terjadi penurunan nilai medan koersivitas sampel terhadap referensi, hal tersebut disebabkan oleh kehadirannya ion dopan berupa Cu^{2+} dan Zn^{2+} . Artinya sifat kemagnetan bahan ini telah menurun (menjadi *soft magnetic*). Pada saat Barium M-Heksaferit diberi medan magnet luar (H), maka magnetisasi (M) akan meningkat sampai magnetisasi jenuh. Dalam hal ini adalah magnetisasi saturasi (Ms). Menurunnya medan magnet dari luar maka menyebabkan sifat magnetisasi bahan menurun. Jika medan magnet luar dihilangkan (H=0), maka tetap ada magnetisasi tersisa yaitu magnetisasi remanensi (Mr). Untuk menjadikan medan magnetnya bernilai nol maka diperlukan medan magnet untuk membalikan posisi arah momen dipol atau yang dinamakan medan koersivitas (Hc). Medan koersivitas adalah yang membedakan antara *soft magnetic* dan *hard magnetic*. Semakin besar medan koersivitasnya maka semakin keras sifat kemagnetannya, sehingga semakin sulit untuk dimagnetisasi dan didemagnetisasi. Tinggi koersivitas mengakibatkan sifat anisotropik material semakin meningkat, sehingga sifat absorpsinya menjadi semakin lemah. Sehingga sampel yang disubstitusi oleh ion dopan telah menurunkan sifat anisotropik dan meningkatkan sifat absorpsinya. Dengan nilai medan koersivitas yang kecil seperti pada sampel x = 0,2 ; 0,6 dan 0,8 maka tidak membutuhkan medan magnet yang lebih besar untuk mengembalikan arah momen dipol pada domain.

Untuk masing-masing x bila diamati, kenaikan nilai konsentrasi x mengakibatkan nilai medan koersivitas (Hc) nya meningkat juga. Maka bahan *soft magnetic* ini memiliki sifat magnetik yang semakin meningkat seiring penambahan konsentrasi ion dopan. Bila ditinjau kembali pada persentase fasa yang diperoleh, kenaikan konsentrasi ion dopan memiliki peningkatan persentase fasa Barium M-Heksaferit yang terbentuk dan penurunan persentase fasa Hematit. Sehingga

penurunan persentase fasa Hematit memungkinkan dapat mengakibatkan terjadinya kenaikan nilai medan koersivitas (H_c).

4.6 Karakterisasi Sifat Kelistrikan ($BaFe_{12-x}Cu_xZn_xO_{19}$)

Konduktivitas listrik adalah ukuran dari kemampuan suatu material dalam menghantarkan arus listrik. Pada saat beda potensial ditempatkan pada ujung-ujung sebuah material konduktor, maka muatan-muatan bergerak menghasilkan arus listrik. Dalam pengujian konduktivitas listrik dapat diperoleh melalui perhitungan data berupa nilai resistansi material uji. Pengukuran konduktivitas listrik material dengan menggunakan *Four Point Probe* harus melakukan preparasi sampel dalam bentuk pelet. Grafik hasil pengukuran konduktivitas listrik Barium M-Heksaferit $BaFe_{12-2x}Cu_xZn_xO_{19}$ untuk $x = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1$ dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.7 Grafik Konduktivitas terhadap Peningkatan Komposisi Ion Dopan Sampel Barium M-Heksaferit $BaFe_{12-2x}Cu_xZn_xO_{19}$

Pada Gambar 4.7 diperoleh peningkatan nilai konduktivitas listrik material saat nilai konsentrasi ion dopan meningkat. Hal ini dikarenakan semakin besar konsentrasi ion dopan memiliki nilai kemagnetan yang semakin tinggi. Dari Hasil pengukuran pada Tabel 4.5, diperoleh penurunan nilai resistansi Barium M-Heksaferit $BaFe_{12-2x}Cu_xZn_xO_{19}$. Sehingga nilai konduktivitas listrik akan semakin meningkat. Berdasarkan persamaan konduktivitas listrik, Barium M-Heksaferit memiliki nilai konduktivitas listrik berkisar antara 0,0352 - 0,0426 S/cm.

Tabel 4.5 Konduktivitas Listrik Barium M-Heksaferit ($BaFe_{12-2x}Cu_xZn_xO_{19}$)

BaFe_{12-2x}Cu_xZn_xO₁₉	Ketebalan (cm)	Tegangan (V)	Kuat Arus (mA)	Resistansi (Ω cm)	Konduktivitas (S cm⁻¹)
X = 0,2	0.15	1,29	30,9	28,39	0,0352
X = 0,4	0.15	1,33	31,3	28,89	0,0346
X = 0,6	0.15	1,39	34,9	27,09	0,0369
X = 0,8	0.15	1,41	36,7	26,13	0,0383
X = 1	0.15	1,42	41,1	23,49	0,0426

Menurut Macdiarmit (2001), bahan semikonduktor memiliki rentang nilai konduktivitas listrik antara $10^{-7} - 10^2$ S/cm. Maka berdasarkan nilai konduktivitas listriknya, material Barium M-Heksaferit BaFe_{12-2x}Cu_xZn_xO₁₉ merupakan bahan semikonduktor. Konduktivitas listrik dengan nilai tersebut adalah relatif kecil dibandingkan bahan konduktor yang memiliki nilai konduktivitas listrik $\sim 10^2$. Hal tersebut mengindikasikan bahwa kemampuan Barium M-Heksaferit BaFe_{12-2x}Cu_xZn_xO₁₉ dalam menghantarkan listrik sangat lemah. Pada Tabel 4.5, Seiring pertambahan nilai x (konsentrasi ion doping) memiliki konduktivitas listrik yang semakin meningkat. Peningkatan arus tersebut dikarenakan, pemanjangan kisi c pada Barium M-heksaferit BaFe_{12-2x}Cu_xZn_xO₁₉ akibat pertambahan vakansi oleh penambahan konsentrasi x ion doping. Sehingga menjadikan elektron bebas semakin meningkat. Selain itu, Menurut Omar (2007), pada bahan semikonduktor, Peningkatan konduktivitas dikarenakan tereksitasi elektron pada pita valensi ke pita konduksi. Elektron pada pita konduksi bebas bergerak dibawah pengaruh medan listrik sehingga semakin banyak elektron tereksitasi ke pita konduksi yang akan menyebabkan arus akan meningkat dengan demikian konduktivitas listriknya juga meningkat.

Menurut Data (2000), Bahan semikonduktor memiliki kemampuan yang baik dalam al penyerapan gelombang elektromagnetik. Hal tersebut dikarenakan gelombang dikenakan pada material semikonduktor, maka akan terbentuk medan listrik yang kemudian dikonversikan menjadi panas. Selain serapan magnetik dapat dilakukan oleh material RAM, namun juga dapat dilakukan melalui serapan listriknya. Menurut Gama (2010), pada serapan magnetik dapat dilakukan dengan menurunkan medan koersivitas material terkaid dengan permeabilitas μ , sedangkan serapan listrik dapat dilakukan dengan sifat dielektrik material terkait dengan

permitivitas ϵ . Permitivitas ϵ dan permeabilitas μ adalah parameter fisik mendasar yang menggambarkan sifat elektromagnetik untuk menentukan perilaku hamburan gelombang elektromagnetik. Permitivitas dinyatakan sebagai kemampuan material untuk polarisasi, hal tersebut terkait pada hilangnya medan listrik karena medan listrik mampu mempengaruhi material, artinya seberapa mudahnya material untuk terpolarisasi, yaitu polarisasi dipol listrik pada frekuensi gelombang mikro. Sehingga material mampu menyimpan energinya dan diubah menjadi panas. Hal tersebut dapat dilakukan oleh material dielektrik, yaitu sejenis bahan isolator yang dapat dikutubkan (polarisasi) dengan cara menempatkannya di medan listrik. Sehingga semakin kecil nilai konduktivitas listrik, maka memiliki serapan yang lebih baik. Hal tersebut dapat dilihat pada $x = 0,2$ yang memiliki nilai konduktivitas listrik lebih kecil dari x lainnya, hal tersebut didukung oleh kurva histerisisnya yang memiliki medan koersivitas lebih kecil.

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Sintesis Barium M-Heksaferit $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ dengan metode solid state mempunyai konsentrasi yang tinggi pada substitusi $x = 0,8$ hingga mencapai 100% hasil *milling* selama 2 jam dan kalsinasi selama 5 jam pada $T = 1000^\circ\text{C}$. Sedangkan untuk konsentrasi x lainnya diperoleh fasa sekunder berupa Hematit dan Franklinit. Penambahan ion dopan Cu^{2+} dan Zn^{2+} untuk mensubstitusi kation Fe^{3+} berhasil dilakukan ditandai dengan pemanjangan sumbu c sehingga dalam sintesis Barium M-Heksaferit tidak mengubah struktur dasar kristal (heksagonal).
2. Barium M-Heksaferit $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ bersifat *soft magnetic* berdasarkan kurva histeresis diperoleh nilai koersifitas (H_c) berkisar antara 0,0205 – 1,31 Tesla dan perbandingan magnetisasi remanensi terhadap magnetisasi saturasi berkisar antara 0,18 - 0,48.
3. Barium M-Heksaferit $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ merupakan bahan semikonduktor, memiliki kemampuan menghantarkan listrik lemah karena memiliki konduktivitas listrik dengan nilai 0,0352 - 0,0426 S/cm.
4. Sintesis Barium M-Heksaferit $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ dengan metode solid state mempunyai rata-rata orde partikel 69,866 nm.

5.2 Saran

Sebagai bahan pertimbangan untuk memperoleh hasil yang lebih baik maka perlu dilakukan untuk peneliti berikutnya:

1. Penambahan variabel waktu *milling* dalam metode solid state dan temperatur kalsinasi untuk meningkatkan komposisi Barium M-Heksaferit $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ dan sifat magnetiknya.

2. Pengamatan dimensi dan geometri partikel menggunakan TEM (*Transmission Electron Microscopy*) agar lebih presisi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmeda, Okashab, Kershi. (2008). "Review: Karakterisasi Nanomaterial", Jurnal Nanosains & Nanoteknologi. Vol. 2.
- Albanese, G. (1997). "Recent Advances in Hexagonal Ferrites by The Use of Nuclear Spectroscopic Methods". *Journal de Physique*. Vol 38 Hal C1-85.
- Amalia, Lita. (2014). "Pelapisan Double Layer dengan Metode Dallenbach Menggunakan Polianilin dan BaM sebagai RAM". Laporan Tesis Jurusan Fisika. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Catherine, F.Smura., Dinah, R. Parker., Mohamed, Zbiri., Mark, R. Johnson., Zoltan, A. Gal., Simon, J. Clarke. (2011). "High-Spin Cobalt (II) Ion in Square Planar Coordination: Structures and Magnetism of The Oxysulfides $Sr_2CoO_2Cu_2S_2$ and $Ba_2CoO_2Cu_2S_2$ and Their Solid Solution", *Journal of The American Chemical Society*. Vol. 133, 2691-2705.
- Ghasemi, A., Hossienpour, A., Saatchi, A., dan Salehi, M. (2006). *Electromagnetic Properties and Microwave Absorbing Characteristics of Doped Barium Hexaferrite*. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. Vol. 302. Hal 429-435.
- Ferreira, Fabio Furlan. Granado, Eduardo. Carvalho Jr, Wilson. Kycia, Stefan W. Bruno, Daniele. Droppa Jr, Roosevelt. (2005). "X-Ray Powder Diffraction Beamline at D10B of LNL: Application to the Ba_2FeReO_6 Double Perovskite", *Journal of Synchrotron Radiation*. Vol. 13.
- Halliday, D., Resnick R., Walker, J. (1989). "Fundamental of Physics". John Wiley & Sons INC. Canada.
- Holl, C.M., Smyth, J.R., Laustsen, H.M.S., Jacobsen, S.D., Downs, R.T. (2000). "Compression of Witherite to 8 GPa and The Crystal Structure of $BaCO_3$ II Sample: $P = 7.2$ GPa", *Physics And Chemistry of Minerals*. Vol. 27, 467-473.
- Jacob, John. M. Abdul Khadar. (2010). "VSM and Mossbauer Study of Nanostructured Hematite". *Magnetism and Magnetic Materials*. Vol 322. pp 614-621.
- Jiang, J., Ai, Lung-Hong., Qin Da-Bin., Liu, H. and Li Liang-Chao. (2009). *Preparation and Characterization of Electromagnetic Functionalized Polyaniline/ $BaFe_{12}O_{19}$ Composites*". *Synthetic Metal*. Vol. 159. Hal. 695-699.

- Jorgensen, J.E., Mosegaard, L., Thomsen, L.E., Jensen, T.R., Hanson, J.C. (2007). "Formation of Gamma Fe_2O_3 Nanoparticles and Vacancy Ordering An In Situ X-Ray Powder Diffraction Study", *Journal of Solid State Chemistry*. Vol. 180, 180-185.
- Khadka, Prakash., Ro, Jieun., Kim, Hyeongmin., Kim, Eksoo., Kim, Jeong Tae., Kim, Hyunil., Cho, Jae Min., Yun, Gyiae dan Lee, Jaehwi. (2014). *Pharmaceutical Particle Technologies: An Approach to Improve Drug Solubility, Dissolution and Bioavailability*. *Asian Journal of Pharmaceutical Science*. Vol 1. Hal 5.
- Kitaisev, Alexander A., Zhumabayeva Gulnur N., dan Koledintseva Marina Y., (2007). "Method of Measuring Permittivity of Composite Materials with Hexagonal Ferrite Inclusions". *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*. 1-244-1350-8.
- Knot, E.F., Shaeffer, John F and Tulley, Michael T. (2005). "Radar Cross Section". *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*. 43. 1339.
- Kraus, J.D. dan Fleisch, D.A.. (1990). "Electromagnetic with Application, 5th Edition. Mc. Graw Hill. Newyork.
- Ma, R.T., Zhao, H.T. dan Zhang, G. (2010). *Preparation, Characterization and Microwave Absorption Properties of Polyaniline/Co_{0,5}Zn_{0,5}Fe₂O₄ Nanocomposite*. *Materials Research Bulletin*. Vol. 45, pp. 1064-1068.
- Macdiamit, A.G. (2001). "Nobel Lecture: Synthetic Metals. A Novel Role for Organic Polymer". *Review of Modern Physics*. Vol. 73. Hal 701-712.
- Moulson A.J. and J.M. Herbert. (1985). "Electroceramics: Materials, Properties and Applications". Chapman and Hall. London-New York.
- Nuraini, Umi. (2015). "Pelapisan Multilayer dengan Menggunakan Polianilin dan Hematit sebagai Radar Absorbing Material (RAM)". Tesis Jurusan Fisika. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Noly, K., Ariza. (2012). "Sintesis dan Karakterisasi Sifat Magnetik Serbuk Barium M-Heksaferit dengan doping ion Zn pada Varisi Temperatur Rendah". Laporan Tugas Akhir Jurusan Fisika. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Obradors, X. Collomb, A. Pernet, M. Samaras, D. (1985). "X-Ray Analysis of The Structural and Dynamic Properties of BaFe₁₂O₁₉ Hexagonal Ferrite at Room Temperature", *Journal of Solid State Chemistry*. Vol. 56, 171-181.
- O'Handley, R.C. (2000). "Modern Magnetic Materials: Principles and Applications". John Willey and Sons, Inc. New York, USA.

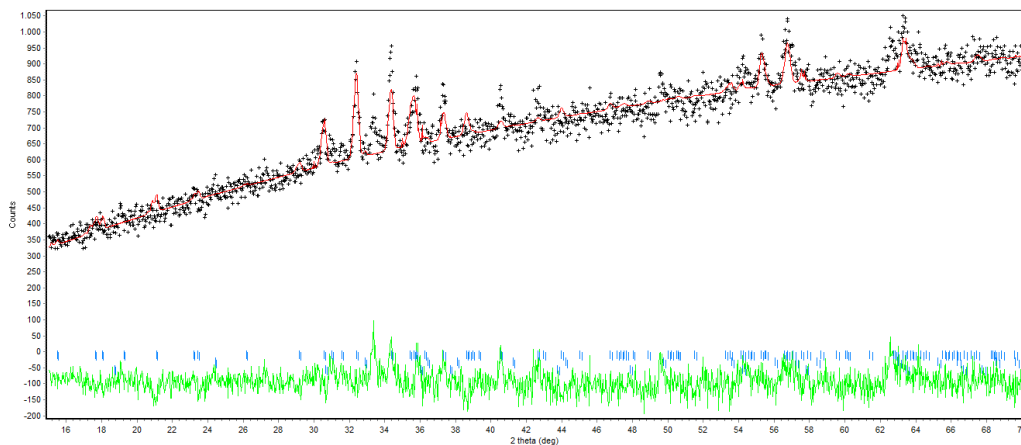
- Ozguri et al. (2009). “*Microwave Ferrites, Part 1: Fundamental Properties*”. *Journal of Material Science: Material in Electronic*.
- Pullar, R.C., (2012). “*Hexagonal Ferrites: A Review of the Synthesis, Properties and Applications of Hexaferrite Ceramics*”. *Progress in Materials Science*. Vol. 57. Hal. 1191-1334.
- Rahanam, M.N. (2003). *Ceramic Processing and Sintering, 2nd Edition*. Marcel Dekker. New York.
- Ristiani, Deril. (2016). “*Desain Double Layer Radar Absorbing Materials dengan Metode Dallenbach Layer Berbasis Bahan Magnetik Alam Tanah Laut dan Polianilin*”. Tugas Akhir Jurusan Fisika. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Rosler, S., Wartewig, P., Lngbein, H. (2003). “*Synthesis and Characterization of Hexagonal Ferrite $BaFe_{12-2x}Zn_xTi_xO_{19}$ ($0 \leq x \leq 2$) by Thermal Decomposition of Freeze-Dried Precursor*”, *Cryst. Res. Technol*, Vol. 38, 927-934.
- Saragih H., Arifin P., Barmawi M. (2005). “*Anisotropi Magnetik Film Tipis $TiO_2:Co$ yang Ditumbuhkan dengan Teknik MOCVD*”, *Jurnal Matematika dan Sains*. Vol 20, 107-111.
- Smith and Wijn. (1996). “*Physical Properties of Ferrimagnetic Oxides in Relation to Their Technical Application*”. *Phillips Research*. Netherland.
- Sozeri Z.H. Mehmedi, H. Erdemi, A. Baykal, U. Topal, B. Aktas. (2015). “*Microwave Properties of $BaFe_{11}Mg_{0.25}X_{0.25}Ti_{0.5}O_{19}$ ($X=Cu, Mn, Zn, Ni$ and Co) Nanoparticle in 0-26.5 GHz Range*”, *Journal of Ceramic International*. Turkey
- Tarihoran D., Manaf A. (2002). “*Studi Efek Bentuk Butiran Ukuran Bervariasi Terhadap Sifat Kemagnetan Magnet Permanen*”, *Kontribusi Fisika Indonesia*. Vol. 13.
- Warson, J.K. (1980). “*Application of Magnets*”. Willey Intersciences. New York.
- Wyckoff, R.W.G. (1963). “*Hexagonal Closest Packed HCP Structure Second Edition Interscience, Crystal Structures*”. New York Publisher. New York.
- Zainuri M. (2010). “*Laporan Akhir Studi Absorpsi Elektromagnetik pada M-Heksaferrit untuk Aplikasi Anti Radar*”. Ristek. ITS Surabaya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN 1

Hasil *Rietveld* dengan Software *Rietica*

BaFe_{11,6}Cu_{0,2}Zn_{0,2}O₁₉



MOLAR PERCENTAGE OF PHASES:		WEIGHT PERCENTAGE OF PHASES:	
PHASE 1:	45.97 13.60	89.72	6.25
PHASE 2:	53.66 33.28	8.95	4.92
PHASE 3:	0.37 0.22	1.33	0.70

```

+-----+
| Hist | Rp | Rwp | Rexp | Durbin Unwght | Durbin Wght | N-P |
+-----+
| 1 | 3.88 | 5.38 | 5.62 | 1.254 | 1.222 | 1626 |
+-----+
| SUMYDIF | SUMYOBS | SUMYCALC | SUMWYOBSQ | GOF | CONDITION |
+-----+
| 0.4468E+05 | 0.1150E+07 | 0.1150E+07 | 0.5149E+06 | 0.9183E+00 | 0.9851E+18 |
+-----+

```

```

+-----+
| Phase: 1 (Barium M-Heksaferit) |
+-----+
PHASE SCALE FACTOR = 0.185110E-05-.246214E-080.677014E-07
OVERALL TEMP. FACTOR = 0.000000 0.000000 0.000000
CELL PARAMETERS = 5.891286 -0.000332 0.001745
                  5.891285 -0.000332 0.001745
                  23.244238 -0.000446 0.008574
                  90.000008 0.000000 0.000000
                  90.000008 0.000000 0.000000
                  120.000015 0.000000 0.000002
RECIPROCAL CELL = 0.196 0.196 0.043 90.000 90.000 60.000
CELL VOLUME = 698.660278 0.389976
SCALE * VOLUME = 0.001293 0.000047
MOLECULAR WEIGHT = 3736.192
DENSITY = 8.876
DERIVED BRAGG R-FACTOR= 3.56

```

```

+-----+
| Phase: 2 (Hematite) |
+-----+
PHASE SCALE FACTOR = 0.165301E-050.434324E-060.903045E-06
OVERALL TEMP. FACTOR = 0.000000 0.000000 0.000000
CELL PARAMETERS = 4.965485 0.000806 0.002006
                  4.965485 0.000806 0.002006
                  14.254686 0.002474 0.010082
                  90.000008 0.000000 0.000000

```

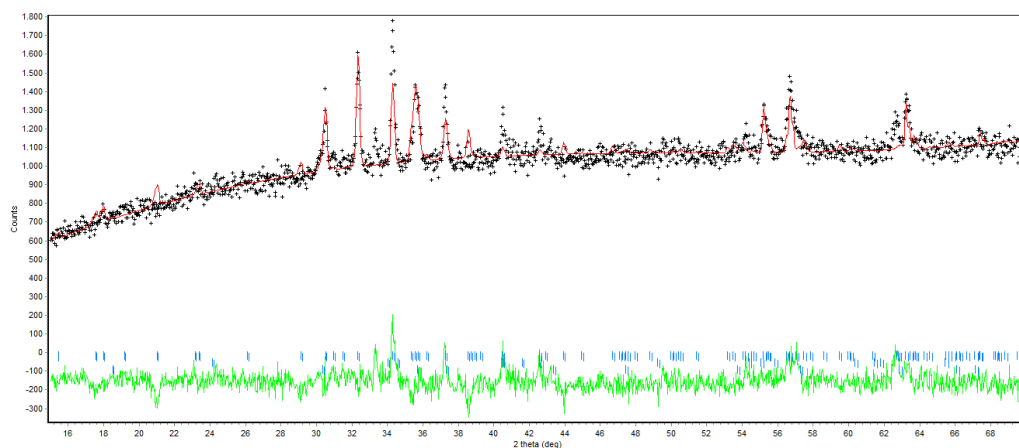
		90.000008	0.000000	0.000000			
		120.000015	0.000008	0.000000			
RECIPROCAL CELL	=	0.233	0.233	0.070	90.000	90.000	60.000
CELL VOLUME	=	304.376770	0.276753				
SCALE * VOLUME	=	0.000503	0.000275				
MOLECULAR WEIGHT	=	958.193					
DENSITY	=	5.225					
DERIVED BRAGG R-FACTOR=		1.63					

```

+-----+
|           Phase: 3 (Franklinite)           |
+-----+
PHASE SCALE FACTOR = 0.364484E-07-.183416E-080.191858E-07
OVERALL TEMP. FACTOR = 0.000000 0.000000 0.000000
CELL PARAMETERS =
      8.314208 -0.000565 0.001278
      8.314208 -0.000565 0.001278
      8.314208 -0.000565 0.001278
      90.000008 0.000000 0.000000
      90.000008 0.000000 0.000000
      90.000008 0.000000 0.000000
RECIPROCAL CELL = 0.120 0.120 0.120 90.000 90.000 90.000
CELL VOLUME = 574.728394 0.152965
SCALE * VOLUME = 0.000021 0.000011
MOLECULAR WEIGHT = 3406.889
DENSITY = 9.839
DERIVED BRAGG R-FACTOR= 3.37

```

BaFe_{11,2}Cu_{0,4}Zn_{0,4}O₁₉



MOLAR PERCENTAGE OF PHASES:			WEIGHT PERCENTAGE OF PHASES:		
PHASE 1:	66.80	45.35	89.12	7.72	
PHASE 2:	30.15	70.83	3.44	7.74	
PHASE 3:	3.06	2.12	7.44	1.27	

Hist	Rp	Rwp	Rexp	Durbin Unwght	Durbin Wght	N-P
1	3.61	5.05	3.55	0.982	1.040	1626
SUMYDIF	SUMYOBS	SUMYCALC	SUMWYOBSQ	GOF	CONDITION	
0.6035E+05	0.1673E+07	0.1673E+07	0.1292E+07	0.2025E+01	0.3651E+18	

Phase: 1 (Barium M-Heksaferit)						
PHASE SCALE FACTOR	=	0.309858E-050	0.110624E-080	0.862443E-07		
OVERALL TEMP. FACTOR	=	0.000000	0.000000	0.000000		
CELL PARAMETERS	=	5.893507	0.000133	0.001682		
		5.893507	0.000133	0.001682		
		23.237295	0.000349	0.007940		
		90.000008	0.000000	0.000000		
		90.000008	0.000000	0.000000		
		120.000015	0.000000	0.000000		
RECIPROCAL CELL	=	0.196	0.196	0.043	90.000	90.000 60.000
CELL VOLUME	=	698.978516	0.369611			
SCALE * VOLUME	=	0.002166	0.000060			
MOLECULAR WEIGHT	=	3736.192				
DENSITY	=	8.872				
DERIVED BRAGG R-FACTOR	=	4.93				

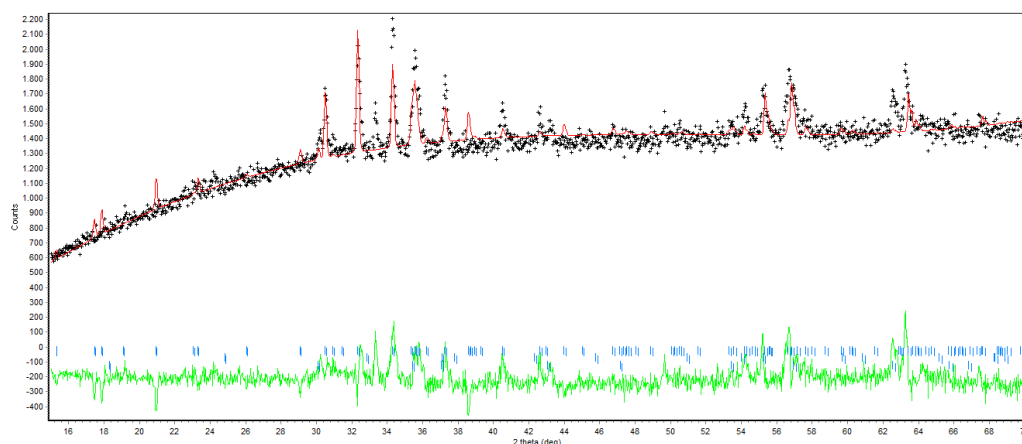
Phase: 2 (Hematite)						
PHASE SCALE FACTOR	=	0.106414E-050	0.101497E-050	0.239333E-05		
OVERALL TEMP. FACTOR	=	0.000000	0.000000	0.000000		
CELL PARAMETERS	=	5.205110	-0.003734	0.083084		
		5.205110	-0.003735	0.083084		
		13.050876	-0.024829	0.253503		
		90.000008	0.000000	0.000000		
		90.000008	0.000000	0.000000		
		120.000015	0.000000	0.000162		

RECIPROCAL CELL = 0.222 0.222 0.077 90.000 90.000 60.000
 CELL VOLUME = 306.217499 9.119254
 SCALE * VOLUME = 0.000326 0.000733
 MOLECULAR WEIGHT = 958.193
 DENSITY = 5.194
 DERIVED BRAGG R-FACTOR= 1.63

+-----+
 | Phase: 3 (Franklinite) |
 +-----+

PHASE SCALE FACTOR = 0.335301E-06-.198573E-070.502265E-07
 OVERALL TEMP. FACTOR = 0.000000 0.000000 0.000000
 CELL PARAMETERS = 8.392670 0.015841 0.012079
 8.392670 0.015841 0.012079
 8.392670 0.015841 0.012079
 90.000008 0.000000 0.000000
 90.000008 0.000000 0.000000
 90.000008 0.000000 0.000000
 RECIPROCAL CELL = 0.119 0.119 0.119 90.000 90.000 90.000
 CELL VOLUME = 591.153687 1.473607
 SCALE * VOLUME = 0.000198 0.000030
 MOLECULAR WEIGHT = 3406.889
 DENSITY = 9.566
 DERIVED BRAGG R-FACTOR= 1.90

BaFe_{10,8}Cu_{0,6}Zn_{0,6}O₁₉



MOLAR PERCENTAGE OF PHASES:		WEIGHT PERCENTAGE OF PHASES:	
PHASE 1:	81.41 29.06	91.28	4.41
PHASE 2:	15.03 35.95	1.44	3.41
PHASE 3:	3.56 1.32	7.28	0.79

Hist	Rp	Rwp	Rexp	Durbin Unwght	Durbin Wght	N-P
1	3.84	5.42	2.84	0.633	0.674	1632
SUMYDIF	SUMYOBS	SUMYCALC	SUMWYOBSQ	GOF	CONDITION	
0.8308E+05	0.2162E+07	0.2162E+07	0.2018E+07	0.2981E+01	0.7085E+18	

```

+-----+
|                               |
|           Phase: 1 (Barium M-Heksaferit)           |
|-----+-----+
PHASE SCALE FACTOR = 0.333203E-05-.185023E-070.824397E-07
OVERALL TEMP. FACTOR = 0.000000 0.000000 0.000000
CELL PARAMETERS = 5.864387 0.003815 0.001638
                  5.864388 0.003816 0.001638
                  23.128439 0.008097 0.007100
                  90.000008 0.000000 0.000000
                  90.000008 0.000000 0.000000
                  120.000015 0.000000 0.000000
RECIPROCAL CELL = 0.197 0.197 0.043 90.000 90.000 60.000
CELL VOLUME = 688.846069 0.344594
SCALE * VOLUME = 0.002295 0.000057
MOLECULAR WEIGHT = 3736.192
DENSITY = 9.002
DERIVED BRAGG R-FACTOR= 3.84

```

```

+-----+
|                               |
|           Phase: 2 (Hematite)           |
|-----+-----+
PHASE SCALE FACTOR = 0.565189E-060.303786E-060.133401E-05
OVERALL TEMP. FACTOR = 0.000000 0.000000 0.000000
CELL PARAMETERS = 4.163507 -0.590227 0.312321
                  4.163507 -0.590227 0.312321
                  16.649191 2.119484 1.858027
                  90.000008 0.000000 0.000000
                  90.000008 0.000000 0.000000

```

```

      120.000008  -0.000008   0.001407
RECIPROCAL CELL   = 0.277   0.277   0.060  90.000  90.000  60.000
CELL VOLUME      = 249.943726 38.485191
SCALE * VOLUME   =   0.000141  0.000334
MOLECULAR WEIGHT  =   958.193
DENSITY          =     6.363
DERIVED BRAGG R-FACTOR=     1.95

```

```

+-----+
|           Phase: 3 (Franklinite)           |
+-----+

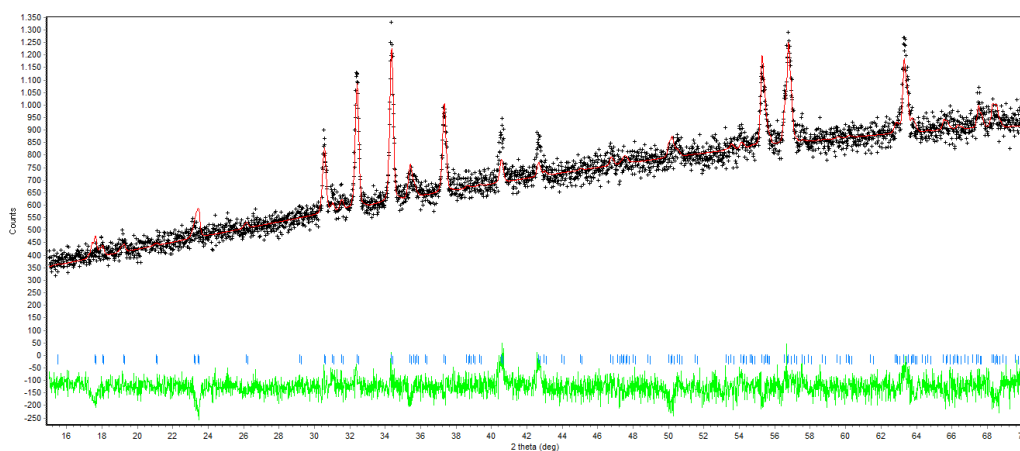
```

```

PHASE SCALE FACTOR = 0.341472E-060.166215E-060.344667E-07
OVERALL TEMP. FACTOR = 0.000000 0.000000 0.000000
CELL PARAMETERS    =   8.377064  -0.017039  0.004936
                   =   8.377064  -0.017039  0.004936
                   =   8.377064  -0.017039  0.004936
                   =  90.000008   0.000000   0.000000
                   =  90.000008   0.000000   0.000000
                   =  90.000008   0.000000   0.000000
RECIPROCAL CELL   = 0.119   0.119   0.119  90.000  90.000  90.000
CELL VOLUME      = 587.862122  0.600002
SCALE * VOLUME   =   0.000201  0.000020
MOLECULAR WEIGHT  =   3406.889
DENSITY          =     9.619
DERIVED BRAGG R-FACTOR=     3.06

```


BaFe_{10,4}Cu_{0,8}Zn_{0,8}O₁₉



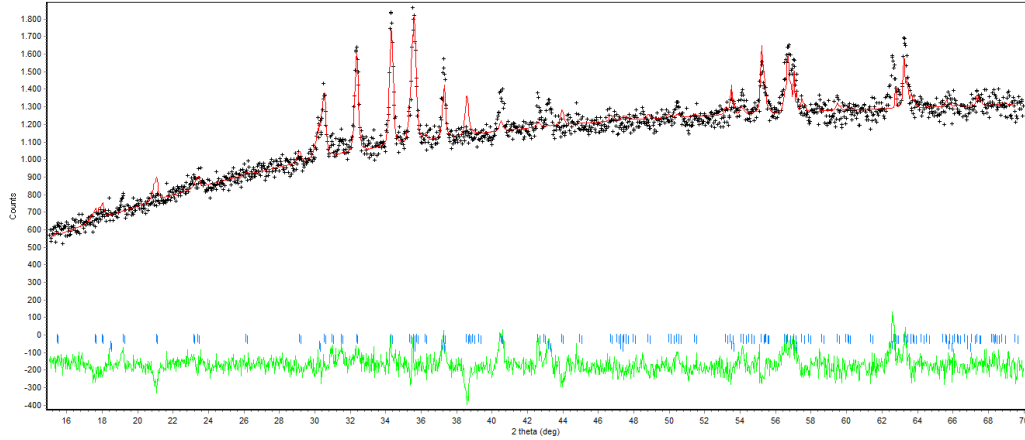
Hist	Rp	Rwp	Rexp	Durbin Unwght	Durbin Wght	N-P
1	3.51	4.56	3.74	1.453	1.465	3276
SUMYDIF	SUMYOBS	SUMYCALC	SUMWYOBSQ	GOF	CONDITION	
0.8226E+05	0.2341E+07	0.2336E+07	0.2341E+07	0.1489E+01	0.1060E+19	

```

+-----+
|           Phase: 1 (Barium M-Heksaferit)           |
+-----+
PHASE SCALE FACTOR      = 0.100690E-050.168176E-090.315454E-07
OVERALL TEMP. FACTOR   = 0.000000 0.000000 0.000000
CELL PARAMETERS        =    5.889231  -0.000007  0.000688
                        =    5.889230  -0.000008  0.000688
                        =   23.216942  -0.000038  0.003480
                        =    90.000008   0.000000  0.000000
                        =    90.000008   0.000000  0.000000
                        =   120.000015   0.000000  0.000002
RECIPROCAL CELL        = 0.196  0.196  0.043  90.000  90.000  60.000
CELL VOLUME            = 697.353027  0.155503
SCALE * VOLUME        = 0.000702  0.000022
MOLECULAR WEIGHT       = 4464.232
DENSITY                = 10.626
DERIVED BRAGG R-FACTOR= 3.14

```

BaFe₁₀CuZnO₁₉



MOLAR PERCENTAGE OF PHASES: WEIGHT PERCENTAGE OF PHASES:

PHASE 1:	98.21	3.03	96.79	2.99
PHASE 2:	1.79	0.26	3.21	0.47

Hist	Rp	Rwp	Rexp	Durbin Unwght	Durbin Wght	N-P
1	3.26	4.59	3.35	0.913	1.006	1627
SUMYDIF	SUMYOBS	SUMYCALC	SUMWYOBSSQ	GOF	CONDITION	
0.6056E+05	0.1860E+07	0.1860E+07	0.1453E+07	0.1883E+01	0.4494E+18	

```

+-----+
|           Phase: 1 (Barium M-Heksaferit)           |
+-----+
PHASE SCALE FACTOR = 0.419187E-05-0.384735E-080.920817E-07
OVERALL TEMP. FACTOR = 0.000000 0.000000 0.000000
CELL PARAMETERS = 5.894321 -0.000141 0.000403
                  5.894321 -0.000141 0.000403
                  23.246843 -0.000280 0.001497
                  90.000008 0.000000 0.000000
                  90.000008 0.000000 0.000000
                  120.000015 0.000008 0.000001
RECIPROCAL CELL = 0.196 0.196 0.043 90.000 90.000 60.000
CELL VOLUME = 699.458740 0.081294
SCALE * VOLUME = 0.002932 0.000064
MOLECULAR WEIGHT = 3736.192
DENSITY = 8.866
DERIVED BRAGG R-FACTOR= 4.09

```

```

+-----+
|           Phase: 2 (Franklinite)           |
+-----+
PHASE SCALE FACTOR = 0.176335E-060.791313E-090.257041E-07
OVERALL TEMP. FACTOR = 0.000000 0.000000 0.000000
CELL PARAMETERS = 8.458124 -0.000382 0.000920
                  8.458124 -0.000382 0.000920
                  8.458124 -0.000382 0.000920
                  90.000008 0.000000 0.000000
                  90.000008 0.000000 0.000000
                  90.000008 0.000000 0.000000
RECIPROCAL CELL = 0.118 0.118 0.118 90.000 90.000 90.000
CELL VOLUME = 605.093079 0.114051

```

SCALE * VOLUME	=	0.000107	0.000016
MOLECULAR WEIGHT	=	3406.889	
DENSITY	=	9.345	
DERIVED BRAGG R-FACTOR=		3.87	

LAMPIRAN 2
Data Referensi File ICSD

Barium M-Heksaferit

```
#-----  
# $Date: 2015-01-27 21:58:39 +0200 (Tue, 27 Jan 2015) $  
# $Revision: 130149 $  
# $URL: svn://www.crystallography.net/cod/cif/1/00/88/1008841.cif $  
#-----  
#  
# This file is available in the Crystallography Open Database (COD),  
# http://www.crystallography.net/  
#  
# All data on this site have been placed in the public domain by the  
# contributors.  
#  
data_1008841  
loop_  
_publ_author_name  
'Obradors, X'  
'Collomb, A'  
'Pernet, M'  
'Samaras, D'  
'Joubert, J C'  
_publ_section_title  
;  
X-ray analysis of the structural and dynamic properties of Ba Fe12 O19  
hexagonal ferrite at room temperature  
;  
_journal_codен_ASTM            JSSCBI  
_journal_name_full            'Journal of Solid State Chemistry'  
_journal_page_first           171  
_journal_page_last            181  
_journal_paper_doi            10.1016/0022-4596(85)90054-4  
_journal_volume               56  
_journal_year                 1985  
_chemical_formula_structural   'Ba Fe12 O19'  
_chemical_formula_sum         'Ba Fe12 O19'  
_chemical_name_systematic     'Barium dodecairon(III) oxide'  
_space_group_IT_number        194  
_symmetry_cell_setting        hexagonal  
_symmetry_Int_Tables_number   194  
_symmetry_space_group_name_Hall '-P 6c 2c'  
_symmetry_space_group_name_H-M 'P 63/m m c'
```

_cell_angle_alpha	90
_cell_angle_beta	90
_cell_angle_gamma	120
_cell_formula_units_Z	2
_cell_length_a	5.8920(1)
_cell_length_b	5.8920(1)
_cell_length_c	23.183(1)
_cell_volume	697.0
_refine_ls_R_factor_all	0.016
_cod_database_code	1008841

loop_

_symmetry_equiv_pos_as_xyz

x,y,z

-y,x-y,z

y-x,-x,z

-y,-x,z

y-x,y,z

x,x-y,z

-x,-y,-z

y,y-x,-z

x-y,x,-z

y,x,-z

x-y,-y,-z

-x,y-x,-z

-x,-y,1/2+z

y,y-x,1/2+z

x-y,x,1/2+z

y,x,1/2+z

x-y,-y,1/2+z

-x,y-x,1/2+z

x,y,1/2-z

-y,x-y,1/2-z

y-x,-x,1/2-z

-y,-x,1/2-z

y-x,y,1/2-z

x,x-y,1/2-z

loop_

_atom_site_label

_atom_site_type_symbol

_atom_site_symmetry_multiplicity

_atom_site_Wyckoff_symbol

_atom_site_fract_x

_atom_site_fract_y

_atom_site_fract_z

_atom_site_occupancy

```

_atom_site_attached_hydrogens
_atom_site_calc_flag
Ba1 Ba2+ 2 d 0.6667 0.3333 0.25 1. 0 d
Fe1 Fe3+ 2 a 0. 0. 0. 1. 0 d
Fe2 Fe3+ 4 e 0. 0. 0.25733(4) 0.5 0 d
Fe3 Fe3+ 4 f 0.3333 0.6667 0.02713(2) 1. 0 d
Fe4 Fe3+ 4 f 0.3333 0.6667 0.19030(2) 1. 0 d
Fe5 Fe3+ 12 k 0.16868 0.33735(7) -0.10825(1) 1. 0 d
O1 O2- 4 e 0. 0. 0.15094(13) 1. 0 d
O2 O2- 4 f 0.3333 0.6667 -0.05454(12) 1. 0 d
O3 O2- 6 h 0.18213 0.36426(47) 0.25 1. 0 d
O4 O2- 12 k 0.15647 0.31294(35) 0.05192(8) 1. 0 d
O5 O2- 12 k 0.5026 0.00520(34) 0.14957(8) 1. 0 d
loop_
_atom_type_symbol
_atom_type_oxidation_number
Ba2+ 2.000
Fe3+ 3.000
O2- -2.000

```

Hematite

```
#-----  
#$Date: 2017-10-13 08:28:26 +0300 (Fri, 13 Oct 2017) $  
#$Revision: 201972 $  
#$URL: file:///home/coder/svn-repositories/cod/cif/2/10/11/2101168.cif $  
#-----  
#  
# This file is available in the Crystallography Open Database (COD),  
# http://www.crystallography.net/. The original data for this entry  
# were provided by IUCr Journals, http://journals.iucr.org/.  
#  
# The file may be used within the scientific community so long as  
# proper attribution is given to the journal article from which the  
# data were obtained.  
#  
data_2101168  
loop_  
_publ_author_name  
'Maslen, E. N.'  
'Streltsov, V. A.'  
'Streltsova, N. R.'  
'Ishizawa, N.'  
_publ_section_title  
;  
Synchrotron X-ray study of the electron density in  $\alpha$ -Fe2O3  
;  
_journal_issue 4  
_journal_name_full 'Acta Crystallographica Section B'  
_journal_page_first 435  
_journal_page_last 441  
_journal_paper_doi 10.1107/S0108768194002284  
_journal_volume 50  
_journal_year 1994  
_chemical_formula_sum 'Fe2 O3'  
_chemical_formula_weight 159.7  
_symmetry_cell_setting hexagonal  
_symmetry_space_group_name_Hall '-R 3 2" c'  
_symmetry_space_group_name_H-M 'R -3 c :H'  
_cell_angle_alpha 90  
_cell_angle_beta 90  
_cell_angle_gamma 120  
_cell_formula_units_Z 6  
_cell_length_a 5.0355(5)  
_cell_length_b 5.0355(5)  
_cell_length_c 13.7471(7)
```


_cell_volume 301.88(7)
_diffn_radiation_type synchrotron
_diffn_radiation_wavelength 0.7000(2)
_exptl_absorpt_coefficient_mu 13.68
_exptl_crystal_density_diffn 5.270
_exptl_crystal_F_000 456
_cod_data_source_file as0661.cif
_cod_original_sg_symbol_H-M 'R -3 c {hexagonal axes}'
_cod_database_code 2101168
loop_
_atom_site_label
_atom_site_fract_x
_atom_site_fract_y
_atom_site_fract_z
Fe .0 .0 .355280(10)
O .69397(10) .0 .25
loop_
_cod_related_entry_id
_cod_related_entry_database
_cod_related_entry_code
1 ChemSpider 14147

Franklinite

```
#-----  
#Date: 2016-02-16 14:49:47 +0200 (Tue, 16 Feb 2016) $  
#Revision: 176465 $  
#URL: svn://www.crystallography.net/cod/cif/9/01/24/9012443.cif $  
#-----  
#  
# This file is available in the Crystallography Open Database (COD),  
# http://www.crystallography.net/. The original data for this entry  
# were provided the American Mineralogist Crystal Structure Database,  
# http://rruff.geo.arizona.edu/AMS/amcsd.php  
#  
# The file may be used within the scientific community so long as  
# proper attribution is given to the journal article from which the  
# data were obtained.  
#  
data_9012443  
loop_  
_publ_author_name  
'Verwey, E. J. W.'  
'Heilmann, E. L.'  
_publ_section_title  
;  
Physical properties and cation arrangement of oxides with spinel structures  
Locality: synthetic  
;  
_journal_name_full      'Journal of Chemical Physics'  
_journal_page_first     174  
_journal_page_last      180  
_journal_paper_doi      10.1063/1.1746464  
_journal_volume         15  
_journal_year           1947  
_chemical_formula_sum   'Cu0.4 Fe2 O4 Zn0.6'  
_chemical_name_mineral  Franklinite  
_space_group_IT_number  227  
_symmetry_space_group_name_Hall 'F 4d 2 3 -1d'  
_symmetry_space_group_name_H-M  'F d -3 m :1'  
_cell_angle_alpha       90  
_cell_angle_beta        90  
_cell_angle_gamma       90  
_cell_length_a           8.402  
_cell_length_b           8.402  
_cell_length_c           8.402  
_cell_volume             593.127  
_exptl_crystal_density_diffn  5.383  
_cod_original_cell_volume  593.128  
_cod_original_sg_symbol_H-M  'F d 3 m'  
_cod_original_formula_sum  'Zn.6 Fe2 Cu.4 O4'
```

_cod_database_code 9012443

loop_

_symmetry_equiv_pos_as_xyz

x,y,z

x,1/2+y,1/2+z

1/2+x,y,1/2+z

1/2+x,1/2+y,z

3/4+z,3/4-x,1/4+y

3/4+z,1/4-x,3/4+y

1/4+z,3/4-x,3/4+y

1/4+z,1/4-x,1/4+y

-y,1/2+z,1/2-x

-y,+z,-x

1/2-y,1/2+z,-x

1/2-y,+z,1/2-x

3/4+x,3/4-y,1/4+z

3/4+x,1/4-y,3/4+z

1/4+x,3/4-y,3/4+z

1/4+x,1/4-y,1/4+z

-z,1/2+x,1/2-y

-z,+x,-y

1/2-z,1/2+x,-y

1/2-z,+x,1/2-y

3/4+y,3/4-z,1/4+x

3/4+y,1/4-z,3/4+x

1/4+y,3/4-z,3/4+x

1/4+y,1/4-z,1/4+x

-x,1/2+y,1/2-z

-x,+y,-z

1/2-x,1/2+y,-z

1/2-x,+y,1/2-z

1/2+x,-z,1/2-y

1/2+x,1/2-z,-y

+x,-z,-y

+x,1/2-z,1/2-y

3/4-z,3/4+y,1/4+x

3/4-z,1/4+y,3/4+x

1/4-z,3/4+y,3/4+x

1/4-z,1/4+y,1/4+x

1/2+y,-x,1/2-z

1/2+y,1/2-x,-z

+y,-x,-z

+y,1/2-x,1/2-z

3/4-x,3/4+z,1/4+y

3/4-x,1/4+z,3/4+y

1/4-x,3/4+z,3/4+y

1/4-x,1/4+z,1/4+y

1/2+z,-y,1/2-x

$1/2+z, 1/2-y, -x$
 $+z, -y, -x$
 $+z, 1/2-y, 1/2-x$
 $3/4-y, 3/4+x, 1/4+z$
 $3/4-y, 1/4+x, 3/4+z$
 $1/4-y, 3/4+x, 3/4+z$
 $1/4-y, 1/4+x, 1/4+z$
 $x, 1/2+z, 1/2+y$
 $x, +z, +y$
 $1/2+x, 1/2+z, +y$
 $1/2+x, +z, 1/2+y$
 $1/4-z, 3/4-y, 3/4-x$
 $1/4-z, 1/4-y, 1/4-x$
 $3/4-z, 3/4-y, 1/4-x$
 $3/4-z, 1/4-y, 3/4-x$
 $y, 1/2+x, 1/2+z$
 $y, +x, +z$
 $1/2+y, 1/2+x, +z$
 $1/2+y, +x, 1/2+z$
 $1/4-x, 3/4-z, 3/4-y$
 $1/4-x, 1/4-z, 1/4-y$
 $3/4-x, 3/4-z, 1/4-y$
 $3/4-x, 1/4-z, 3/4-y$
 $z, 1/2+y, 1/2+x$
 $z, +y, +x$
 $1/2+z, 1/2+y, +x$
 $1/2+z, +y, 1/2+x$
 $1/4-y, 3/4-x, 3/4-z$
 $1/4-y, 1/4-x, 1/4-z$
 $3/4-y, 3/4-x, 1/4-z$
 $3/4-y, 1/4-x, 3/4-z$
 $3/4+z, 1/4+x, 3/4-y$
 $3/4+z, 3/4+x, 1/4-y$
 $1/4+z, 1/4+x, 1/4-y$
 $1/4+z, 3/4+x, 3/4-y$
 $-y, 1/2-z, 1/2+x$
 $-y, -z, +x$
 $1/2-y, 1/2-z, +x$
 $1/2-y, -z, 1/2+x$
 $3/4+x, 1/4+y, 3/4-z$
 $3/4+x, 3/4+y, 1/4-z$
 $1/4+x, 1/4+y, 1/4-z$
 $1/4+x, 3/4+y, 3/4-z$
 $-z, 1/2-x, 1/2+y$
 $-z, -x, +y$
 $1/2-z, 1/2-x, +y$
 $1/2-z, -x, 1/2+y$
 $3/4+y, 1/4+z, 3/4-x$

$3/4+y, 3/4+z, 1/4-x$
 $1/4+y, 1/4+z, 1/4-x$
 $1/4+y, 3/4+z, 3/4-x$
 $-x, 1/2-y, 1/2+z$
 $-x, -y, +z$
 $1/2-x, 1/2-y, +z$
 $1/2-x, -y, 1/2+z$
 $1/4-z, 3/4+x, 3/4+y$
 $1/4-z, 1/4+x, 1/4+y$
 $3/4-z, 3/4+x, 1/4+y$
 $3/4-z, 1/4+x, 3/4+y$
 $y, -z, -x$
 $y, 1/2-z, 1/2-x$
 $1/2+y, -z, 1/2-x$
 $1/2+y, 1/2-z, -x$
 $1/4-x, 3/4+y, 3/4+z$
 $1/4-x, 1/4+y, 1/4+z$
 $3/4-x, 3/4+y, 1/4+z$
 $3/4-x, 1/4+y, 3/4+z$
 $z, -x, -y$
 $z, 1/2-x, 1/2-y$
 $1/2+z, -x, 1/2-y$
 $1/2+z, 1/2-x, -y$
 $1/4-y, 3/4+z, 3/4+x$
 $1/4-y, 1/4+z, 1/4+x$
 $3/4-y, 3/4+z, 1/4+x$
 $3/4-y, 1/4+z, 3/4+x$
 $x, -y, -z$
 $x, 1/2-y, 1/2-z$
 $1/2+x, -y, 1/2-z$
 $1/2+x, 1/2-y, -z$
 $1/2-x, 1/2+z, -y$
 $1/2-x, +z, 1/2-y$
 $-x, 1/2+z, 1/2-y$
 $-x, +z, -y$
 $1/4+z, 3/4-y, 3/4+x$
 $1/4+z, 1/4-y, 1/4+x$
 $3/4+z, 3/4-y, 1/4+x$
 $3/4+z, 1/4-y, 3/4+x$
 $1/2-y, 1/2+x, -z$
 $1/2-y, +x, 1/2-z$
 $-y, 1/2+x, 1/2-z$
 $-y, +x, -z$
 $1/4+x, 3/4-z, 3/4+y$
 $1/4+x, 1/4-z, 1/4+y$
 $3/4+x, 3/4-z, 1/4+y$
 $3/4+x, 1/4-z, 3/4+y$
 $1/2-z, 1/2+y, -x$

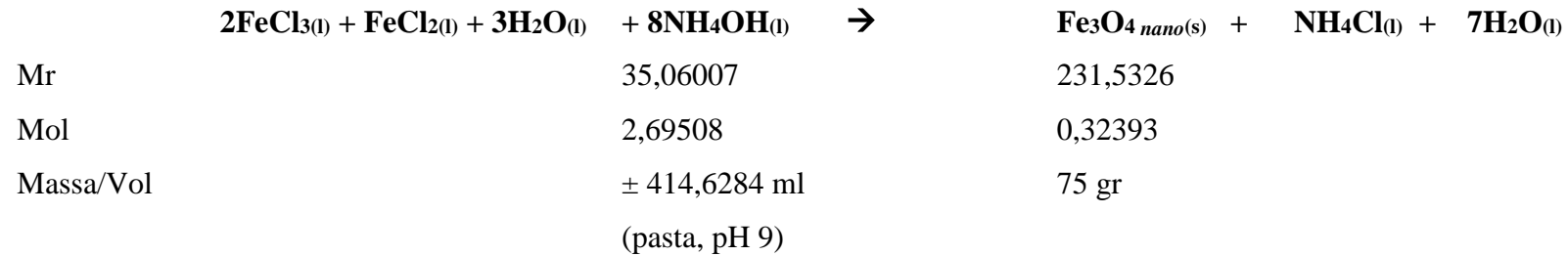
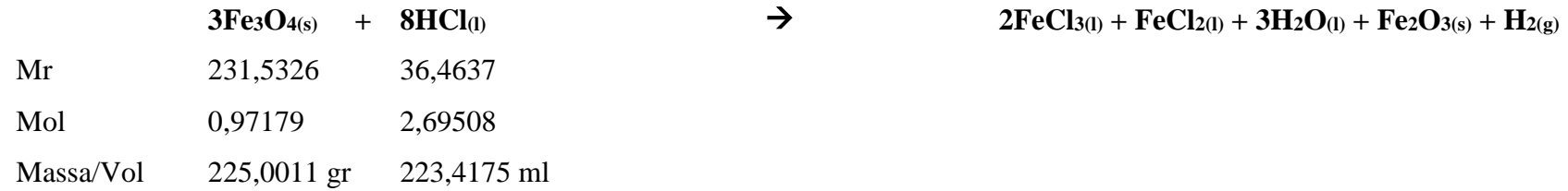
$1/2-z,+y,1/2-x$
 $-z,1/2+y,1/2-x$
 $-z,+y,-x$
 $1/4+y,3/4-x,3/4+z$
 $1/4+y,1/4-x,1/4+z$
 $3/4+y,3/4-x,1/4+z$
 $3/4+y,1/4-x,3/4+z$
 $-x,-z,y$
 $-x,1/2-z,1/2+y$
 $1/2-x,-z,1/2+y$
 $1/2-x,1/2-z,y$
 $3/4+z,3/4+y,1/4-x$
 $3/4+z,1/4+y,3/4-x$
 $1/4+z,3/4+y,3/4-x$
 $1/4+z,1/4+y,1/4-x$
 $-y,-x,z$
 $-y,1/2-x,1/2+z$
 $1/2-y,-x,1/2+z$
 $1/2-y,1/2-x,z$
 $3/4+x,3/4+z,1/4-y$
 $3/4+x,1/4+z,3/4-y$
 $1/4+x,3/4+z,3/4-y$
 $1/4+x,1/4+z,1/4-y$
 $-z,-y,x$
 $-z,1/2-y,1/2+x$
 $1/2-z,-y,1/2+x$
 $1/2-z,1/2-y,x$
 $3/4+y,3/4+x,1/4-z$
 $3/4+y,1/4+x,3/4-z$
 $1/4+y,3/4+x,3/4-z$
 $1/4+y,1/4+x,1/4-z$
 $1/4-z,1/4-x,1/4-y$
 $1/4-z,3/4-x,3/4-y$
 $3/4-z,1/4-x,3/4-y$
 $3/4-z,3/4-x,1/4-y$
 y,z,x
 $y,1/2+z,1/2+x$
 $1/2+y,z,1/2+x$
 $1/2+y,1/2+z,x$
 $1/4-x,1/4-y,1/4-z$
 $1/4-x,3/4-y,3/4-z$
 $3/4-x,1/4-y,3/4-z$
 $3/4-x,3/4-y,1/4-z$
 z,x,y
 $z,1/2+x,1/2+y$
 $1/2+z,x,1/2+y$
 $1/2+z,1/2+x,y$
 $1/4-y,1/4-z,1/4-x$

1/4-y,3/4-z,3/4-x
3/4-y,1/4-z,3/4-x
3/4-y,3/4-z,1/4-x
loop_
_atom_site_label
_atom_site_fract_x
_atom_site_fract_y
_atom_site_fract_z
_atom_site_occupancy
ZnA 0.00000 0.00000 0.00000 0.60000
FeA 0.00000 0.00000 0.00000 0.40000
CuB 0.62500 0.62500 0.62500 0.20000
FeB 0.62500 0.62500 0.62500 0.80000
O 0.38000 0.38000 0.38000 1.00000

LAMPIRAN 3**STOKIOMETRI SINTESIS $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$
 $X = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8$ dan 1**

Unsur	Ar (gr/mol)	Senyawa	Mr (gr/mol)	Molaritas
Ba	137,327	Fe_3O_4	231,5326	
Fe	55,845	HCl	36,4637	12,063
Cu	63,546	FeCl_3	162,201	
Zn	65,38	FeCl_2	126,748	
O	15,9994	NH_4OH	35,06007	6,5
Cl	35,453	Fe_2O_3	159,6882	
H	1,010794	BaCO_3	197,3359	
C	12,01	$\text{BaFe}_{11,6}\text{Cu}_{0,2}\text{Zn}_{0,2}\text{O}_{19}$	1114,9028	
N	14,0067	$\text{BaFe}_{11,2}\text{Cu}_{0,4}\text{Zn}_{0,4}\text{O}_{19}$	1118,023	
		$\text{BaFe}_{10,8}\text{Cu}_{0,6}\text{Zn}_{0,6}\text{O}_{19}$	1121,7972	
		$\text{BaFe}_{10,4}\text{Cu}_{0,8}\text{Zn}_{0,8}\text{O}_{19}$	1125,2444	
		$\text{BaFe}_{10}\text{CuZnO}_{19}$	1128,6916	

Sintesis Hematit dengan metode kopresipitasi:



Milling:

Massa bola zirkonia
3,3217 gr/bola
14 bola
= 46,5038 gr

PBR Teori

1:4
Massa bahan : Masa bola zirkonia
11,62595 : 46,5038

Untuk x = 0,2

	5,8 Fe₂O₃	+	BaCO₃	+	0,2 Cu	+	0,2 Zn	→	BaFe_{11,6}Cu_{0,2}Zn_{0,2}O₁₉	+	CO
Mr	159.6882		197,3359		63,546		65,38		1114,9028		
Mol	0,06243		0,01076		0,00215		0,00215		0,01076		
Massa/Vol	9,9688		2,1239		0,1368		0,1407		12 gr		

Untuk x = 0,4

	5,6 Fe₂O₃	+	BaCO₃	+	0,4 Cu	+	0,4 Zn	→	BaFe_{11,2}Cu_{0,4}Zn_{0,4}O₁₉	+	CO
Mr	159.6882		197,3359		63,546		65,38		1118,023		
Mol	0,06011		0,01073		0,00429		0,00429		0,01073		
Massa/Vol	9,5982		2,1181		0,2728		0,2807		12 gr		

Untuk x = 0,6

	5,4 Fe₂O₃	+	BaCO₃	+	0,6 Cu	+	0,6 Zn	→	BaFe_{10,8}Cu_{0,6}Zn_{0,6}O₁₉	+	CO
Mr	159.6882		197,3359		63,546		65,38		1121,7972		
Mol	0,05776		0,01069		0,00642		0,00642		0,01069		
Massa/Vol	9,2243		2,1109		0,4079		0,4196		12 gr		

Untuk $x = 0,8$

	5,2 Fe₂O₃	+	BaCO₃	+	0,8 Cu	+	0,8 Zn	→	BaFe_{10,4}Cu_{0,8}Zn_{0,8}O₁₉	+	CO
Mr	159.6882		197,3359		63,546		65,38		1125,2444		
Mol	0,05545		0,01066		0,00853		0,00853		0,01066		
Massa/Vol	8,8554		2,1045		0,5421		0,5578		12 gr		

Untuk $x = 1$

	5 Fe₂O₃	+	BaCO₃	+	Cu	+	Zn	→	BaFe₁₀CuZnO₁₉	+	CO
Mr	159.6882		197,3359		63,546		65,38		1128,6916		
Mol	0,05316		0,01063		0,01063		0,01063		0,01063		
Massa/Vol	8,4888		2,0981		0,6756		0,6951		12 gr		

BIOGRAFI PENULIS



Muktamar Cholifah Aisyah, Lahir di Lamongan, 24 Mei 1993, Anak ketiga dari pasangan Ahmad Sarijo Yusuf dan Sudarsih ini telah menempuh pendidikan TK Aisyah Bustanul Athfal Sukodadi-Lamongan pada tahun 1997, MIM 1 Sukodadi-Lamongan pada tahun 1999, MTsN Model Babat pada tahun 2005 dan MAN 1 Lamongan pada tahun 2008. Sejak kelas X, Penulis sangat tertarik dengan Fisika dan antusias mengikuti olimpiade Fisika hingga meraih beberapa kejuaraan. Penulis melanjutkan pendidikan di Universitas Brawijaya Malang (UB) pada tahun 2011 dan mengambil jurusan Fisika Bidang Material. Pada tahun 2015, penulis melanjutkan pendidikan pascasarjana di Institut Teknologi Surabaya (ITS) dengan jurusan yang linier. Di akhir tahun pendidikan dalam kesibukan melakukan penelitian Tesis ini, Penulis menikah dengan Arief Rahman asal Bandung pada 2 Desember 2017. Selama waktu senggang sejak tahun 2011, penulis mengisi waktu luang dengan mengajar privat dan asisten lab. Selepas pendidikan S2 ini, penulis berharap mampu menerapkan ilmu menjadi Dosen dan berkesempatan melanjutkan pendidikan di jenjang berikutnya. Kritik dan saran dapat dikirim ke email: ifaaisyah4@gmail.com.

