

**SINTESIS (Ba,Ca)Fe₁₂O₁₉ BERBAHAN DARI PASIR
BESI DAN BATU KAPUR MELALUI METODE
REAKSI ZAT PADAT UNTUK APLIKASI MAGNET
PERMANEN**

Skripsi

Disusun Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains



**ASLAM LOUIS
3225130899**

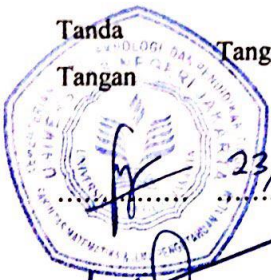









**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
2017**

PERSETUJUAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

SINTESIS (Ba,Cu)Fe₁₂O₁₉ BERBAHAN DARI PASIR BESI DAN BATU KAPUR MELALUI METODE REAKSI ZAT PADAT UNTUK APLIKASI MAGNET PERMANEN

Nama : Aslam Louis

No.Reg : 3225130899

	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Penanggung Jawab			
Dekan	: Prof. Dr. Suyono, M.Si NIP. 19671218 199303 1 005		23/8 2017
Wakil Penanggung Jawab			23/8 2017
Wakil Dekan I	: Dr. Muktiningsih, M.Si NIP. 19640511 198903 2 001		21/8 2017
Ketua	: Prof. Dr. Agus Setyo Budi, M.Sc NIP. 19630426 198803 1 002		21/8 2017
Sekretaris	: Dr. Esmar Budi, M.T NIP. 19720228 199903 1 002		19/8 2017
Anggota			18/8 2017
Pembimbing I	: Dr. Erfan Handoko, M.Si NIP. 19730201 200312 1 002		18/8 2017
Pembimbing II	: Dr. Mangasi Alion Marpaung, M.Si NIP. 19571123 198703 1 002		18/8 2017
Penguji Ahli	: Dr. Anggara Budi Susila, M.Si NIP. 19601001 199203 1 001		18/8 2017

Dinyatakan lulus ujian skripsi tanggal 15 Agustus 2017

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya yang bertandatangan tangan dibawah ini, Mahasiswa Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Jakarta:

Nama : Aslam Louis

No.Registrasi : 3225130899

Program Studi : Fisika

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "Sintesis (Ba,Ca)Fe₁₂O₁₉ Berbahan Dari Pasir Besi Dan Batu Kapur Melalui Metode Reaksi Zat Padat Untuk Aplikasi Magnet Permanen" adalah:

1. Dibuat dan diselesaikan oleh saya sendiri, berdasarkan data yang saya peroleh dari hasil penelitian pada bulan Maret 2017 sampai dengan Juli 2017.
2. Bukan merupakan duplikat skripsi yang pernah dibuat oleh orang lain atau jiplakan karya tulis orang lain atau bukan terjemahan karya tulis orang lain.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan saya bersedia menanggung segala akibat yang timbul jika pernyataan saya ini tidak benar.

Jakarta, 22 Agustus 2017



Aslam Louis

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah swt. berkat rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan perkuliahan dan penulisan skripsi yang berjudul “**Sintesis (Ba,Ca)Fe₁₂O₁₉ Berbahan dari Pasir Besi dan Batu Kapur Melalui Metode Reaksi Zat Padat Untuk Aplikasi Magnet Permanen**”. Penelitian yang ditulis dalam laporan ini tidak lepas dari pihak-pihak yang turut membantu baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Ibu Dr. Widyaningrum Indrasari, M.Si selaku ketua program studi Fisika FMIPA, UNJ.
2. Bapak Dr. Erfan Handoko, M.Si selaku Dosen Pembimbing I atas waktu, bimbingan dan saran yang membangun.
3. Bapak Dr. Mangasi Marpaung, M.Si selaku Dosen Pembimbing II atas waktu, bimbingan dan saran yang membangun.
4. Ayah dan Ibu atas dukungan, doa dan motivasinya.
5. Teman-teman Fisika 2013 yang selalu memberikan saran, bantuan, motivasi dan semangat bagi penulis.

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

Jakarta, 22 Agustus 2017

Penulis

ABSTRAK

Aslam Louis. Sintesis $(\text{Ba,Ca})\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ Berbahan Dari Pasir Besi Dan Batu Kapur Melalui Metode Reaksi Zat Padat Untuk Aplikasi Magnet Permanen. Skripsi. Jakarta: Prodi Fisika, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta, 2017.

Material $\text{Ba}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ ($x = 0 - 1$) telah berhasil disintesis melalui metode reaksi zat padat. Pada tahap pertama digunakan bahan berupa serbuk Fe_2O_3 (99.9 %), BaCO_3 (99 %) dan CaO (99 %) dilakukan proses pencampuran basah dengan *High Energy Ball Mill* selama 30 menit hingga diperoleh kondisi homogen. Pembentukan fasa magnet diperoleh dengan tahapan kalsinasi 750°C selama 1 jam dan optimal perlakuan panas pada 1100°C selama 5 jam terhadap padatan campuran serbuk. Analisis data difraksi sinar-x menunjukkan komposisi $x = 0 - 0.9$ didominasi fasa barium heksaferit. Sifat magnetik sesuai standar magnet ferit telah diperoleh dengan PERMAGRAPH. Tahap kedua digunakan Fe_2O_3 dari pasir besi dan CaO dari batu kapur. Hasil pengukuran sifat magnetik yang diperoleh sesuai standar magnet permanen. Hal ini menunjukkan bahwa material dari bahan alam dapat diaplikasikan sebagai magnet permanen.

Kata kunci: *Material $\text{Ba}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$, reaksi zat padat, magnet permanen, bahan alam*

ABSTRACT

Aslam Louis. Synthesis of $(\text{Ba,Ca})\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ From Iron Sand And Limestone Through Solid State Reaction Method For Permanent Magnet Application. Thesis.Jakarta: Prodi Physics, Faculty of Mathematics and Science, State University of Jakarta, 2017.

The material $\text{Ba}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ ($x = 0 - 1$) has been successfully synthesized through solid reaction method. In the first step, the material of Fe_2O_3 powder (99.9%), BaCO_3 (99%) and CaO (99%) was processed by wet mixing with High Energy Ball Mill for 30 minutes to obtain homogeneous condition. The formation of magnetic phase was obtained by calcination stage 750°C for 1 hour and optimum heat treatment at 1100°C for 5 hours against powder mixed solid. Analysis of x-ray diffraction data showed that the composition of $x = 0 - 0.9$ was dominated by barium hexaferrite phase. The magnetic properties of standard ferrite magnets have been obtained with PERMAGRAPH. The second stage is used Fe_2O_3 from iron sand and CaO from limestone. The result of measurement of magnetic properties obtained according to the standard of permanent magnet. This shows that the material of the natural material can be applied as a permanent magnet.

Keywords: *Materials $\text{Ba}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$, solids state reactions, permanent magnets, natural materials*

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PANITIA UJIAN SKRIPSI	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Pembatasan Masalah	3
1.4 Perumusan Masalah	4
1.5 Tujuan Penelitian	4
1.6 Manfaat Penelitian	4
BAB II KAJIAN TEORI.....	5
2.1 Barium Heksaferit	5
2.2 Magnet Permanen.....	6
2.3 Reaksi Zat Padat.....	6
2.4 Substitusi Ca Pada Barium Heksaferit $BaFe_{12}O_{19}$	11
2.5 Magnet Permanen.....	12
2.6 Klasifikasi Sifat Magnetik Material	12
2.7 PERMAGRAPH	15

2.8 Pasir Besi.....	17
2.9 Batu Kapur	18
2.10 Penelitian yang Relevan.....	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	22
3.1 Tujuan Penelitian	22
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	22
3.3 Metode Penelitian.....	22
3.4 Alat dan Bahan.....	22
3.5 Prosedur Penelitian.....	23
3.5.3 Preparasi Material Dengan Komposisi $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$	23
3.5.4 Proses Pembuatan Material Barium Hexaferrite $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ Dari Bahan Alam.....	24
3.5.5 Karakterisasi Sampel Menggunakan Difraksi Sinar – X	25
3.5.6 Karakterisasi Sifat Magnetik dengan alat PERMAGRAPH	27
3.6 Diagram Alir Penelitian	27
3.6.1 Material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ menggunakan bahan analisis.....	27
3.6.2 Material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ berbahan dari pasir besi dan batu kapur.....	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Hasil	31
4.1.1 Preparasi Fe_2O_3 dari pasir besi dan CaO dari batu kapur	31
4.1.2 Preparasi Material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ Bahan Analisis	32
4.1.3 Preparasi Material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ Bahan Alam	32
4.1.4 Hasil pengukuran difraksi sinar x material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ dari bahan analisis.....	32
4.1.5 Hasil Pengukuran Sifat Magnetik material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ bahan analisis.....	34

4.1.6 Hasil Pengukuran Sifat Magnetik material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ bahan alam	36
4.2 Pembahasan.....	38
4.2.1 Pengaruh unsur Ca terhadap fasa magnetik	38
4.2.2 Pengaruh unsur Ca terhadap sifat magnet	40
4.2.3 Efek penggunaan bahan alam pada material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$	42
BAB V PENUTUP.....	44
5.1 Kesimpulan	44
5.2 Saran.....	44
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN.....	48
Lampiran 1. Database puncak Barium Heksaferit dan Hematite (Fe_2O_3).....	48
Lampiran 2. Foto-foto penelitian	50
Lampiran 3. Data hasil pengukuran alat sifat magnet melalui PERMAGRAPH .	51
Lampiran 4. Data hasil pengukuran difraksi sinar x (XRD)	52
Lampiran 5. Hasil Refinement Data XRD menggunakan software GSAS.....	53
RIWAYAT HIDUP.....	544

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Struktur Kristal Barium Heksaferrit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$	5
Gambar 2.2. Proses milling (penghalusan) serbuk.....	7
Gambar 2.3. Proses kompaksi serbuk	9
Gambar 2.4. Proses Sintering.....	9
Gambar 2.5. Dipol magnet bahan diamagnetik.....	13
Gambar 2.6. Dipol magnet bahan paramagnetik.....	14
Gambar 2.7. Dipol-dipol magnet material ferromagnetik.....	15
Gambar 2.8. Kurva Histerisis	16
Gambar 2.9. Kurva Histerisis material Magnet Keras dan Magnet Lunak	17
Gambar 3.1. Prinsip dasar hukum Bragg	26
Gambar 4.1. (a) Fe_2O_3 dari pasir besi (b) CaO dari batu kapur	31
Gambar 4.2. Material $\text{Ba}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ (a) bahan analisis (b) bahan alam	32
Gambar 4.4. Kurva Histeresis Material $\text{Ba}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ bahan analisis $x = 0 - 1$	34
Gambar 4.6. Pola XRD Material $\text{Ba}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ bahan analisis.....	38
Gambar 4.7. Kurva Histeresis Material $\text{Ba}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ (a) bahan analisis (b) bahan alam.....	40
Gambar 4.8. Plot pengaruh Ca terhadap koersivitas magnet dan magnet remanen	41
Gambar 4.9 Perbandingan sifat magnet material $\text{Ba}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ bahan analisis dan bahan alam	43

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Massa bahan dasar	24
Tabel 4.1. Spesifikasi ukuran sampel material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ bahan analisis	35
Tabel 4.2. Nilai magnetisasi saturasi(M_s), magnet remanen (M_r) dan koersivitas magnet (H_c) material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ dari bahan analisis	35
Tabel 4.3. Spesifikasi ukuran sampel material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ bahan alam.....	37
Tabel 4.4. Nilai magnetisasi saturasi(M_s), magnet remanen (M_r) dan koersivitas magnet (H_c) material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ dari bahan alam.....	37
Tabel 4.5. Parameter kisi material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$	39

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada tahun 1952 jenis baru dari magnet ferit yang memiliki sifat permanen magnet telah ditemukan [1]. Barium heksaferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) merupakan salah satu jenis magnet ferit yang memiliki sifat permanen magnet (hard magnet), anisotropi tinggi, magnetisasi saturasi tinggi, tahan korosi dan memiliki ikatan kimia yang stabil [2,3] yang umumnya digunakan pada media perekam dengan frekuensi tinggi dan akhir-akhir ini dikembangkan sebagai material pelapis pesawat anti radar juga berperan penting dalam teknologi listrik, elektronik, otomotif dan industri mesin [4,5].

Ferit merupakan salah satu bagian dari komponen yang sangat penting dalam pembuatan barium heksaferit. Indonesia memiliki sumber ferit yang sangat melimpah salah satu contohnya adalah pasir besi, dalam pasir besi terkandung beberapa anggota besi oksida, misalnya magnetit (Fe_3O_4), maghemit ($\gamma - \text{Fe}_2\text{O}_3$), dan hematit ($\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$) [6].

Dengan mempertimbangkan jumlah pasir besi yang melimpah, dan belum dimanfaatkan secara optimal, sementara peluang bahan tersebut diolah menjadi bahan industri terbuka lebar. Darminto, dkk (2015) pada penelitian yang berjudul “*Sintesis dan Karakterisasi Bahan Magnet Barium Heksaferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) Menggunakan Bahan Dasar Barium Karbonat (BaCO_3) dan Pasir Besi dari Daerah Pesisir Selatan Pandeglang-Banten*” melakukan sintesis dan karakterisasi bahan magnet barium heksaferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) menggunakan bahan dasar barium karbonat (BaCO_3) dan pasir besi alam dari daerah pesisir selatan Pandeglang-Banten menggunakan metode *solid state reaction*. Kurva histerisis bahan magnetik menggunakan teknik PERMAGRAPH menunjukkan sifat magnetik bahan sampel X-1200 memiliki saturasi magnetik (Ms) 23,60 emu/gr, remanensi magnetik (Mr) sebesar 5,6066 emu/gr dan koersivitas (Hc) sebesar 204 Gauss [7].

Tidak hanya bahan alamiah pasir besi yang digunakan sebagai bahan pembuat magnet, bahan alamiah yang banyak mengandung Kalsium Karbonat (CaCO_3) yang dikenal dengan batu kapur juga digunakan sebagai bahan untuk membuat barium heksaferit sebagai upaya untuk merekayasa sifat magnetik. Kalsium merupakan unsur yang satu golongan dengan barium dan stronsium. Kesamaan tersebut membuat Darminto dan Harianto mensintesis Kalsium Ferit yang diperkirakan dapat menjadi calon bahan magnet permanen pada penelitian yang berjudul “*Sintesis dan Karakterisasi Kalsium Ferit Menggunakan Pasir Besi dan Batu Kapur*” [8].

Minat melakukan studi material Barium Heksaferit hingga saat ini terus berkembang untuk memodifikasi sifat magnetik [9,10] meliputi medan magnet remanensi, medan magnet saturasi [11], koersivitas [12], permitivitas dan permeabilitas [13] serta kemampuan bahan menyerap gelombang mikro [14] dengan merubah komposisi senyawa Barium heksaferit dengan mensintesis menggunakan metode berbeda [15,16], menambahkan doping atau dengan mensubstitusikan ion Barium dengan ion unsur lain [17].

Anbarasu, dkk (2013) telah melakukan sintesis material Barium Heksaferit yang didoping dengan Kalsium (Ca) dengan metode *solid state reaction*. Pada sampel $\text{Ba}_{0.85}\text{Ca}_{0.15}\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ besar M_s , M_r dan H_c berturut-turut 65.05 emu/g 34.11 emu/g dan 1548 gauss [17].

Benito, dkk (2001) mengukur M_s , M_r , dan H_c Barium Heksaferit pada penelitiannya yang berjudul “*Barium hexaferrite monodispersed nanoparticles prepared by the ceramic method*” sebesar 60 emu/g, 30 emu/g, 4500 Oe berturut turut saat diameter partikel sebesar 100nm. Semakin kecil ukuran butir sifat magnetik barium heksaferit semakin meningkat [11].

Partikel $\text{BaCa}_2\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ hexaferrite telah disintesis dengan teknik *water-oil-reverse micelle* dan teknik *co-precipitation* oleh Jotania, dkk (2009) dalam penelitian yang berjudul “*Physical and Magnetic Properties of Barium Calcium Hexaferrite Nanoparticles Synthesized by Water-in-oil Reverse Micelle and Co-precipitation Techniques*”. Diperoleh M_s , M_r dan H_c sebesar 7.66emu/g, 3.98emu/g, 5380Oe berturut-turut dengan metode *Co-precipitation* dan M_s , M_r dan

Hc sebesar 1.07emu/g, 5.11emu/g, 5000Oe berturut-turut dengan metode *reverse micelle*[6].

Pada penelitian ini akan dibuat dan dimodifikasi permanen magnet barium heksaferit dengan bahan alam dengan komposisi $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ menggunakan metode *solid state reaction*. Bahan alam yang digunakan yaitu batu kapur sebagai sumber unsur kalsium Ca dan pasir besi sebagai sumber ferit. Kemudian fasa material diamati melalui uji XRD dan sifat magnetik akan diukur dengan melakukan uji PERMAGRAPH.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka permasalahan yang dapat diidentifikasi adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana fasa yang terbentuk pada material $Ba_{(1-x)}Ca_xFe_{12}O_{19}$ untuk $x = 0 - 1$ yang disintesis dengan menggunakan metode *solid state reaction*
2. Bagaimana sifat magnetik $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ yang dibuat dengan bahan pasir besi dan batu kapur?
3. Apakah material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ berbahan dari pasir besi dan batu kapur bersifat magnet permanen ?

1.3 Pembatasan Masalah

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

1. Membuat $Ba_{(1-x)}Ca_xFe_{12}O_{19}$ berbahan dari pasir besi dan batu kapur dengan $x = 0 - 1$ dengan metode reaksi zat padat untuk aplikasi material magnet permanen.
2. Pengujian yang dilakukan meliputi uji XRD untuk mengetahui fasa yang terbentuk dan uji PERMAGRAPH untuk mengetahui sifat magnetik bahan.

1.4 Perumusan Masalah

Perumusan masalah pada penelitian ini yaitu apakah material magnetik dapat dibuat menggunakan bahan alam pasir besi dan batu kapur dan memenuhi syarat sebagai material magnet permanen.

1.5 Tujuan Penelitian

1. Membuat material magnetik berbahan dari pasir besi dan batu kapur dengan komposisi $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ menggunakan metode reaksi zat padat
2. Mengetahui fasa $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ yang dibuat dengan bahan pasir besi dan batu kapur
3. Mengetahui sifat magnetik $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ yang dibuat dengan bahan pasir besi dan batu kapur

1.6 Manfaat Penelitian

Memberdayakan pasir besi dan batu kapur yang merupakan sumber daya alam yang melimpah di Indonesia, agar dapat memiliki nilai jual yang lebih, dijadikan sebagai bahan untuk membuat magnet permanen yang dapat digunakan sebagai bahan industri dan perkembangan teknologi.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan tentang penggunaan pasir besi dan batu kapur sebagai bahan untuk membuat magnet permanen.

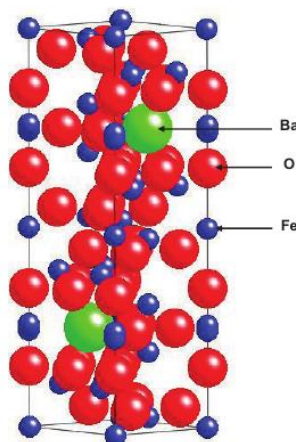
BAB II KAJIAN TEORI

2.1 Barium Heksaferit

Pada tahun 1952 jenis baru dari magnet ferit yang memiliki sifat permanen magnet telah ditemukan [3]. Barium heksaferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) merupakan salah satu jenis magnet ferit atau magnet keramik yang memiliki sifat permanen magnet (hard magnet), anisotropi tinggi, magnetisasi saturasi tinggi, tahan korosi dan memiliki ikatan kimia yang stabil [1,2] yang umumnya digunakan pada media perekam dengan frekuensi tinggi dan akhir-akhir ini dikembangkan sebagai material pelapis pesawat anti radar juga berperan penting dalam teknologi listrik, elektronik, otomotif dan industri mesin [8,9].

Magnet ferit adalah magnet yang disintesis menggunakan bahan dasar besi oksida (Fe_2O_3) dan memiliki sifat ferrimagnetik, sehingga dapat dimagnetisasi. Berdasarkan sifat koersivitas magnet, ferit dibedakan menjadi 2 jenis yaitu ferit keras dan ferit lunak. Ferit keras memiliki sifat koersivitas magnet yang tinggi dan sulit didemagnetisasi, sedangkan ferit lunak memiliki sifat koersivitas magnet yang rendah.

Barium heksaferit tergolong sebagai ferit keras karena memiliki sifat magnet saturasi yang tinggi (60 emu/gr) dan medan koersivitas yang besar (4500 Oe) [17].



Gambar 2.1. Struktur Kristal Barium Heksaferit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ [14]

Barium heksaferit merupakan jenis magnet tipe-M karena memiliki bentuk kristal heksagonal magnetoplumbite atau M-struktur. Struktur kristal menyerupai spinel yang sangat kompleks seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1. Besar unit selnya yaitu $a = 5.88 \text{ \AA}$ dan $c = 23.2 \text{ \AA}$ memiliki nilai a dan b yang sama sedang c berbeda. Nilai sudut alfa dan beta 90° sedang nilai gamma adalah 120° . Setiap satu kristal barium heksaferit terdapat dua molekul barium heksaferit. Jadi setiap satu kristal barium heksaferit terdapat 2 atom Ba, 24 atom Fe dan 38 atom O.

2.2 Magnet Permanen

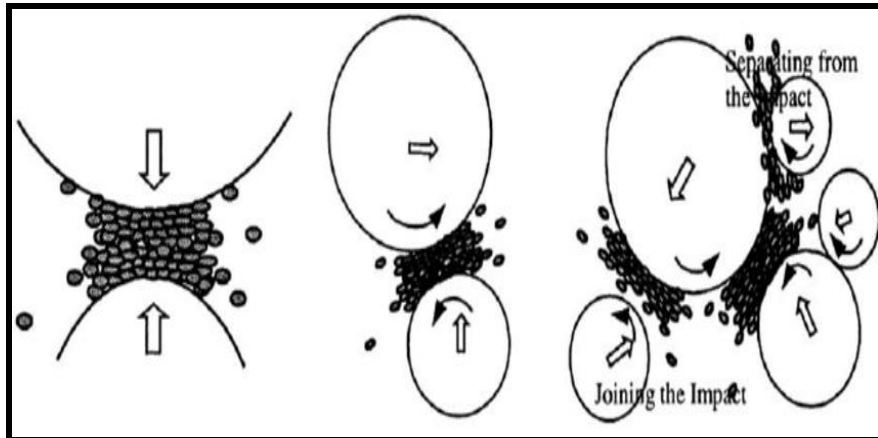
Magnet permanen adalah suatu material yang dapat menghasilkan medan magnet yang besarnya tetap tanpa adanya pengaruh dari luar atau disebut magnet alam karena memiliki sifat kemagnetan yang tetap. Sifat-sifat magnet permanen (hard magnetic) dipengaruhi oleh kemurnian bahan, ukuran bulir (grain size), orientasi kristal dan temperatur.

2.3 Reaksi Zat Padat

Reaksi Zat Padat merupakan metode yang paling sederhana untuk memproses material karena biayanya relatif murah dan prosesnya lebih mudah. Metode ini adalah metode yang paling konvensional dalam material processing. Beberapa tahapan dalam metode ini yaitu milling, mixing, kalsinasi, kompaksi dan sinterring.

1. Milling

Milling adalah suatu proses penghalusan. Milling pada dasarnya berfungsi untuk mengurangi ukuran butir serbuk. Semakin lama waktu milling maka semakin kecil ukuran partikel. Milling dilakukan dengan memasukkan bahan dasar ke dalam vial yang berisi bola-bola milling. Jumlah bola-bola milling disesuaikan dengan kebutuhan.



Gambar 2.2. Proses milling (penghalusan) serbuk

Proses milling saat ini telah dikembangkan menggunakan metode high energy milling (HEM). HEM merupakan proses untuk mengurangi ukuran butir kristal dengan menggunakan energi tumbukan antara bola-bola penghancur dan dinding chamber (vial) yang diputar dan digerakkan terus-menerus dengan waktu yang dapat disesuaikan. Pertama-tama serbuk homogen dimasukkan kedalam sebuah chamber logam dengan beberapa bola baja di dalamnya yang bergerak berputar terus-menerus. Bola-bola akan saling bertumbukan di dalam chamber logam tersebut dan menumbuk serbuk yang dimasukkan dan mengakibatkan pecahnya partikel terus-menerus dan ukurannya terus mengecil hingga partikel berukuran nano sesuai dengan lamanya waktu milling.

2. Pencampuran Bahan Baku (*Mixing*)

Mixing merupakan istilah yang biasa digunakan dalam pembuatan material dengan menggunakan metode reaksi zat padat. Mixing didefinisikan sebagai pencampuran dua atau lebih serbuk yang berbeda. Pencampuran bahan baku dibutuhkan untuk mendapatkan campuran material yang homogen agar produk yang dihasilkan lebih sempurna sesuai dengan komposisi stoikiometri yang diinginkan. Bahan baku dalam proses pembuatan magnet menggunakan metode reaksi zat padat berbentuk serbuk seperti barium karbonat (BaCO_3) dan besi oksida

(Fe₂O₃) dengan kemurnian 99,03% dan alkohol 96% sebagai binder, kemudian diubah menjadi serbuk dengan cara pelepasan alkohol melalui pemanasan.

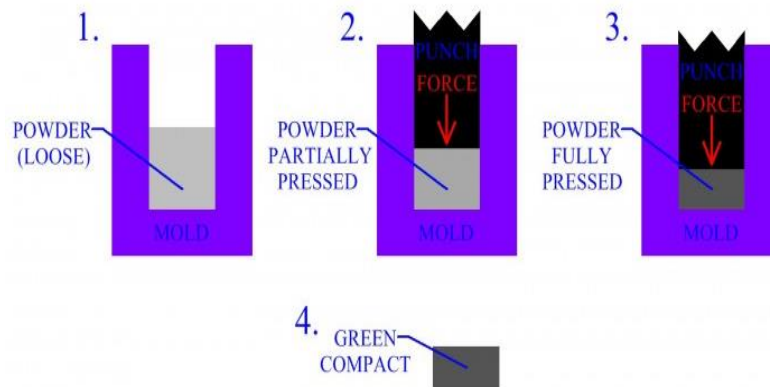
3. Proses Kalsinasi

Proses kalsinasi adalah proses pembakaran tahap awal yang merupakan reaksi dekomposisi secara endothermic dan berfungsi untuk melepaskan gas-gas dalam bentuk karbonat atau hidroksida sehingga menghasilkan serbuk dalam bentuk oksida dengan kemurnian yang tinggi. Kalsinasi dilakukan pada suhu tinggi yang suhunya tergantung pada jenis bahannya. Kalsinasi merupakan tahapan perlakuan panas terhadap campuran serbuk pada suhu tertentu. Kalsinasi diperlukan sebagai penyiapan serbuk keramik pada proses selanjutnya, untuk mendapatkan ukuran partikel yang optimum serta menguraikan senyawa-senyawa dalam bentuk garam atau dihidrat menjadi oksida dan untuk membentuk fasa kristal. Peristiwa yang terjadi selama proses kalsinasi antara lain:

1. Pelepasan air bebas (H₂O) dan terikat (OH) berlangsung sekitar suhu 100°C sampai 300°C.
2. Pelepasan gas-gas seperti CO₂ berlangsung sekitar suhu 600°C dan pada tahap ini terjadi pengurangan berat yang cukup berarti.
3. Pada suhu lebih tinggi (sekitar 800°C) struktur kristalnya sudah terbentuk dan ikatan diantara partikel serbuk belum kuat serta mudah lepas.

4. Proses Pembentukan Sampel (Kompaksi)

Proses pembentukan dilakukan dengan memasukkan bahan serbuk ke dalam cetakan (mold) kemudian dilakukan kompaksi (compaction). Kompaksi serbuk membentuk *green compact* yang sesuai dengan bentuk cetakan yang diinginkan seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3.

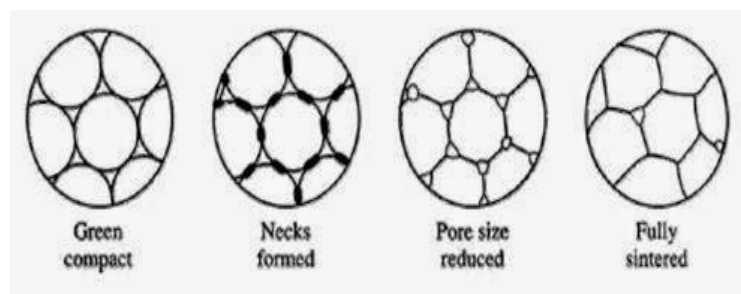


Gambar 2.3. Proses kompaksi serbuk

Green compact tersebut kemudian disinter yang bertujuan agar terjadi proses difusi antar partikel serbuk sehingga partikel akan menyatu, dan terbentuk logam yang padat. Kompaksi atau pepadatan adalah suatu proses dimana udara pada pori-pori serbuk dikeluarkan dan serbuk dipadatkan dengan proses mekanik.

5. Proses Sintering

Proses sintering pada magnet keramik dilakukan untuk proses pepadatan/densifikasi pada sekumpulan serbuk pada suhu tinggi. Sintering merupakan proses membentuk zat padat dari bahan serbuk atau bubuk didasari oleh proses difusi atom. Melalui proses ini terjadi perubahan struktur mikro seperti pengurangan jumlah dan ukuran pori, pertumbuhan butir (*grain growth*), peningkatan densitas dan penyusutan (*shrinkage*) seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Proses Sintering

Faktor-faktor yang menentukan proses dan mekanisme sintering antara lain jenis bahan, komposisi, bahan pengotornya dan ukuran partikel. Definisi sintering adalah pengikatan massa partikel pada serbuk karena adanya proses tarik-menarik molekul atau atom dalam bentuk padat akibat adanya perlakuan panas dan meningkatkan kekuatan mekanik material. Tahapan sintering menurut Hirschhorn (1970) pada sampel yang telah dikompaksi sebelumnya sebagai berikut :

1. Ikatan Awal Antar Partikel Serbuk

Saat sampel di sintering maka akan terjadi difusi atom dan atom-atom saling mengikat. Proses ini meliputi difusi atom-atom yang mengarah kepada pergerakan dari batas butir. Ikatan ini terbentuk ketika atom-atom yang berdifusi menyebabkan kontak disik antar partikel-partikel yang berdekatan.

2. Tahap Pertumbuhan Leher

Tahapan kedua yang terjadi pada proses sintering adalah pertumbuhan leher. Hal ini berhubungan dengan tahap pertama, yaitu pengikatan awal antar partikel yang menyebabkan terbentuknya daerah yang disebut dengan leher (neck) dan leher ini akan terus berkembang menjadi besar selama proses sintering berlangsung. Pertumbuhan leher tersebut terjadi karena adanya perpindahan massa, namun tidak mempengaruhi besar dan jumlah porositas yang ada juga tidak menyebabkan terjadinya penyusutan.

3. Tahap Penutupan Saluran Pori.

Pertumbuhan leher yang terus berkembang mengakibatkan penutupan saluran pori yang saling berhubungan. Salah satu penyebab terjadinya proses ini adalah pertumbuhan butiran. Proses penutupan saluran ini dapat terjadi karena penyusutan pori (tahap kelima dari proses sinter) yang menyebabkan kontak baru yang akan terbentuk di antara permukaan-permukaan pori. Setelah tahap pertumbuhan leher, material berpindah ke permukaan pori kemudian menuju ke daerah leher yang mengakibatkan permukaan dinding tersebut menjadi halus. Bila

perpindahan massa terjadi terus-menerus melalui daerah leher, maka pori disekitar permukaan leher akan semakin mengecil. Dengan temperatur dan waktu yang cukup pada saat proses sinter, maka penutupan pori akan lebih sempurna.

4. Tahap Penyusutan

Proses ini berhubungan dengan proses densifikasi (pemadatan) yang terjadi. Tahap penyusutan ini akan menyebabkan terjadinya penurunan volume dan sampel yang telah disinter akan menjadi lebih padat. Dengan adanya penyusutan, maka kepadatan pori akan meningkat dan dengan sendirinya sifat mekanis dari bahan tersebut juga akan meningkat, khususnya kekuatan dari sampel setelah sinter. Tahap penyusutan pori ini terjadi akibat pergerakan gas-gas yang terdapat di daerah pori dan keluar menuju permukaan. Dengan demikian tahap ini akan meningkatkan berat jenis yang telah disinter.

2.4 Substitusi Ca Pada Barium Heksaferit $BaFe_{12}O_{19}$

Atom Ca merupakan atom satu golongan dengan atom Ba. Barium heksaferit memiliki struktur yang berlapis-lapis. Substitusi pada atom barium heksaferit bertujuan untuk meningkatkan atau merekayasa sifat magnetik dari barium heksaferit. Penggantian atau substitusi pada atom Ba lebih kepada untuk mengubah parameter kisi. Sedang penggantian pada atom Fe adalah untuk mengganti atom Fe dengan atom magnetik lain yang momen magnetnya lebih besar atau lebih kecil.

Pada tahun 2011 telah dilakukan penelitian tentang substitusi atom Ba dengan atom Pb pada barium heksaferit. Rumus molekulnya adalah $Ba_{1-x}Pb_xFe_{12}O_{19}$ [22] dengan nilai x adalah 0.1, 0.3, 0.5 dan 0.7. Bahan dasar dicampur sesuai dengan ukuran stoikiometri. Bahan dasar adalah Pb_2O_3 , $BaCO_3$ dan Fe_2O_3 . Hasil XRD setelah disinterring menunjukkan bahwa fasa yang terbentuk adalah single phase. Hasil refinement didapatkan parameter kisi a, b dan c menurun.

Pada tahun 2011 telah dilakukan penelitian tentang substitusi atom Ba dengan atom Ca pada barium heksaferit. Rumus molekulnya adalah $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ [22] dengan nilai x adalah 0.05, 0.1, 0.15 dan 0.2. Bahan dasar dicampur sesuai dengan ukuran stoikiometri. Bahan dasar adalah Ca_2O_3 , $BaCO_3$ dan Fe_2O_3 . Hasil XRD setelah disinterring menunjukkan bahwa fasa yang terbentuk adalah single phase. Hasil refinement didapatkan parameter kisi a tidak berubah sementara nilai c sedikit menurun apabila saat komposisi Ca diperbesar dan tidak didapati pengaruh banyaknya Ca terhadap sifat magnet karena hasil uji magnet turun naik dan berpola acak [14].

2.5 Magnet Permanen

Magnet permanen adalah suatu material yang dapat menghasilkan medan magnet yang besarnya tetap tanpa adanya pengaruh dari luar atau disebut magnet alam karena memiliki sifat kemagnetan yang tetap. Sifat-sifat magnet permanen (hard magnetic) dipengaruhi oleh kemurnian bahan, ukuran butir (grain size), orientasi kristal dan temperatur.

2.6 Klasifikasi Sifat Magnetik Material

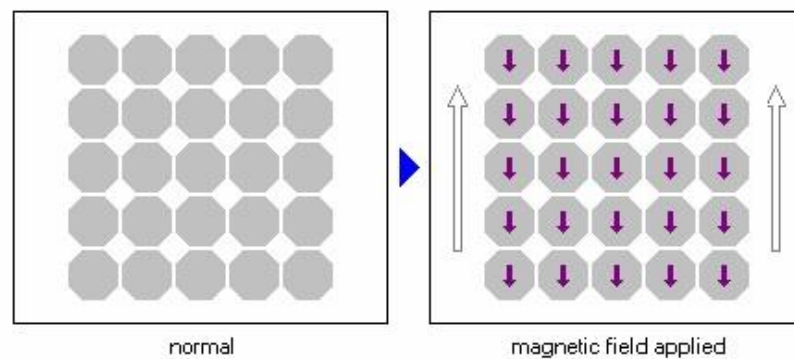
Sifat magnetik material muncul akibat adanya mobilitas elektron sehingga menghasilkan arus dan mengakibatkan adanya dipol-dipol magnet tertentu. Sifat magnetik material menggambarkan respon material terhadap medan magnet luar yang dibagi menjadi tiga golongan yaitu diamagnetik, paramagnetik dan ferromagnetik.

2.6.1 Diamagnetik

Bahan diamagnetik adalah bahan yang resultan medan magnet atomik dari masing-masing atom/molekulnya adalah nol, tetapi medan magnet akibat orbit dan spin elektronnya tidak nol. Bahan diamagnetik tidak mempunyai momen dipol magnet permanen. Jika bahan diamagnetik diberi medan magnet luar, maka elektron-elektron dalam atom akan mengubah gerakannya sedemikian rupa sehingga menghasilkan resultan medan magnet atomik yang

arahnya berlawanan dengan medan magnet luar tersebut, seperti terlihat pada Gambar 2.4.

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

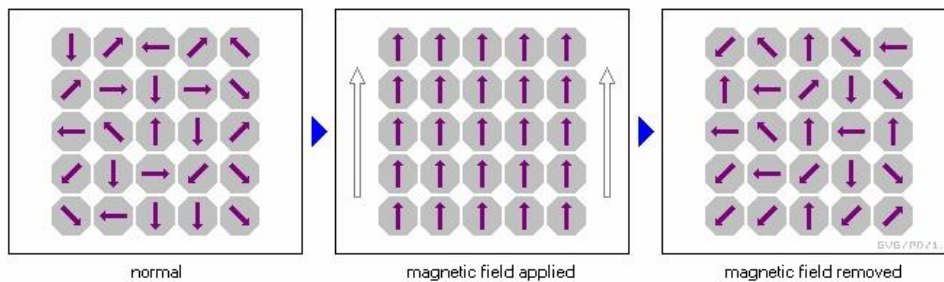


Gambar 2.5. Dipol magnet bahan diamagnetik

2.6.2 Paramagnetik

Bahan paramagnetic merupakan bahan yang memiliki medan magnet dari dipol magnet tidak nol, karena tidak semua spin electron berpasangan. Tetapi, resultan medan magnet seluruh atom dalam bahan nol. Hal ini karena gerakan atomnya acak, sehingga resultan medan magnet atomik masing-masing atom saling meniadakan. Sifat paramagnetik ditimbulkan oleh momen dipol magnet yang menjadi terarah saat bahan dilewati oleh medan magnet luar seperti gambar 2.5. Namun bahan paramagnetik tidak dapat menyimpan medan magnet atau arah momen dipol magnet yang terarahkan karena sesaat setelah medan magnet luar ditiadakan arah-arrah momen dipol magnet akan kembali acak seperti semula.

Saat diberi medan magnet luar, elektron dalam bahan paramagnetik akan bergerak sedemikian rupa hingga resultan medan magnet atomiknya searah dengan medan magnet luar. Sifat paramagnetik ditimbulkan oleh momen magnetik spin yang menjadi terarah oleh medan magnet luar. Bahan paramagnetik hanya memiliki sedikit spin electron yang tidak berpasangan, sehingga bahan ini sedikit menarik garis-garis gaya. Dalam bahan paramagnetik, medan B yang dihasilkan akan lebih besar dibanding dengan nilainya dalam hampa udara. Suseptibilitas magnet dari bahan paramagnetik adalah positif dan berada dalam rentang 10^{-5} sampai 10^{-2} , sedangkan permeabilitasnya adalah $\mu > \mu_0$. Contoh bahan paramagnetik yaitu emas, perak, tembaga, zink dan aluminium.

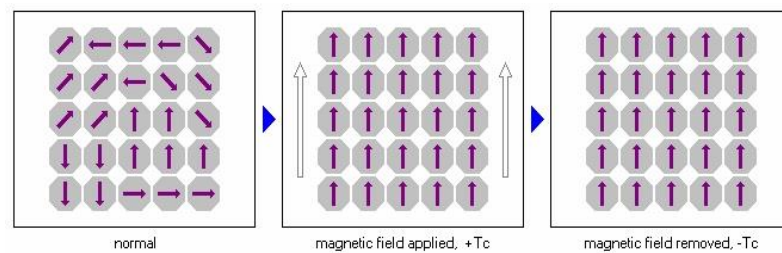


Gambar 2.6. Dipol magnet bahan paramagnetik

2.6.3 Ferromagnetik

Bahan ferromagnetik memiliki banyak spin elektron yang tidak berpasangan yang akan menghasilkan medan magnetik sehingga medan magnet yang dihasilkan satu atom menjadi semakin tinggi. Medan magnet dari masing-masing atom dalam bahan Ferromagnetik sangat kuat, sehingga interaksi diantara atom-atom tetangganya menyebabkan sebagian besar atom akan mensejajarkan diri membentuk kelompok-kelompok akibat magnetisasi spontan karena interaksi tersebut, kelompok inilah yang dikenal dengan domain magnetik. Saat dikenakan medan magnet luar bahan ferromagnetik akan termagnetisasi atau domain magnetnya akan terarahkan hingga mencapai saturasi, yaitu kondisi arah domain magnet mencapai batas terarahkan maksimum. Ketika medan magnet luarnya dihilangkan terdapat magnet remanen yaitu arah domain magnet yang tersimpan dalam bahan ferromagnetik seperti yang ditunjukkan pada oleh gambar 2.7.

Ferromagnetik dikenal sebagai magnet permanen memiliki permeabilitas bahan ferromagnetik adalah $\mu \gg \mu_0$.



Gambar 2.7. Dipol-dipol magnet material ferromagnetik

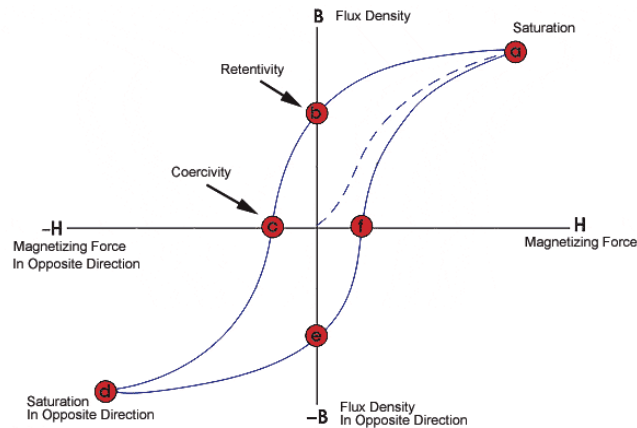
Selain bahan ferromagnetik terdapat bahan yang memiliki sifat yang menyerupai yaitu bahan *ferrimagnetik*. Bahan ferrimagnetik memiliki karakteristik magnetik yang sama dengan ferromagnetik secara makroskopik namun memiliki perbedaan sumber momen magnetiknya.

2.7 PERMAGRAPH

Pengukuran sifat magnet material dapat diukur menggunakan alat PERMAGRAPH. Dengan alat ini dapat diperoleh kurva histerisis material magnetik yang kemudian dapat diketahui besarnya magnetisasi, saturasi, remanensi, koersivitas yang merupakan Parameter penting yang digunakan untuk menganalisa sifat kemagnetan.

Prinsip kerja PERMAGRAPH cukup sederhana yaitu sebuah sampel magnetik ditempatkan pada sebuah batang sampel (sample holder) dan digetarkan dengan vibrator mekanik menggunakan frekuensi tertentu. Sampel ini diposisikan di antara sepasang pol elektromagnet dengan kumparan deteksi (pick-up coil) yang dipasang simetris terhadap posisi sampel. Gerakan osilasi dari sampel magnetik akan menghasilkan tegangan induksi di kumparan deteksi tersebut. Tegangan induksi ini sebanding dengan besarnya magnetisasi dari sampel tersebut, kemudian pengukuran selengkapanya diperoleh dengan mengubah besarnya medan magnet luar yang dihasilkan oleh elektromagnet, sehingga akan peroleh kurva histerisis, magnetisasi sebagai fungsi medan magnet luar. Bahan

magnetik yang diberikan medan magnet luar sebesar H maka akan terjadi magnetisasi pada bahan tersebut sebesar M hingga membentuk kurva histeresis seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.8. Kurva Histeresis [9]

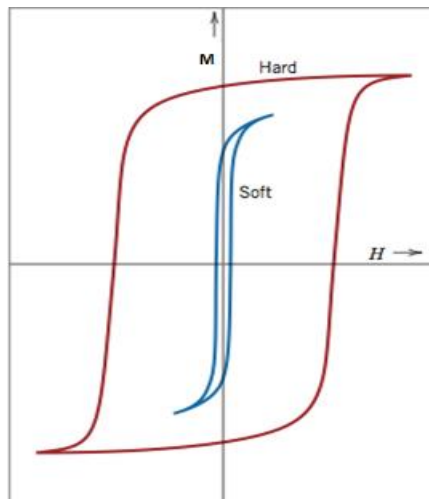
Kurva histeresis memberikan informasi sifat magnetik bahan meliputi magnet remanensi, koersivitas dan magnetisasi saturasi.

Remanensi magnetik (M_r) merupakan medan magnet yang tersisa pada bahan saat pemberian medan magnet dari luar dihentikan. Domain magnet yang terarahkan akibat magnetisasi tidak kembali seperti semula terdapat medan magnet yang tersisa.

Coercivity (H_c) merupakan kemampuan suatu bahan untuk mempertahankan arah domain magnetiknya atau kestabilan sifat magnetik bahan tersebut. Koersivitas merupakan besaran medan magnet minimal yang dibutuhkan untuk mengubah arah domain bahan magnetik. Koersivitas digunakan untuk membedakan *hard magnet* atau *soft magnet* yang ditunjukkan pada gambar 2.3. Semakin besar gaya koersivitasnya maka semakin keras sifat magnetnya. Bahan yang mempunyai koersivitas tinggi kemagnetannya tidak mudah hilang dan baik digunakan untuk membuat magnet permanen. Apabila nilai saturasi magnet tinggi maka remanensi magnetnya pun akan menjadi besar.

Magnetization saturation (M_s) merupakan kondisi batas arah domain bahan magnetik tidak dapat lagi berubah saat diberikan medan magnet dari luar. Pada keadaan ini penambahan besaran medan magnet dari luar tidak lagi

berpengaruh pada sifat magnetik bahan karena bahan tersebut sudah mencapai tingkat saturasi (jenuh).



Gambar 2.9. Kurva Histerisis material Magnet Keras dan Magnet Lunak [9]

2.8 Pasir Besi

Pasir Besi merupakan mineral endapan /sedimen yang memiliki beberapa kandungan mineral seperti Fe, Ti, Mg, dan Si yang terjadi akibat perbedaan lokasi endapan. Mineral magnetik biasanya ditemukan pada pasir besi yang berasal dari daerah pantai atau sungai dalam bentuk magnetit (Fe_3O_4). Besi merupakan material yang diperoleh dari bijih besi yang sebelumnya dalam bentuk besi oksida. Sementara oksida logam dapat ditemukan dalam dua fase di dalam pasir besi yaitu Fe_2O_3 dan Fe_3O_4 yang berkontribusi dalam sifat kemagnetan. Indonesia memiliki sumber ferit yang sangat melimpah salah satu contohnya adalah pasir besi. Jumlah cadangan total bahan tersebut mencapai 2,121,476,550.10 ton yang tersebar diseluruh wilayah Indonesia. (Kementrian ESDM, 2015). Pasir besi mengandung beberapa anggota besi oksida, misalnya magnetit (Fe_3O_4), maghemit ($\gamma - \text{Fe}_2\text{O}_3$), dan hematit ($\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$)[19] Karena adanya kandungan tersebut pasir besi kini dimanfaatkan dalam bidang

material science agar memiliki nilai jual yang lebih tinggi salah satu contohnya yaitu sebagai bahan pembuatan magnet permanen.

Pada tahun 2013 Darminto, dkk melakukan penelitian yang berjudul “*Sintesis dan Karakterisasi Kalsium Ferit Menggunakan Pasir Besi dan Batu Kapur*” membuat magnet berbahan dasar pasir besi. Pola XRD dari Fe_3O_4 dari pasir besi yang telah dikalsinasi pada suhu 800°C selama 1 jam membentuk Fasa Fe_2O_3 91,5%, sedangkan sisanya adalah fase-fase impuritas [18].

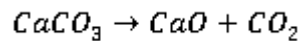
2.9 Batu Kapur

Batu Kapur / Limestone adalah batuan sedimen yang terbentuk dari mineral kalsit. Batu kapur merupakan salah satu hasil tambang yang diperoleh dari pegunungan yang ditemukan dalam bentuk batu bongkahan atau batu serbuk dan juga bersumber dari perairan laut dangkal, terbentuk dari kalsit yang berasal dari organisme laut yang bercangkang. Batu kapur mengandung banyak mineral kalsium karbonat. Mineral karbonat yang umum ditemukan berasosiasi dengan batu kapur adalah aragonite (CaCO_3), yang merupakan mineral metastabil dan pada kurun waktu tertentu dapat berubah menjadi kalsit (CaCO_3) (Sucipto et al., 2007). Kalsium karbonat mempunyai sejumlah kegunaan, utamanya untuk memproduksi semen, mortar, plaster, refraktori, dan sebagai bahan bangunan. Selain itu juga digunakan untuk memproduksi quicklime, kapur tohor.

Keberadaan mineral ini sangat berlimpah di Indonesia, meliputi daerah Jawa Tengah, Jawa Barat, Jawa Timur, Aceh, Sumatera Barat dan Utara, Nusa Tenggara Timur, dan Sulawesi Tenggara. Jumlah cadangan total bahan tersebut mencapai 639,810,721,417 ton yang tersebar diseluruh wilayah Indonesia. (Kementrian ESDM, 2015).

Batu kapur biasa dimanfaatkan sebagai bahan bangunan semen setelah diolah menjadi kapur tohor (CaO) kalsium oksida akibat terjadinya proses dekarbonisasi dengan memanaskan batu kapur pada suhu tinggi yang disebut

dengan proses kalsinasi (Sucipto et al., 2007). Reaksi yang terjadi saat proses kalsinasi yaitu :



Hasil kajian pembuatan magnet dengan bahan batu kapur telah terbentuk senyawa Kalsium Ferrite dengan memanfaatkan kandungan kalsium (Ca) dalam senyawa CaO yang dipadukan dengan ferrit (Fe_2O_3) membentuk senyawa magnet CaFe_4O_7 , $\text{Ca}_2\text{Fe}_9\text{O}_{13}$, dan $\text{Ca}_4\text{Fe}_{14}\text{O}_{25}$ (Darminto, 2013).

2.10 Penelitian yang Relevan

Magnet ferit merupakan bahan magnet yang memiliki sifat ferrimagnetik. Ferit merupakan salah satu bagian dari komponen yang sangat penting dalam pembua tan magnet ferit. Salah satu jenis magnet ferit yang paling banyak kegunaannya saat ini yaitu barium heksaferit. Hingga saat ini upaya merekayasa sifat barium heksaferit sering sekali dilakukan untuk mendapatkan spesifikasi sifat magnet sesuai kebutuhan pembuatan suatu devais.

Indonesia memiliki sumber ferit yang sangat melimpah salah satu contohnya adalah pasir besi, dalam pasir besi terkandung beberapa anggota besi oksida, misalnya magnetit(Fe_3O_4), maghemit ($\gamma - \text{Fe}_2\text{O}_3$), dan hematit ($\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$ -)[19].

Dengan mempertimbangkan jumlah pasir besi yang melimpah, dan belum dimanfaatkan secara optimal, sementara peluang bahan tersebut diolah menjadi bahan industri terbuka lebar. Darminto, dkk (2015) pada penelitian yang berjudul “*Sintesis dan Karakterisasi Bahan Magnet Barium Heksaferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) Menggunakan Bahan Dasar Barium Karbonat (BaCO_3) dan Pasir Besi dari Daerah Pesisir Selatan Pandeglang-Banten*” melakukan sintesis dan karakterisasi bahan magnet barium heksaferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) menggunakan bahan dasar barium karbonat (BaCO_3) dan pasir besi alam dari daerah pesisir selatan Pandeglang-Banten menggunakan metode *solid state reaction*. Kurva histerisis bahan magnetik menggunakan teknik PERMAGRAPH menunjukkan sifat magnetik bahan sampel X-1200 memiliki saturasi magnetik (Ms) 23,60

emu/gr, remanensi magnetik (M_r) sebesar 5,6066 emu/gr dan koersivitas (H_c) sebesar 204 Gauss [20].

Tidak hanya bahan alamiah pasir besi yang digunakan sebagai bahan pembuat magnet, bahan alamiah yang banyak mengandung Kalsium Karbonat (CaCO_3) yang dikenal dengan batu kapur juga digunakan sebagai bahan untuk membuat barium heksaferit sebagai upaya untuk merekayasa sifat magnetik. Kalsium merupakan unsur yang satu golongan dengan barium dan stronsium. Kesamaan tersebut membuat Darminto dan Harianto mensintesis Kalsium Ferit yang diperkirakan dapat menjadi calon bahan magnet permanen pada penelitian yang berjudul “*Sintesis dan Karakterisasi Kalsium Ferit Menggunakan Pasir Besi dan Batu Kapur*” [18].

Minat melakukan studi material Barium Heksaferit hingga saat ini terus berkembang untuk memodifikasi sifat magnetik [9,11] meliputi medan magnet remanensi, medan magnet saturasi [17], koersivitas [12], permitivitas dan permeabilitas [13] serta kemampuan bahan menyerap gelombang mikro [15] dengan merubah komposisi senyawa Barium heksaferit dengan mensintesis menggunakan metode berbeda [4-7], menambahkan doping [15] atau dengan mensubstitusikan ion Barium dengan ion unsur lain [14].

Anbarasu, dkk (2013) telah melakukan sintesis material Barium Heksaferit yang didoping dengan Kalsium (Ca) dengan metode *solid state reaction*. Pada sampel $\text{Ba}_{0,85}\text{Ca}_{0,15}\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ besar M_s , M_r dan H_c berturut-turut 65.05 emu/g 34.11 emu/g dan 1548 gauss [14].

Benito, dkk (2001) mengukur M_s , M_r , dan H_c Barium Heksaferit pada penelitiannya yang berjudul “*Barium hexaferrite monodispersed nanoparticles prepared by the ceramic method*” sebesar 60 emu/g, 30 emu/g, 4500 Oe berturut-turut saat diameter partikel sebesar 100 nm. Semakin kecil ukuran butir sifat magnetik barium heksaferit semakin meningkat [17].

Partikel $\text{BaCa}_2\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ hexaferrite telah disintesis dengan teknik *water-oil-reverse micelle* dan teknik *co-precipitation* oleh Jotania, dkk (2009) dalam penelitian yang berjudul “*Physical and Magnetic Properties of Barium Calcium Hexaferrite Nanoparticles Synthesized by Water-in-oil Reverse Micelle and Co-*

precipitation Techniques". Diperoleh Ms, Mr dan Hc sebesar 7.66 emu/g, 3.98 emu/g, 5380 Oe berturut-turut dengan metode *Co-precipitation* dan Ms, Mr dan Hc sebesar 1.07 emu/g, 5.11 emu/g, 5000 Oe berturut-turut dengan metode *reverse micelle*.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tujuan Penelitian

Membuat material okum ic berbahan dari pasir besi dan batu kapur dengan komposisi $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ menggunakan metode reaksi zat padat

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Fisika Material FMIPA UNJ untuk preparasi sampel dan proses uji high-SEM. Namun untuk proses uji lainnya, dilakukan di luar kampus dengan bekerjasama dengan beberapa instansi diantaranya:

1. Uji PERMAGRAPH
2. Uji XRD di Bea Cukai

Penelitian ini berlangsung dari bulan Maret sampai dengan bulan Juni 2017

3.3 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen.

3.4 Alat dan Bahan

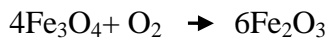
1. Alat yang digunakan:
 - a) Neraca digital
 - b) Kertas timbang
 - c) Spatula
 - d) *Attritor Mill*
 - e) Oven
 - f) Kompaktor Hidrolik bertekanan 5 ton/cm³
 - g) Cetakan
 - h) Perlatan uji sampel meliputi PERMAGRAPH dan alat uji XRD.

2. Bahan yang digunakan:
- a) Fe_2O_3
 - b) BaCO_3
 - c) CaO
 - d) Pasir Besi Pantai Puger, Jember, Jawa Timur
 - e) Batu Kapur Gunung Putri
 - f) Alkohol

3.5 Prosedur Penelitian

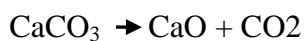
3.5.1 Preparasi Fe_2O_3 bahan alam

Fe_2O_3 diekstraksi melalui proses oksidasi, namun sebelumnya pasir besi difilter menggunakan batang magnet untuk menghilangkan impuritas yang terdapat pada pasir besi seperti SiO_2 dan TiO_2 . Pasir besi sebanyak 100 gram di filter sebanyak 15 kali kemudian dipanaskan pada temperature 900°C selama 5 jam. Reaksi yang terjadi yaitu :



3.5.2 Preparasi CaO bahan alam

CaO disintesis dengan metode karbonasi. Batu kapur dikalsinasi pada temperature 900°C selama 5 jam menghasilkan CaO .



3.5.3 Preparasi Material Dengan Komposisi $\text{Ba}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$

Preparasi material dilakukan di Laboratorium Material Kampus B Universitas Negeri Jakarta, Rawamangun, Jakarta Timur. Masing-masing bahan dasar pembentuk material ditimbang sesuai dengan stoikiometrinya sehingga diperoleh produk akhir sampel magnet dengan massa 5 gram.

Tabel 3.1. Massa bahan dasar

No	Ba _{1-x} Ca _x Fe ₁₂ O ₁₉	BaCO ₃ (gram)	Fe ₂ O ₃ (gram)	CaO (gram)
1	BaFe ₁₂ O ₁₉	0.888	4.310	-
2	Ba _{0,9} Ca _{0,1} Fe ₁₂ O ₁₉	0.806	4.348	0.025
3	Ba _{0,8} Ca _{0,2} Fe ₁₂ O ₁₉	0.723	4.387	0.051
4	Ba _{0,7} Ca _{0,3} Fe ₁₂ O ₁₉	0.638	4.426	0.078
5	Ba _{0,6} Ca _{0,4} Fe ₁₂ O ₁₉	0.552	4.467	0.105
6	Ba _{0,5} Ca _{0,5} Fe ₁₂ O ₁₉	0.464	4.507	0.132
7	Ba _{0,4} Ca _{0,6} Fe ₁₂ O ₁₉	0.375	4.549	0.160
8	Ba _{0,3} Ca _{0,7} Fe ₁₂ O ₁₉	0.284	4.591	0.188
9	Ba _{0,2} Ca _{0,8} Fe ₁₂ O ₁₉	0.191	4.635	0.217
10	Ba _{0,1} Ca _{0,9} Fe ₁₂ O ₁₉	0.096	4.679	0.246
11	CaFe ₁₂ O ₁₉	-	4.724	0.276

3.5.4 Proses Pembuatan Material Barium Hexaferrite Ba_{1-x}Ca_xFe₁₂O₁₉ Dari Bahan Alam

BaCO₃, CaO dan Fe₂O₃ sebagai bahan dasar membuat magnet dengan bahan analisis dicampur secara stoikiometri untuk mendapatkan senyawa Ba_{1-x}Ca_xFe₁₂O₁₉ dengan nilai x=0,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8,0.9 dan 1. Masing-masing komposisi dijelaskan pada tabel 3.1. Massa dicampur dan dimiling selama 30 menit menggunakan *High Energy Ball Mill*. Kemudian sampel dikalsinasi selama 3 jam pada suhu 750°C untuk menghilangkan sisa senyawa organik. Lalu sampel dikompaksi atau dicetak dan dikalsinasi selama 5 jam pada suhu 1100°C untuk membentuk fasa barium heksaferrit juga bertujuan untuk merapatkan butiran-butiran hingga material terbentuk. Selain itu juga bertujuan menghilangkan zat pengotor yang menempel pada saat proses kompaksi. Kemudian BaCO₃, batu kapur sebagai sumber Ca, dan pasir besi sebagai sumber Fe yang menjadi bahan dasar membuat magnet dari bahan alam, dicampurkan secara stoikiometri untuk mendapatkan senyawa Ba_{1-x}Ca_xFe₁₂O₁₉ dengan x=0,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8, dan 0.9 lalu dimilling menggunakan planetary ball mill, kalsinasi, kompaksi dan sintering sama seperti pembuatan

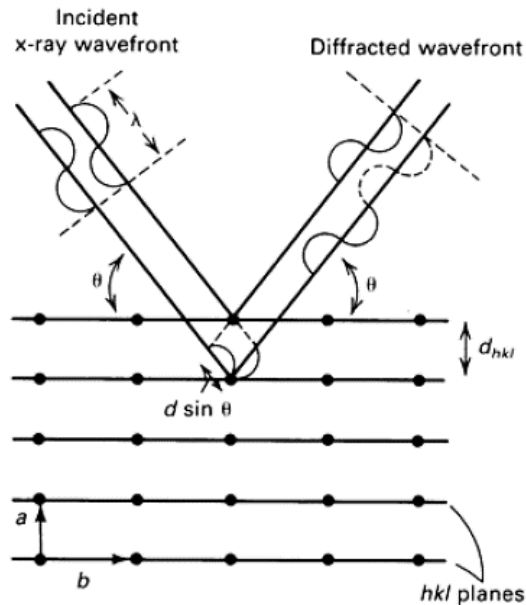
dengan bahan analisis. Setelah sampel dibentuk padatan berdiameter 2.5cm kemudian dilakukan pengujian sampel meliputi uji XRD dan PERMAGRAPH.

Langkah-langkah membuat magnet permanen dari bahan alam :

- 1) Mencampur prekursor BaCO_3 , CaO dan Fe_2O_3 dalam vial dengan $x=0$
- 2) Memilling prekursor selama 30 menit
- 3) Mengkalsinasi sampel selama 3 jam pada suhu 750°C
- 4) Mencetak sampel
- 5) Melakukan sintering pada sampel yang telah dicetak selama 5 jam pada suhu 1100°C
- 6) Mengulangi langkah 1 sampai 5 dengan komposisi massa $x=0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9$, dan 1.
- 7) Menguji XRD dan PERMAGRAPH semua sampel
- 8) Menganalisis sifat fisik, morfologi dan fasa sampel
- 9) Membuat sampel $\text{Ba}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ dengan mengganti bahan analisis Fe_2O_3 dengan pasir besi dan CaO dengan batu kapur.
- 10) Mencampur bahan alam dengan massa yang sama dengan sampel bahan analisis
- 11) Memilling bahan selama 5 jam
- 12) Mengulangi langkah 3 sampai 5 hingga sampel terbentuk
- 13) Menguji PERMAGRAPH sampel bahan alam
- 14) Menganalisis data hasil uji
- 15) Membuat kesimpulan

3.5.5 Karakterisasi Sampel Menggunakan Difraksi Sinar – X

Karakterisasi ini dilakukan untuk memperoleh informasi fasa yang terbentuk dalam *powder* BHF yang telah disintesis. Difraksi sinar-x pengujian untuk memperoleh nilai parameter kisi, fasa, fraksi fasa dan bidang hkl dari sampel magnet. Dasar teori pengujian difraksi sinar-x ini yaitu berdasarkan hukum Bragg yang ditunjukkan oleh gambar berikut.



Gambar 3.1. Prinsip dasar hukum Bragg

Dengan λ adalah panjang gelombang sinar-x, d adalah jarak antar bidang kristal dan θ adalah sudut difraksi yang terbentuk. Sinar-x yang digunakan adalah sinar dengan spektrum karakteristik ($k\alpha$) karena sinar ini hanya memiliki satu panjang gelombang dan nilainya kecil yaitu sekitar $0.5 - 2.5 \text{ \AA}$ sehingga dapat masuk ke dalam bahan target dan menghasilkan difraksi. Sinar-x yang ditembakkan akan menumbuk bidang kristal yang merupakan susunan elektron yang terstruktur dalam suatu bahan mengakibatkan sinar-x mengalami difraksi. Apabila sinar tersebut mengenai bidang yang sama maka akan terjadi interferensi maksimum pada sinar x yang telah mengalami difraksi akibat adanya kesamaan fasa gelombang. Kemudian sinar x yang terdifraksi ditangkap oleh detektor. Tingginya intensitas dalam pola difraksi yang terbentuk dapat dikatakan sebagai ciri khas suatu bahan yang memuat informasi mengenai parameter kisi, fasa dan bidang hkl sampel.

Data yang didapat dalam pengujian ini kemudian diolah menggunakan software. Data-data tersebut dimasukkan ke dalam program APD (*Automated*

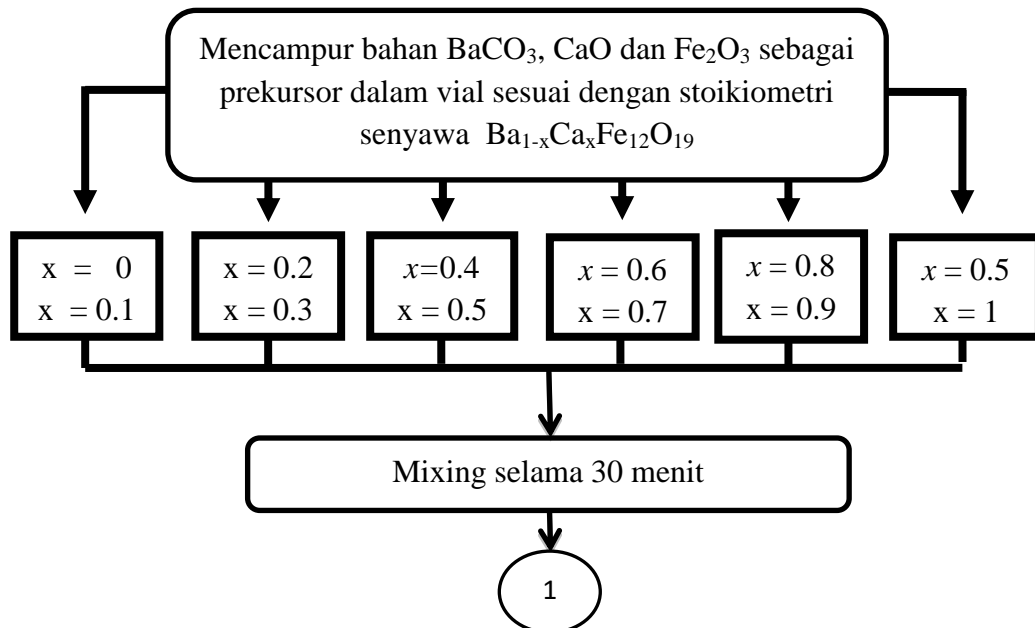
Powder Diffraction) untuk mengubah extension file menjadi udf. Selanjutnya dilakukan konversi data dari udf ke raw menggunakan program bella. Lalu dilakukan analisis dengan program GSAS dengan memasukkan parameter yang didapat dari program MATCH dan ICDD. Dengan melakukan refinement secara berulang-ulang maka akan diperoleh hasil yaitu parameter kisi, fasa, fraksi fasa dan bidang hkl dari sampel magnet.

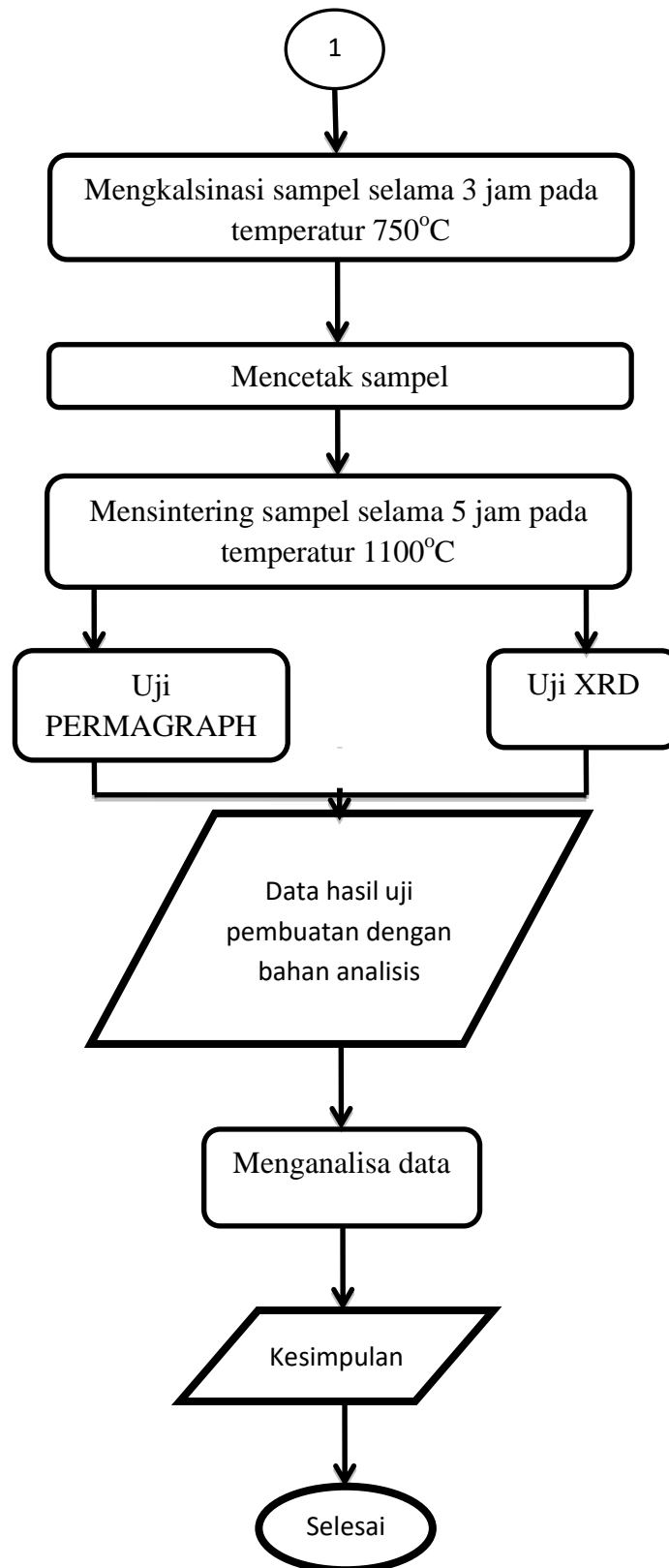
3.5.6 Karakterisasi Sifat Magnetik dengan alat PERMAGRAPH

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

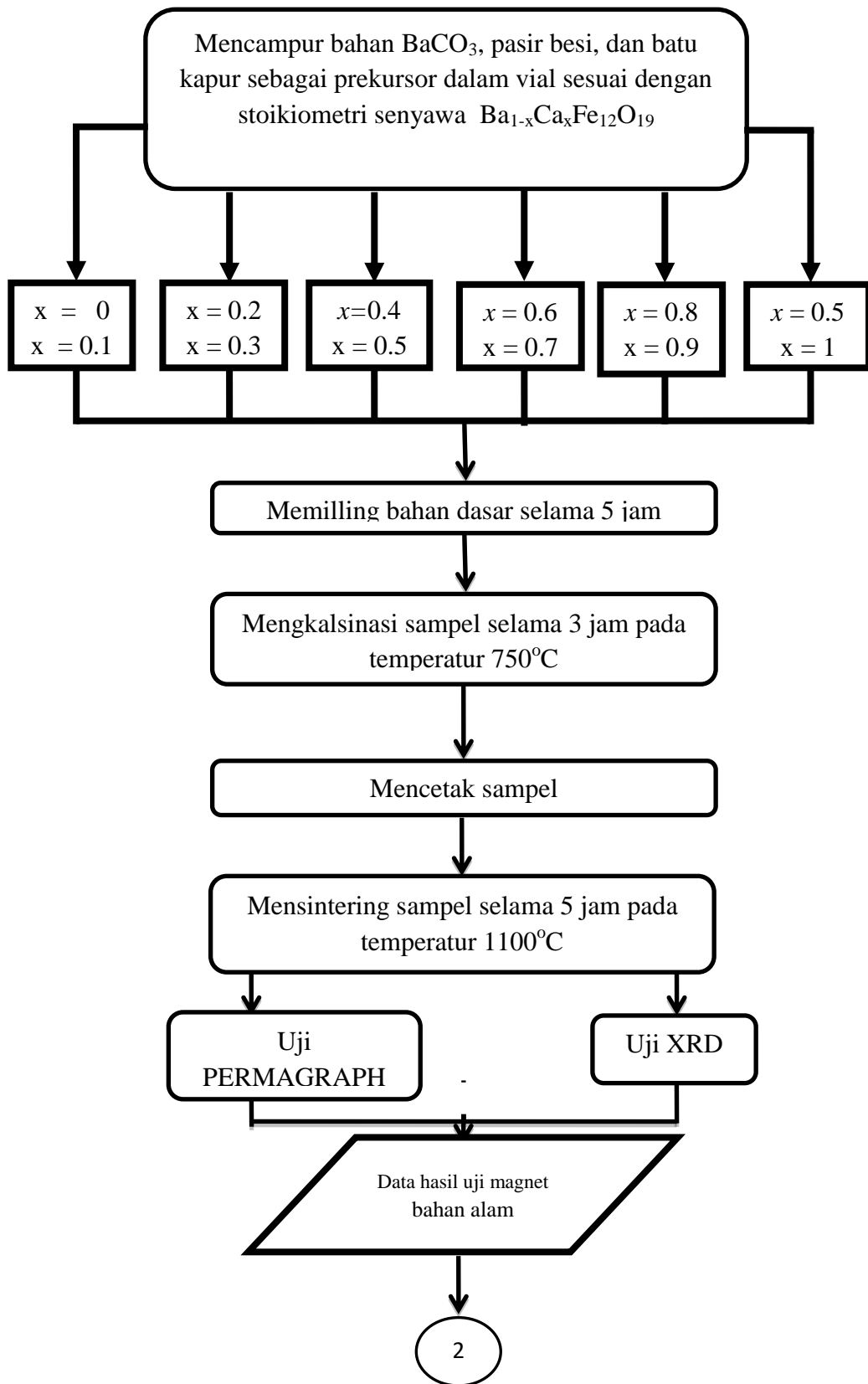
3.6 Diagram Alir Penelitian

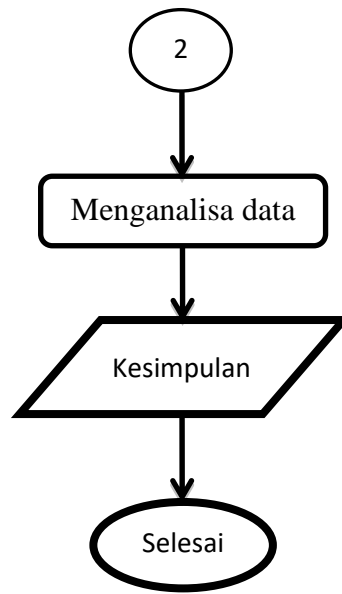
3.6.1 Material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ menggunakan bahan analisis





3.6.2 Material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ berbahan dari pasir besi dan batu kapur



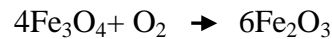


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Preparasi Fe₂O₃ dari pasir besi dan CaO dari batu kapur

Pasir besi didapatkan dari pantai Puger, Jember, Jawa Timur. Pertama-tama pasir besi difilter menggunakan magnet batang untuk memisahkan bahan magnet dengan impuritas seperti SiO₂ dan TiO₂ sebanyak 5 kali kemudian dihaluskan menggunakan alat planetary ball mill selama 5 jam. Lalu pasir besi dipanaskan selama 5 jam pada temperature 900°C. Sehingga diperoleh Fe₂O₃ melalui reaksi :



Hasil ekstraksi Fe₂O₃ dari pasir besi dapat dilihat pada gambar 4.1(a).

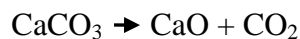


(a)

(b)

Gambar 4.1. (a) Fe₂O₃ dari pasir besi (b) CaO dari batu kapur

Selain itu juga dilakukan ekstraksi CaO dari batu kapur (CaCO₃) melalui pemanasan batu kapur pada temperatur 900°C selama 5 jam. Sehingga diperoleh CaO melalui reaksi :



Hasil ekstraksi CaO dari batu kapur dapat dilihat pada gambar 4.1(b).

4.1.2 Preparasi Material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ Bahan Analisis

Preparasi material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ ($x = 0;0.1;0.2;0.3;0.4;0.5;0.6;0.7;0.8;0.9;1$) telah dilakukan melalui proses pencampuran basah dengan alkohol. Material dasar $BaCO_3$, CaO , dan Fe_2O_3 dengan kemurnian 99.9% dicampur kemudian diaduk selama 30 menit. Setelah itu semua sampel dikalsinasi pada temperatur $750^\circ C$ selama 3 jam untuk menghilangkan kadar C lalu sampel dicetak menjadi padatan berdiameter 2,5cm. Kemudian sampel di sintering pada temperatur $1100^\circ C$ selama 5 jam hingga terbentuk bahan magnetik barium heksaferit. Sampel yang telah selesai dibuat dapat dilihat pada gambar 4.2(a)



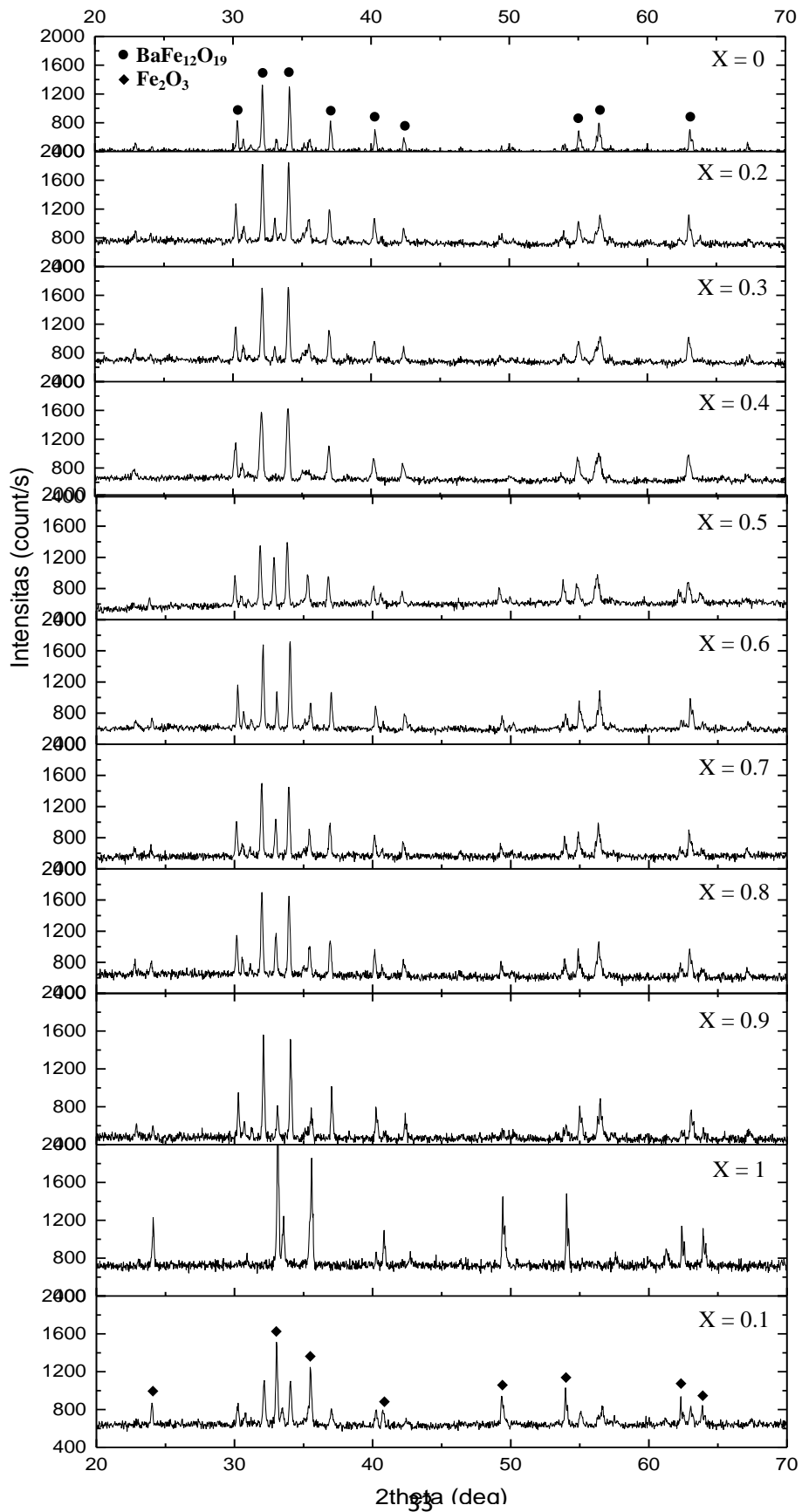
Gambar 4.2. Material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ (a) bahan analisis (b) bahan alam

4.1.3 Preparasi Material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ Bahan Alam

Preparasi Material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ ($x = 0;0.1;0.2;0.3;0.4;0.5;0.6;0.7;0.8;0.9;1$) telah dilakukan melalui metode reaksi zat padat. Dengan bahan $BaCO_3$, CaO dari batu kapur, dan Fe_2O_3 dari pasir besi yang dicampur dan dimilling selama 5 jam. Setelah itu semua sampel dikalsinasi pada temperatur $750^\circ C$ selama 3 jam untuk menghilangkan impuritas lalu sampel dicetak menjadi padatan berdiameter 2,5cm. Kemudian sampel di sintering pada temperatur $1100^\circ C$ selama 5 jam hingga terbentuk bahan magnetik barium heksaferit. Sampel yang telah selesai dibuat dapat dilihat pada gambar 4.2(b).

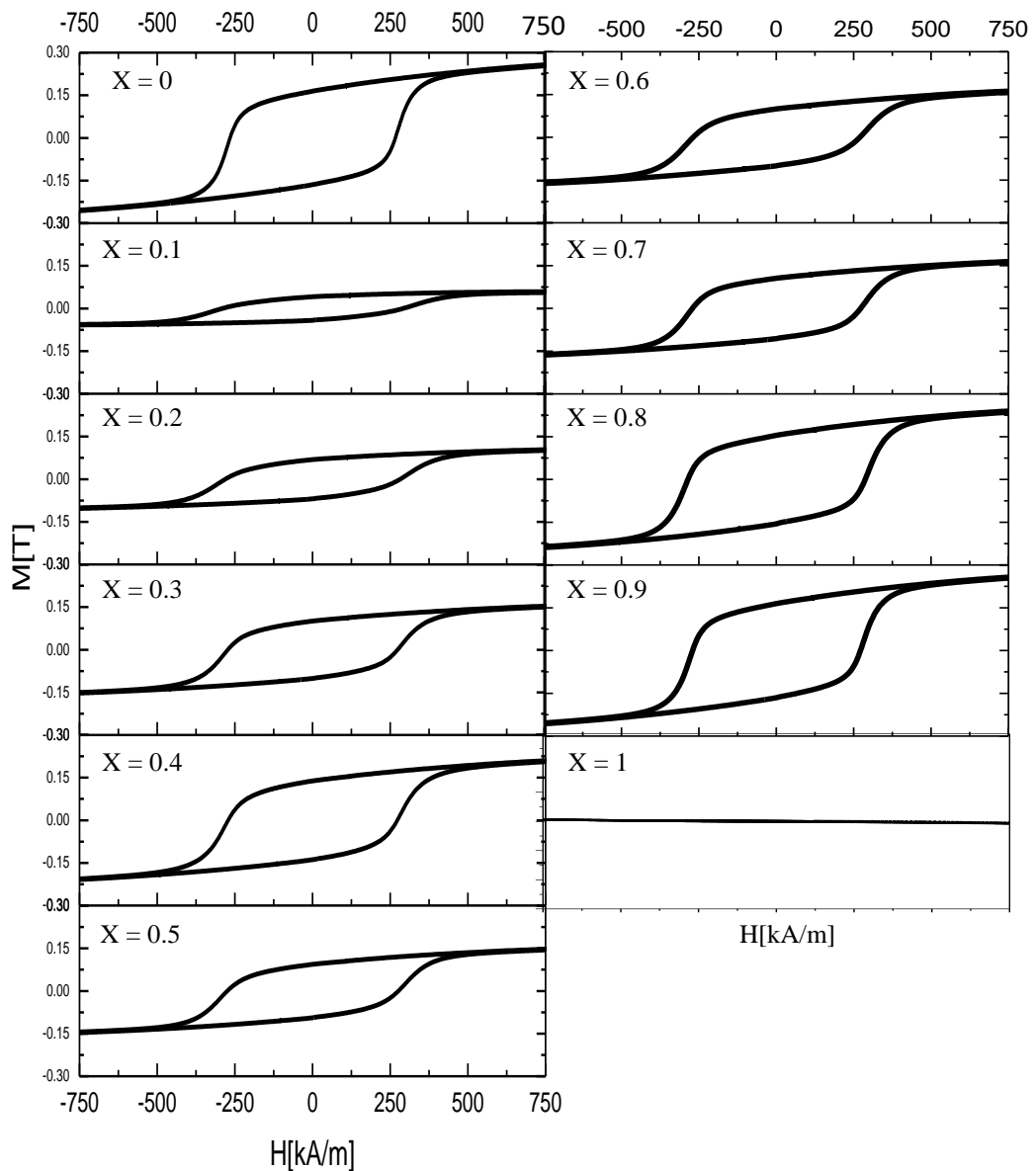
4.1.4 Hasil pengukuran difraksi sinar x material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ dari bahan analisis

Hasil pengukuran difraksi sinar x (XRD) dengan panjang gelombang $1,54 \text{ \AA}$ dengan anoda Cu pada interval sudut $20^\circ-100^\circ$ diperoleh. Gambar 4.3 menunjukkan pola difraksi material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$.



4.1.5 Hasil Pengukuran Sifat Magnetik material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ bahan analisis

Pengukuran sifat magnetik dilakukan dengan alat PERMAGRAPH yang memiliki medan luar maksimum 1 Tesla. Material yang diukur disiapkan dengan spesifikasi ukuran yang ditunjukkan pada tabel 4.1. Hasil pengukuran material Ba diperoleh data berupa nilai H medan luar dan M magnetisasi bahan yang kemudian ditampilkan berupa grafik histeresis sebagaimana terlihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4. Kurva Histeresis Material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ bahan analisis $x = 0 - 1$

Tabel 4.1. Spesifikasi ukuran sampel material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ bahan analisis

Jenis Sampel	Massa (gr)	Diameter (cm)	Densitas (gr/cm ³)
X = 0	4.6	2.5	4.9
X = 0.1	4.4	2.5	4.5
X = 0.2	4.6	2.5	4.3
X = 0.3	4.5	2.5	4.2
X = 0.4	4.2	2.5	4.2
X = 0.5	4.6	2.5	4.6
X = 0.6	4.4	2.5	4.6
X = 0.7	4.6	2.5	4.6
X = 0.8	3.9	2.5	4.2
X = 0.9	4.3	2.5	4.9
X = 1	4.6	2.5	4.8

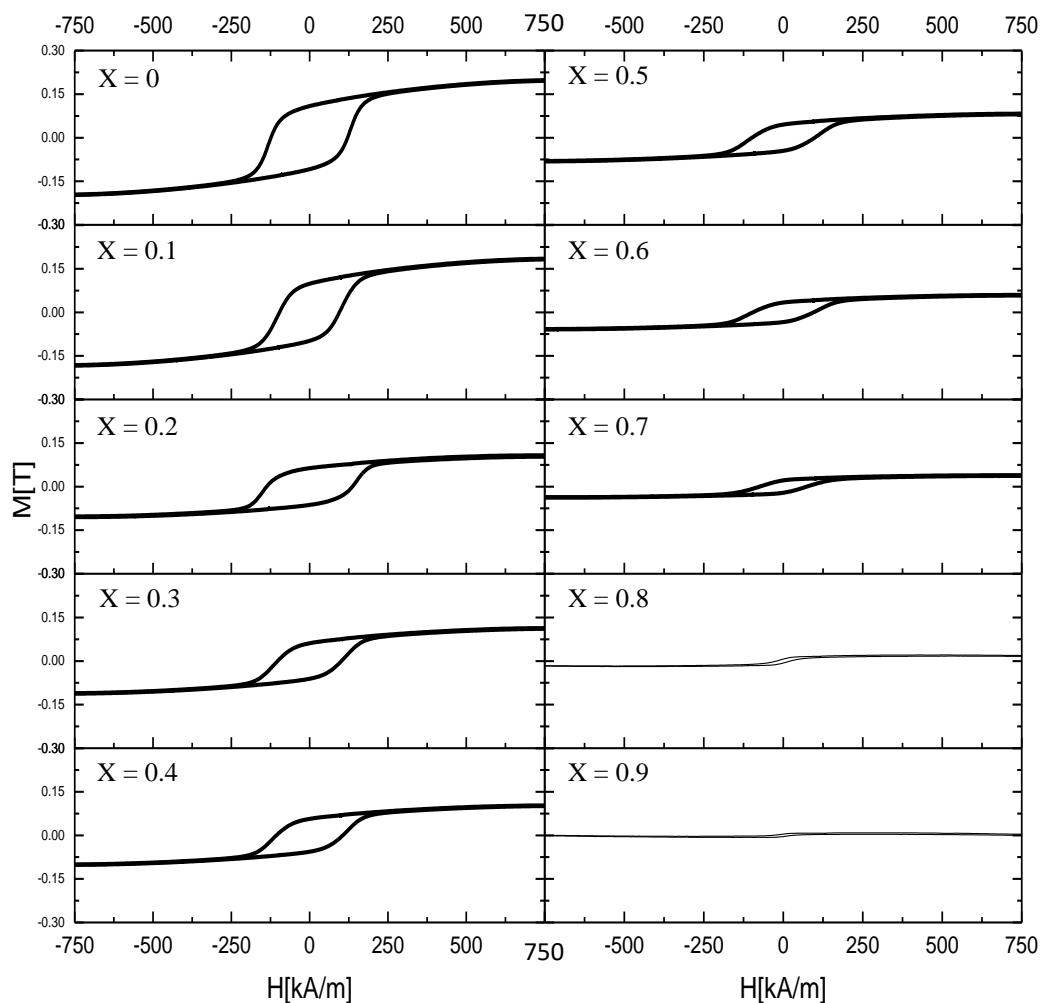
Hasil pengukuran magnetisasi yang terjadi pada bahan magnet akibat medan magnet luar ditunjukkan pada kurva histeresis. Melalui kurva dapat diketahui karakteristik magnet bahan yaitu magnet remanen (M_r), magnet saturasi (M_s) dan koersivitas magnet (H_c) yang ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Nilai magnetisasi saturasi (M_s), magnet remanen (M_r) dan koersivitas magnet (H_c) material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ dari bahan analisis

Jenis Sampel	M_s (T)	M_r (T)	H_c (kA/m)
X = 0	0.27	0.17	265.89
X = 0.1	0.06	0.04	291.93
X = 0.2	0.11	0.07	282.90
X = 0.3	0.16	0.10	273.34
X = 0.4	0.22	0.14	270.17
X = 0.5	0.16	0.09	273.60
X = 0.6	0.17	0.10	268.35
X = 0.7	0.17	0.11	272.92
X = 0.8	0.25	0.16	284.43
X = 0.9	0.27	0.17	272.36

4.1.6 Hasil Pengukuran Sifat Magnetik material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ bahan alam

Untuk mengetahui sifat magnet material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ dilakukan pengukuran sifat magnet menggunakan PERMAGRAPH. Sampel yang diuji yaitu sampel dengan komposisi $x = 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8$ dan 0.9 berbahan pasir besi dan batu kapur dengan spesifikasi yang ditunjukkan pada tabel 4.3. Data yang diperoleh dari hasil pengukuran disajikan dalam bentuk kurva histeresis. Kurva histeresis terbentuk akibat pemberian medan magnet luar yang dikenakan pada sampel sehingga terjadi penyearahan domain magnetik didalam bahan sejajar dengan medan magnet luar yang dikenakan terhadap bahan. Dari kurva histeresis dapat diketahui besarnya magnetisasi remanen (M_r), medan koersivitas (H_c), dan Magnetisasi saturasi (M_s). Hasil pengukuran disajikan dalam bentuk kurva histeresis pada gambar 4.5.



Melalui gambar 4.5 dapat dilihat bahwa telah terbentuk kurva histeresis pada sampel $x = 0 - 0.9$ yang menunjukkan bahwa telah terjadi proses penyearahan dipol-dipol magnet (magnetisasi) pada bahan akibat adanya medan magnet luar hingga mencapai magnetisasi saturasi. Sifat magnet material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ dari bahan alam ditunjukkan pada tabel 4.4.

Tabel 4.3. Spesifikasi ukuran sampel material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ bahan alam

Jenis Sampel	Massa (gr)	Diameter (cm)	Densitas (gr/cm ³)
X = 0	4.1	2.5	4.7
X = 0.1	4.7	2.5	4.3
X = 0.2	3.5	2.5	4.6
X = 0.3	4.6	2.5	4.4
X = 0.4	5	2.5	4.4
X = 0.5	5.2	2.5	4.4
X = 0.6	5.2	2.5	4.4
X = 0.7	4.9	2.5	4.4
X = 0.8	4	2.5	4.4
X = 0.9	3.7	2.5	4.5

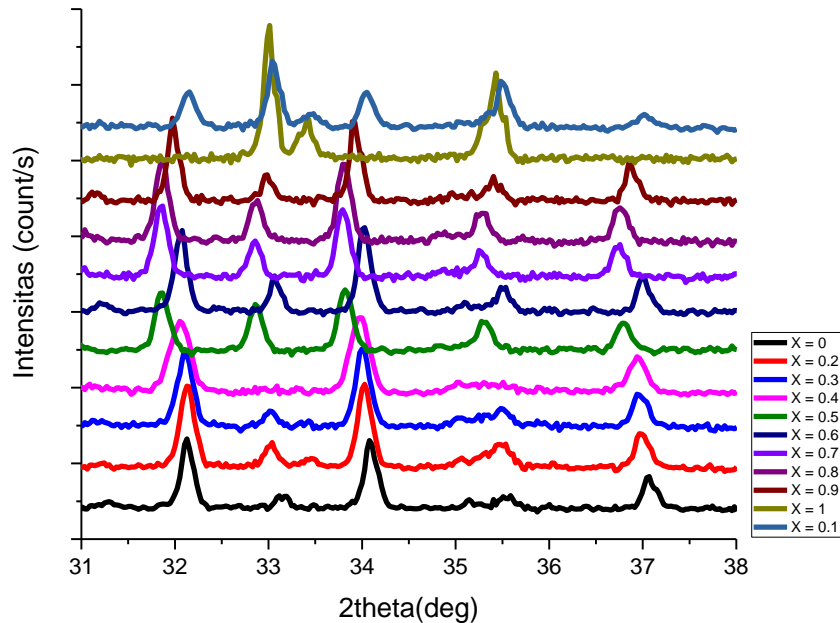
Tabel 4.4. Nilai magnetisasi saturasi(M_s), magnet remanen (M_r) dan koersivitas magnet (H_c) material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ dari bahan alam

Jenis sampel	M_s [T]	M_r [T]	H_c [kA/m]
X = 0	0.20	0.11	123.83
X = 0.1	0.19	0.1	95.50
X = 0.2	0.18	0.06	136.72
X = 0.3	0.11	0.06	104.05
X = 0.4	0.10	0.06	102.94
X = 0.5	0.08	0.05	99.75
X = 0.6	0.06	0.03	94.58
X = 0.7	0.04	0.02	74.10
X = 0.8	0.02	0.01	35.97
X = 0.9	0.01	0.004	30.58

4.2 Pembahasan

4.2.1 Pengaruh unsur Ca terhadap fasa magnetik

Dalam pembentukan material magnet $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ dilakukan variasi banyaknya unsur Ca untuk menggantikan unsur Ba sebagaimana yang direncanakan.



Gambar 4.6. Pola XRD Material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ bahan analisis

Pada hasil pengukuran difraksi sinar x material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ gambar 4.3 terlihat bahwa terbentuk fasa tunggal barium heksaferit pada sampel dengan komposisi $x = 0, 0.2, 0.3$ dan 0.4 yang teridentifikasi melalui pencocokan dengan data standar barium heksaferit PDF #96-900-8138 pada software MATCH. Puncak-puncak yang teridentifikasi melalui pencocokkan dengan data standar diperoleh bidang-bidang kristal $(0\ 0\ 8), (0\ 1\ 7), (1\ 1\ 4), (0\ 2\ 3), (0\ 2\ 5), (0\ 2\ 6), (0\ 3\ 4), (0\ 2\ 11),$ dan $(2\ 2\ 0)$ yang menunjukkan bidang kristal dari barium heksaferit. Akan tetapi terjadi pergeseran fasa seiring dengan bertambahnya unsur Ca seperti yang terlihat pada gambar 4.6. Juga terlihat fasa lain yang terbentuk pada sampel dengan komposisi $x = 0.5, 0.6, 0.7, 0.8$ dan 0.9 pada sudut 2θ 33.16° dengan bidang Kristal $(1\ 0\ 4)$ yaitu fasa hematit (Fe_2O_3) yang

teridentifikasi melalui pencocokkan puncak dengan data standar (Fe_2O_3) hematit dengan kode PDF #96-901-5965 pada software match. hal ini menandakan bahwa dengan komposisi x semakin tinggi Ca tidak mensubstitusi Ba secara menyeluruh. Sementara itu pada sampel dengan komposisi $x = 1$ tidak terbentuk fasa barium heksaferit. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa senyawa Fe_2O_3 dan Ca tidak membentuk fasa baru, dan tidak terbentuk bahan magnet barium heksaferit.

Melalui pencocokkan menggunakan software MATCH diketahui bahwa pada sampel dengan komposisi $x = 1$ terbentuk fasa tunggal Fe_2O_3 . Pada sampel dengan komposisi $x = 0.1$ diperoleh hasil tidak cukup baik berdasarkan pola difraksi sampel pada gambar 4.3 terdapat puncak Fe_2O_3 yang cukup tinggi selain puncak barium heksaferit.

Selanjutnya data hasil pengukuran diolah menggunakan software GSAS untuk mengetahui pengaruh Ca terhadap parameter kisi fasa barium heksaferit sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4.5.

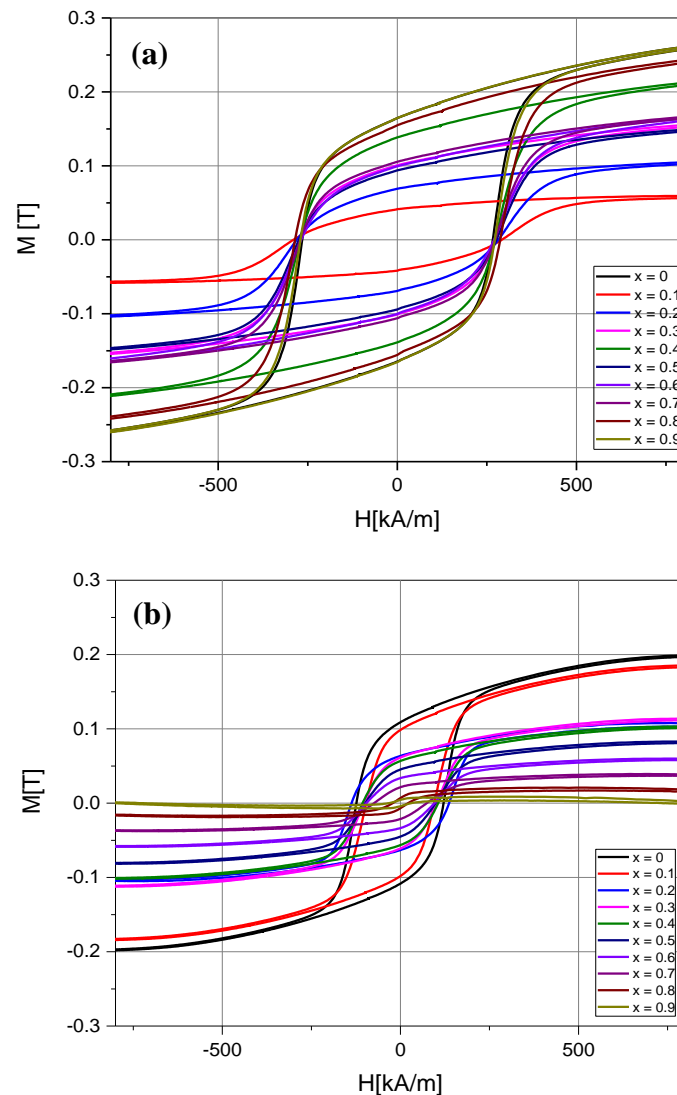
Tabel 4.5. Parameter kisi material $\text{Ba}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$

Jenis Sampel	a (Å)	c (Å)
BaFe ₁₂ O ₁₉ (ref) PDF #96-900-8138	5.89	23.19
X = 0	5.88	23.23
X = 0.1	5.89	23.14
X = 0.2	5.89	23.13
X = 0.3	5.89	23.13
X = 0.4	5.89	23.17
X = 0.5	5.89	23.23
X = 0.6	5.89	23.23
X = 0.7	5.88	23.2
X = 0.8	5.88	23.2
X = 0.9	5.88	23.2
X = 1	5.03	13.72

Dari tabel diatas dapat diketahui pengaruh variasi unsur Ca terhadap parameter kisi bahan. Nilai a cenderung konstan namun terjadi penurunan nilai c saat unsur Ca digunakan. Hal ini mengindikasikan terjadinya substitusi antara unsur Ca dan Ba karena unsur Ca memiliki radius atom yang lebih kecil [14].

4.2.2 Pengaruh unsur Ca terhadap sifat magnet

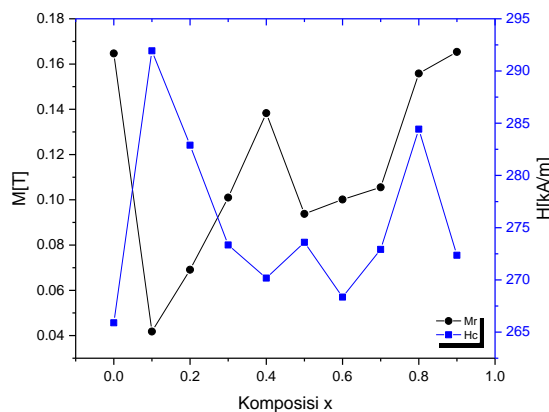
Pengaruh banyaknya unsur Ca terhadap sifat magnet material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ dapat diamati melalui kurva histeresis yang digabungkan dalam satu gambar sebagaimana terlihat pada gambar 4.6



Gambar 4.7. Kurva Histeresis Material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ (a) bahan analisis (b) bahan alam

Dari kurva histeresis material dari bahan analisis pada gambar 4.6(a) yang terbentuk diperoleh nilai koersivitas magnet (H_c) berkisar antara 265.89 – 291.93 kA/m. Nilai ini memenuhi standar koersivitas magnet keramik yaitu berkisar antara 150 – 290 kA/m[26].

Nilai koersivitas magnet dengan komposisi $x = 0$ sampai $x = 0.9$ memiliki pola sedikit acak sehingga sulit untuk memperoleh hubungan penambahan unsur Ca maka melalui gambar 4.7 dapat diketahui lebih jelas pengaruh unsur Ca terhadap sifat magnet material.



Gambar 4.8. Plot pengaruh Ca terhadap koersivitas magnet dan magnet remanen

Dari gambar 4.7 dapat diamati bahwa magnet remanen menurun drastis pada sampel $x = 0.1$ dan kemudian bertambah pada sampel $x = 0.2$; 0.3 dan 0.4 lalu turun pada sampel $x = 0.5$ dan kembali meningkat terus sampai dengan sampel $x = 0.9$. Sementara itu koersivitasnya meningkat drastis pada sampel $x = 0.1$ dan kemudian menurun pada sampel $x = 0.2$; 0.3 dan 0.4 lalu meningkat pada sampel $x = 0.5$. Koersivitas Sampel $x = 0.6$ menurun kemudian terus meningkat hingga sampel $x = 0.8$ lalu turun pada sampel $x = 0.9$

Pengaruh Ca terhadap koersivitas magnet dan magnet remanen menghasilkan pola acak. Namun demikian melalui tabel 4.2 diketahui bahwa

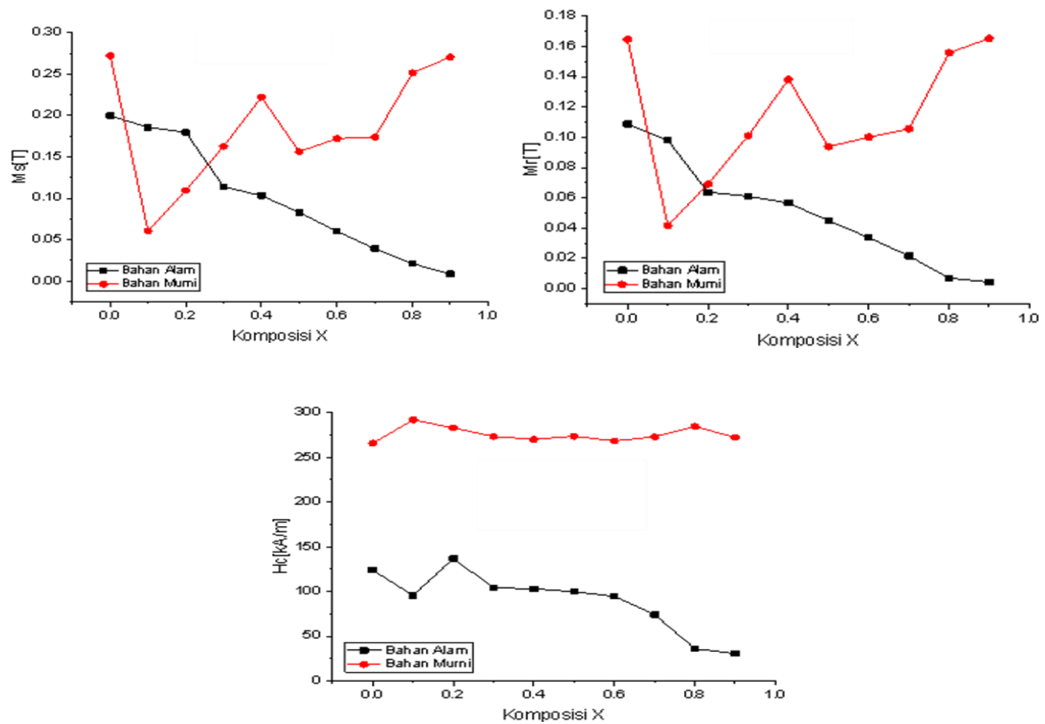
sampel dengan komposisi $x = 0.9$ dan 0.8 memiliki nilai remanen magnet yang paling mendekati nilai remanen magnet sampel $x = 0$. Remanen magnet ialah magnetisasi yang tersisa saat medan magnet luar dihilangkan. Semakin tinggi remanen magnet bahan maka magnetisasi spontan didalam bahan semakin kuat. Saturasi magnetisasi sampel $x = 0.9$ dan 0.8 juga mendekati nilai saturasi magnetisasi sampel $x = 0$ serta memiliki koersivitas yang sangat baik. Dari keadaan tersebut maka dapat dikatakan bahwa sampel dengan komposisi $x = 0.8$ dan 0.9 memiliki sifat magnet paling optimal.

Sementara kurva $x = 1$ tidak terbentuk kurva histeresis yang menunjukkan bahwa sampel dengan komposisi $x = 1$ tidak membentuk bahan magnet. Secara kualitatif pula dapat dilakukan pengujian bahwa sampel tidak menghasilkan medan magnet.

4.2.3 Efek penggunaan bahan alam pada material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$

Jika dibandingkan sifat magnetik barium heksaferit dengan substitusi Ca terhadap Ba yang dibuat menggunakan bahan analisis dan bahan alam memiliki sifat magnetik yang berbeda. Material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ yang dibuat dengan bahan analisis memiliki sifat magnetik yang lebih baik.

Sementara material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ yang dibuat dari pasir besi dan batu kapur memiliki sifat magnet yang lebih kecil sebagaimana terlihat pada gambar 4.6. Efek penggunaan bahan alam mengakibatkan menurunnya sifat magnet bahan, secara signifikan sifat magnetnya menurun seiring dengan bertambahnya unsur Ca sebagaimana terlihat pada gambar 4.4



Gambar 4.9 Perbandingan sifat magnet material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ bahan analisis dan bahan alam

Akan tetapi secara keseluruhan dari hasil pengukuran semua sampel $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ yang telah dibuat memiliki koersivitas magnet diatas 120 Oe atau 9.5 kA/m yang merupakan standar koersivitas magnet permanen [26] dan dapat menyimpan magnetisasi (M_r) cukup baik dari rentan 0.004 T – 0.109 T yang berarti bahwa material yang dibuat dengan bahan alam tersebut dapat digolongkan sebagai material magnet permanen. Dari sifat magnetik yang muncul pada material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ berbahan dari pasir besi dan batu kapur maka dapat dikatakan bahwa material tersebut bersifat magnet permanen.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisis data dari eksperimen yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ telah berhasil dibuat melalui substitusi unsur Ca dan Ba pada material menggunakan bahan analisis. Hasil uji difraksi sinar x (XRD) menunjukkan bahwa material yang telah dibuat didominasi oleh fasa barium heksaferit dengan puncak tertinggi saat $2\theta = 34.10^\circ$.
2. Material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ yang dibuat menggunakan bahan analisis memiliki medan koersivitas (H_c) 265.89 – 291.93 kA/m dan tergolong sebagai magnet ferit karena memiliki sifat sesuai dengan standar koersivitas magnet ferit yang berkisar antara 150 – 290 kA/m.
3. Magnet permanen berbahan dari pasir besi dan batu kapur telah berhasil dibuat. Pengaruh penggunaan bahan alam mengakibatkan menurunnya sifat magnet saat penambahan unsur Ca. Semakin banyak unsure Ca yang digunakan sifat magnet semakin menurun. Namun demikian material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ ($x = 0; 0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9$) yang dibuat memiliki medan koersivitas (H_c) berada pada kisaran 35.97 – 135.72 kA/m dimana angka ini sudah diatas standar medan koersivitas magnet permanen sebesar 9.5 kA/m. Maka dapat dikatakan bahwa material yang telah dibuat bersifat magnet permanen.

5.2 Saran

Uji XRD perlu dilakukan terhadap Fe_2O_3 hasil ekstraksi dari pasir besi untuk mengetahui tingkat keanalisisan bahan. Serta perlu dilakukan uji XRD terhadap material $Ba_{1-x}Ca_xFe_{12}O_{19}$ yang dibuat menggunakan bahan alam agar dapat diketahui fasa yang terbentuk pada bahan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

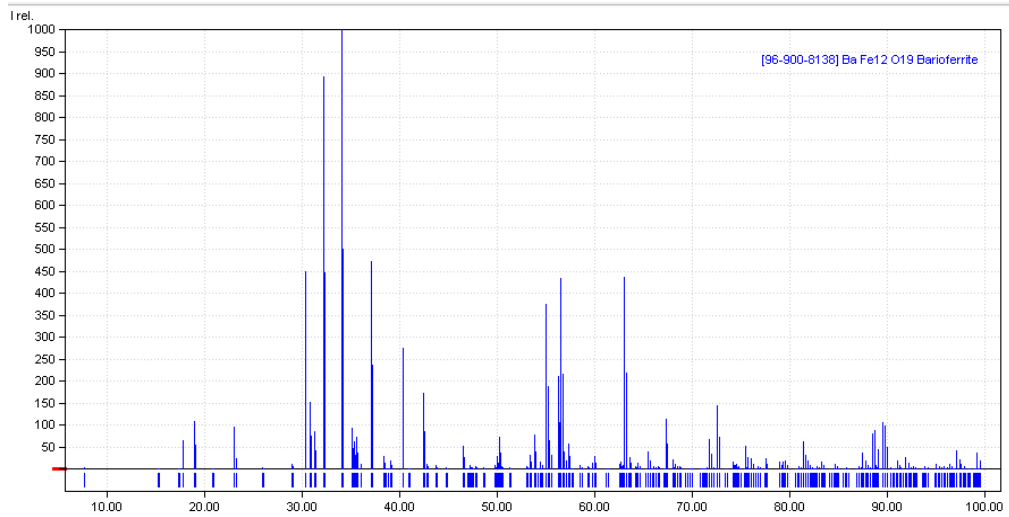
- [1] Bindr dan Hudiara. 2006. *Microwave dielectric properties of M-Type barium, calcium and strontium hexaferrite substituted with Co and Ti*. Journal of Ceramic Processing Research. Vol.7, No.2, pp.113~116.
- [2] Jianxun Qiu, Mingyuan Gu. 2006. *Crystal structure and magnetic properties of barium ferrite synthesized using GSPC and HEBM*. Journal of Alloys and Compounds 415 209–212
- [3] Y.Y. Meng, dkk. 2014. *Synthesis of barium ferrite ultrafine powders by a sol-gel combustion method using glycine gels*. Journal of Alloys and Compounds 583 220–225
- [4] E .C. Snelling. 1988. *Soft Ferrites/Properties and Appllication*; second ed Butter worths, London, pp.1.
- [5] C.C. Chauhan dan R.B. Jotania. 2011. *Synthesis and structural properties of BaCa₂Fe₁₂O₁₉ hexaferrite particles prepared using a Co-precipitation technique in presence of various surfactants*, Institute of Technology, Nirma University, Ahmedabad – 382 481.
- [6] Arifani M. 2012. “*Identifikasi dan Karakterisasi Pasir Besi di Pantai Selatan Kabupaten Blitar*”. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Indonesia.
- [7] Arif dan D. Asmi. 2015. “*“Sintesis dan Karakterisasi Bahan Magnet Barium Heksaferit (BaFe₁₂O₁₉) Menggunakan Bahan Dasar Barium Karbonat (BaCO₃) dan Pasir Besi dari Daerah Pesisir Selatan Pandeglang-Banten*” Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika Vol. 03, No. 01
- [8] Arif dan D. Asmi. 2015. “*Sintesis dan Karakterisasi Bahan Magnet Barium Heksaferit (BaFe₁₂O₁₉) Menggunakan Bahan Dasar Barium Karbonat (BaCO₃) dan Pasir Besi dari Daerah Pesisir Selatan Pandeglang-Banten*” Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika Vol. 03, No. 01
- [9] V. Pillai, P. Kumar, D.O. Shah. 1992. *Magnetic properties of barium ferrite synthesized using a microemulsion mediated process*, J. Magn. Mater. 116 (3) L299-L304.
- [10] R.B. Jotania, R.B. Khomane, C.C. Chauhan, S.K. Menon and B.D. Kulkarni. 2008. *Synthesis and magnetic properties of barium-calcium*

- hexaferrites prepared by a microemulsion and sol-gel route in presence of surfactants*, J. Magn. Mater. 320 1095-1101.
- [11] R.B. Jotania, R.B. Khomane, A.S. Deshpande, C.C. Chauhan and B.D. Kulkarni. 2009. *Physical and magnetic properties of barium-calcium hexaferrite nanoparticles synthesized by water-in-oil reverse micelle and co-precipitation techniques*, J. Sci. Res. (1) 1-13.
- [12] R.B. Jotania, C.C. Chauhan, S.K. Menon, Kanti Jotania. 2009. *Structural and magnetic properties of BaMg₂Fe₁₀O₁₉ hexaferrite particles*, Adv. Mater. Res. (67) 137-142.
- [13] G. Albanese. 1997. *Recent Advances in Hexagonal Ferrites by the Use of Nuclear Spectroscopic Methods. Journal de Physique Colloques*, 38 (C1), pp.C1-85-C1-94.
- [14] K.C. Rosyidah dan M. Zainur. 2013. *Sintesis Dan Karakterisasi Struktur Dan Sifat Magnet Komposit Barium M-Heksaferit/ Polianilin Berstruktur CoreShell Berbasis Pasir Besi Alam. Jurnal Teknik Pomits Vol. 1, No. 1, 1-3*
- [15] Joonghoe Dho, E.K. Lee, J.Y. Park, N.H. Hur. 2005. *Effects of the grain boundary on the coercivity of barium ferrite BaFe₁₂O₁₉*. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 285 164–168.
- [16] Lixi Wang, Qitu Zhang. 2009. *Effect of Fe³⁺/Ba²⁺ mole ratio on the phase formation and microwaveproperties of BaFe₁₂O₁₉ prepared by citrate–EDTA complexing method*. Journal of Alloys and Compounds 469 251–257
- [17] V. Anbarasu, dkk. 2013. *Effect of divalent cation substitution in the magnetoplumbite structured BaFe₁₂O₁₉ system*. J Mater Sci: Mater Electron 24:916–926
- [18] G. Benito, dkk. 2001. *Barium hexaferrite monodispersed nanoparticles prepared by the ceramic method*. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 234 65–72

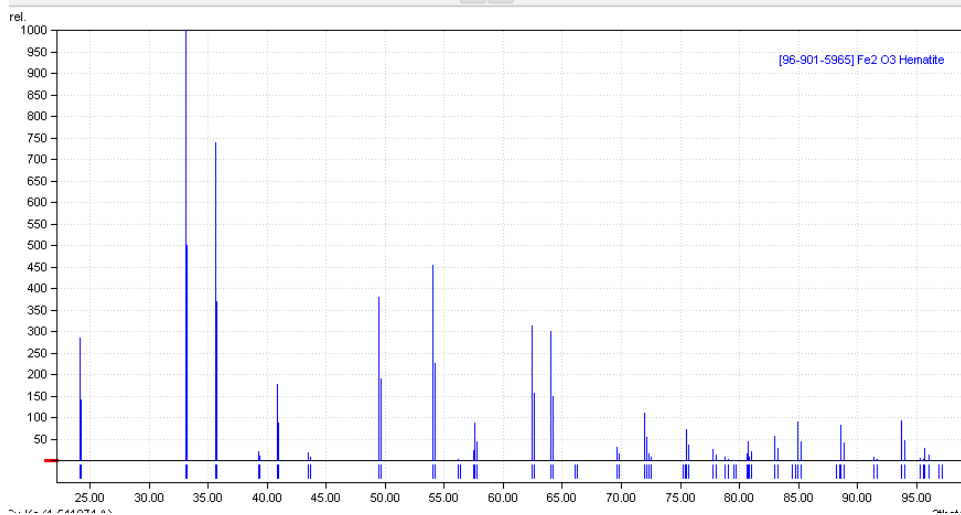
- [19] M. K. Tehrani, dkk. 2011. *Wideband electromagnetic wave absorber using doped barium hexaferrite in Ku-band*. Journal of alloy and compound 509 8398 –8400.
- [20] A. Kumar, dkk. 2013. *Effect of particle size of BaFe₁₂O₁₉ on the microwave absorption characteristic in X-Band*. Progress in electromagnetic research M, Vol. 29, 223-226.
- [21] Darminto dan F. Harianto. 2013. “*Sintesis Kalsium Ferit Berbahan Dasar Pasir Besi dan Batu Kapur dengan Metode Reaksi Padatan*”. Jurnal sains dan seni Vol. 1, No.1, ISSN:2301-928X .
- [22] T.M Atmono, dkk. 2015. “*pembuatan prototipe vibrating sample magnetometer untuk pengamatan sifat magnetik lapisan tipis*” ISSN 0216 – 3128
- [23] Callister, W.D, Rethwisch, D.G. (2007) *Materials Science and Engineering*. Jilid 7. Wiley. New York
- [24] Guerro, A.L. et al. (2011). *Effect of Barium on the Properties of Lead Hexaferrite*. Journal of Superconductor and Novel Magnetic 24, 2307-2312
- [25] Kementerian ESDM. 2015. “*INDONESIA MINERAL AND COAL INFORMATION 2015*”. Directorar General Mineral and Coal
- [26] Sucipto, E. (2007). “*Hubungan Pemaparan Partikel Debu pada Pengolahan Batu Kapur Terhadap Penurunan Kapasitas Fungsi Paru*”. Semarang : Universitas Diponegoro
- [27] Magnet Material Producers Association “*STANDARD SPECIFICATIONS FOR PERMANENT MAGNET MATERIALS*”. MMPA STANDARD No. 0100-00. Chicago. Illinois 60603

LAMPIRAN

Lampiran 1. Database puncak Barium Heksaferit dan Hematite (Fe_2O_3)



PDF #96-900-8138 (Barium Heksaferit)



#96-901-5965 (Hematite)

2theta	hkl	d [Å]
24.15	0 1 2	3.682
33.16	1 0 4	2.699
35.64	1 1 0	2.517
49.47	0 2 4	1.841
54.08	1 1 6	1.694
62.45	2 1 4	1.486
64.01	3 0 0	1.453

Puncak Hematite

2theta	hkl	d [Å]
18.86	4.7022	0 1 2
30.12	2.9645	1 1 0
30.52	2.9266	0 0 8
31.99	2.8026	0 1 7
34.10	2.6446	1 1 4
36.83	2.4388	0 2 3
40.02	2.2512	0 2 5
42.1	2.144	0 2 6
54.63	1.6786	1 2 7
55.93	1.643	0 3 4
56.56	1.639	0 2 11
62.62	1.4822	2 2 0

Puncak Barium Heksaferit

Lampiran 2. Foto-foto penelitian



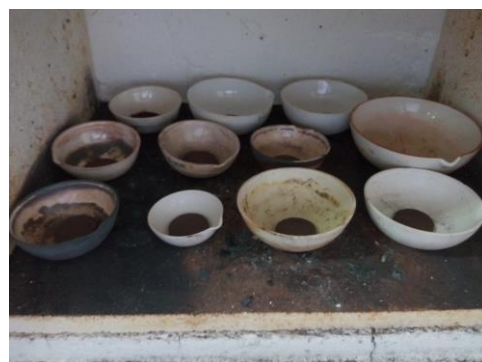
Fe₂O₃ dan CaO hasil ekstraksi



Sampel setelah dicetak



prekursor sebelum dimilling



Sampel setelah di sintering dalam furnace



Sampel setelah disinterring



Planetary mill



Alat Kompaksi

Lampiran 3. Data hasil pengukuran alat sifat magnet melalui PERMAGRAPH

H[kA/m]	M[T]
64.62998	0.034125
64.65253	0.034125
64.62998	0.034108
64.59615	0.034108
64.87889	0.034539
68.89557	0.037125
78.94305	0.041681
90.63114	0.045974
99.59249	0.048906
105.0688	0.050927
110.0022	0.053222
117.3906	0.056518
127.4043	0.060509
138.3118	0.064354
147.9858	0.067595
155.8948	0.070382
163.3627	0.073147
172.0185	0.076628
183.1295	0.080803
194.6705	0.084805
204.0166	0.087956
211.224	0.090772
218.7937	0.094309
229.2485	0.099106
240.7894	0.104277
250.8257	0.108811
258.9949	0.113031
267.0285	0.11804
277.3249	0.124684
289.1148	0.1321
300.5089	0.139068
310.6014	0.145252
320.1739	0.151426
330.7418	0.158221
342.8826	0.165077

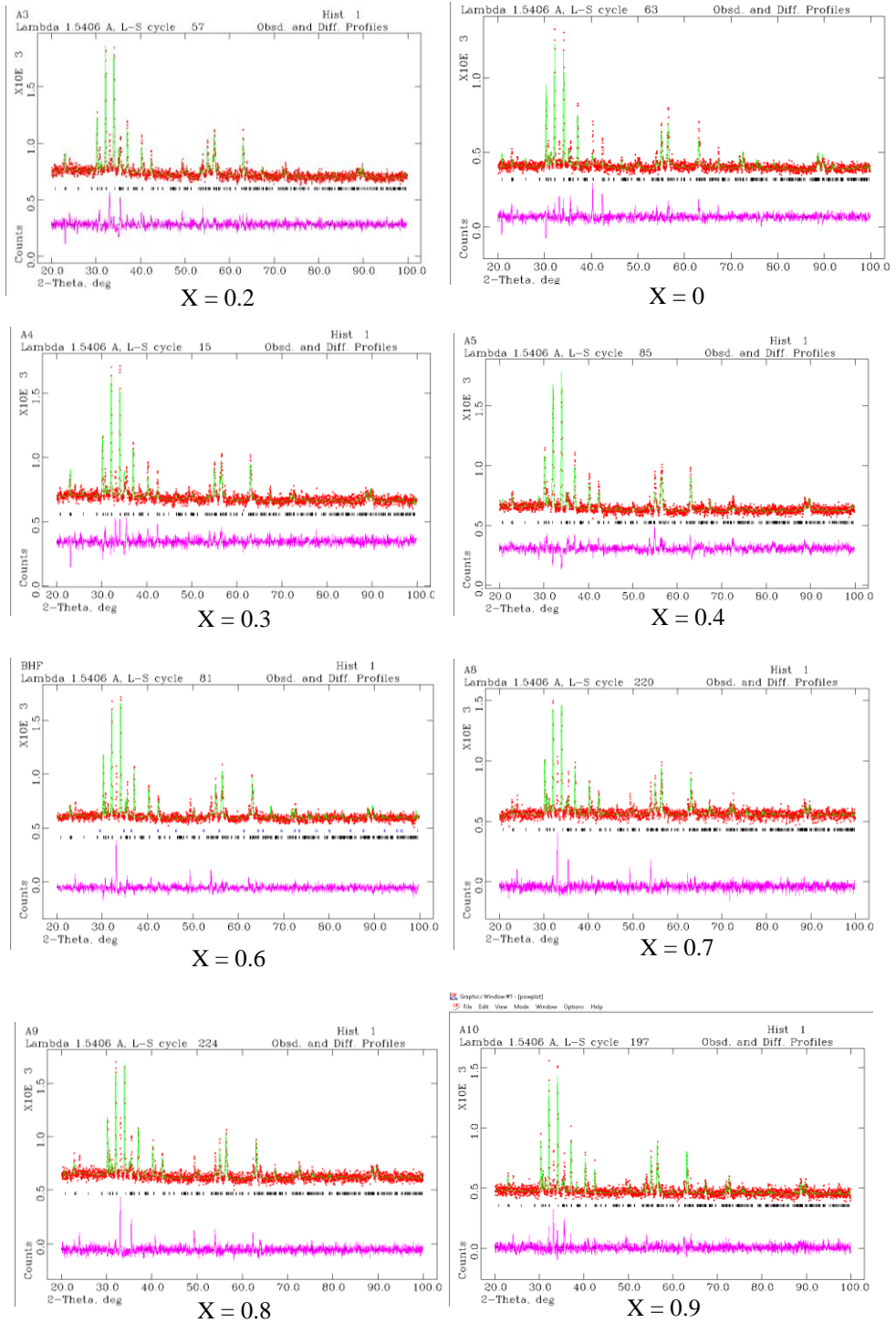
H[kA/m]	M[T]
411.9594	0.191741
423.0364	0.194355
432.4163	0.196582
442.8261	0.198771
454.3557	0.201133
466.1005	0.203209
477.37	0.205022
488.8204	0.206948
502.7716	0.209019
516.5868	0.211022
527.3926	0.212478
535.1432	0.213468
543.5613	0.214571
555.4079	0.215964
569.4607	0.217543
583.5703	0.219491
595.9487	0.221265
607.1162	0.222664
619.076	0.224052
631.6129	0.225541
644.0252	0.227147
655.4077	0.22877
665.6136	0.230472
677.1207	0.232067
689.9857	0.233589
702.6243	0.234921
714.0069	0.235985
724.0882	0.236948
734.7242	0.237966
746.1747	0.239041
757.3762	0.240099
767.899	0.241268
778.2295	0.242169
789.4536	0.243171
800.4516	0.244073

H[kA/m]	M[T]
876.3173	0.252233
886.2289	0.253151
896.4573	0.254589
907.5687	0.255765
918.3629	0.256604
928.4442	0.257354
937.6206	0.25797
947.4759	0.258664
957.6138	0.25933
967.0163	0.259878
975.5929	0.26046
984.2149	0.260947
993.8663	0.261457
1003.065	0.262044
1010.488	0.262604
1016.767	0.26299
1024.314	0.263292
1033.581	0.263684
1041.92	0.264059
1048.845	0.264557
1055.645	0.264949
1063.226	0.265235
1071.814	0.26552
1079.349	0.265867
1085.606	0.266136
1091.581	0.266292
1098.29	0.266343
1105.486	0.266522
1112.037	0.266667
1117.491	0.26683
1122.877	0.266914
1128.784	0.266858
1135.55	0.266925
1141.558	0.267048
1146.717	0.267126

Lampiran 4. Data hasil pengukuran difraksi sinar x (XRD)

2theta(deg)	Int(count/s)	2theta(deg)	Int(count/s)
20.013	410	21.027	390
20.039	357	21.053	432
20.065	400	21.079	452
20.091	409	21.105	417
20.117	401	21.131	397
20.143	420	21.157	402
20.169	413	21.183	439
20.195	392	21.209	438
20.221	393	21.235	428
20.247	393	21.261	437
20.273	386	21.287	428
20.299	381	21.313	418
20.325	430	21.339	415
20.351	432	21.365	400
20.377	364	21.391	391
20.403	434	21.417	412
20.429	424	21.443	423
20.455	398	21.469	419
20.481	392	21.495	412
20.507	413	21.521	405
20.533	444	21.547	406
20.559	419	21.573	392
20.585	398	21.599	387
20.611	419	21.625	395
20.637	427	21.651	420
20.663	437	21.677	422
20.689	391	21.703	408
20.715	386	21.729	406
20.741	421	21.755	401
20.767	392	21.781	389
20.793	373	21.807	368
20.819	389	21.833	411
20.845	405	21.859	411
20.871	400	21.885	381
20.897	421	21.911	380
20.923	420	21.937	393
20.949	432	21.963	392
20.975	413	21.989	428
21.001	402	22.015	430

Lampiran 5. Hasil Refinement Data XRD menggunakan software GSAS



RIWAYAT HIDUP



Aslam Louis lahir di Jakarta, 17 April 1996, sebagai anak ke tiga dari lima bersaudara dari pasangan Dumyati dan Tiharoh. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN 02 Cakung Barat dan melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMPN 144 Jakarta Timur. Kemudian pada tahun 2010 – 2013 penulis melanjutkan pendidikan di SMAN 89 Jakarta. Pada tahun yang sama dengan tahun kelulusan, penulis diterima sebagai Mahasiswa Prodi Fisika Fakultas MIPA Universitas Negeri Jakarta melalui jalur Undangan. Perkuliahan tersebut ditempuh penulis dari tahun 2013 hingga lulus pada tahun 2017, dengan skripsi yang berjudul “Sintesis $(\text{Ba,Ca})\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ Berbahan Dari Pasir Besi Dan Batu Kapur Melalui Metode Reaksi Zat Padat Untuk Aplikasi Magnet Permanen”