

**PENGARUH MgO TERHADAP STRUKTUR KRISTAL DAN SIFAT
MAGNETIK PADA PEMBUATAN SERBUK STRONSIUM
HEKSAFERIT ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$)**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains Bidang Studi Fisika



Oleh:

DELLA AGUSTIANA

NIM. 08021181621006

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2020

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH MgO TERHADAP STRUKTUR KRISTAL DAN SIFAT
MAGNETIK PADA PEMBUATAN SERBUK STRONSIUM
HEKSAFERIT (SrFe₁₂O₁₉)**

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains Bidang Studi Fisika

Diajukan oleh:
Della Agustiana
08021181621006

Indralaya, September 2020

Menyetujui,

Pembimbing II



Ir. Muljadi, M.Si.
NIP. 195711161983121002

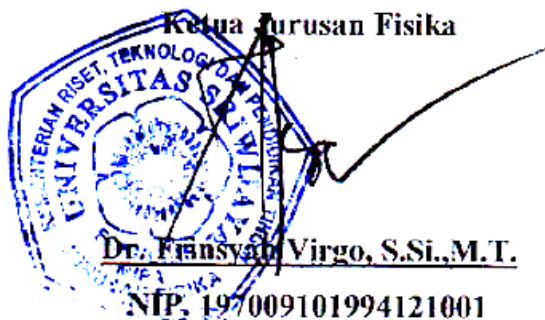
Pembimbing I



Dr. Ramlan
NIP. 196604101993031003

Mengetahui,

Ketua Jurusan Fisika





Dr. Fransyah Virgo, S.Si., M.T.
NIP. 197009101994121001

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

“Janganlah kamu berduka cita, sesungguhnya Allah selalu bersama kita”

(Q.S. At-Taubah: 40)

“Hidup berakal, mati beriman”

 *Ku persembahkan tulisan ini untuk kedua orangtuaku dan semua yang telah mentatah dan memberi arah di dalam gelapnya dunia yang penuh tanda tanya.* 

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Della Agustiana

NIM : 08021181621006

Judul Skripsi : Pengaruh MgO Terhadap Struktur Kristal dan Sifat Magnetik pada Pembuatan Serbuk Stronsium Heksaferit ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$).

menyatakan bahwa skripsi dengan judul di atas saya susun dengan sejujurnya berdasarkan norma akademik dan bukan merupakan hasil plagiat. Semua kutipan di dalam skripsi ini telah saya sertakan nama penulisnya dan telah saya cantumkan ke dalam Daftar Pustaka. Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan apabila di kemudian hari saya terbukti melanggar pernyataan yang telah saya sampaikan, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai aturan yang berlaku.

Indralaya, September 2020

Penulis,



Della Agustiana

NIM. 08021181621006

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Allah SWT. karena berkat rahmat dan karunia-Nya hasil tugas akhir yang berjudul **“Pengaruh MgO terhadap Struktur Kristal dan Sifat Magnetik pada Pembuatan Serbuk Strontium Heksaferit ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$)”** ini dapat diselesaikan dengan baik. Skripsi ini diajukan dengan tujuan melengkapi persyaratan kurikulum guna memperoleh gelar Sarjana Sains di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya. Selain itu, skripsi ini diharapkan bermanfaat dalam pengembangan magnet di Indonesia.

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Dr. Ramlan dan Bapak Ir. Muljadi, M.Si. selaku dosen Pembimbing penelitian tugas akhir yang banyak memberikan ilmu dan saran. Selain itu Penulis juga banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak yang tanpanya, penelitian dan skripsi ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Untuk itu Penulis ingin mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada:

1. Keluarga Penulis, ibu, bapak dan adik yang selalu melangitkan doa serta mendukung segala keputusan yang ingin dilakukan oleh Penulis.
2. Ibu Dr. Fitri Suryani Arsyad, Bapak Dr. A. Aminuddin Bama dan Bapak M. Yusup Nur Khakim, Ph. D selaku dosen Penguji yang telah memberikan masukan, kritik dan saran yang membangun guna menambah ilmu pengetahuan dan menjadikan skripsi ini lebih baik.
3. Bapak Prof. Dr. Iskhaq Iskandar, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Dr. Frinsyah Virgo, S.Si, M.T selaku Ketua Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.
5. Ibu Dr. Siti Sailah, S.Si., M.T selaku dosen Pembimbing Akademik.
6. Bapak Dr. Supardi, S.Pd., M.Si., selaku pembina ONMIPA yang turut meluangkan waktu untuk membina dan memberikan ilmu kepada Penulis.
7. Seluruh dosen dan staf administrasi Jurusan Fisika yang telah memberikan dukungan dan fasilitas selama Penulis berada di bangku perkuliahan.

8. Muhammad Adnan Firmansyah yang telah banyak membantu serta mendukung dalam berbagai hal.
9. Harni Mei Lastinah, Widya Permata Sandi dan Muhammad abidafi sebagai teman terbaik berhati tulus yang selalu membantu Penulis.
10. Teman-teman di jurusan Fisika yang selalu mewarnai hari selama perkuliahan.dan seluruh pihak terkait yang telah banyak membantu Penulis dalam penelitian tugas akhir ini yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Semoga kebaikan yang telah diberikan kepada Penulis untuk menyelesaikan penelitian dan skripsi ini dapat terbalaskan.

Indralaya, September 2020
Penulis,

Della Agustiana
NIM. 08021181621006

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Material Magnetik	5
2.2. Magnet Lunak dan Magnet Permanen.....	6
2.3. Magnet Ferit	8
2.4. <i>Ball Milling</i>	11
2.5. TG-DTA (<i>Thermogravimetric- Differential Thermal Analysis</i>)	13
2.6. <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	15
2.7. <i>Vibrating Sample Magnetometer (VSM)</i>	18
BAB III METODE PENELITIAN	21
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	21
3.2. Alat dan Bahan Penelitian	21
3.2.1. Alat Sintesis Penelitian.....	21
3.2.2. Bahan Penelitian	21
3.3. Tahapan Penelitian	22

3.3.1.	Proses Preparasi Sampel	22
3.3.2.	Proses Penimbangan dan Pencampuran.....	22
3.3.3.	Pengeringan Serbuk	23
3.3.4.	Penambahan Zat Aditif	23
3.3.5.	Pembakaran Serbuk	23
3.3.6.	Karakterisasi	23
3.4.	Data.....	26
3.5.	Diagram Alir Penelitian.....	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		27
4.1.	Karakterisasi Serbuk Stronsium Ferit Menggunakan TG-DTA.....	29
4.2.	Karakterisasi Serbuk Stronsium Ferit Menggunakan XRD	30
4.3.	Karakterisasi Serbuk Stronsium Ferit Menggunakan VSM	35
BAB V PENUTUP		41
5.1.	Kesimpulan.....	41
5.2.	Saran	41
DAFTAR PUSTAKA.....		42
LAMPIRAN		49
LAMPIRAN ALAT DAN BAHAN		50
LAMPIRAN PERHITUNGAN		51
A.	Perhitungan Massa Tiap Bahan Baku.....	51
B.	Perhitungan Ukuran Kristal dan Standar Deviasi	51
C.	Menentukan Energi Produk Maksimum (BHmax).....	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Momen Magnetik dari material magnetik	5
Gambar 2. 2. Kurva B-H untuk magnet lunak dan magnet permanen	6
Gambar 2.3. Perkembangan magnet permanen sejak 1900.....	7
Gambar 2.4. Struktur kristal Stronsium Heksaferit	9
Gambar 2. 5. Mekanisme terjadinya tumbukan saat proses <i>milling</i>	12
Gambar 2. 6. Kurva TGA Stronsium Heksaferit	13
Gambar 2. 7. Kurva TG-DTA dari magnet ferit	14
Gambar 2. 8. Difraksi sinar-X	16
Gambar 2. 9. Kurva 2θ terhadap intensitas	16
Gambar 2. 10. Pola difraksi Stronsium Heksaferit dengan variasi MgO.....	17
Gambar 2. 11. Skema area tempat sampel dengan konfigurasi koil pembaca data	19
Gambar 2.12. Kurva histerisis Stronsium Heksaferit dengan 0,1% dan 0,3% MgO.	20
Gambar 4.1. Proses pembuatan serbuk magnetik $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$	27
Gambar 4. 2. Sampel	28
Gambar 4.3. Kurva TG-DTA untuk serbuk magnetik Stronsium Ferit	29
Gambar 4.4. Pola difraksi sinar-X pada serbuk Stronsium Ferit dengan dopan	32
Gambar 4.5. Grafik pergeseran pola difraksi pada intensitas tertinggi	33
Gambar 4. 6. Kurva histerisis sampel A (Stronsium Ferit tanpa aditif).	35
Gambar 4. 7. Kurva histerisis Sampel B (Stronsium Ferit dengan 0,5% MgO).	36
Gambar 4. 8. Kurva histerisis sampel C (Stronsium Ferit dengan 1% MgO).....	37
Gambar 4. 9. Kurva histerisis sampel D (Stronsium Ferit 1,5% MgO).....	37
Gambar 4. 10. Kurva histerisis sampel E (Stronsium Ferit dengan 2% MgO).....	38
Gambar 4. 11. Kurva histerisis Stronsium Ferit dengan variasi zat aditif.....	39
Gambar 4. 12. Kurva histerisis sampel A, B, C, D, dan E pada daerah kuadran II.....	39

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Sifat magnetik dari beberapa magnet permanen	8
Tabel 2. 2. Beberapa karakteristik magnet ferit tipe M.....	8
Tabel 2. 3. Nilai koersivitas Stronsium Ferit dengan variasi mol	10
Tabel 2. 4. Parameter struktur Stronsium Heksaferit dengan zat aditif MgO.....	18
Tabel 2.5. Parameter magnetik Stronsium Heksaferit dengan dopan MgO.....	20
Tabel 3.1. Perbandingan n (mol) dan massa bahan baku..	22
Tabel 3. 2. Data yang diharapkan dari hasil DTA, XRD dan VSM.	24
Tabel 4. 1. Nilai parameter kisi, volume sel dan ukuran serbuk sampel.....	34
Tabel 4. 2. Sifat magnetik Stronsium Ferit dengan variasi komposisi MgO.....	40

**PENGARUH MgO TERHADAP STRUKTUR KRISTAL DAN SIFAT MAGNETIK
PADA PEMBUATAN SERBUK STRONSIUM HEKSAFERIT (SrFe₁₂O₁₉)**

**Oleh:
Della Agustiana
08021181621006**

ABSTRAK

Pembuatan serbuk Stronsium Heksiferit (SrFe₁₂O₁₉) yang melibatkan serbuk Stronsium Karbonat (SrCO₃) dan serbuk Hematit (α – Fe₂O₃) sebagai bahan baku dan serbuk Magnesium Oksida (MgO) sebagai dopan dengan variasi 0%; 0,5%; 1%; 1,5% dan 2% wt. telah dilakukan menggunakan metode metalurgi serbuk. Serbuk bahan baku terlebih dahulu di *milling* agar campuran homogen menggunakan *ball mills* selama 6 jam. Serbuk selanjutnya dibakar pada suhu 1100°C yang dianalisis berdasarkan hasil pengujian DTA. Variasi dopan dapat mempengaruhi formasi fasa berdasarkan hasil XRD yang dianalisis menggunakan Match! dengan fasa tunggal (SrFe₁₂O₁₉) dan struktur magnetoplumbite pada sampel 0% dan 0,5% MgO, sedangkan fasa MgFe₂O₄ dan MgSr dengan struktur kubik terbentuk pada 1%; 1,5% dan 2% MgO. Berdasarkan hasil VSM, peningkatan sifat magnetik terjadi pada sampel 0.5% MgO dengan nilai Ms = 52,93 emu/gr; Mr = 29,69 emu/gr; Hc = 3,617 kOe dan BHmax= 2,255 MGOe.

Kata Kunci: Stronsium Heksiferit, Magnesium Oksida, *ball mills*, DTA, XRD, VSM.

Indralaya, September 2020

Menyetujui,

Pembimbing II

Ir. Muljadi, M.Si.
NIP. 195711161983121002

Pembimbing I

Dr. Ramlan
NIP. 196604101993031003

Mengetahui,

Ketua Jurusan Fisika

Dr. Fransyah Virgo, S.Si., M.T.
NIP. 197009101994121001

INFLUENCE OF MgO ON THE STRUCTURAL AND MAGNETIC PROPERTIES IN THE MANUFACTURE OF STRONTIUM FERRITE (SrO.6Fe₂O₃) POWDER

By

Della Agustiana
08021181621006

ABSTRACT

The manufacture of Strontium Hexaferrite (SrFe₁₂O₁₉) has been prepared by the powder metallurgy method. Strontium carbonate (SrCO₃) powder and Hematite powder (α - Fe₂O₃) powder as raw materials and Magnesium Oxide (MgO) powder as dopant varied with 0%; 0,5%; 1%; 1,5% dan 2% wt. The raw materials powder was milled to obtain a homogeneous mixture using ball mills for 6 hours. Based on the results of DTA test, the milled powder combusted at 1100°C. Structure of the prepared samples has been characterized by the XRD. The results show dopant can be influenced the formation of phase. The SrFe₁₂O₁₉ phase with magnetoplumbite structure has been formed in the samples with 0% and 0,5% wt of, while MgFe₂O₄ and MgSr was formed with cubic structure in 1%; 1,5% dan 2% wt MgO. And the magnetic properties of samples has been characterized by VSM, the results show that magnetic properties of 0,5% wt. MgO increases with Ms = 52,93 emu/gr; Mr = 29,69 emu/gr; Hc = 3,617 kOe and BHmax= 2,255 MGOe.

Keywords: Strontium Hexaferrite, Magnesium Oxide, ball mills, DTA, XRD, VSM.

Indralaya, September 2020

Menyetujui,

Pembimbing II

Ir. Muljadi, M.Si.
NIP. 195711161983121002

Pembimbing I

Dr. Ramlan
NIP. 196604101993031003

Mengetahui,

Ketua Jurusan Fisika

Dr. Fransyah Virgo, S.Si., M.T.
NIP. 197009101994121001

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi saat ini menjadikan magnet sebagai bagian yang dibutuhkan dalam kehidupan manusia, baik pada peralatan listrik maupun peralatan *nonlistrik* (Djuhana *et al.*, 2018). Magnet dapat diklasifikasikan dalam dua grup, magnet lunak (dapat dimagnetisasi dan didemagnetisasi dengan mudah) dan magnet permanen (sulit untuk dimagnetisasi dan didemagnetisasi) (Verma *et al.*, 2000). Untuk banyak aplikasi, magnet permanen menjadi pilihan yang lebih baik karena mampu menyimpan medan magnetik pada volume ruang tertentu (Cullity dan Graham, 2009). Beberapa jenis material magnet permanen diantaranya baja, ferit, alnico, dan magnet tanah jarang-logam transisi. Di awal tahun 1900, baja diketahui sebagai magnet permanen pertama. Kemudian ditemukan jenis magnet permanen AlNiCo yang terbuat dari campuran Fe dan Co pada tahun 1930. Magnet ini memiliki sifat magnetik yang lebih baik dengan $(BH)_{\max}$ yang dihasilkan mencapai lima kali lipat dibandingkan baja. Pada tahun 1970, ditemukan magnet SmCo menempati kelas magnet permanen logam tanah jarang, dengan nilai $(BH)_{\max}$ yang lebih tinggi sekitar 30-35 MGOe. Namun magnet berbasis Co tersebut memiliki kekurangan pada biaya produksi yang relatif tinggi sebab ketersediaan logam Co yang terbatas. Miniaturisasi ruang sebagai tuntutan kebutuhan teknologi saat ini, menyebabkan penelitian magnet terus berkembang. Hingga ditemukannya fasa magnetik baru pada tahun 1984, yaitu magnet NdFeB. Magnet logam tanah jarang jenis NdFeB ini mampu menghasilkan $(BH)_{\max}$ mencapai 56 MGOe (Idayanti *et al.*, 2018). Disamping kelebihan tersebut, sifat termalnya yang kurang baik menyebabkan magnet NdFeB tidak cocok untuk aplikasi pada temperatur tinggi (Djuhana *et al.*, 2018). Selani tu, NdFeB juga tidak tahan terhadap korosi bahkan pada temperatur ruangan (Ramlan *et al.*, 2020). Untuk menggantikan magnet NdFeB dengan kebutuhan tersebut, dibutuhkan magnet dengan sifat termal dan ketahanan terhadap korosi yang lebih baik. Magnet ferit dengan sifat termalnya yang lebih baik dibandingkan NdFeB menjadi pilihan untuk dikembangkan.

Sejak magnet ferit ditemukan pada 1950, ferit menempati posisi unggul dalam kepentingan komersial. Di tahun 2010, magnet ferit mencapai 34% dari total penjualan magnet permanen pada pasar global (Pullar, 2012). Magnet permanen ferit memiliki

struktur heksagonal dan dapat diklasifikasikan dalam ferit tipe M, X, Y, W, dan Z. Ferit tipe W, X, Y, Z tidak menarik secara komersial disebabkan pembuatannya yang relatif sulit sehingga membutuhkan biaya produksi yang tinggi (Verma *et al.*, 2000). Magnet heksaferit dengan struktur tipe M terus dikembangkan karena keunggulan sifat yang dimilikinya dibanding ferit tipe lain, berupa saturasi magnet (M_s), koersivitas (H_c), temperatur Curie yang relatif tinggi, stabilitas kimia yang baik dan tahan terhadap korosi (Djuhana *et al.*, 2018; Dai *et al.*, 2015; Fu dan Lin, 2005). Ferit tipe M memiliki formula $MFe_{12}O_{19}$, dengan M untuk Sr, Ba dan Pb (Tiwary *et al.*, 2014). Dari tiga magnet permanen ferit tersebut yang memiliki sifat lebih unggul dan banyak dikembangkan, yaitu Barium dan Stronsium Ferit ($BaFe_{12}O_{19}$ dan $SrFe_{12}O_{19}$) (Mangai *et al.*, 2014). Magnet ferit ini terbuat dari bahan baku yang melimpah (Fe_2O_3) sehingga magnet dapat diproduksi dengan biaya yang rendah (Idayanti *et al.*, 2018). Menurut Pullar (2012), magnet $SrFe_{12}O_{19}$ memiliki titik leleh dan temperatur Curie yang lebih tinggi sehingga baik digunakan pada aplikasi temperatur tinggi. Dari penelusuran literatur tersebut, penelitian ini berfokus pada pengembangan karakteristik magnet $SrFe_{12}O_{19}$ yang memiliki sifat termal relatif lebih baik dibandingkan $BaFe_{12}O_{19}$.

Untuk meningkatkan sifat magnet ferit, upaya pengembangan dilakukan dengan rekayasa struktur material. Salah satu cara dalam modifikasi sifat magnetik yang dapat dilakukan dengan mendoping/senyawa dengan unsur tertentu (Rasyid *et al.*, 2013). Beberapa penelitian telah mengidentifikasi pengaruh variasi dopan terhadap struktur kristal dan sifat magnetik $SrFe_{12}O_{19}$ menggunakan beberapa metode yang berbeda. Seperti pada penelitian yang telah dilakukan Tyrman *et al.* (2015), upaya pengembangan dengan melakukan substitusi LaCo, namun analisis yang diperoleh bahwa hasil tidak optimum karena energi produk maksimum yang dihasilkan mengalami penurunan pada suhu sekitar 20 – 250°C. Dengan dopan yang sama (LaCo), Shimoda *et al.* (2016) melakukan penelitian pada pembuatan $SrFe_{12}O_{19}$ namun dengan metode yang berbeda yaitu metode fluks Na_2O , dari hasil yang diperoleh bahwa metode tersebut relatif sulit untuk dilakukan. Menurut Shimoda *et al.*, rasio yang digunakan bergantung pada kondisi preparasi dan masih dibutuhkan eksplorasi komposisi yang tepat agar menghasilkan sifat magnetik yang optimum. Selanjutnya, penelitian pada pengembangan $SrFe_{12}O_{19}$ dilakukan menggunakan metode lain.

Tahun 2017 oleh Ashiq *et al.*, pembuatan magnet $SrFe_{12}O_{19}$ dilakukan

menggunakan metode sol gel. Hasil analisis yang telah diperoleh bahwa metode yang digunakan juga kurang optimum, disebabkan oleh distribusi ukuran partikel yang dihasilkan inhomogen akibat efek metode sintesis yang melibatkan pembentukan dan pertumbuhan kristal yang cepat dibandingkan dengan nukleasi nanopartikel heksaferit. Kemudian, penelitian pada pengembangan karakteristik $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ dilakukan dengan penambahan MgO (Magnesium Oksida) oleh Bhat (2017). Hasil yang diperoleh bahwa ion pada dopan MgO mampu menggantikan ion Fe^{+3} dan meningkat sifat magnetik. Akan tetapi, komposisi yang digunakan kurang signifikan dan metode kurang efisien (sol gel). Selanjutnya oleh Serletis *et al.* pada tahun yang sama menggunakan SmCo sebagai dopan pada $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ menggunakan metode kopresipitasi, namun metode tersebut membutuhkan metode lain untuk meningkatkan sifat magnetik sampel sehingga relatif kurang baik untuk memperoleh sifat magnetik optimum. Penelitian Huang *et al.* (2017), telah menambahkan CaCO_3 dan SiO_2 dengan metode metalurgi serbuk, hasil yang diperoleh bahwa dopan yang digunakan tidak meningkatkan sifat magnetik dari $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ namun sebaliknya. Identifikasi struktural dan sifat magnetik material yang ditambahkan dengan Cr – Bi, kemudian dilakukan oleh Carol *et al.* (2019). Dengan adanya substitusi ion Cr^{3+} – Bi^{3+} pada $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ nilai koersivitas magnet mengalami penurunan, sehingga dengan dopan tersebut tidak efektif untuk dikembangkan. Penambahan dopan lain, seperti Zn – Sn yang dilakukan Dixit *et al.* (2019), Zr oleh Almessiere *et al.* (2019) dan Ce – Nd oleh Khandani *et al.* (2019), hasil yang diperoleh bahwa dopan yang digunakan menurunkan sifat magnetik dari $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$. Sehingga dapat dinyatakan bahwa, dopan MgO yang memungkinkan untuk menggantikan ion Fe^{+3} dan meningkatkan sifat magnetik $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$.

Pada penelitian ini, dilakukan pembuatan serbuk magnetik $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ dengan penambahan serbuk MgO pada komposisi yang lebih luas menggunakan metode metalurgi serbuk. Berbeda dari metode yang lain, metalurgi serbuk relatif lebih hemat biaya karena tidak ada material yang terbuang selama proses pembuatan, dapat melakukan kontrol kualitas dan kuantitas material, mempunyai presisi dan kecepatan produksi tinggi (El-Eskandarany, 2015; Hamzah *et al.*, 2018). Untuk komposisi MgO yang digunakan divariasikan pada 0%; 0,5%; 1%; 1,5% dan 2% wt. Pencampuran bahan baku dilakukan menggunakan *rotary ball mill* selama 6 jam dengan kondisi *wet milling*. Serbuk hasil preparasi dikarakterisasi menggunakan DTA yang bertujuan untuk

menganalisis suhu pembakaran yang tepat dengan meninjau pengaruh perubahan suhu terhadap formasi struktur yang terbentuk. Serta dilakukan pengujian menggunakan XRD dan VSM untuk mengetahui formasi fasa sampel dan kuantitas parameter-parameter yang dianalisis dari keluaran hasil pengujian berupa kurva histeris sebagai representasi kualitas dari sifat magnetik sampel yang diuji.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi komposisi dopan (MgO) terhadap struktur kristal serbuk $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$?
2. Bagaimana pengaruh variasi komposisi dopan (MgO) terhadap sifat magnetik serbuk $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini meliputi:

1. Menggunakan bahan baku serbuk Stronsium Karbonat (SrCO_3) dan serbuk $\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$ dengan perbandingan mol 1:6.
2. Menggunakan dopan berupa Magnesium Oksida (MgO) dengan komposisi 0%; 0,5%; 1%; 1,5% dan 2% wt.
3. *Milling* selama 6 jam dengan penambahan *aquadest* 125 ml.

1.4. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh penambahan serbuk MgO terhadap tinjauan parameter struktur kristal serbuk magnetik $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$.
2. Menganalisis pengaruh penambahan serbuk MgO terhadap sifat magnetik serbuk $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini dapat memaksimalkan potensi pengembangan magnet berbasis ferit dengan meningkatkan energi produk magnet untuk berbagai aplikasi yang membutuhkan energi dan ketahanan terhadap temperatur tinggi dalam bidang industri.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Mikrajuddin. *Pengantar Nanosains*. Institut Teknologi Bandung, 2008.
- Alfarisa, Suhufa, *et al.* “Studi Difraksi Sinar-X Struktur Nano Seng Oksida (ZnO) X-ray Diffraction Study on ZnO Nanostructures.” *Risalah Fisika*, vol. 2, no. 2, 2018, hal. 53–57.
- Almessiere, M. A., *et al.* “The Impact of Zr Substituted Sr Hexaferrite : Investigation on Structure , Optic and Magnetic Properties.” *Results in Physics*, vol. 13, Elsevier, 2019, hal. 102244, doi:10.1016/j.rinp.2019.102244.
- Ashiq, Muhammad Naeem, *et al.* “Magnetic and Electrical Properties of M-type Nano-Strontium Hexaferrite Prepared by Sol-gel Combustion Method.” *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 444, Elsevier B.V., 2017, hal. 426–31, doi:10.1016/j.jmmm.2017.08.065.
- Atmono, Tri Mardji, *et al.* “Pembuatan Prototipe Vibrating Sample Magnetometer untuk Pengamatan Sifat Magnetik Lapisan Tipis.” *Pertemuan dan Presentasi Ilmiah*, 2015, hal. 57–66.
- B.R.Kirupakar, *et al.* “Vibrating Sample Magnetometer and Its Application In Characterisation Of Magnetic Property Of The Anti Cancer Drug Magnetic Microspheres.” *International Journal of Pharmaceutics & Drug Analysis*, vol. 4, no. 5, 2016, hal. 227–33.
- Bhat, Bilal Hamid. “Effect of Magnesium Substitution on the Structural and Magnetic Properties of M-type Strontium hexaferrite.” *Science and Engineering Applications*, vol. 2, 2017, hal. 177–80, doi:10.26705/SAEA.2017.2.13.177-180.
- Carol, Tchouank Tekou, *et al.* “Effect of Cr – Bi Substitution on The Structural, Optical, Electrical and Magnetic Properties of Strontium Hexaferrites.” *Physica B: Physics of Condensed Matter*, vol. 575, Elsevier B.V., 2019, hal. 411681, doi:10.1016/j.physb.2019.411681.
- Chawla, S. K., *et al.* “Materials Effect of Site Preferences on Structural and Magnetic Switching Properties of CO – Zr Doped Strontium Hexaferrite $\text{SrCo}_x\text{Zr}_x\text{Fe}_{(12-2x)}\text{O}_{19}$.” *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 378, Elsevier, 2015, hal. 84–91, doi:10.1016/j.jmmm.2014.10.168.
- Chen, Deyang, *et al.* “Synthesis, Structure, Morphology Evolution and Magnetic

- Properties of Single Domain Strontium Hexaferrite Particles.” *Materials Research Express*, vol. 3, IOP Publishing, 2016, hal. 1–9, doi:10.1088/2053-1591/3/4/045002.
- Cullity, B. D., dan C. D. Graham. *Introduction to Magnetic Materials*. 2th ed., John Wiley & Sons, Inc., 2009.
- Cullity, B. D., dan S. R. Stock. *Elements of X-Ray Diffraction Third Edition*. Pearson Education limited, 2014.
- Dai, Jianfeng, *et al.* “Lanthanum- and cobalt-codoped M-type Strontium Ferrite Nanofibres.” *Journal of Experimental Nanoscience*, vol. 10, no. 4, 2015, hal. 249–57, doi:10.1080/17458080.2013.824618.
- Didik, Lalu A. “Penentuan Ukuran Butir Kristal $\text{Cu}_{10,98}\text{Ni}_{0,02}\text{O}_2$ dengan Menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) dan Scanning Electron Microscope (SEM).” *Indonesian Physical Review*, vol. 3, no. 1, 2020, hal. 6–14.
- Dixit, Vivek, *et al.* “Site Preference and Magnetic Properties of Zn-Sn-substituted Strontium Hexaferrite.” *Journal of Applied Physics*, vol. 125, no. 17, 2019, hal. 6–13, doi:10.1063/1.5084762.
- Djuhana, *et al.* “Pembuatan dan Pengujian Bulk Density, Fluks Magnetik, dan Mikrostruktur pada Hybrid Magnet Berbasis $\text{NdFeB/BaFe}_{12}\text{O}_{19}$.” *Journal of Technical Engineering: PISTON*, vol. 1, no. 2, 2018, hal. 25–29.
- El-Eskandarany, M. Sherif. *Mechanical Alloying*. Second, Elsevier, 2015.
- Fachry, A. .. Rasyidi, *et al.* “Pengaruh Waktu Kristalinitas dengan Proses Pendinginan dari Larutannya.” *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 15, no. 2, 2008, hal. 9–16.
- Fatmaliana, Andia, *et al.* “Synthesis and Characterization of Hematite (Fe_2O_3) Extraxted from Iron Ore by Precipitation Method.” *Natural Jurnal Natural*, vol. 16, no. 1, 2016, hal. 1–4, doi:10.17969/jn.v16i1.4361.
- Fu, Yen-pei, dan Cheng-hsiung Lin. “Fe / Sr Ratio Effect on Magnetic Properties of Strontium Ferrite Powders Synthesized by Microwave-Induced Combustion Process.” *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 386, 2005, hal. 222–27, doi:10.1016/j.jallcom.2004.04.148.
- Furlani, Edward P. *Permanent Magnet and Electromechanical Devices*. Academic Press, 2001.
- Ghezlbash, Shadi, *et al.* “Structural and Magnetic Properties of Sn^{4+} Doped Strontium Hexaferrites Prepared via Sol–Gel Auto-Combustion Method.” *IEEE Transactions*

- on *Magnetics*, IEEE, 2018, hal. 1–6, doi:10.1109/TMAG.2018.2844364.
- Hadiati, S., *et al.* “Kajian Variasi Temperatur Annealing dan holding time Metode Sol-Gel.” *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, vol. 10, no. 1, 2014, hal. 37–43.
- Halliday, David, *et al.* *Fundamentals of Physics*. 9 ed., John Wiley & Sons Inc, 2010.
- Hamzah, *et al.* “Pengaruh Diameter Nozzle Terhadap Hasil Serbuk dari Limbah Aluminium Melalui Metode Atomisasi Air.” *Jurnal Mekanikal*, vol. 9, no. 1, 2018, hal. 823–29.
- Huang, Ching-chien, *et al.* “Magnetic Property Enhancement of Cobalt-free M-type Strontium Hexagonal Ferrites by CaCO₃ and SiO₂ Addition.” *Intermetallics*, vol. 89, Elsevier, 2017, hal. 111–17, doi:https://doi.org/10.1016/j.intermet.2017.06.001.
- Humaidi, Syahrul, *et al.* “Magnetic Properties of Cu²⁺ Substituted BaFe_{12-x}Cu_xO₁₉ (x= 0.1,0.2,0.3,..., 4).” *Indonesian Journal of Applied Physics*, vol. 5, no. 1, 2015, hal. 71–78.
- Ichiyanagi, Y., *et al.* “Magnetic properties of Mg-ferrite nanoparticles.” *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 310, no. 2 SUPPL. PART 3, 2007, hal. 2378–80, doi:10.1016/j.jmmm.2006.10.737.
- Idayanti, Novrita, *et al.* “Magnet Nanokomposit Sebagai Magnet Permanen Masa Depan.” *Metalurgi*, vol. 1, 2018, hal. 1–18.
- Iriani, Yofentina, *et al.* “Analisis pengaruh variasi dopan lantanum terhadap struktur kristal dan morfologi lapisan tipis barium strontium titanat.” *Indonesian Journal of Applied Physics*, vol. 2, no. 2, 2012, hal. 170–75.
- Issa, Bashar, *et al.* “Magnetic Nanoparticles : Surface Effects and Properties Related to Biomedicine Applications.” *International Journal of Molecular Science*, vol. 13, 2013, hal. 21266–305, doi:10.3390/ijms141121266.
- Javidan, Abdollah, *et al.* “Strontium Ferrite Nanoparticle Study: Thermal Decomposition Synthesis, Characterization, and Optical and Magnetic Properties.” *Materials Science in Semiconductor Processing*, vol. 27, no. 1, Elsevier, 2014, hal. 468–73, doi:10.1016/j.mssp.2014.07.024.
- Khandani, M., *et al.* “An Investigation of Structural and Magnetic Properties of Ce – Nd Doped Strontium Hexaferrite Nanoparticles as A Microwave Absorbent.” *Materials Chemistry and Physics*, vol. 235, Elsevier B.V., 2019, hal. 121722, doi:10.1016/j.matchemphys.2019.121722.

- Klančnik, GreGa, *et al.* “Differential Thermal Analysis (DTA) and Differential Scanning Calorimetry (DSC) as A Method of Material Investigation.” *Materials and Geoenvironment*, vol. 57, no. 1, 2010, hal. 127–42.
- Li, J., *et al.* “Synthesis and properties of new multifunctional hexaferrite powders.” *Procedia Engineering*, vol. 102, 2015, hal. 1885–89, doi:10.1016/j.proeng.2015.01.327.
- Lisjak, Darja, dan Miha Drogenik. “The Low-Temperature Formation of Barium Hexaferrites.” *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 26, 2006, hal. 3681–86, doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2005.12.014.
- Lubis, Wildan Zakiah, dan Mujamilah Mujamilah. “Pengukuran Sampel Magnetik Cair dengan Vibrating Sample Magnetometer (Vsm).” *JPSE (Journal of Physical Science and Engineering)*, vol. 2, no. 2, 2017, hal. 39–47, doi:10.17977/um024v2i22017p039.
- Mangai, K. Alamelu, *et al.* “Structural and Magnetic properties of Strontium Hexaferrites for Permanent Magnets.” *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 5, no. 3, 2014, hal. 65–69.
- Monshi, Ahmad, *et al.* “Modified Scherrer Equation to Estimate More Accurately Nanocrystallite Size Using XRD.” *World Journal of Nano Science and Engineering*, vol. 02, no. 03, 2012, hal. 154–60, doi:10.4236/wjnse.2012.23020.
- Muflihatun, *et al.* “Sintesis Nanopartikel Nickel Ferrite (NiFe_2O_4) dengan Metode Kopersipitasi dan Karakterisasi Sifat Kemagnetannya.” *Jurnal Fisika Indonesia*, vol. XIX, no. November, 2015, hal. 20–25.
- Muhriz, Mohammad, *et al.* “Pembuatan Zeolit Nanopartikel dengan Metode High Energy Milling (Zeolite Nanoparticle Fabrication using High Energy Milling Method).” *Jurnal Sains dan Matematika*, vol. 19, no. 1, 2011, hal. 11–17.
- Nurrohman, Devi Taufiq, dan Joko Setia Pribadi. “Kajian Struktur Kristal, Lattice Strain, dan Komposisi Kimia Nanopartikel Pasir Besi yang Disintesis Dengan Metode Ball Milling.” *Jurnal Fisika dan Pendidikan Fisika*, vol. 3, no. 2, 2018, hal. 47–54, doi:10.20414/konstan.v3i2.17.
- Pardavi-Horvath, Martha. “Microwave applications of soft ferrites.” *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 215, 2000, hal. 171–83, doi:10.1016/S0304-8853(00)00106-2.

- Park, Jihoon, *et al.* “Maximum Energy Product at Elevated Temperatures for Hexagonal Strontium Ferrite ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$) Magnet.” *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 355, Elsevier, 2014, hal. 1–6, doi:10.1016/j.jmmm.2013.11.032.
- Pullar, Robert C. “Hexagonal Ferrites : A Review of The Synthesis, Properties and Applications of Hexaferrite Ceramics.” *Progress in Materials Science*, vol. 57, no. 7, Elsevier Ltd, 2012, hal. 1191–334, doi:10.1016/j.pmatsci.2012.04.001.
- Qiao, Liang, *et al.* “Effects of Trace of Bi_2O_3 Addition on the Morphology of Strontium Ferrite Particles.” *Ceramics International*, vol. 36, no. 4, Elsevier Ltd and Techna Group S.r.l., 2010, hal. 1423–27, doi:10.1016/j.ceramint.2010.02.003.
- Ramlan, D Setiabudidaya, *et al.* “Analysis Magnetic Properties and Corrosion Resistance of Hybrid Bonded Magnet $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ – NdFeB .” *Key Engineering Materials*, vol. 855, 2020, hal. 28–33, doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.855.28.
- Ramlan, Muljadi, *et al.* “Mechanical and magnetic properties of flexible magnet Ba- hexa Ferrite.” *Sriwijaya International Conference on Basic and Applied Science*, 2019, hal. 1–4, doi:10.1088/1742-6596/1282/1/012060.
- amlan, Dedi Setiabudidaya, *et al.* “Synthesis and Characterization of $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ Powder by using Mechanical Milling of Flakes NdFeB Synthesis and Characterization of $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ Powder by using Mechanical Milling of Flakes NdFeB .” *The 4th International Conference on Applied Physics and Materials Application*, 2020, hal. 0–5, doi:10.1088/1742-6596/1428/1/012014.
- Ramli, Irwan, *et al.* “Pengaruh Variasi pH Pelarut HCl Pada Sintesis Barium M-Heksaferrit dengan Doping Zn ($\text{BaFe}_{11,4}\text{Zn}_{0,6}\text{O}_{19}$) Menggunakan Metode Kopresipitasi.” *Jurnal Sains dan Seni ITS*, vol. 1, no. 1, 2012, hal. 41–46.
- Rasyid, Amin Ur, *et al.* “Strontium Hexaferrite ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$) Based Composites for Hyperthermia Applications.” *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 344, Elsevier, 2013, hal. 134–39, doi:10.1016/j.jmmm.2013.05.048.
- Reida, Rina, *et al.* “Estimasi Ukuran Bulir Mineral Magnetik pada Batuan Peridotit Berdasarkan Peluruhan Anhyseretic Remanent Magnetization (ARM).” *Jurnal Fisika FLUX*, vol. 62, no. 2, 2009, hal. 180–97.
- Rizaldy, Ryan, *et al.* “Sintesis dan Karakterisasi Barium Heksaferrit dengan Variasi Pengurangan Massa Fe_2O_3 .” *AL-FIZIYA*, vol. I, no. 2, 2018.
- Sebayang, P., *et al.* “Analisis Struktur Kristal $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ Menggunakan Program

- General Structure Analysis System dan Pengujian Sifat Magnetnya.” *Jurnal Sains Material Indonesia.*, vol. 12, no. 3, 2011, hal. 215-220., doi:DOI: <http://dx.doi.org/10.17146/jsmi.2011.12.3.4617>.
- Sembiring, Timbangan, *et al.* “Analysis of crystal structure and magnetic character strontium ferrite (SrFe₁₂O₁₉) powder made of stoichiometry and non- stoichiometry compositions Analysis of Crystal Structure and Magnetic Character Strontium Ferrite (SrFe₁₂O₁₉) Powder Made of Stoichiom.” *The 1st International Conference on Physics and Applied Physics (The 1st ICP&AP)*, vol. 110022, 2020, hal. 1–5.
- Senida, Zhafrandy Eka, *et al.* “Pengaruh Variasi Komposisi MnFe₂O₄ Terhadap Sifat Magnetik Nanokomposit MnFe₂O₄ / PANi yang Disintesis dengan Metoda Sol – Gel Spin Coating Mahasiswa Pendidikan Fisika , FMIPA Universitas Negeri Padang Staf Pengajar Jurusan Fisika , FMIPA Universita.” *Pillar of Physics*, vol. 12, 2019, hal. 17–24.
- Serletis, C., *et al.* “Magnetic Properties of Co-precipitated Hexaferrite Powders with Sm-Co Substitutions Optimized with The Molten Flux Method.” *Physica B: Physics of Condensed Matter*, vol. 525, Elsevier B.V., 2017, hal. 78–83, doi:10.1016/j.physb.2017.09.025.
- Sharma, Puneet, *et al.* “Effect of Processing Parameters on The Magnetic Properties of Strontium Ferrite Sintered Magnets Using Taguchi Orthogonal Array Design.” *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 307, 2006, hal. 157–64, doi:10.1016/j.jmmm.2006.03.063.
- Shimoda, A., *et al.* “Flux growth of magnetoplumbite-type strontium ferrite single crystals with La – Co co-substitution.” *Journal of Solid State Chemistry*, vol. 239, Elsevier, 2016, hal. 153–58, doi:10.1016/j.jssc.2016.04.031.
- Simanjuntak, Budi Amin, dan Hariyati Purwaningsih. “Pengaruh Kecepatan Milling Terhadap Perubahan Struktur Mikro Komposit Mg / Al 3 Ti.” *Jurnal Teknik ITS*, vol. 1, no. 1, 2012, hal. 113–16.
- Sumangala, T. P., *et al.* “A study of nanosized magnesium ferrite particles with high magnetic moment.” *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 382, Elsevier, 2015, hal. 225–32, doi:10.1016/j.jmmm.2015.01.056.
- Sunendar, Bambang, dan Hangga Guna Dharma. “Pengaruh Komposisi Terhadap Sifat Magnetik.” *Jurnal Sains Materi Indonesia*, vol. 9, no. 1, 2007, hal. 24–29.

- Susita, Lely, dan Tjipto Tjitno. "Analisa Struktur Kristal Lapisan tipis Aluminium pada Subtrat Kaca Menggunakan XRD." *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya*, vol. 10, 2008, hal. 133–38.
- Tiwary, R. K., *et al.* "Preparation of strontium hexaferrite magnets from celestite and blue dust by mechanochemical route." *Journal of Mining and Metallurgy*, vol. 44, 2014, hal. 91–100, doi:10.2298/JMMB0801091T.
- Triatmono, Haris Cahyo, dan Lydia Anggraini. "Penurunan Ukuran Butir Serbuk Besi dengan Ball Milling 744 rpm dan Ball to Powder Weight Ratio 1 : 5." *Journal of Mechanical Engineering and Mechatronics*, vol. 2, no. 1, 2017, hal. 34–40.
- Tyrman, Muriel, *et al.* "Structural and Magnetic Properties of An Anisotropic Mtype LaCo-substituted Strontium Hexaferrite." *EPJ Applied Physics*, vol. 72, no. 2, 2015, hal. 1–7, doi:10.1051/epjap/2015150099.
- Verma, Amitabh, *et al.* "Strontium Ferrite Permanent Magnet-An Overview." *Indian Journal of Engineering & Materials Science*, vol. 7, 2000, hal. 364–69.
- Wahyuningsih, Fera, *et al.* "Kinetika Kalsinasi Seria Zirkonia dari Proses Gelasi Eksternal." *Jurnal Rekayasa Proses*, vol. 10, no. 1, 2016, hal. 16–22.
- Zanur, Harmen, dan Ardian Putra. "Sintesis Dan Karakterisasi Pigmen Hematit (α -Fe₂O₃) Dari Bijih Besi Di Jorong Kepalo Bukik Kabupaten Solok Selatan Menggunakan Metode Presipitasi." *Jurnal Fisika Unand*, vol. 6, no. 2, 2017, hal. 149–55.
- Zhang, Changneng, *et al.* "Charge Recombination and Band-Edge Shift in the Dye-Sensitized." *The Journal of Physical Chemistry*, vol. 115, 2011, hal. 16418–24, doi:16418 dx.doi.org/10.1021/jp2024318.