

Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Suseptibilitas Magnetik dan Struktur Stronsium Ferit ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$) Pasir Besi Batang Sukam Kabupaten Sijunjung Sumatera Barat

Helvi Syukriani* , Arif Budiman, Dwi Puryanti

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas

Kampus Limau Manis Padang, 25163

**helfisyukriani20@gmail.com*

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang sintesis magnet ferit menggunakan metode metalurgi serbuk. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur sintering terhadap suseptibilitas magnetik dan struktur stronsium ferit ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$). Stronsium ferit dibuat dengan mencampurkan hematit hasil oksidasi magnetit pasir besi Batang Sukam dan stronsium karbonat. Campuran tersebut kemudian dikalsinasi pada temperatur 800°C, dikompaksi dan disintering pada temperatur 800°C, 900°C dan 1000°C. Bartington MS2 *Magnetic Susceptibility Meter* digunakan untuk mengukur nilai suseptibilitas magnetik dan XRD (*X-Ray Diffractometer*) digunakan untuk menentukan struktur sampel yang meliputi perubahan fasa, struktur dan ukuran kristal. Hasil menunjukkan bahwa sampel yang disintering memiliki nilai suseptibilitas magnetik berturut-turut sebesar $975,2000 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$, $339,2228 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ dan $209,0273 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$. Nilai suseptibilitas magnetik menurun seiring dengan peningkatan temperatur sintering. Hasil XRD menunjukkan bahwa pada sampel telah terbentuk fasa stronsium ferit tetapi belum dalam bentuk fasa tunggal. Temperatur sintering yang semakin meningkat menghasilkan fasa stronsium ferit semakin mendekati fasa tunggal. Stronsium ferit yang dihasilkan mempunyai struktur kristal heksagonal. Sampel yang disintering pada temperatur 800°C, 900°C dan 1000°C dihasilkan stronsium ferit dengan ukuran kristal sebesar 39,63 nm, 26,31 nm dan 42,10 nm.

Kata kunci: perubahan fasa, sintering, stronsium ferit, struktur kristal, suseptibilitas magnetik.

ABSTRACT

Ferrite magnet has been synthesized using powder metallurgy method. The aims of this research is to determine the effect of sintering temperature on the magnetic susceptibility and the structure of strontium ferrite ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$). Strontium ferrite is made by mixing hematite, obtained from the oxidation of magnetite iron sand from Batang Sukam and strontium carbonate. The mixture of these materials was calcinated at 800°C, compacted and sintered at 800°C, 900°C and 1000°C. Bartington MS2 Magnetic Susceptibility Meter is used to measure the value of magnetic susceptibility and XRD (X-Ray Diffractometer) is used to determine the structure of samples which includes phase change, structure and size crystal. The sintered samples show magnetic susceptibility value of $975.2000 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$, $339.2228 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ and $209.0273 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$. The magnetic susceptibility decreases when sintering temperature increase. The XRD data showed that the samples are indeed strontium ferrite phase, but not in a single phase. The increase of sintering temperature produce a phase of strontium ferrite nearly single phase. The synthesized strontium ferrite has a hexagonal crystal structure. The samples sintered at temperature of 800°C, 900°C and 1000°C produce in strontium ferrite with crystal size of 39.63 nm, 26.31 nm and 42.10 nm, respectively.

Keywords: phase change, sintering, strontium ferrite, crystal structure, magnetic susceptibility.

I. PENDAHULUAN

Magnet ferit merupakan jenis magnet permanen yang banyak diproduksi dibandingkan magnet permanen lainnya seperti alnico (Al-Ni-Co) dan magnet baja. Hal ini disebabkan, magnet ferit memiliki medan koersivitas yang tinggi sehingga tidak mudah hilang sifat kemagnetannya (Smallman dan Bishop, 2000). Kemudian, bahan baku pembuatan magnet ferit melimpah dan sangat murah, salah satunya terdapat pada pasir besi (Irasari dan Idayanti, 2009).

Sintesis magnet ferit telah banyak dilakukan, salah satu diantaranya sintesis menggunakan metode metalurgi serbuk (Verma dkk., 2000; Billah, 2006; Yulianto dkk., 2010; Nugraha dkk., 2015). Metode metalurgi serbuk merupakan salah satu proses manufaktur dari bahan logam dengan mencampurkan bahan dasar berbentuk serbuk (Verma dkk., 2000; Billah, 2006). Metode tersebut dipengaruhi oleh persentase campuran, temperatur kalsinasi dan sintering sehingga mempengaruhi sifat magnetik sampel. Kelebihan dari metode metalurgi

serbuk yaitu mampu melakukan kontrol kualitas dan kuantitas material dan sangat ekonomis karena tidak ada material yang terbuang selama proses berlangsung.

Sintesis magnet ferit dilakukan dengan mencampurkan bahan dasar berupa besi oksida dan zat aditif. Besi oksidasi salah satunya terdapat pada pasir besi. Pasir besi magnet (Fe_3O_4) yang dioksidasi pada temperatur 700°C dengan waktu tahan selama 3 jam akan menghasilkan hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) (Basith dkk., 2012). Pasir besi yang mengandung hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) inilah yang digunakan dalam sintesis magnetik ferit. Penambahan zat aditif dilakukan dengan tujuan meningkatkan sifat magnetik bahan (Smallman dan Bishop, 2000). Zat aditif SrCO_3 (stronsium karbonat) digunakan untuk pembuatan ferit keras stronsium ferit ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$) (Harianto dan Darminto, 2013).

Magnet ferit keras stronsium ferit memiliki magnetisasi saturasi (M_s) yang tinggi, medan koersivitas (H_c) yang tinggi, temperatur *Curie* yang tinggi, serta tahan terhadap korosi (Samikannu dkk., 2011; Mastuki dkk., 2012). Magnet stronsium ferit digunakan pada material perekam, perangkat gelombang mikro dan komponen motor kecil seperti pada kipas angin (Samikannu dkk., 2011).

Beberapa peneliti sebelumnya telah melakukan penelitian yang berhubungan dengan pembuatan magnet ferit. Jatmika dkk. (2014) melakukan sintesis dan karakterisasi ferit lunak Mn-Zn (*Manganese Zinc*) ferit yang disintesis dari pasir besi pantai Binangu menggunakan metode reaksi padatan dengan temperatur kalsinasi 850°C dan temperatur sintering 900° , 1000° dan 1100°C . Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur sintering maka fasa kristalnya mendekati *single phase*. Mn-Zn ferit mempunyai struktur kristal berbentuk kubik dan ukuran kristalit pada temperatur 900°C sebesar 36,5 nm, temperatur 1000°C sebesar 36,6 nm dan temperatur 1100°C sebesar 36,9 nm. Budiman dkk. (2016) melakukan sintesis dan karakterisasi ferit keras stronsium ferit yang disintesis dari pasir besi Batang Sukam menggunakan metode *solid-solid mixing* tanpa proses kalsinasi dengan temperatur sintering 1000°C . Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil sintesis memiliki suseptibilitas magnetik rata-rata $266,7 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$, namun belum terbentuk stronsium ferit.

Berdasarkan hal tersebut, pada penelitian ini dilakukan sintesis dan karakterisasi stronsium ferit ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$) dengan bahan dasar stronsium karbonat (SrCO_3) dan pasir besi sisa pendulangan emas di Batang Sukam Kabupaten Sijunjung Sumatera Barat. Pasir besi ini memiliki nilai suseptibilitas magnetik yang relatif tinggi dibanding pasir besi dari pantai (Siregar dan Budiman, 2015). Metode yang digunakan yaitu metode metalurgi serbuk dengan variasi temperatur sintering yang lebih rendah dari pada peneliti-peneliti sebelumnya. Sintesis bahan magnet dengan menggunakan temperatur sintering yang lebih rendah akan menghasilkan sifat magnetik yang lebih tinggi (Cullity dan Graham, 2009).

Tujuan dari penelitian ini mengetahui pengaruh variasi temperatur sintering terhadap suseptibilitas magnetik dan struktur yang meliputi perubahan fasa, struktur kristal dan ukuran kristal dari magnet stronsium ferit. Suseptibilitas manetik merupakan kerentanan suatu bahan ketika diberi medan magnet dari luar. Nilai suseptibilitas magnetik sampel diukur dengan menggunakan Bartington MS2 *Magnetic Susceptibility Meter* suseptibilitas magnetik merupakan besaran yang bergantung pada arah pengukuran atau disebut anisotropi. Oleh karena itu, perhitungan nilai suseptibilitas melibatkan tensor *rank-2* atau yang dikenal dengan metode AMS (*Anisotropic Magnetic Susceptibility*) dengan 15 arah yang berbeda (Cullity dan Graham, 2009). Struktur sampel ditentukan menggunakan XRD (*X-ray Diffractometer*). XRD merupakan alat karakterisasi material yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Bentuk keluaran dari difraktometer dapat berupa data analog atau digital. Rekaman data analog berupa grafik garis-garis yang terekam per menit sinkron, dengan detektor dalam sudut 2θ per menit, sehingga sumbu-x setara dengan sudut 2θ . Sedangkan rekaman digital menginformasikan intensitas sinar-X terhadap jumlah intensitas cahaya per detik. Pola difraktogram yang dihasilkan berupa deretan puncak-puncak difraksi dengan intensitas relatif bervariasi sepanjang nilai 2θ tertentu. Besarnya intensitas relatif dari deretan puncak-puncak tersebut bergantung pada jumlah atom atau ion yang ada, dan distribusinya di dalam sel satuan material tersebut. Ukuran kristal dari suatu material di hitung dengan menggunakan persamaan Scherrer pada Persamaan (1),

$$D = \frac{\kappa\lambda}{B \cos \theta} \quad (2)$$

dengan D adalah ukuran kristal (nm), κ adalah konstanta material (0,9), λ adalah panjang gelombang sinar-X (nm), θ adalah setengah dari sudut posisi puncak 2θ ($^\circ$) dan B adalah FWHM (*Full Width of Half Maximum*) ($^\circ$).

II. METODE

Adapun tahap penelitian ini meliputi pemisahan mineral magnetik pasir besi, sintesis hematit, sintesis stronsium ferit, kompaksi, sintering dan karakterisasi sampel.

2.1 Pemisahan Mineral Magnetik Pasir Besi

Proses pemisahan mineral magnetik pasir besi dilakukan beberapa tahap, pertama-tama pasir besi berupa magnetit (Fe_3O_4) dipisahkan menggunakan magnet permanen untuk memisahkan mineral magnetik dengan mineral non-magnetik. Kemudian mineral magnetik yang sudah dipisahkan, disaring menggunakan ayakan ukuran 100 mesh. Pasir besi hasil pengayakan ditimbang sebanyak 100 g kemudian dimasukkan ke dalam *beaker glass*. Setelah itu HCl (10 M) sebanyak 200 ml dimasukkan ke dalam *beaker glass* yang sudah berisi pasir besi, kemudian diaduk dengan spatula kimia, dидiamkan selama 1 jam hingga pasir besinya mengendap. Setelah pasir besinya mengendap larutan disaring dengan kertas saring agar terpisah dengan pengotornya. Endapan pasir besi kemudian dicuci menggunakan aquades sampai aquades tidak berubah warna lagi saat dicampurkan dengan pasir besi. Pasir besi yang masih bercampur aquades disaring menggunakan kertas saring. Pasir besi hasil penyaringan dikeringkan menggunakan oven dengan temperatur 100°C selama 1 jam.

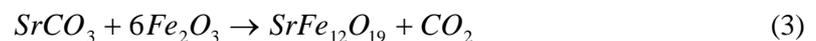
2.2 Sintesis Hematit

Pasir besi berupa magnetit (Fe_3O_4) yang diperoleh pada langkah sebelumnya diambil sebanyak 100 g lalu dioksidasi menggunakan *furnace* dengan temperatur 700°C dengan waktu tahan selama 3 jam untuk memperoleh hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) (Basith dkk., 2012). Sampel hasil oksidasi kemudian karakterisasi menggunakan *X-ray Diffractometer* (XRD) untuk memastikan bahwa hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) sudah terbentuk.

2.3 Sintesis Stronsium Ferit

2.3.1 Pencampuran

Hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) hasil oksidasi dicampurkan dengan stronsium karbonat (SrCO_3), dengan total massa keduanya 20 g. Perbandingan massa SrCO_3 dan hematit dihitung menggunakan perhitungan stoikiometri. Perbandingan massa yang digunakan adalah 3 : 17 g. Campuran hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dan SrCO_3 kemudian dikalsinasi pada temperatur 800°C dengan waktu tahan selama 3 jam. Tujuan kalsinasi ini untuk mereaksikan campuran hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dan SrCO_3 sehingga terbentuk stronsium ferit ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$), sebagaimana pada reaksi di Persamaan (2).



Hasil yang diperoleh dari proses kalsinasi berbentuk gumpalan sehingga harus digerus kembali menggunakan alu dan lumpang, agar sampel berbentuk serbuk.

2.3.2 Proses Kompaksi

Proses kompaksi yaitu pencetakan sampel berbentuk pelet atau tablet dengan menggunakan alat *Hydraulic Jack* di Laboratorium Nutrisi Non Ruminansia Fakultas Peternakan Universitas Andalas. Proses ini diawali dengan pembuatan larutan polivinil alkohol (PVA). Serbuk PVA ditimbang sebanyak 2 g, kemudian dilarutkan dengan aquades 20 ml dan dipanaskan menggunakan *magnetic stirrer* pada temperatur 100°C selama 1 jam hingga larutan menyatu dan menjadi gel. Sampel stronsium ferit ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$) ditimbang sebanyak 1 g dan ditambahkan PVA yang sudah berbentuk gel sebagai perekat, kemudian sampel dikompaksi

untuk membentuk sampel menjadi pelet dengan 6 kali tekan. Pelet yang dibuat sebanyak 9 buah.

2.3.3 Proses Sintering

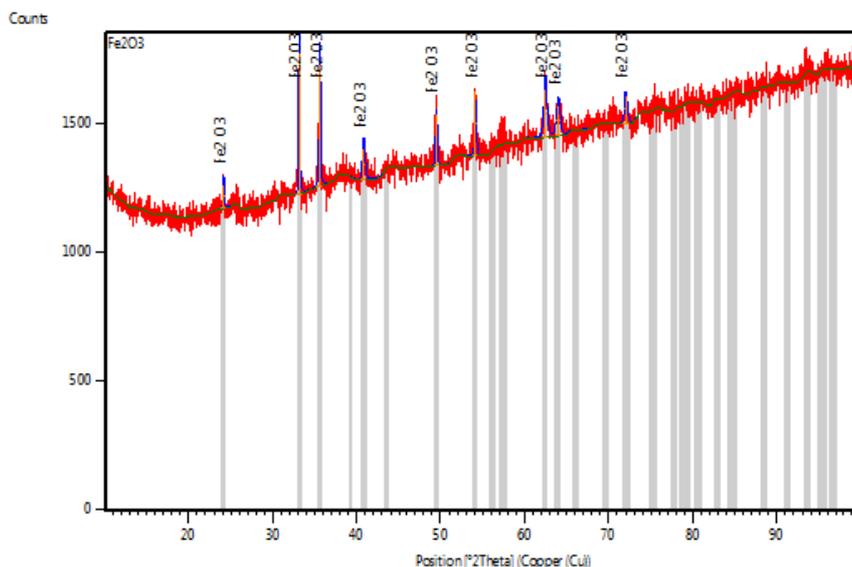
Pelet hasil kompaksi ditempatkan pada cawan penguap sebanyak 3 buah kemudian disintering dalam *furnace* dengan waktu tahan 2 jam dengan variasi temperatur 800°C, 900°C dan 1000°C.

2.4 Karakterisasi Sampel

Karakterisasi meliputi karakterisasi suseptibilitas magnetik dan struktur sampel. Pengukuran nilai suseptibilitas magnetik dilakukan menggunakan Bartington MS2 *Magnetic Susceptibility Meter* dan *software Multisus*. Perhitungan dan pengolahan data nilai suseptibilitas menggunakan *software* MATLAB R2013a. Kemudian karakterisasi struktur sampel meliputi perubahan fasa, struktur dan ukuran kristal menggunakan XRD (*X-Ray Diffractometer*). Perubahan fasa diketahui dari hasil difraktogram, struktur kristal diketahui dari data ICDD (*The International Centre for Diffraction Data*), dan perhitungan ukuran kristal menggunakan persamaan Scherrer pada Persamaan (1).

III. HASIL DAN DISKUSI

Hasil difraktogram sinar-X dan ICDD 01-089-2810 dari mineral magnetit yang dioksidasi pada temperatur 700°C dengan waktu tahan selama 3 jam dapat dilihat pada Gambar 1. Puncak-puncak difraksi berhimpit dengan puncak-puncak fasa hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Hal ini menunjukkan bahwa mineral magnetit pasir besi Batang Sukam yang dioksidasi pada temperatur 700°C dengan waktu tahan selama 3 jam menghasilkan fasa baru yaitu hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dengan fasa tunggal.



Gambar 1 Difraktogram sinar-X dan ICDD 01-089-2810 mineral magnetit yang dioksidasi pada temperatur 700°C

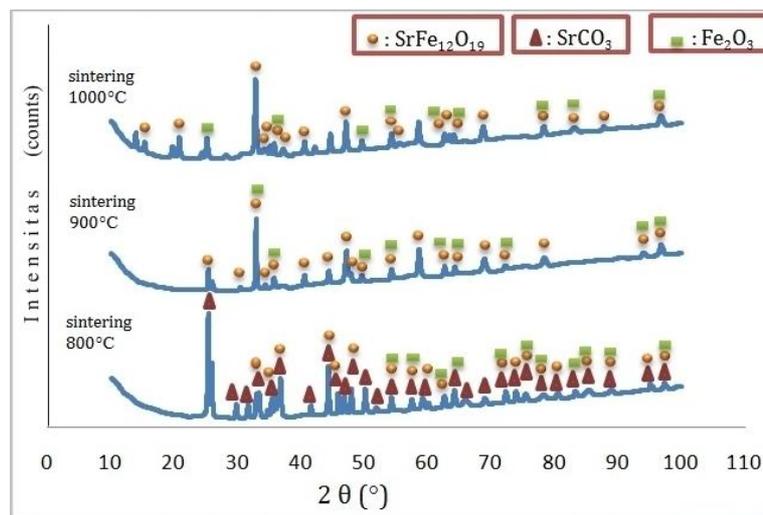
Hasil perhitungan nilai suseptibilitas magnetik sampel masing-masing variasi temperatur sintering dapat dilihat pada Tabel 1. Semakin tinggi temperatur sintering yang digunakan, nilai suseptibilitas magnetik sampel yang dihasilkan semakin menurun. Cullity dan Graham (2009) menyatakan bahwa peningkatan temperatur akan mengakibatkan sifat magnetik suatu bahan menurun. AMS (*Anisotropic Magnetic Susceptibility*) merupakan fungsi temperatur. Kenaikan temperatur menyebabkan getaran atom-atom dalam kristal suatu bahan semakin kencang. Semakin tinggi temperatur maka orientasi dipol magnetik bahan semakin acak (Zemansky dan Dittman, 1986). Saat dipol magnetik berorientasi semakin acak maka magnetisasi (\mathbf{M}) bahan semakin menurun. Magnetisasi (\mathbf{M}) memiliki hubungan berbanding

lurus dengan suseptibilitas magnetik, jadi saat magnetisasi (**M**) semakin menurun maka nilai suseptibilitas magnetik juga semakin menurun (Cullity dan Graham, 2009).

Tabel 1 Nilai suseptibilitas magnetik sampel masing-masing variasi temperature sintering

No	Variasi Temperatur Sintering (°C)	Nilai Suseptibilitas ($\times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$)
1	800	975,2000
2	900	339,2228
3	1000	209,0273

Hasil difraktogram sampel dengan temperatur sintering 800°C, 900°C dan 1000°C dapat dilihat pada Gambar 2. Pada sampel yang disintering dengan temperatur 800°C, fasa stronsium ferit ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$) sudah terbentuk namun belum dalam fasa tunggal dan masih terdapat stronsium karbonat (SrCO_3) dan hematit (Fe_2O_3) yang belum bereaksi. Hal ini menunjukkan bahwa pada temperatur sintering 800°C stronsium ferit belum terbentuk secara keseluruhan. Pada temperatur sintering 900°C, fasa stronsium karbonat (SrCO_3) sudah tidak ditemukan tetapi fasa stronsium ferit ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$) yang dihasilkan belum dalam fasa tunggal dan masih terdapat terdapat hematit (Fe_2O_3) yang belum bereaksi. Jika dilihat dari jumlah dan intensitas puncak difraksi yang terbentuk, pada temperatur sintering 900°C stronsium ferit ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$) lebih dominan dari pada hematit (Fe_2O_3).



Gambar 2 Difraktogram sampel dengan temperatur sintering 800°C, 900°C dan 1000°C

Fasa mineral magnetik yang terbentuk pada temperatur sintering 1000°C sama dengan pada temperatur sintering 900°C, tidak hanya stronsium ferit ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$) saja yang terbentuk namun juga terdapat hematit (Fe_2O_3) yang belum bereaksi (Gambar 2). Pada temperatur sintering 1000°C intensitas puncak fasa stronsium ferit ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$) yang terbentuk semakin meningkat dibandingkan pada temperatur sintering 900°C. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan temperatur sintering akan menghasilkan fasa stronsium ferit ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$) mendekati fasa tunggal (*single phase*), konsisten dengan hasil penelitian Jatmika dkk. (2014).

Berdasarkan hasil XRD yang kemudian dicocokkan dengan data ICDD (01-072-0739, 01-080-1197 dan 01-079-1412), senyawa yang terkandung dalam ketiga sampel salah satunya stronsium ferit ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$) memiliki struktur kristal berbentuk heksagonal.

Tabel 2 Ukuran kristal stronsium ferit masing-masing variasi temperatur sintering

No	Variasi Temperatur Sintering (°C)	Ukuran Kristal (nm)
1	800	39,63
2	900	42,10
3	1000	26,31

Tabel 2 menunjukkan ukuran kristal stronsium ferit dari masing-masing variasi temperatur sintering yang digunakan. Pada temperatur sintering 800°C diperoleh ukuran kristal sebesar 39,63 nm. Saat temperatur sintering diperbesar menjadi 900°C diperoleh ukuran kristal yang semakin meningkat yaitu sebesar 42,10 nm. Secara teoritis ukuran kristal akan bertambah besar seiring dengan peningkatan temperatur, karena terjadinya pertumbuhan kristal (Umamah, 2015). Pada temperatur tinggi atom-atom penyusun memiliki energi termal yang cukup untuk terjadinya difusi atom sehingga atom-atom bergerak melewati batas butir yang menyebabkan perluasan daerah persinggungan antar kristal yang akan memperbesar butir. Ukuran butir yang semakin besar berpengaruh terhadap bentuk dan ukuran kristal.

Namun saat temperatur 1000°C diperoleh ukuran kristal lebih kecil dibanding pada temperatur 800°C dan 900°C yaitu sebesar 26,31 nm. Hasil tersebut berbeda dengan yang diperoleh Jatmika dkk. (2014), yaitu semakin tinggi temperatur sintering maka ukuran kristalnya juga semakin besar dengan penambahan temperatur sebesar 100°C.

IV. KESIMPULAN

Mineral magnetit pasir besi Batang Sukam yang dioksidasi pada temperatur 700°C dengan waktu tahan selama 3 jam menghasilkan fasa baru yaitu hematit (α -Fe₂O₃) dengan fasa tunggal. Peningkatan temperatur sintering menghasilkan nilai suseptibilitas magnetik sampel semakin menurun dan fasa stronsium ferit (SrFe₁₂O₁₉) mendekati *single phase*. Stronsium ferit (SrFe₁₂O₁₉) yang dihasilkan mempunyai struktur kristal heksagonal. Ukuran kristal stronsium ferit yang dihasilkan tidak memiliki hubungan linier terhadap penambahan temperatur sintering dengan interval 100°C.

DAFTAR PUSTAKA

- Afza, E., 2011, Pembuatan Magnet Permanen Ba-Hexa Ferrite (BaO.6Fe₂O₃) dengan Metode Koopresipitasi dan Karakterisasinya, Skripsi, FMIPA, USU, Medan.
- Basith, A., Taufiq, A., Sunaryono, dan Darminto, 2012, Pengaruh Pemanasan pada Struktur Kristal dan Sifat Kemagnetan Fe₃O₄ dari Pasir Besi, *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, Vol.8, No.2, Jur. Fisika ITS.
- Budiman, A., Puryanti, D., Mulyadi, S., Rizki, M., dan Syukriani, H., 2016, Karakterisasi Struktur Kristal dan Sifat Magnetik Magnet Stronsium Ferit Pasir Besi Batang sukam Kabupaten Sijunjung Sumatera Barat, *Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya*, Surakarta.
- Cullity, B. D. dan Graham, C. D., 2009, Introduction to Magnetic Materials, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., Publication, Piscataway.
- Harianto, F., dan Darminto, 2013, Sintesis Kalsium Ferit Berbahan Dasar Pasir Besi dan Batu Kapur dengan Metode Reaksi Padatan, *Jurnal Sains dan Seni*, Vol.1, No.1, hal : 1-4, Jur. Fisika ITS.
- Irasari, P. dan Idayanti, N., 2009, Aplikasi Magnet Permanen BaFe₁₂O₁₉ dan NdFeB pada Generator Magnet Permanen kecepatan Rendah Skala Kecil, *Jurnal Sains Material Indonesia*, Vol 11, No.1, Hal 38-41, LIPI.
- Jatmika, J., Widanarto, W., dan Effendi, M., 2014, Pengaruh Suhu Sintering terhadap Struktur dan Sifat Magnetik Material Mn-Zn Ferit, *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVIII HFI Jateng dan DIY*, Yogyakarta.
- Mastuki, Bagiya M. A., dan Darminto, 2012, Sintesis dan Karakterisasi Kalsium Ferit Menggunakan Pasir Besi dan Batu Kapur, *Jurnal Sains dan Seni*, Vol.1, No.1, hal : 1-5, Jur. Fisika ITS.
- Nugraha, P. R., Widarto, W., Wahyanto, W. T., dan Kuncoro, H. S., 2015, Pengaruh Adiktif BaCO₃ pada Kristalinitas dan Suseptibilitas Barium Ferit dengan Metoda Metalurgi Serbuk Isotropik, *Berkala Fisika*, Vol.18, No.1, hal 43-50, Jur. Fisika UNDIP.
- Samikannu, K., Sinnappan, J., Mannarswamy, S., Cinnasamy, T., dan Thirunavukarasu, K., 2011, Synthesis and Magnetic Properties of Conventional and Microwave Calcined Stronsium Hexaferrite Powder, *Materials Sciences and Application*, Vol.2, No.6, hal 638-642, Scientific Research.

- Smallman, R.E. dan Bishop, R.J., 2000, *Metalurgi Fisika Modern dan Rekayasa Material*, edisi ke enam, (diterjemahkan oleh : Ir. Sriati Djaprie, M. Met), Erlangga, Jakarta.
- Siregar, S. dan Budiman, A., 2015, Penentuan Nilai Suseptibilitas Mineral Magnetik Pasir Besi Sisa Pendulangan Emas di Kabupaten Sijunjung Sumatera Barat, *Jurnal Fisika Unand (JFU)*, Vol. 4, No. 4, Hal 344-349, FMIPA, UNAND.
- Umamah, C., 2015, Studi Analisis Fasa Dan Ukuran Kristal Spinel $M\text{Gal}_2\text{O}_4$ Dengan Metode Pencampuran Logam Terlarut Asam Klorida, *Jurnal Pemikiran Penelitian Pendidikan dan Sains Wacana Didaktika*, Vol. 3, No. 6, Jur. Pend. Fisika UIM.
- Verma, A., Pandey, O.P., dan Sharma, P., 2000, Stronsium Ferrite Permanent Magnet, *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, Volume 7, hal : 364 – 369, Thapar Institute of Engineering and Technology.
- Yulianto, A., Aji, M. P., dan Idayanti, N., 2010, Fabrikasi MnZn-Ferit dari Bahan Alam Pasir Besi serta Aplikasinya untuk Core Induktor, *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXIV HFI Jateng dan DIY*, Semarang.
- Yulianto, A., Bijaksana, S. dan Loeksmanto, W., 2002, Karakterisasi Magnetik Pasir Besi dari Cilacap, *Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia*, Vol. A5, No. 0527, hal : 55–60, LIPI.
- Zemansky, M. W., dan Dittman, R. H., 1986, *Kalor dan Termodinamika* (diterjemahkan oleh : The Houw Liong), ITB, Bandung.