

Pengaruh *Holding Time* Kalsinasi Terhadap Sifat Kemagnetan Barium M-hexaferrite ($\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$) dengan ion doping Zn

Findah Rahmawatus Sholihah dan M. Zainuri

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: zainuri@physics.its.ac.id

Abstrak—Barium M-heksaferit adalah material dengan anisotropi kristalin yang besar, koersivitas magnet yang cukup tinggi dan secara kimiawi yang stabil. Material ini untuk aplikasi tertentu, sangat disayangkan, sehingga substitusi ion ke dalam material tersebut merupakan salah satu cara untuk meningkatkan aplikasi dari material tersebut. Material barium M-heksaferit yang disintesis dengan metode kopresipitasi, telah dikalsinasi dengan variasi *holding time* 2 jam, 3 jam, 4 jam, 5 jam, 6 jam, dan 10 jam pada temperatur kalsinasi 150°C. Material barium M-heksaferit disintesis dimana HCl sebagai pelarut dan NH_4OH digunakan dalam proses pengendapan. Berdasarkan hasil penelitian, fase barium M-heksaferit terbanyak diperoleh pada kalsinasi dengan *holding time* 4 jam sebesar 72,54% dan mempunyai nilai koersivitas dan remanensi yaitu 0,0082 kA/m dan 0,01 Tesla serta mempunyai nilai magnetisasi tertinggi yaitu 0,55 emu/gram.

Kata kunci—barium m-heksaferit, kopresipitasi, koersivitas, remanensi, saturasi

I. PENDAHULUAN

PADA akhir dekade ini penelitian di bidang material magnetik sangat intensif dilakukan. Hal tersebut dikarenakan penerapan material magnetik mampu melingkupi berbagai aspek yang terkait dengan teknologi maju dewasa ini. Salah satu material magnetik yang banyak dikembangkan adalah bahan magnetik barium M-heksaferit (BaM). Sifat kemagnetan dari BaM mudah untuk dilakukan rekayasa dalam hal sifat kemagnetannya melalui mekanisme substitusi ion-ion metal, sehingga mampu menjangkau *range* kemagnetan dari sifat kemagnetan paling lemah ke sifat kemagnetan yang paling kuat. Dengan sifat yang demikian, bahan tersebut dapat diaplikasikan ke media perekaman, interferensi elektromagnetik, magnetik cairan, perangkat *microwave*, dan sebagainya.

Heksaferit memiliki kristal anisotropi yang besar dan lokasi resonansi yang dapat dimodifikasi pada rentang frekuensi yang luas melalui substitusi ion dalam heksaferit. Selain itu, heksaferit adalah bahan magnetik lunak dengan permeabilitas yang relatif besar. Oleh karena itu, heksaferit adalah kandidat yang menjanjikan untuk pengembangan material anti radar [1]. Material Barium M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) mempunyai polarisasi magnet saturasi tinggi (78 emu/g), yang terdiri dari kristal uniaxial anisotropi yang kuat, temperatur Curie tinggi (450°C) dan medan koersivitas yang besar (6700 Oe), terkait dengan sangat baik

dalam stabilitas kimia dan ketahanannya terhadap korosi. Oleh karena memiliki medan koersivitas yang sangat besar menyebabkan sifat anisotropik material semakin meningkat sehingga sifat absorpsinya menjadi semakin lemah. Untuk mereduksi sifat anisotropik tersebut maka diperlukan pendopongan. Dalam penelitian ini digunakan ion doping Zn.

Komposisi fasa Barium M-Heksaferit yang didoping dengan ion Doping Co/Zn melalui metode kopresipitasi banyak terbentuk pada kalsinasi 270°C selama 4 jam dengan $x=0,4$ [2] dan komposisi fasa Barium M-Heksaferit yang didoping ion Zn dengan melalui metode yang sama banyak terbentuk pada kalsinasi 100°C selama 2 jam dengan $x=0,6$ [3]. Dua penelitian tersebut menunjukkan adanya perbedaan *holding time* kalsinasi dalam pembentukan fasa Barium M-Heksaferit, yang artinya terdapat keterkaitan *holding time* kalsinasi terhadap kehomogenan fase yang terbentuk. Tetapi sifat kemagnetan BaM yang telah didoping ion Co dan Zn dapat dijadikan sebagai material anti radar dengan dijadikan material komposit isotropik dimana PANI dan BaM sebagai filler [4]. Material tersebut dengan substitusi $x = 0,6$ memiliki penyerapan sebesar -37,12 dB pada range x-band (8,2 -12,4 GHz). Hal inilah yang melatarbelakangi dalam penelitian ini, sehingga pada penelitian ini digunakan metode kopresipitasi untuk pembuatan Barium M-Heksaferit yang disintesis dengan ion doping Zn^{2+} dan divariasikan *holding time* atau waktu penahanan pemanasan pada temperatur 150°C sehingga terbentuk Barium M-Heksaferit sebagai material magnetik. Penambahan Zn sebagai ion doping dapat mengacaukan arah momen magnet sehingga akan mempengaruhi sifat magnetik dari Barium M-Heksaferit yang dihasilkan.

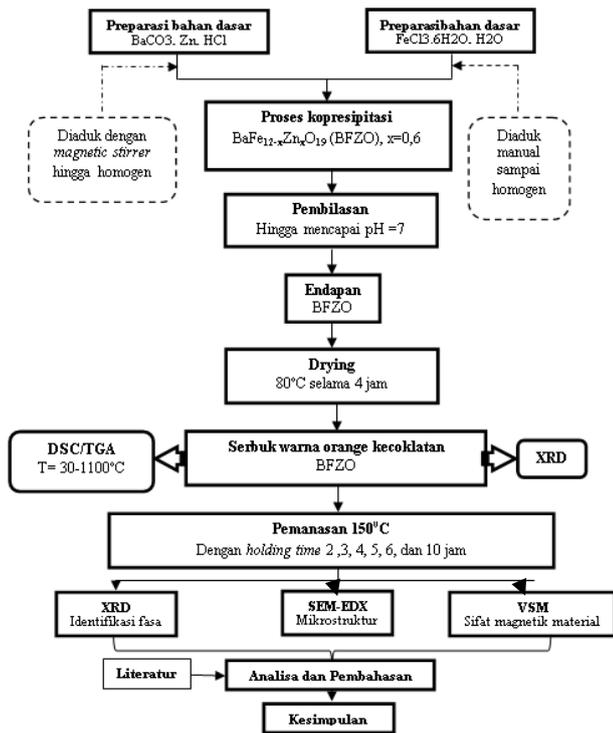
II. METODE PENELITIAN

A. Sintesis

Sintesis $\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ dibuat dengan metode kopresipitasi dengan konsentrasi untuk nilai $x = 0.6$. $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 27.589 gr dilarutkan dengan aquades 1.839 mL kemudian diaduk dengan spatula hingga terlarut sempurna. Zn 0.351 gr dilarutkan dalam 12 M HCl 2.374 mL dalam gelas beker kemudian diaduk dan dipanaskan dengan magnetic stirrer sampai tercampur homogen. Kemudian sebanyak 1.766 gr BaCO_3 ditambahkan ke dalam larutan tersebut. Larutan diaduk dan dipanaskan

dengan magnetic stirrer pada suhu 70-80°C selama 2 jam sambil ditetesi aquades sedikit demi sedikit (karena BaCO₃ dapat larut pada asam lemah) hingga bahan terlarut sempurna (larutan bening yang homogen). Larutan FeCl₃.6H₂O dicampurkan ke dalam larutan BaCO₃ dan Zn yang telah terlarut sempurna sambil terus diaduk dengan magnetic stirrer di atas hot plate selama 1 jam. Setelah larutan tercampur sempurna dan berwarna orange kecoklatan larutan ditetesi dengan 6,5 M NH₄OH 51.500 gr sedikit demi sedikit hingga larutan mengendap seperti pasta.

Kemudian larutan dipisahkan dengan pengotornya dengan menggunakan kertas saring. Endapan hasil penyaringan dibilas berulang-ulang dengan aquades hingga mencapai pH netral (pH=7). Endapan yang telah mencapai pH netral di keringkan (drying) pada suhu 80°C selama 4 jam sehingga endapan tersebut berubah menjadi serbuk. Serbuk yang didapat kemudian dilakukan uji thermal (DSC/TGA) pada suhu 30°C-1100°C. Kemudian dilakukan uji XRD. Serbuk yang dihasilkan dipanaskan pada suhu 150°C dengan variasi holding time pemanasan 2 jam, 4 jam, 6 jam, 8 jam, dan 10 jam.



Gambar 1 Skema kerja sintesis BEFZO

B. DSC (Differential Scanning Calorimetry)

DSC adalah suatu teknik analisa termal yang berfungsi untuk mengukur energi yang diserap atau diemisikan oleh sampel sebagai fungsi waktu atau suhu. Ketika transisi termal terjadi pada sampel, DSC memberikan pengukuran kalorimetri dari energi transisi dari temperatur tertentu. Pada DSC, energi yang diperlukan untuk membuat perbedaan temperatur antara sampel dan pembanding mendekati nol diukur, yang dianalisa pada daerah suhu yang sama, dalam lingkungan panas atau dingin dengan kecepatan yang teratur. Pengujian sampel dengan DSC dilakukan di Gedung Robotika ITS.

C. TGA (Thermo Gravimetric Analyzer)

TGA merupakan metode yang digunakan untuk mengukur berkurangnya massa material ketika dipanaskan dari suhu kamar sampai suhu tinggi sekitar 900°C. Di dalam alat ini terdapat timbangan mikro yang secara otomatis dapat merekam berat sampel setiap saat dan hasilnya disajikan dalam tampilan grafik. Pada pemanasan yang kontinyu dari suhu kamar, maka pada suhu-suhu tertentu material akan kehilangan cukup signifikan dari massanya.

D. XRD (X-Ray Diffraction)

Identifikasi fasa sampel hasil sintesis dilakukan dengan melakukan pengujian difraksi sinar-x Tipe Philips X'Pert MPD (Multi Purpose Diffractometer) di Laboratorium Difraksi Sinar-X RC (Research Center) LPPM ITS Surabaya. Pengukuran ini akan dilakukan pada tegangan 40 kV dan arus 30 mA dengan menggunakan target Cu (λ=1,54056 Å). Puncak yang terbentuk oleh hasil XRD dicocokkan dengan menggunakan software difraksi (X'Pert High Score Plus).

E. SEM-EDX

SEM dapat menghasilkan karakteristik bentuk 3 dimensi yang berguna untuk memahami struktur permukaan dari suatu sampel. Data yang diperoleh dari SEM-EDX antara lain dapat diketahui jenis atau unsur-unsur mineral yang terkandung dalam sampel yang diperoleh dari analisis SEM dan grafik antara nilai energi dengan cacahan yang diperoleh dari analisis EDX. Uji SEM-EDAX dilakukan di Universitas Negeri Malang.

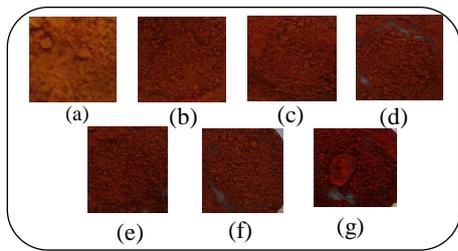
F. VSM

Vibrating Sample Magnetometer (VSM) merupakan salah satu alat ukur magnetisasi yang bekerja berdasarkan metode induksi. VSM digunakan untuk mengetahui sifat magnetik material. Dengan alat ini akan diperoleh informasi mengenai besaran-besaran sifat magnetic sebagai akibat perubahan medan magnet luar yang digambarkan dalam kurva histerisis. Pada penelitian ini, uji VSM akan dilakukan di Batan Serpong Jakarta untuk memperoleh kurva histerisis magnetisasi suatu bahan, baik sebagai fungsi temperatur (maksimal 300 K) maupun sebagai fungsi medan luar (maksimal ± 1,2 T).

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Hasil Sintesis Bahan Barium M-Heksaferit

Hasil serbuk barium M-heksaferit berwarna kuning kecoklatan dan semakin lama holding time kalsinasi dengan variasi holding time 2, 3, 4, 5, 6, dan 10 jam, warna serbuk barium M-heksaferit semakin gelap. Hal ini dapat ditunjukkan pada Gambar 2.

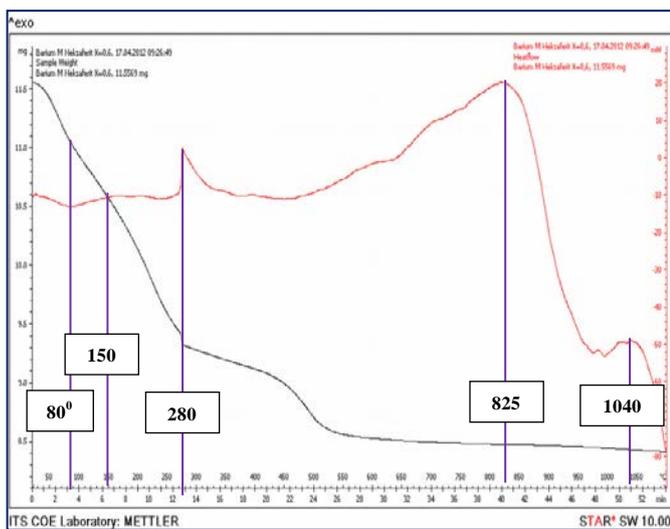


Gambar 2 BaFe_{11,4}Zn_{0,6}O₁₉ (a) drying pada temperatur 80°C selama 4 jam; pada temperatur kalsinasi 150°C dengan holding time (b) 2 jam; (c) 3 jam; (d) 4 jam; (e) 5 jam; (f) 6 jam; (g) 10 jam

B. Karakterisasi Sampel Barium M-Heksaferit

B.1 Analisis hasil DSC/TGA pada sampel Barium M-Heksaferit

Berdasarkan pada gambar di atas, pada temperatur 20°C-125°C mengalami penurunan massa (*mass loss*) sebesar 6,42%. Hal ini disebabkan terjadinya evaporasi yang mengakibatkan hilangnya kandungan air dan pelarut yang terjebak dalam prekursor. Pada temperatur 125°C-225°C terjadi penurunan massa sebesar 18,14%. Pada temperatur 150°C, masih mengalami penurunan massa dan mulai terdapat kenaikan energi pada sampel. Kemudian pada temperatur 255°C-375°C terjadi penurunan massa sebesar 20,72%. Puncak eksotermis muncul pada temperatur 280°C yang disertai dengan penurunan massa. Hal ini menunjukkan terjadinya dekomposisi fasa dan transformasi fasa. Pada temperatur 560°C – 1100°C terjadi penurunan fasa yang stabil dengan disertai puncak eksotermis yang sangat tinggi yaitu pada temperatur 825°C dan puncak eksotermis yang kecil pada temperatur 1040°C. Puncak endotermis yang kecil dapat dijumpai pada temperatur 975°C.



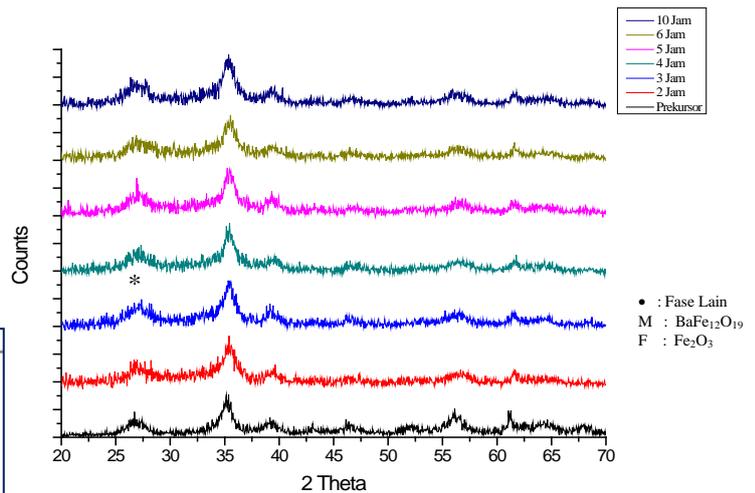
Gambar 3 Hasil DSC-TGA pada BaFe_{11,4}Zn_{0,6}O₁₉

Berdasarkan penelitian oleh Ariza N.K. (2012) pada material Barium M-Heksaferit yang didoping ion Zn dengan variasi temperatur rendah telah mengindikasikan terjadinya transformasi fase Barium M-Heksaferit (BaFe_{12-x}Zn_xO₁₉) pada temperatur kalsinasi 150°C selama 4 jam. Melalui hasil penelitiannya, prosentase fase BaM sebanyak

74,54% telah berhasil dilakukan dengan metode kopresipitasi. Berdasarkan hasil DSC/TGA pada gambar III.2 mengindikasikan pada temperatur 150°C terjadi penurunan massa yang tajam pada kurva TGA dengan puncak eksotermis yang rendah. Hal ini disebabkan terjadi peristiwa transformasi fase dan dekomposisi fase pada suhu tersebut.

B.2 Identifikasi Fasa Barium M-Heksaferit (BaFe_{12-x}Zn_xO₁₉) dengan Difraksi Sinar-X (XRD)

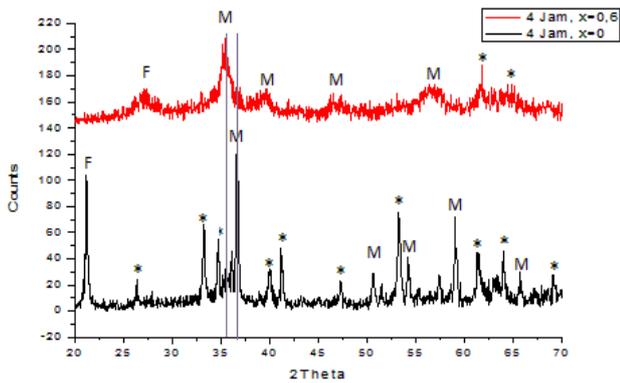
Fase-fase yang terbentuk selama kalsinasi dengan pemberian variasi *holding time* antara lain fase BaM (BaFe_{12-x}Zn_xO₁₉), hematit (γ-Fe₂O₃), BaCO₃, dan BaCl₂. Fase hematit (γ-Fe₂O₃) merupakan fase metastabil yang terbentuk pada temperatur rendah. Fase ini adalah salah satu bentuk dari oksida Fe dengan struktur kubik [5]. Identifikasi fase pada sampel yang belum dipanaskan (prekursor) menunjukkan fase yang paling dominan terbentuk adalah fase hematit. Puncak-puncak yang mengidentifikasi adanya hematit antara lain pada 2θ: 26,57°, 35,26°, dan 61,2°. Sedangkan puncak BaM pada 2θ: 33,89°, 36,72°, 38,97°, 46,43°, dan 56,30°. Puncak tertinggi pada prekursor mengindikasikan fase hematit, namun setelah sampel dipanaskan puncak tertinggi mengalami pergeseran sehingga menjadi fase BaM.



Gambar 4 Pola XRD BaFe_{11,4}Zn_{0,6}O₁₉ prekursor dan kalsinasi pada temperatur 150°C

Tabel 1 Komposisi Fase BaM tanpa kalsinasi dan dengan kalsinasi pada 150°C dengan variasi lama pemanasan

Lama Pemanasan	Jumlah (%)		
	Fase BaM	Fase Fe ₂ O ₃	Fase Lain
Prekursor	23,36	76,64	-
2 Jam	28,31	53,94	17,75
3 Jam	50,93	17,03	28,83
4 Jam	72,54	8,97	18,49
5 Jam	66,92	6,75	26,33
6 Jam	59,58	3,54	36,88
10 Jam	31,59	40,66	27,74

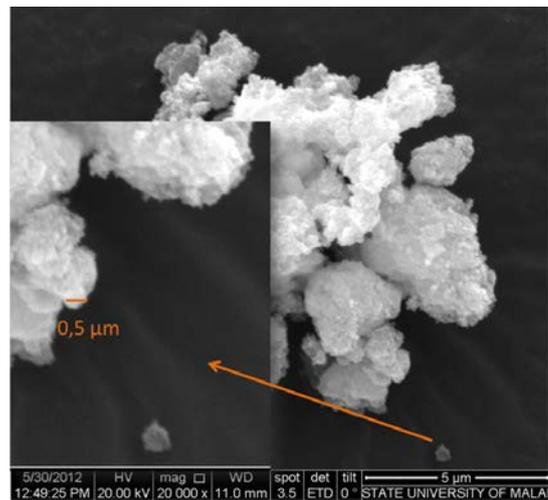


Gambar 5 Pergeseran pola puncak fase barium M-heksaferit

Pada material barium M-heksaferit dengan $x = 0$ (tanpa ion doping Zn) yang dikalsinasi pada temperatur 150°C dengan *holding time* 4 jam, terdapat banyak puncak yang menunjukkan fase pengotor atau fase lain. Fase lain ini yaitu BaO , ZnO , BaCl_2 , dan BaCO_3 . Sedangkan fase BaM pada $x=0$ masih sekitar 23%, sedangkan fase hematit berjumlah 25%, sisanya adalah fase pengotor. Puncak fase BaM pada $x = 0$ menempati posisi 2θ yaitu $36,1^{\circ}$, $50,6^{\circ}$, $53,3^{\circ}$, $57,5^{\circ}$, dan $65,7^{\circ}$. Ketika diberi ion doping Zn dengan $x = 0,6$ dengan perlakuan pemanasan yang sama, terjadi pergeseran puncak sehingga posisi puncak fase BaM menjadi $35,3^{\circ}$, $39,7^{\circ}$, $46,3^{\circ}$, dan $56,4^{\circ}$. Dengan adanya ion doping Zn pada $x = 0,6$ telah mengakibatkan pergeseran puncak fase BaM ke kiri. Jari-jari ion Zn^{2+} lebih besar daripada jari-jari ion Fe^{3+} , sehingga ion Zn^{2+} yang mensubstitusi ion Fe^{3+} mengakibatkan jarak difraksi antar kisi menjadi lebih besar. Hal ini yang menyebabkan sudut difraksi menjadi lebih kecil.

B.3 Analisis Mikrostruktur Barium M-Heksaferit

Berdasarkan gambar 6 butiran tampak menempel satu sama lain dan menggumpal dalam massa yang berbeda di seluruh mikrofotik, rata-rata ukuran butir adalah $0,5 \mu\text{m}$. Partikel beraglomerasi karena interaksi dipol magnetik antar partikel. Pengujian sampel dengan SEM-EDAX dapat diketahui prosentase elemen penyusun pada material ini ketika dikalsinasi pada temperatur 150°C selama 4 jam. Pada tabel 2 menunjukkan persentase berat (*weight percent*) dan persentase atom (*atomic percent*) penyusun material tersebut. Sampel ketika dikalsinasi pada suhu tersebut dengan *holding time* 4 jam, elemen Fe mempunyai persentase berat yang paling tinggi (47,41%) dibandingkan elemen yang lain. Hal ini dapat disebabkan karena jumlah bahan ini yang digunakan saat proses kopresipitasi juga besar. Elemen Ba dan Zn memiliki persentase yang lebih kecil karena pada elemen ini jumlah yang digunakan pada proses kopresipitasi juga sedikit. Pada elemen Cl, persentase elemen didapatkan sebesar 4,47% disebabkan karena hilangnya kandungan Cl ketika proses kalsinasi dan sebagian karena reaksi kopresipitasi.



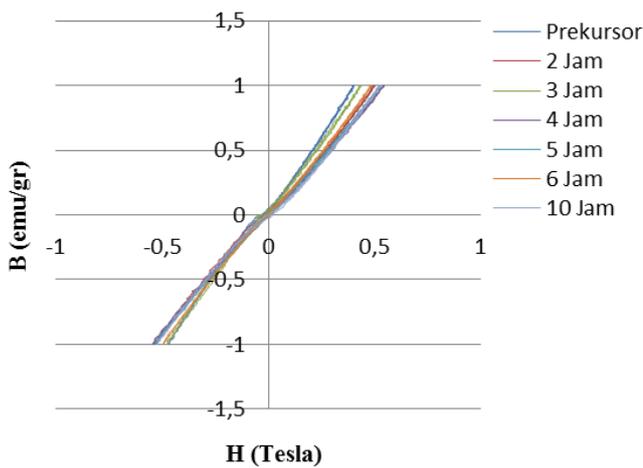
Gambar 6 Hasil pengamatan SEM pada serbuk Barium M-Heksaferit yang dikalsinasi 150°C selama 4 jam

Tabel.2 Elemen penyusun material BaM ketika kalsinasi 150°C selama 4 jam

Element	Wt%	At%
CK	16.95	33.88
OK	27.72	41.60
ClK	04.47	03.02
BaL	00.81	00.14
FeK	47.41	20.38
ZnK	02.64	00.97
Matrix	Correction	ZAF

B.4 Analisis Sifat Kemagnetan Barium M-Heksaferit dengan Menggunakan VSM

Berdasarkan hasil VSM, kurva histerisis pada material Barium M-Heksaferit yang telah di doping ion Zn^{2+} mempunyai luasan kurva yang sempit. Sehingga material ini mempunyai sifat *soft magnetic*. Pada *holding time* 4 jam, diperoleh magnetisasi maksimum yaitu $0,55 \text{ emu/gr}$. Namun nilai ini masih sangat jauh jika dibandingkan dengan nilai magnetasi saturasi (M_s) pada material Barium M Heksaferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) yaitu 78 emu/gr . Nilai magnetisasi maksimum ini menunjukkan kemampuan partikel nano untuk mempertahankan kesearahan domain-domain magnetiknya ketika masih dikenai medan magnet luar. Sehingga ketika banyaknya momen magnetik menyebabkan magnetisasi maksimum mempunyai nilai yang lebih besar yang artinya kemampuan menyearahkan domain-domain magnetiknya juga besar.



Gambar 7 Kurva Histerisis Barium M-Heksaferit dengan Variasi Holding Time

Tabel 3 Sifat magnet dari serbuk Barium M-Heksaferit yang dikalsinasi pada temperatur 150°C selama 4 jam

Holding Time	Koersivitas Hc (kA/m)	Magnetisasi Remanensi Mr (T)	Magnetisasi Saturasi Ms (emu/gr)
2 jam	0,0095	0,018	0,49
3 jam	0,013	0,011	0,44
4 jam	0,0082	0,01	0,55
5 jam	0,0095	0,011	0,51
6 jam	0,013	0,012	0,49
10 jam	0,019	0,014	0,53

Adanya dopan ion Zn^{2+} yang dapat mensubstitusi ion Fe^{3+} dan mengacak-ngacak arah domain sehingga medan koersivitas sampel tersebut berkurang. Pada kurva histerisis di atas, mengindikasikan semakin lama *holding time*, besarnya nilai medan koersivitas H_c semakin meningkat. Pada *holding time* 2 jam diperoleh nilai $H_c = 0,0095$ kA/m, kemudian nilai ini menurun pada *holding time* 4 jam menjadi 0,0082 kA/m. Pada *holding time* 10 jam nilai H_c semakin meningkat dan nilainya menjadi 0,019 kA/m. Pada *holding time* 2 jam diperoleh M_r yang maksimum yaitu 0,018 T dengan manetisasi maksimum 0,49 emu/gr. Konsep magneto Bohr pada material ini terletak pada momen spin magnet yang ditimbulkan oleh bahan untuk mengorientasikan domain-domain magnetnya sehingga mencapai magnetisasi maksimum yang menunjukkan besarnya magnetisasi pada material ini.

Pada saat kalsinasi dengan lama pemanasan yang berbeda-beda akan memberikan nilai magnetisasi yang berbeda-beda yang dapat ditunjukkan oleh kurva histerisis pada gambar 7. Hal ini disebabkan diantaranya oleh pertumbuhan butir dan cacat kristal selama waktu kalsinasi sehingga berdampak pada munculnya fase-fase ketika proses kalsinasi. Pertumbuhan butir oleh proses difusi berperan dalam menghambat pergerakan dinding domain. Pertumbuhan kristal berakibat pada pertumbuhan partikel serbuk Barium M-Heksaferit sehingga dapat berakibat proses magnetisasi menjadi lebih sulit karena ukuran partikel lebih besar dari domain magnet [2].

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Sintesis Barium M-Heksaferit ($BaFe_{11,4}Zn_{0,6}O_{19}$) berhasil dilakukan dengan metode kopresipitasi. Fase hematit ($\gamma-Fe_2O_3$) mengalami peningkatan dengan kenaikan *holding time* pemanasan, sementara fase BaM mengalami penurunan. Pada penelitian ini diperoleh nilai koersivitas H_c berkisar 0,0082 kA/m sampai 0,019 kA/m, nilai remanensi berkisar 0,01 Tesla sampai 0,018 Tesla, dan nilai magnetisasi maksimum berkisar 0,44 emu/gram sampai 0,55 emu/gram. Komposisi fase Barium M-Heksaferit terbanyak sebesar 72,54% pada temperatur 150°C dengan *holding time* 4 jam sebagai bahan *soft magnetic*, dengan nilai koersivitas dan remanensi yaitu 0,0082 kA/m dan 0,01 Tesla serta mempunyai nilai magnetisasi tertinggi yaitu 0,55 emu/gram. Penggunaan medan magnet yang lebih dari 1 Tesla sangat dianjurkan untuk penelitian selanjutnya agar dapat mengidentifikasi nilai magnetisasi saturasi dengan tepat pada material Barium M-Heksaferit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis F.R.S. mengucapkan terima kasih kepada DIKTI atas bantuan penelitian melalui program Penelitian Unggulan Strategi Nasional 2012.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Amin, M. B. dan James, J. R. 1981. "Techniques for The Utilization of Hexagonal Ferrites In Radar Absorber. Part I. Broadband Planar Coating". *Radio Electron Engineers*, 51, 209–218.
- [2] Silvia, L. 2011. "Pengaruh Ion Doping Co/Zn Terhadap Sifat Kemagnetan Barium M-Heksaferit $BaFe_{12-2x}Co_xZn_xO_{19}$ ". Tugas Akhir Jurusan Fisika. Surabaya: ITS.
- [3] Yuliana, D. 2011. "Pengaruh Variasi Temperatur Terhadap Pembentukan Struktur Kristal Barium M-Heksaferit Tersubstitusi Ion Dopan Zn". *Prosiding Seminar Nasional, Pendidikan, dan Penerapan MIPA*. Surabaya, 14 Mei, Fisika ITS.
- [4] Sudati, A.W. 2011. "Sintesis dan Karakterisasi Komposit Isotropik Resin Epoksi-Polianilin/Barium M-Heksaferit $BaFe_{12-2x}Co_xZn_xO_{19}$ Sebagai Material Anti Radar". Tugas Akhir Jurusan Fisika. Surabaya: ITS.
- [5] Harris, dkk. 2002. "Nanoparticle Manganese Zinc Ferrites Synthesized Using Reverse Micelles." *Navy Case* 83,484.