

EFEK ADITIF FeMo DAN PROSES KALSINASI PADA SERBUK MAGNETIK BaFe₁₂O₁₉

Ayu Yuswita Sari¹, Cut Hani Safira², Eko Arief Setiadi¹, Siviana Simbolon³,
Candra Kurniawan^{1,3} dan Perdamean Sebayang^{1,3}

¹Pusat Penelitian Fisika - LIPI

Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang Selatan

²Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Sumatera Utara

Jl. Bioteknologi No. 1, Medan, Sumatera Utara

³Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang

Jl. Surya Kencana No. 1, Tangerang Selatan

E-mail: ayuy001@lipi.go.id

Diterima: 23 Desember 2016

Diperbaiki: 21 Maret 2017

Disetujui: 3 April 2017

ABSTRAK

EFEK ADITIF FeMo DAN PROSES KALSINASI PADA SERBUK MAGNETIK BaFe₁₂O₁₉.
Pada penelitian ini, telah dilakukan investigasi efek aditif FeMo dan proses kalsinasi pada pembuatan magnet permanen barium heksaferit (BaFe₁₂O₁₉). Proses pembuatan magnet barium heksaferit dilakukan dengan metode *mechanical alloying*. Serbuk hasil *mixing* antara BaFe₁₂O₁₉ dan FeMo dikalsinasi dengan variasi suhu kalsinasi 1000 °C dan 1200 °C. Karakterisasi yang dilakukan meliputi sifat fisis dan magnetik, dengan menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)* dan piknometer untuk mengetahui fasa dan nilai densitas magnet, serta menggunakan *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)* pada pengukuran sifat magnetik magnet barium heksaferit. Dari hasil eksperimen, dapat diketahui bahwa penambahan aditif FeMo dapat menaikkan nilai densitas pada serbuk barium heksaferit. Hasil analisis sifat magnetik, dapat diketahui bahwa penambahan aditif FeMo secara keseluruhan menurunkan sifat magnetik magnet. Namun penambahan %wt FeMo menaikkan nilai remanensi, saturasi dan energi produk maksimum (BH_{max}) magnet barium heksaferit, meskipun nilai koersivitas magnet tetap menurun. Sedangkan kenaikan suhu kalsinasi mampu menaikkan nilai remanensi, dan BH_{max}, namun menurunkan nilai koersivitas dan saturasi dari magnet barium heksaferit. Hal ini menunjukkan penambahan zat aditif FeMo mampu mengubah struktur material magnet permanen barium heksaferit dari *hard* magnetik menjadi *soft* magnetik material. Nilai optimum dihasilkan pada komposisi penambahan 5 %wt aditif FeMo dengan nilai densitas serbuk 3,71 g/cm³ sebelum dikalsinasi, dan memiliki sifat magnetik seperti: saturasi 2,12 kG, remanensi 1,15 kG, koersivitas 0,45 kOe dan BH_{max} 0,145 MGOe setelah dikalsinasi pada suhu 1000 °C.

Kata kunci: BaFe₁₂O₁₉, FeMo, *Mechanical Alloying*, Kalsinasi, *Vibrating Sample Magnetometer*

ABSTRACT

EFFECT OF FeMo ADDITIVE AND CALCINATION PROCESS ON MAGNETIC POWDERS BaFe₁₂O₁₉.
In this study, we have been investigated the effect of FeMo additive and calcination process in magnet permanent barium hexaferrite. The permanent magnet of barium hexaferrite was prepared by mechanical alloying method. The mixing powder of BaFe₁₂O₁₉ and FeMo was calcinated on 1000 and 1200 °C prepared of temperature. The characterization was done for physical and magnetic properties with *X-ray Powder Diffraction (XRD)* and piknometer for the phase of material and the powder density and then *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)* for the magnetic properties of barium hexaferrite magnet. The experiment result showed analysis that addition of FeMo increased the powder density of barium hexaferrite. The magnetic properties result showed that increasing of FeMo additive make decreasing of magnetic characterization. While the more addition of FeMo can be increases remanence, saturation, and BH_{max}. Even though decreases the coercivity. The increasing of calcination temperature can increases remanence and BH_{max} but decreases saturation and coercivity. It means

the process can changes the magnet structure from hard to soft magnetic material. The optimum value, when the barium hexaferrite add %wt 5 FeMo additive with 3.71 g/cm^3 powder density before calcination process. And the magnetic properties such as: saturation 2.12 kG, remanence 1,15 kG, coercivity 0,45 kOe dan $BH_{\text{max}} 0,145 \text{ MGOe}$ after calcination process at 1000°C .

Keywords: BaFe₁₂O₁₉, FeMo, Mechanical Alloying, Calcination, Vibrating Sample Magnetometer

PENDAHULUAN

Barium heksaferit (BaFe₁₂O₁₉) merupakan magnet permanen yang banyak digunakan karena bahannya melimpah dan harganya relatif murah [1-2]. Barium heksaferit memiliki nilai magnetik anisotropi dan suhu Curie yang tinggi dengan kestabilan kimia yang cukup baik [3]. Material tersebut memiliki koersivitas instrinsik 6700 Oe, magnetik saturasi 72 emu/g, dan suhu Curie 450°C. Barium heksaferit (BaFe₁₂O₁₉) telah digunakan secara luas pada pembuatan magnet permanen komersial, penyimpanan data (*hard discs*), *loudspeakers*, *microphones*, magnetik separator, dan lainnya [4]. Teknik sintesis pada barium heksaferit (BaFe₁₂O₁₉) dapat dibagi secara fisika dan kimia [5]. Teknik fisika yang biasa dilakukan adalah metode reaksi padatan (*mechanical alloying*). Selanjutnya, dilakukan proses kalsinasi untuk stabilitas fasa dan densifikasi dalam bentuk serbuk [6].

Pada proses *mechanical alloying*, distribusi serbuk yang homogen merupakan faktor penting yang mempengaruhi proses *ferrization* dan sifat magnetik ferit. Proses *wet milling* pada serbuk lebih dianjurkan karena dapat menghasilkan distribusi partikel yang lebih merata dari pada proses *dry milling* [7]. Pada serbuk BaFe₁₂O₁₉ diberikan penambahan aditif *Ferro Molybdenum* (FeMo) yang secara luas digunakan dalam produksi baja *stainless* tahan panas dan paduan baja lainnya. *Molybdenum* meningkatkan kekerasan ferit, dan bahkan lebih besar daripada austenit. Penambahan *Ferro-Molybdenum* dapat meningkatkan kekerasan komposit keramik secara signifikan [8]. Penambahan aditif FeMo pada serbuk BaFe₁₂O₁₉ diharapkan dapat menghasilkan soft magnetik dan dapat digunakan sebagai material absorber. Barium M-Heksaferit terbentuk paling tidak pada suhu 1000°C agar menjadi produk utama [9].

Penelitian mengenai penambahan aditif FeMo pada serbuk BaFe₁₂O₁₉ masih terbatas, khususnya berkaitan dengan sifat magnetik dan struktur mikronya. Oleh karena itu efek penambahan aditif FeMo pada serbuk BaFe₁₂O₁₉ berkontribusi merubah sifat magnetik (soft magnetik) sehingga dapat digunakan untuk tujuan tertentu. Nilai koersivitas digunakan untuk membedakan antara *hard* atau *soft* magnet, artinya semakin besar gaya koersivitasnya maka semakin tinggi sifat kemagnetannya. Sebaliknya semakin kecil nilai koersivitasnya maka semakin mudah untuk menghilangkan sifat kemagnetannya. Hal inilah yang merupakan tujuan penelitian dalam menambahkan

aditif FeMo pada serbuk BaFe₁₂O₁₉ dan kondisi suhu kalsinasi.

Suhu kalsinasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1000 , dan 1200°C selama 2 jam berdasarkan hasil penelitian sebelumnya [10]. Bahan serbuk magnet BaFe₁₂O₁₉ yang digunakan adalah merupakan produk komersil (buatan China). Pokok bahasan dalam penelitian ini adalah mengamati pengaruh penambahan aditif FeMo pada serbuk BaFe₁₂O₁₉ ditinjau dari sifat fisis dan magnetiknya.

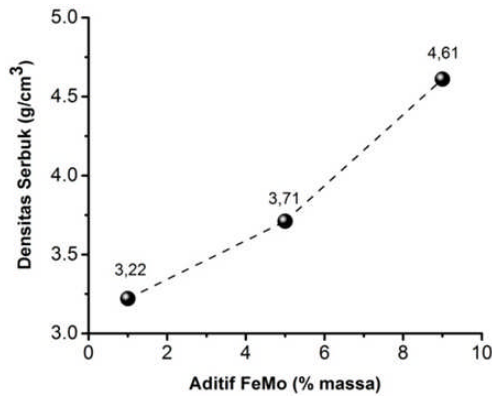
METODE PERCOBAAN

Pada tahap awal dilakukan penggerusan bahan baku berupa serbuk Barium heksaferit (BaFe₁₂O₁₉) dengan menggunakan *Planetary Ball Mill* (PBM) selama 24 jam. Secara terpisah aditif FeMo digerus secara *wet milling* menggunakan *High Energy Milling* (HEM) dengan media toluen selama 1 jam. Kemudian, serbuk FeMo dikeringkan dengan oven pada suhu 100°C selama 24 jam untuk menghilangkan kandungan toluen. Selanjutnya serbuk BaFe₁₂O₁₉ dan aditif FeMo (1, 5 dan 9%wt) dicampurkan dengan menggunakan HEM selama 15 menit. Campuran serbuk BaFe₁₂O₁₉ dan aditif FeMo diukur nilai densitasnya dengan menggunakan piknometer. Kemudian serbuk dikalsinasi pada suhu 1000 , dan 1200°C selama 2 jam dengan *heating rate* $10^\circ\text{C}/\text{menit}$. Proses kalsinasi tersebut dilakukan dengan menggunakan alat *Thermolyne Furnace High Temperature*.

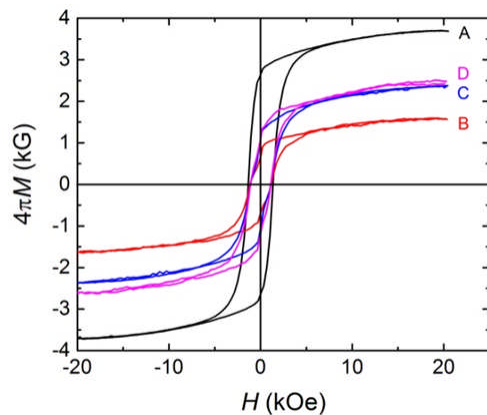
Pengujian *true density* dari campuran serbuk BaFe₁₂O₁₉ dan aditif FeMo dilakukan dengan piknometer dan menggunakan toluen sebagai medianya. Sifat magnet meliputi magnetisasi saturasi (M_s), magnetik remanensi (M_r), koersivitas (jH_c) dan energi produk maksimum (BH_{max}) diukur dengan menggunakan *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM). Selanjutnya analisa fasa dan struktur kristal dari campuran serbuk BaFe₁₂O₁₉ dan aditif FeMo sebelum dan setelah kalsinasi diamati dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari Gambar 1, dapat diketahui bahwa hasil pengukuran densitas menunjukkan pengaruh penambahan zat aditif FeMo menaikkan nilai densitas dari magnet permanen barium heksaferit mulai $3,22 - 4.61 \text{ g/cm}^3$. Hal ini disebabkan nilai densitas FeMo yang lebih besar



Gambar 1. Pengaruh penambahan aditif FeMo pada nilai densitas serbuk.



Gambar 2. Kurva histeresis dari hasil analisis sifat magnet pada (A) serbuk BaFe₁₂O₁₉, penambahan (B) 1, (C) 5 dan (D) 9 %wt FeMo terhadap BaFe₁₂O₁₉

dibandingkan nilai densitas barium heksaferit. Pengaruh aditif FeMo pada magnet barium heksaferit terlihat pada Gambar 2. Penambahan aditif secara keseluruhan menurunkan sifat magnetik dari barium heksaferit. Hal ini disebabkan dari sifat soft magnetik dari FeMo [11]. Namun kenaikan %wt dari aditif FeMo mengakibatkan kenaikan nilai remanensi, saturasi dan BH_{max} dari magnet barium heksaferit. Ini pengaruh perbedaan nilai densitas dari barium heksaferit + aditif FeMo yang semakin meningkat.

Pada Tabel 1, terlihat bahwa efek penambahan aditif sebanyak 5% wt FeMo pada serbuk barium heksaferit sebelum dikalsinasi, menghasilkan nilai koersivitas terkecil 1,03 kOe, dengan nilai remanensi 1.08 kG, saturasi 2,37 kG serta BH_{max} 0.140 MGOe. Berdasarkan

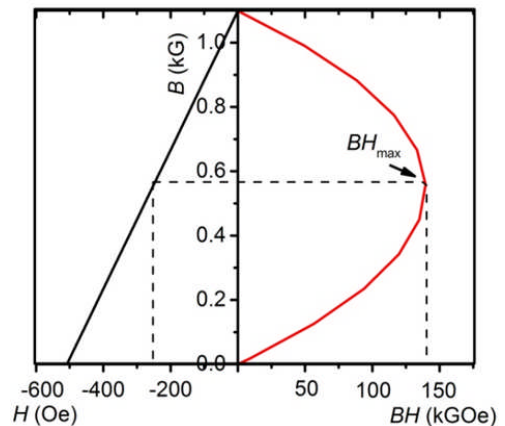
Tabel 1. Hasil analisis *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)* pada penambahan aditif FeMo (1, 5, dan 9%wt) pada serbuk BaFe₁₂O₁₉.

Aditif FeMo (% wt)	4πM _s (kG)	4πM _r (kG)	jH _c (kOe)	BH _{max} (MGOe)
0	3,70	2,64	1,34	0,914
1	1,59	0,66	1,15	0,065
5	2,37	1,08	1,03	0,140
9	2,49	1,13	1,11	0,152

data tersebut penambahan aditif FeMo pada magnet barium heksaferit menghasilkan material magnetik yang dikategorikan sebagai soft magnetik dengan nilai saturasi yang cukup baik. Dengan demikian ditetapkan kondisi untuk proses selanjutnya adalah pada penambahan aditif sebanyak 5% wt FeMo pada serbuk BaFe₁₂O₁₉.

Jika dibandingkan dengan sifat magnet untuk sampel serbuk BaFe₁₂O₁₉ (komersil) tanpa penambahan aditif, nilai tersebut relatif lebih rendah. Hal ini dikarenakan pengaruh substitusi ion logam (misal: Zn, Fe) terhadap BaFe₁₂O₁₉ [12]. Hasil penelitian dari literatur menunjukkan bahwa penambahan ion logam dapat mereduksi sifat magnet sampel sebagai akibat dari terganggunya arah momen magnet dengan munculnya ion substitusi atau ion Fe sehingga domain magnet menjadi random [13].

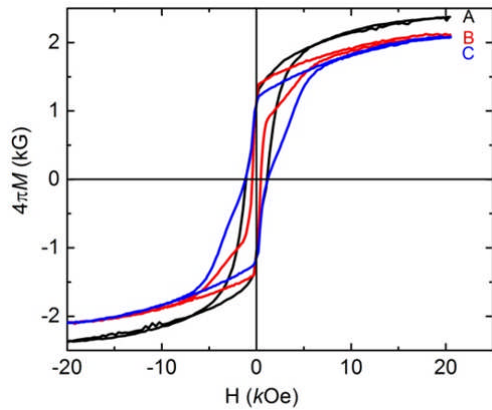
Nilai BH_{max} merupakan suatu pengukuran dari energi potensial magnetik yang didapatkan dari luasan daerah pada kuadran kedua dari kurva histeresis sehingga diperoleh kurva (BH) yaitu perkalian B dan H. Daerah kuadran kedua merupakan tempat kedudukan titik-titik luasan di bawah kurva demagnetisasi sehingga energi produk dipengaruhi oleh nilai remanensi dan koersivitas. Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa energi produk maksimum (BH_{max}) tidak hanya bergantung pada nilai H_c dan B_r, tetapi juga bergantung pada bentuk kurva demagnetisasi [14].



Gambar 3. Kurva demagnetisasi pada kuadran kedua dari serbuk BaFe₁₂O₁₉ dengan penambahan 5%wt FeMo

Sampel dengan aditif 5% wt FeMo pada serbuk BaFe₁₂O₁₉ sebelum dan setelah kalsinasi pada suhu 1000, dan 1200°C selama 2 jam dikarakterisasi sifat magnetnya dengan menggunakan VSM diperlihatkan pada Gambar 4 dan Tabel 2.

Dari Gambar 4 dan Tabel 2, menunjukkan bahwa nilai koersivitas terendah diperoleh pada penambahan aditif 5%wt FeMo terhadap serbuk BaFe₁₂O₁₉ setelah kalsinasi 1000°C selama 2 jam, yaitu sebesar 0,45 kOe. Hal ini menunjukkan bahwa efek suhu kalsinasi juga memegang peranan penting dalam membentuk *soft* magnetik. Sedangkan



Gambar 4. Kurva histeresis sampel dengan aditif 5%wt FeMo pada (A) serbuk BaFe₁₂O₁₉ sebelum dan setelah kalsinasi pada temperatur (B) 1000, dan (C) 1200°C selama 2 jam

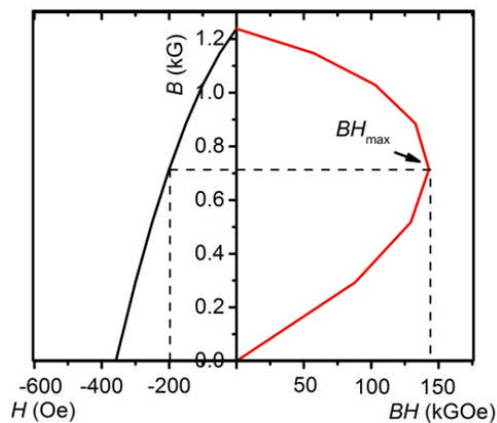
Tabel 2. Sifat magnetik padapenambahan aditif 5%wt FeMo terhadap serbuk BaFe₁₂O₁₉ sebelum dan setelah kalsinasi 1000, dan 1200°C selama 2 jam

Kode sampel	4πM _s (kG)	4πM _r (kG)	jH _c (kOe)	BH _{max} (MGOe)
Sebelum kalsinasi	2,37	1,08	1,03	0,140
1000 °C	2,12	1,15	0,45	0,145
1200 °C	2,08	1,10	1,18	0,165

meningkatnya suhu kalsinasi menjadi 1200 °C (2 jam) nilai koersivitas meningkat menjadi 1,18 kOe.

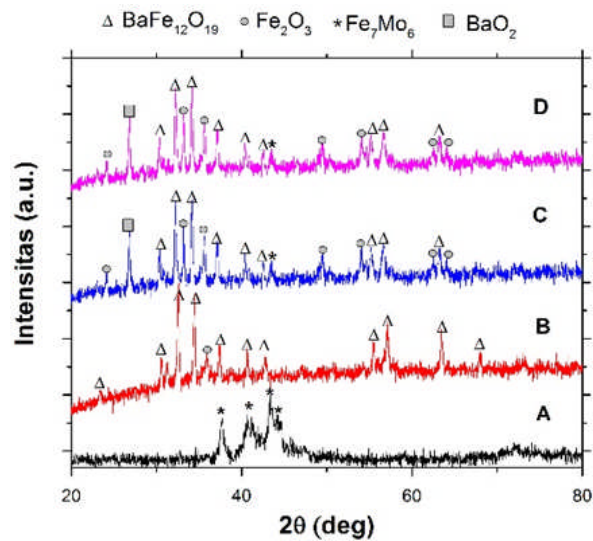
Hasil karakterisasi tersebut menunjukkan bahwa serbuk dengan suhu kalsinasi 1000°C memiliki sifat magnet yang paling baik. Sedangkan pada suhu 1200°C menghasilkan kandungan hematite (Fe₂O₃), sebagai *impurity* sekunder, yang semakin banyak dan menyebabkan penurunan pada nilai remanensi dan saturasi serbuk [15].

Pada Gambar 5 ditunjukkan kurva BH_{max} dari serbuk BaFe₁₂O₁₉ dengan penambahan 5% wt FeMo yang dikalsinasi pada suhu 1000 °C (2 jam).



Gambar 5. Kurva demagnetisasi pada kuadran kedua dari serbuk BaFe₁₂O₁₉ dengan penambahan 5% wt FeMo yang dikalsinasi pada temperatur 1000°C selama 2 jam

Penurunan nilai remanensi dan koersivitas pada serbuk sesuai dengan hasil analisis XRD yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil analisis XRD (A) serbuk FeMo (B) serbuk BaFe₁₂O₁₉, (C) serbuk BaFe₁₂O₁₉ dengan penambahan 5% wt FeMo yang dikalsinasi pada temperatur 1000°C, (D) serbuk BaFe₁₂O₁₉ dengan penambahan 5% wt FeMo yang dikalsinasi pada temperatur 1200°C selama 2 jam

Dari hasil analisis XRD yang menggunakan software Match! menunjukkan bahwa serbuk (B) tanpa aditif FeMo dan proses kalsinasi menghasilkan 81,9% fasa mayor barium heksaferit (BaFe₁₂O₁₉) dengan parameter kisi a = b = 5,865 Å; c = 23,099 Å dan 18,1 % fasa minor hematit (Fe₂O₃). Serbuk (C) menghasilkan 40,13% fasa barium heksaferit (BaFe₁₂O₁₉) dengan parameter kisi a = b = 5,893 Å, c = 23,194 Å, 37,7 % fasa hematit (Fe₂O₃), 10,7% fasa barium oxide (BaO) dan 11,47 % fasa Fe₇Mo₆. Serbuk (D) menghasilkan 40,9% fasa barium heksaferit (BaFe₁₂O₁₉) dengan parameter kisi a = b = 5,892 Å, c = 23,183 Å, 36,8% fasa hematit (Fe₂O₃), 10,6% fasa barium oxide (BaO) dan 11,7 % fasa Fe₇Mo₆.

Data hasil analisis XRD ini membuktikan bahwa pengaruh suhu kalsinasi mampu menurunkan sifat kemagnetan dari magnet permanen barium heksaferit yang diakibatkan adanya proses perubahan fasa dengan terbentuknya fasa baru pada proses kalsinasi.

Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa penambahan aditif FeMo dan proses kalsinasi mampu menurunkan sifat magnetik dari magnet permanen barium heksaferit dari hard magnetik menuju *soft* magnetik, sehingga dapat diaplikasikan sebagai sensor magnetik pada sistem keamanan [16-17].

Sifat magnet yang diutamakan pada penelitian ini adalah pada nilai koersivitas yang rendah sehingga pada proses magnetisasi dapat berlangsung relatif lebih cepat. Selain itu besarnya nilai induksi remanen (B_r) dari bahan juga mempengaruhi proses demagnetisasi suatu bahan sehingga medan magnet luar menjadi nol, dan

sering disebut magnetisasi sisa. Keberhasilan penelitian ini sangat tergantung pada sifat magnet dan berkorelasi dengan struktur mikro setelah sampel mengalami proses kalsinasi.

KESIMPULAN

Sintesis serbuk $BaFe_{12}O_{19}$ dengan penambahan aditif FeMo telah berhasil dilakukan melalui metode *Mechanical Alloying*. Penambahan 5% wt FeMo merupakan penambahan aditif optimum dengan nilai densitas $3,71 \text{ g/cm}^3$ sebelum proses kalsinasi dan memiliki sifat magnet paling baik setelah proses kalsinasi pada suhu 1000°C dengan nilai saturasi 2.12 kG, remanensi 1,15 kG, koersivitas 0,45 kOe dan BH_{max} 0,145 MGOe. Hasil analisis *XRD* menunjukkan bahwa Serbuk $BaFe_{12}O_{19}$ dengan penambahan aditif 5% wt FeMo yang sudah dikalsinasi pada suhu 1000°C memiliki fasa dominan 40,13% barium heksaferit ($BaFe_{12}O_{19}$), fasa minor 37,7% hematite (Fe_2O_3), 11,47 FeMo dan 10,7% barium oxide (BaO_2). Hasil sintesis dan karakterisasi serbuk magnet menunjukkan bahwa serbuk magnet yang telah dibuat menuju struktur material *soft* magnetik yang dapat diaplikasikan sebagai sensor magnetik dan sistem *on/off* pada alat telekomunikasi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada program DIPA Pusat Penelitian Fisika-LIPI, 2016 atas pembiayaan dalam penelitian ini.

DAFTAR ACUAN

- [1]. R. Doni, A. Manaf, dan P. Sardjono. "Physical Characteristics and Magnetic Properties of Barium Hexaferrites ($BaFe_{12}O_{19}$) Derived from Mechanical Alloying." *International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS*, vol.13, no. 4, 2013.
- [2]. R. C. Pullar, M. Saeli, R. M. Novais, J. A. Amaral, and J. A. Labrincha. "Valorisation of Industrial Iron Oxide Waste to Produce Magnetic Barium Hexaferrite." *Journal Chemistry Select*, vol.4, pp. 819-825, 2016.
- [3]. D. S. Winatapura, E. Sukirman, S. Wardiyati dan S. Purnama. "Karakterisasi $BaFe_{12}O_{19}$ Koersivitas Tinggi Hasil Sintesis Dengan Metode Kopresipitas Kimia." *Jurnal Sains Dan Teknologi Nuklir Indonesia*. vol.14, no.2, 2013.
- [4]. I. Stefan, A. Olei, and C. Nicolicescu. "Research on Mechanical Alloying Effects on Magnetic Properties of Barium Ferrite Type M." in *The 4th International Conference, Advanced Composite Materials Engineering, Comat 2012*.
- [5]. Y. H. Huang, J. Z. Yang, Y. G. Liu, M. H. Fang, J. T. Huang, H. R. Sun and S. F. Huang. "Novel Sialon-Based Ceramics Toughened by Ferro-Molybdenum Alloy." *J. Am. Ceram. Soc.*, vol. 95, no. 3, pp. 859-861. 2012.
- [6]. M. Marinov, G. Mushec, P. Petrov, R. Paunova and R. Aleksandrova. "Production Efficiency of A Ferro-Molibdenum Alloy." *Journal of Chemical Technology And Metallurgy*, vol.49, no. 1, pp. 45-48. 2014.
- [7]. K. Rosyidah, dan M. Zainuri. "Sintesis dan Karakterisasi Struktur dan Sifat Magnet Komposit Barium M-Heksaferit/Polianilin Berstruktur Core-Shell Berbasis Pasir Besi Alam." *Jurnal Teknik Pomits*, vol. 1, no. 1, 2013.
- [8]. A. Doyan, I. Halik, dan Susilawati. "Pengaruh Variasi Temperatur Kalsinasi Terhadap Barium M-Heksaferit Didoping Zn Menggunakan Fourier Transform Infra-Red, J. Pijar Mipa, vol. X no.1, pp. 7-15, 2015
- [9]. W. Gao, Z. Li and N. Sammes. "An Introduction To Electronic Materials For Engineers." in 2th Edition. World Scientific, London, 2011.
- [10]. M. M.S Sanad and M.M. Rashad. "Cost-effective Integrated Strategy for The Fabrication of Hard-Magnet Barium Hexaferrite Powders From Low-Grade Barite One." *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, vol. 23, no.9, pp. 991, 2016.
- [11]. B. Slusarek, and K. Zakrzewski. "Magnetic Properties of Permanent Magnets For Magnetic Sensors Working In Wide Range Of Temperature, *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*." 2012.
- [12]. L. Li and Beilun. "Acousto-Magnetic Anti-Theft Label with a High Coercivity Bias and Method of Manufacture." U.S. Patent, No. US 8 746 580 B2, Jun. 10, 2014.
- [13]. M. Fujiyoshi and S. Yokoyama. "Semi-Hard Magnetic Material and Theft-Prevention Magnetic Sensor Using Same and Method of Manufacturing Semi-Hard Magnetic Materials." U.S. Patent, No. US 9 500 720 B2, Nov. 22, 2016.
- [14]. A. M. Soehada, K. Sebayang, T. Sudiro, C. Kurniawan, dan P. Sebayang. "Effect of Mn-Ti Ions Doping and Sintering Temperature on Properties of Barium Hexaferrite)." *Jurnal Sains Materi Indonesia*, vol. 15, no. 4, pp. 192-195, 2014.
- [15]. D. Ambarwanti, E. Handoko, dan M. A. Marpaung. "Struktur dan Sifat Kemagnetan Material Magnet $BaFe_{12}Mn_xZn_xO_{19}$ yang Disiapkan dengan Metode Ultrasonic Mixing." *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVIII HFI Jateng & DIY*, pp. 312-314.
- [16]. Sulistyono, I. Marhaendrajaya dan Priyono. "Sintesis dan Karakterisasi Material Magnetik Barium Hexaferrite Tersubstitusi Menggunakan Teori Solgel Untuk Aplikasi Serapan Gelombang Mikro Pada Frekuensi X-Band." *Berkala Fisika*, vol. 15, no. 2, pp. 63 - 68, 2012.

- [17] Priyono dan W.G. Prasongko. "Pembuatan Material Komposit $\text{BaFe}_9\text{Mn}_{0.75}\text{Co}_{0.75}\text{Ti}_{1.5}\text{O}_{19}$ /Elastomer untuk Aplikasi Penyerap Gelombang Elektromagnetik." *Jurnal Sains dan Matematika*, vol. 21, no. 1, pp. 15-19, 2013.
- [18] W. Wong-Ng, H. F. Mc Murdie, C. R. Hubbard, and A. D. Mighell. "JCPDS-ICDD Research Associateship (Cooperative Program with NBS/NIST)." *Journal of Research of The National Institute of Standards and Technology*, vol. 106, no 6, pp. 1013-1028, 2001.