

PENGARUH PENAMBAHAN ADITIF Bi_2O_3 TERHADAP KARAKTERISTIK BARIUM HEKSAFERIT HASIL SINTESIS DENGAN METODE SOL-GEL

Siti Wardiyati, Didin S. Winatapura, dan Engkir Sukirman

Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju, BATAN Gedung 42, Puspipstek Serpong, Tangerang Selatan

E-mail : siti-war@batan.go.id

Received: 18 April 2017; revised: 9 Agustus 2017; accepted: 9 Oktober 2017

ABSTRAK

PENGARUH PENAMBAHAN ADITIF Bi_2O_3 TERHADAP KARAKTERISTIK BARIUM HEKSAFERIT HASIL SINTESIS DENGAN METODE SOL-GEL. Telah dilakukan sintesis barium heksaferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) secara sol-gel menggunakan prekursor barium nitrat [$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$], besi nitrat [$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$] dan asam sitrat ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$). Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ fasa tunggal berukuran nano dengan koersivitas magnetik tinggi. Untuk mencapai tujuan tersebut dilakukan penambahan aditif Bi_2O_3 dengan berbagai variasi persentase berat terhadap $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dari 0,5% sampai dengan 2%. Karakterisasi $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ hasil sintesis dilakukan dengan menggunakan alat *X-ray diffraction (XRD)* untuk analisis fasa, *Fourier Transmission Infra Red (FTIR)* untuk mengetahui tipe ikatan yang terjadi, *Scanning Electron Microscope dan Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM/EDS)* untuk analisis struktur dan persentase atom, dan *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)* untuk mengetahui sifat magnetik yaitu koersivitas dan saturasi magnetik. Dari hasil percobaan diperoleh $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ fasa tunggal dengan ukuran partikel sekitar 105 nm - 130 nm, saturasi magnetik 57,86 emu/g dan koersivitas magnetik sebesar 0,38 T.

Kata kunci : Barium heksaferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$), aditif Bi_2O_3 , Sol-gel, Magnet permanen

ABSTRACT

Bi_2O_3 ADDITION EFFECT ON THE CHARACTERISTIC OF BARIUM HEXA FERRITE SYNTHESIZED BY SOL GEL METHOD. Synthesis of barium hexaferrite has been done by sol-gel method using of barium nitrate, iron nitrate, and citric acid as precursors. This research aims to obtain $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ having a high magnetic coercivity, single phase, and nanoscale size. To achieve those purposes the addition of Bi_2O_3 was conducted by varying weight percentage from 0.5% - 2%. $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ was characterized using X-ray diffraction (XRD) for phase analysis. Fourier Transform Infrared (FTIR) for identification of bonding type, Scanning Electron Microscope equipped with Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM/EDS) for analysis structure and percentage atomic, and Vibrating Sample Magnetometer (VSM) to observe of coercivity and saturation magnetic. From the experiment, $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ single phase was obtained with the particle size of around 105 nm – 130 nm, magnetic saturation of 57.86 emu/g and the magnetic coercivity of 0.38 T.

Key words : Barium hexaferrite ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$), Bi_2O_3 additive, Sol-gel method, Permanent magnet

PENDAHULUAN

Barium heksaferit dengan rumus kimia $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$, merupakan salah satu magnet permanen yang bersifat stabil, mempunyai magnet kristal anisotrop cukup besar, suhu Curie tinggi, korosi resistivitasnya tinggi, densitas rendah, dan mempunyai nilai saturasi magnetik relatif tinggi (Li *et al.* 2012; Kanagesan, Mansor, dan Sinnappan 2014). Dengan kelebihan tersebut barium heksaferit sangat banyak digunakan di berbagai bidang industri, seperti media perekaman magnetik (Onayagi *et al.* 2016), aplikasi *microwave* (Durmus, Durmus, dan Kavas 2015) dan sebagai *Multi-Layer Ionization Chamber (MLIC)* yang merupakan

komponen penting dari *camcorder*, *pager* dan *notebook computer* (Iqbal, Mir, dan Alam 2010)

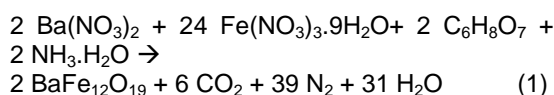
Barium heksaferit berukuran nano sangat diperlukan dalam aplikasi perekaman maupun *microwave absorber*. Bahan dengan ukuran nano mempunyai luas permukaan tinggi, sehingga akan mengurangi jumlah pemakaian materi tersebut dan akan menghasilkan produk yang lebih tipis yang merupakan tuntutan perkembangan teknologi dewasa ini. Untuk keperluan tersebut maka perlu pembelajaran pembuatan barium heksaferit untuk mendapatkan $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ yang berukuran nano dengan koersivitas tinggi.

Pembuatan barium heksaferit secara konvensional dilakukan dengan cara *solid state* yang memerlukan suhu tinggi yaitu di atas 1200 °C, dan memerlukan perlakuan *milling* yang menyebabkan karakteristik magnetik kurang baik yang disebabkan terjadinya regangan kisi selama proses *milling* (Tefan *et al.* 2011; Kwak *et al.* 2012). Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk pembuatan barium heksaferit pada suhu rendah dan tidak memerlukan proses *milling* diantaranya adalah kopresipitasi kimia (Kwak *et al.* 2012), sol-gel (Li *et al.* 2012; Meng *et al.* 2014; Atay 2016), mikroemulsi (Sindhujana dan Joseyphus 2015; Ataie dan Montazeri-Pour 2011) dan hidrotermal (Sindhujana dan Joseyphus 2015).

Diantara metode tersebut sol-gel merupakan metode yang sederhana, mudah dikendalikan dan tidak perlu suhu tinggi (Kwak *et al.* 2012; Ganapathi 2009). Faktor-faktor yang berpengaruh pada pembuatan barium heksaferit dengan metode sol-gel diantaranya perbandingan molaritas diantara reaktan yang digunakan, suhu *sintering*, dan penambahan aditif. Faktor faktor tersebut akan mempengaruhi karakteristik barium heksaferit yang dihasilkan, seperti morfologi struktur, bentuk kristal, ukuran kristal, saturasi magnetik dan koersivitas magnetik.

Berdasarkan keunggulan metode sol-gel tersebut maka pada penelitian ini dilakukan pembuatan barium heksaferit dengan metode sol-gel, dengan tujuan untuk mendapatkan BaFe₁₂O₁₉ yang berukuran nano, mempunyai saturasi magnet (Ms) dan koersivitas magnetik (Hc) tinggi yang nantinya akan digunakan sebagai bahan absorber magnetik. Untuk mencapai tujuan tersebut dilakukan variasi jumlah penambahan aditif, yang berfungsi untuk menurunkan suhu *sintering*, meningkatkan faktor kualitas dan *cut-off* frekuensi (Li *et al.* 2012) yang sangat berpengaruh terhadap karakteristik BaFe₁₂O₁₉ yang dihasilkan. Bahan aditif yang telah terbukti memberikan fasa tunggal pada pembuatan BaFe₁₂O₁₉ adalah bismuth (III) oksida (Bi₂O₃) (Li *et al.* 2012). Berdasarkan alasan tersebut maka pada penelitian ini digunakan aditif Bi₂O₃.

Prekursor yang digunakan pada pembuatan barium heksaferit pada penelitian ini adalah (Ba(NO₃)₂), (Fe(NO₃)₃) dan C₆H₈O₇.H₂O dengan reaksi sesuai dengan Pers. 1. (Ganapathi 2009)



BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah barium nitrat (Ba(NO₃)₂), besi nitrat (Fe(NO₃)₃), asam sitrat (C₆H₈O₇), amonia (NH₄OH), air demineralisasi dan bismuth (III) oksida (Bi₂O₃). Bahan-bahan tersebut langsung digunakan tanpa perlakuan terlebih dahulu. Sedangkan peralatan yang digunakan adalah pengaduk magnet yang dilengkapi dengan pemanas, pH meter, alat penggerus (mortal), dan tanur.

Alat karakterisasi yang digunakan antara lain *X-ray diffractometer (XRD)* merk PAN Analytical dengan sumber radiasi Cu K α pada kisaran sudut pengukuran (2 θ) 10 – 80 derajat, XRD digunakan untuk menentukan fasa dan ukuran partikel, *Scanning Electron Microscopy* dengan mikroanalisa *X-ray (SEM/EDS)* merk JEOL untuk melihat struktur dan mengetahui persentase atomik bahan yang terbentuk, *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)* merk OXFORD 1.2T untuk mengetahui nilai saturasi dan koersivitas magnetik dan *Fourier Transform Infra-Red (FTIR)* merk Bruker Tensor 25 pada kisaran bilangan gelombang pengukuran 400 cm⁻¹ – 4000 cm⁻¹ untuk mengetahui jenis ikatan yang terjadi.

Metode

Pembuatan barium heksaferit (BaFe₁₂O₁₉) secara sol-gel dilakukan dengan cara barium nitrat (Ba(NO₃)₂), besi nitrat (Fe(NO₃)₃) dan asam sitrat (C₆H₈O₇) dilarutkan ke dalam air demineralisasi dengan perbandingan stoikiometri. Aduk dan atur pH larutan 7-9 dengan menambahkan amonia, dan panasi pada suhu 45 °C hingga terbentuk gel. Selanjutnya gel yang terbentuk dipanaskan pada 120 °C selama 10 jam untuk mendapatkan padatan kering. Padatan yang terbentuk dihaluskan dan ditambahkan aditif Bi₂O₃ dengan perbandingan berat bervariasi yaitu dari 0 % berat sampai 2 % berat (0%; 0,5%; 1,0%; 1,5%; dan 2,0%), kemudian dikalsinasi pada suhu 925 °C selama 4 jam dengan kecepatan 120 °C/jam. Barium heksaferit hasil sintesis selanjutnya dikarakterisasi dengan XRD, FTIR, SEM/EDS, dan VSM.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil karakterisasi struktur atau fasa BaFe₁₂O₁₉ hasil sintesis secara sol-gel dengan prekursor Ba(NO₃)₂, Fe(NO₃)₃ dan C₆H₈O₇ dengan variasi jumlah aditif ditunjukkan pada Gambar 1.

Pada Gambar 1 terlihat adanya puncak $BaFe_{12}O_{19}$ (M) pada sudut 2θ sekitar 22,79; 30,22; 32,08; 34,03; 36,97; 40,17; 42,30; 54,93; 56,46 dan 62,94 (Widyastuti *et al.* 2012). Selain itu ada puncak lain yaitu pada 2θ sekitar 23,71; 31,22; dan 32,71 yang merupakan puncak $-Fe_2O_3$ (S) dan puncak pada 2θ sekitar 28,72 dan 35,52 yang merupakan puncak dari $BaFe_2O_4$ (N) (Widyastuti *et al.* 2012). Pada Gambar 2 terlihat bahwa dengan penambahan Bi_2O_3 terjadi perubahan fasa, dimana pada $BaFe_{12}O_{19}$ murni (tanpa aditif) terlihat adanya puncak N ($BaFe_2O_4$) dan S ($-Fe_2O_3$) yang cukup tinggi. Dengan semakin tinggi persentase aditif semakin rendah puncak N maupun S, dan puncak tersebut hilang pada penambahan aditif 1,5%.

Hilangnya puncak N dan S ini dikarenakan adanya reaksi antara $BaFe_2O_4$ dan $-Fe_2O_3$ dengan O yang berasal dari Bi_2O_3 membentuk $BaFe_{12}O_{19}$ sehingga fasa barium heksaferit ($BaFe_{12}O_{19}$) yang dihasilkan mempunyai fasa tunggal. Dari hasil percobaan ini dapat disimpulkan bahwa fasa tunggal $BaFe_{12}O_{19}$ mulai terbentuk pada penambahan aditif Bi_2O_3 .

Dari data pola difraksi XRD $BaFe_{12}O_{19}$ yang ditunjukkan pada Gambar 1, ukuran diameter partikel $BaFe_{12}O_{19}$ ditentukan dengan menggunakan rumus *Debye Sherrer* (Pers. 2)

$$D = \frac{0,29\lambda}{B \cos \theta} \quad (2)$$

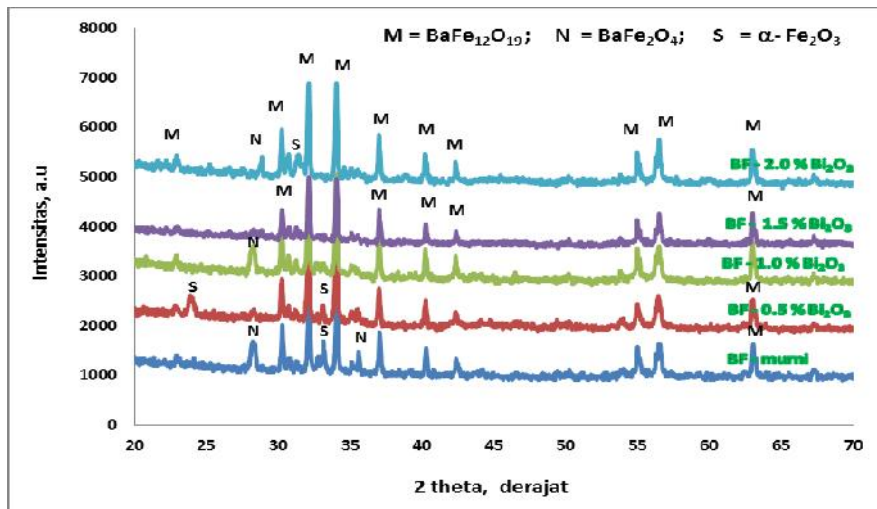
dimana D adalah ukuran kristal, B adalah *Full width at half maximum (FWHM)*, λ adalah 0,15404 nm dan θ adalah sudut difraksi. (Monshi, Foroughi, dan Monshi 2012)

Dari hasil perhitungan menggunakan Pers. 2 dan telah dikurangi dengan faktor koreksi alat diperoleh diameter partikel $BaFe_{12}O_{19}$ dengan variasi penambahan aditif Bi_2O_3 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Pada Tabel 1 terlihat bahwa ukuran partikel pada penambahan aditif dari 0% hingga 1,5% relatif sama yaitu berkisar 105 nm, sedangkan untuk penambahan aditif 2% ukuran partikel naik menjadi lebih besar yaitu 130 nm.

Pada penggunaan aditif 2% ukuran partikel menjadi lebih besar, dimungkinkan karena adanya kelebihan oksigen dari Bi_2O_3 yang mengakibatkan ukuran partikel menjadi lebih besar. Ukuran partikel $BaFe_{12}O_{19}$ hasil sintesis ini jauh lebih kecil dibandingkan dengan percobaan yang dilakukan Li *et al.* (2012) yaitu $0.5 \mu m - 2 \mu m$.

Tabel 1. Diameter partikel $BaFe_{12}O_{19}$ hasil sintesis dengan variasi penambahan aditif Bi_2O_3

Penambahan aditif Bi_2O_3 , % (berat)	Diameter partikel $BaFe_{12}O_{19}$, nm
0,0	105,50
0,5	105,43
1,0	102,20
1,5	105,98
2,0	130,37

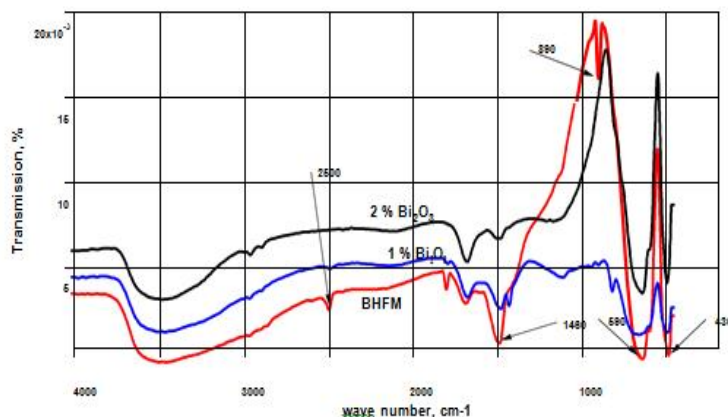


Gambar 1. Pola difraksi $BaFe_{12}O_{19}$ hasil sintesis dengan variasi jumlah aditif (BF = barium heksaferit)

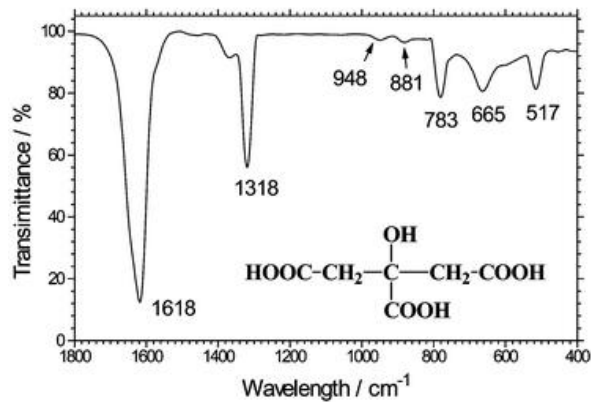
Karakterisasi lain yang diperlukan untuk mengetahui telah terbentuknya $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dapat dilakukan dengan menggunakan alat *FTIR*, yaitu untuk mengetahui jenis ikatan yang terjadi. Analisis $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ hasil sintesis dengan *FTIR* ditunjukkan pada Gambar 2. Pada Gambar 2, terlihat spektrum *FTIR* barium heksaferit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ hasil sintesis pada bilangan gelombang 400 cm^{-1} - 3500 cm^{-1} . Kurva spektrum *FTIR* tersebut memperlihatkan adanya enam puncak transmisi, yaitu pada 430 cm^{-1} , 590 cm^{-1} , 1460 cm^{-1} , 1630 cm^{-1} , 1780 cm^{-1} dan 2500 cm^{-1} . Spektrum pada bilangan gelombang 1460 cm^{-1} merupakan mode vibrasi regangan (*stretching*) N-O (Hong Bo Wu et al 2007) yang mengimplikasikan keberadaan ion nitrat (NO_3^-) sebagai sisa-sisa hasil reaksi. Sedangkan spektrum puncak pada 1780 cm^{-1} merupakan vibrasi regangan C=O (Durmus, Durmus, dan Kavas 2015) dan spektrum 1630 cm^{-1} menunjukkan adanya asam sitrat yang tersisa, ini dapat dilihat pada Gambar 3 yang menunjukkan spektrum *FTIR* asam sitrat.

Pada Gambar 3 terlihat adanya puncak spektrum yang kuat pada bilangan gelombang 618 cm^{-1} (Ouyang dan Deng 2003). Sementara itu, spektrum pada bilangan gelombang 590 cm^{-1} dan 430 cm^{-1} disebabkan oleh mode vibrasi regangan (*stretching*) dari metal-oksigen dalam kisi heksagonal dan mengkonfirmasi terbentuknya struktur heksagonal dan spektrum pada bilangan gelombang 2500 cm^{-1} merupakan gugus fungsi O-H dari asam karboksilat (Choo et al. 2011).

Pada Gambar 2 terlihat dengan bertambahnya aditif Bi_2O_3 spektrum gugus fungsi C=O berkurang, dan spektrum tersebut tidak muncul lagi pada penambahan aditif 2%. Hal ini dimungkinkan karena reaksi pembentukan BHF telah sempurna, dan C=O bereaksi dengan O dari Bi_2O_3 menjadi gas CO_2 . Demikian pula spektrum gugus fungsi O-H pada bilangan gelombang 2500 cm^{-1} , dengan bertambahnya aditif Bi_2O_3 , spektrum gugus fungsi O-H semakin rendah transmisinya dan tidak terlihat lagi pada penggunaan aditif Bi_2O_3 2%.



Gambar 2. Spektrum *FTIR* $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ hasil sintesis tanpa aditif (murni) dan dengan penambahan aditif (0,5 %berat dan 2 %berat)

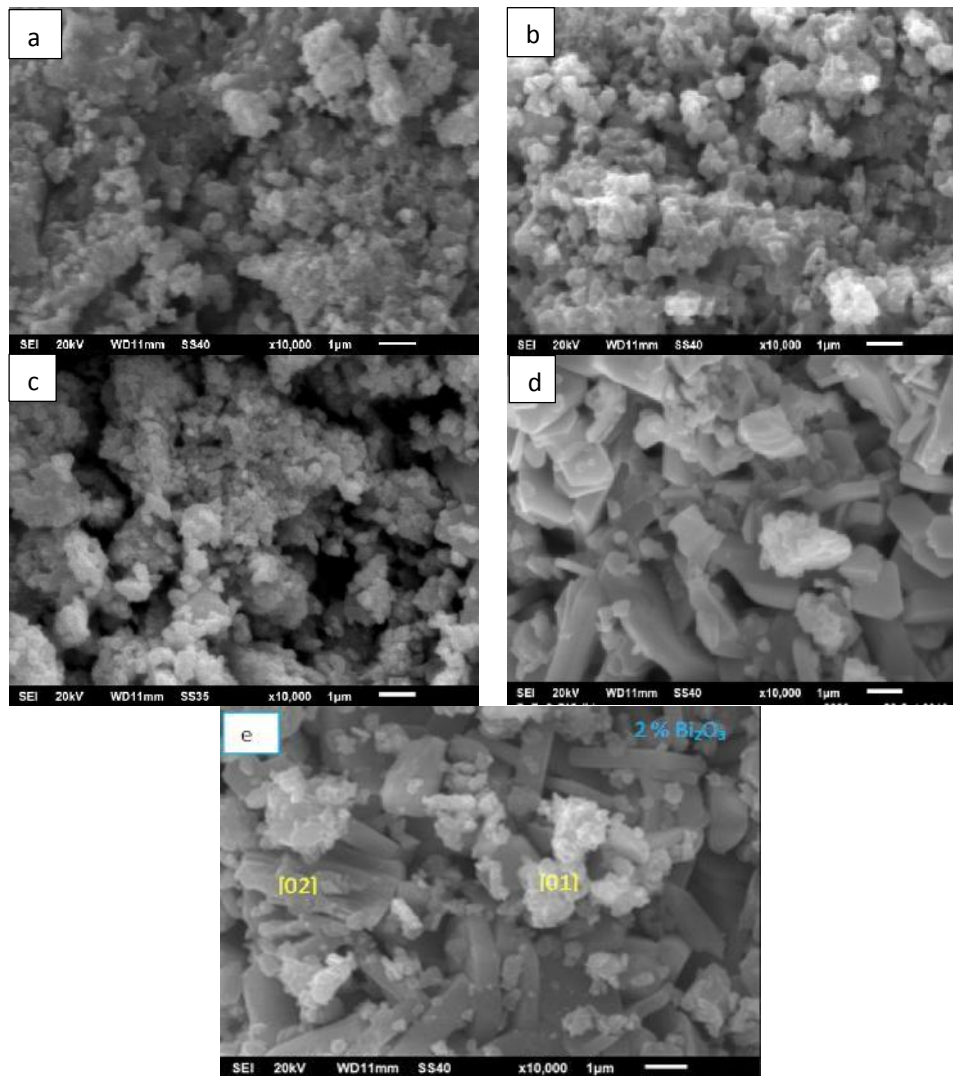


Gambar 3. Spektrum *FTIR* asam sitrat (Ouyang dan Deng 2003)

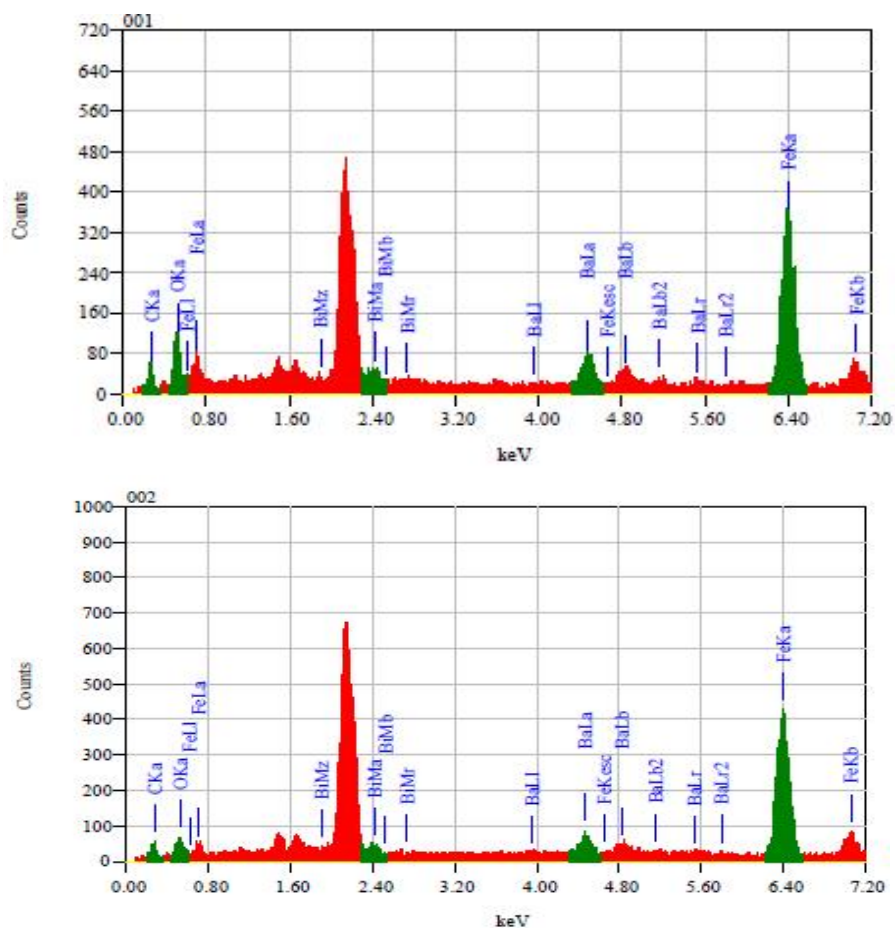
Pada penelitian ini dilakukan pula karakterisasi struktur $BaFe_{12}O_{19}$ hasil sintesis dengan menggunakan SEM. Karakterisasi dilakukan untuk mengetahui pengaruh aditif terhadap struktur mikro $BaFe_{12}O_{19}$ hasil sintesis. Pengaruh penambahan aditif Bi_2O_3 terhadap struktur $BaFe_{12}O_{19}$ ditunjukkan pada Gambar 4.

Pada Gambar 4 terlihat bahwa dengan adanya penambahan aditif Bi_2O_3 terjadi perubahan mikro struktur $BaFe_{12}O_{19}$ yang dihasilkan. Pada $BaFe_{12}O_{19}$ hasil sintesis tanpa penambahan aditif (Gambar 4a) terlihat adanya aglomerasi partikel yang dihasilkan. Aglomerasi partikel tersebut masih terlihat pada penambahan aditif Bi_2O_3 0,5% (Gambar 4b) dan 1,0% (Gambar 4c). Akan tetapi setelah penambahan aditif Bi_2O_3 1,5% (Gambar 4d)

struktur partikel terlihat dengan jelas. Dan bila penambahan aditif ditambah lagi hingga 2 %berat, terjadi gumpalan putih seperti buih yang ditunjukkan pada Gambar 4e. Setelah dilakukan analisis dengan menggunakan alat EDS seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 dan Tabel 1, tampak bahwa pada bagian yang diberi tanda {01} (gumpalan putih seperti buih) mengandung massa O lebih tinggi dibandingkan dengan bagian yang berwarna abu abu {02}. Hal ini menunjukkan bahwa struktur mikro $BaFe_{12}O_{19}$ yang bagus terjadi pada penambahan aditif 1,5 %. Struktur mikro $BaFe_{12}O_{19}$ yang dihasilkan ini tidak jauh beda dengan struktur mikro $BaFe_{12}O_{19}$ hasil sintesis Meng *et al.* (2014).



Gambar 4. Struktur mikro $BaFe_{12}O_{19}$ hasil sintesis dengan variasi jumlah aditif Bi_2O_3 0 % (a); 0,5 % (b); 1,0 % (c) 1,5 % (d) dan 2 % (e)



Gambar 5. Karakteristik spektrum EDS BaFe₁₂O₁₉ dengan penambahan aditif Bi₂O₃ 2 % pada spot {01} dan {02} Gambar 4 e.

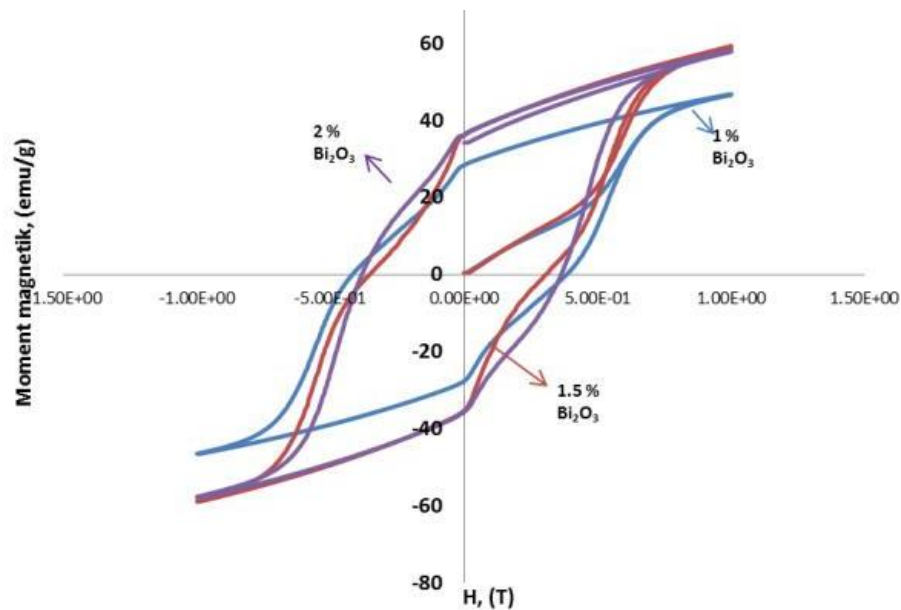
Tabel 2. Persentase massa pada spot {01} dan {02} dalam Gambar 4e.

Unsur	Presentase massa pada, %	
	{01}	{02}
C	10,04	8,38
O	10,04	4,57
Fe	55,52	62,53
Ba	13,33	10,93
Bi	11,06	13,59

Sifat karakteristik lain yang merupakan faktor utama yang perlu diperhatikan dalam mensintesis bahan magnet permanen BaFe₁₂O₁₉ adalah saturasi magnetik (Ms) dan koersivitas magnetik (Hc). Pada magnet permanen semakin besar nilai Hc semakin kuat sifat magnet permanennya, oleh karena itu pada penelitian ini diharapkan BaFe₁₂O₁₉ hasil sintesis mempunyai nilai Hc yang tinggi (lebar). Pengaruh penambahan aditif Bi₂O₃ pada sintesis BaFe₁₂O₁₉ terhadap sifat magnetik ditunjukkan

pada kurva histerisis hasil karakterisasi dengan menggunakan VSM ditunjukkan Gambar 6.

Pada Gambar 6 terlihat semakin banyak jumlah aditif Bi₂O₃ koersivitas magnetiknya semakin lebar, demikian pula saturasi magnetik (Ms) semakin tinggi. Semakin tinggi saturasi magnetik ini disebabkan karena impuritas pada BaFe₁₂O₁₉ yang dihasilkan semakin sedikit, hal ini sesuai dengan hasil karakterisasi dengan XRD yang menunjukkan bahwa pada penggunaan aditif 1,5% dan 2% BaFe₁₂O₁₉ yang dihasilkan mempunyai fasa tunggal. Nilai saturasi magnetik BaFe₁₂O₁₉ yang dihasilkan cukup tinggi yaitu 57,86 emu/g, hasil ini jauh lebih tinggi dibandingkan dengan percobaan yang dilakukan oleh Sindhuja dan Joseyphus (2015) yang hanya mencapai 23 emu/g. Sedangkan koersivitas magnetik untuk penambahan aditif dari 1,5% – 2% juga cukup lebar yaitu sekitar 0,35 T. Hasil ini menunjukkan bahwa BaFe₁₂O₁₉ yang dihasilkan telah memenuhi syarat sebagai magnet permanen. Dan hasil ini tidak jauh berbeda dengan percobaan yang dilakukan Meng *et al.* (2014).



Gambar 6. Sifat magnetik BaFe₁₂O₁₉ hasil sintesis dengan variasi jumlah aditif

KESIMPULAN

Penambahan aditif Bi₂O₃ optimum pada sintesis BaFe₁₂O₁₉ adalah 1,5% - 2% Bi₂O₃. Pada kondisi tersebut diperoleh BaFe₁₂O₁₉ fasa tunggal dengan ukuran partikel berkisar 105 nm - 130 nm, nilai koersitivitas 0,35 T dan nilai saturasi 57,86 emu/g. Penambahan aditif sangat mempengaruhi jenis fasa, ukuran partikel, saturasi magnetik dan koersivitas BaFe₁₂O₁₉ yang dihasilkan. Dengan adanya aditif Bi₂O₃ pada sintesis BaFe₁₂O₁₉ tidak diperlukan suhu kalsinasi tinggi (cukup 925 °C), dan BaFe₁₂O₁₉ yang dihasilkan telah memenuhi persyaratan sebagai magnet permanen. Untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan variasi suhu kalsinasi dibawah 925 °C untuk mengetahui apakah pada suhu kurang dari 925 °C terbentuk BaFe₁₂O₁₉ fasa tunggal.

UCAPAN TERIMAKASIH

Dengan selesainya penulisan makalah ini kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penulisan makalah ini selesai. Penelitian ini didanai oleh DIPA 2015 dan 2016 dengan judul "Smart Magnetic Berbasis Sumber Daya Lokal" untuk aplikasi industri dengan teknik nuklir, Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju, BATAN Serpong.

DAFTAR PUSTAKA

Ataie, A., dan M. Montazeri-Pour. 2011. "Formation Mechanism Of BaFe₁₂O₁₉ Nanoparticles Processed Via Wet

Chemical Route Using Mixed Solvent." *International Journal of Nanoscience* 10 (04n05): 1083–86. doi:10.1142/S0219581X11008514.

Atay, H.Y. 2016. "A Comparison on Radar Absorbing Properties of Nano and Microscale Barium Hexaferrite Powders Reinforced Polymeric Composites." *Mu la Journal of Science and Technology* 2 (1): 88–92.

Choo, E.S.G, Xi. Tang, Y. Sheng, B. Shuter, dan J. Xue. 2011. "Controlled Loading of Superparamagnetic Nanoparticles in Fluorescent Nanogels as Effective T₂-Weighted MRI Contrast Agents." *J. Mater. Chem.* 21 (7). The Royal Society of Chemistry: 2310–19. doi:10.1039/C0JM03232H.

Durmus, Z., A. Durmus, dan H. Kavas. 2015. "Synthesis and Characterization of Structural and Magnetic Properties of Graphene/hard Ferrite Nanocomposites as Microwave-Absorbing Material." *Journal of Materials Science* 50 (3). Springer US: 1201–13. doi:10.1007/s10853-014-8676-3.

Ganapathi, P. 2009. "Study of Structural and Magnetic Properties of Some Hexaferrite Material." *Gujarat University*. Ahmedabad. <http://shodhganga.inflibnet.ac.in/handle/10603/28158>.

Iqbal, M.A., A. Mir, dan S. Alam. 2010. "Synthesis and Characterizations of Nano-Sized Barium Hexa Ferrites Using Sol-Gel Methods." *Proceedings of the 2010 NSTI Nanotechnology Conference and Expo* 1:

- 103–6.
- Kanagesan, S., H. Mansor, dan J. Sinnappan. 2014. "Microwave Sintering of Zn-Nb Doped Barium Hexaferrite Synthesized via Sol-Gel Method." *Materials Sciences and Applications* 5 (March): 171–76. doi:10.5829/idosi.wasj.2014.32.05.433.
- Kwak, J.Y., C.S. Lee, D. Kim, dan Y.I Kim. 2012. "Characteristics of Barium Hexaferrite Nanoparticles Prepared by Temperature-Controlled Chemical Coprecipitation." *Journal of the Korean Chemical Society* 56 (5). Korean Chemical Society: 609–16. doi:10.5012/jkcs.2012.56.5.609.
- Li, J., H.W. Zhang, Y.X. Li, Y.L. Liu, dan Y.B. Ma. 2012. "The Structural and Magnetic Properties of Barium Ferrite Powders Prepared by the Sol–gel Method." *Chinese Physics B* 21 (1). IOP Publishing: 17501. doi:10.1088/1674-1056/21/1/017501.
- Meng, Y.Y., M.H. He, Q. Zeng, D.L. Jiao, S. Shukla, R.V. Ramanujan, dan Z.W. Liu. 2014. "Synthesis of Barium Ferrite Ultrafine Powders by a Sol-Gel Combustion Method Using Glycine Gels." *Journal of Alloys and Compounds* 583: 220–25. doi:10.1016/j.jallcom.2013.08.156.
- Monshi, A., M.R. Foroughi, and M.R. Monshi. 2012. "Modified Scherrer Equation to Estimate More Accurately Nano-Crystallite Size Using XRD." *World Journal of Nano Science and Engineering* 2 (3): 154–60. doi:10.4236/wjnse.2012.23020.
- Onayagi, M., A. Morooka, M. Mori, Y. Kurihashi, T. Tada, O. Shimizu, Hiroyuki Suzuki, dan Takeshi Harasawa. 2016. "A High-Density Recording Study on Particulate Magnetic Tape Using Barium Ferrite Magnetic Particles." *Fujifilm Research & Development* 61 (April): 18–22.
- Ouyang, J.M., dan S.P. Deng. 2003. "Controlled and Uncontrolled Crystallization of Calcium Oxalate Monohydrate in the Presence of Citric Acid." *Dalton Transactions* 0 (14). The Royal Society of Chemistry: 2846. doi:10.1039/b304319c.
- Sindhuj, M., dan R.J. Joseyphus. 2015. "Synthesis and Magnetic Properties of Barium Hexaferrite / Magnetite Composite." *Indian Journal of Research Foundation* 1: 31–34.
- tefan, I., R. Chiriaca, C. Nicolicescub, dan M. Ciobanu. 2011. "Research on Synthesis of Barium Hexaferrite Powders Processed by Mechanical Alloying." *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials* 13 (7): 883–86.
- Widyastuti, F.F. Yulian, R. Rochman, dan H. Purwaningsih. 2012. "Synthesis of Nanoparticle Barium Hexaferrite By Sol Gel Auto Combustion." *Jurnal Teknik Industri* 12 (2): 129–35. doi:10.22219/JTIUMM.Vol12.No2.156-161.