

KARAKTERISASI BaFe₁₂O₁₉ KOERSIVITAS TINGGI HASIL SINTESIS DENGAN METODE KOPRESIPITASI KIMIA

Didin S. Winatapura, E. Sukirman, Siti W dan Safei Purnama

Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir - BATAN
Kawasan Puspipstek Serpong, Tangerang 15313
E-mail: didinsw@batan.go.id

Diterima: 15-05-2013

Diterima dalam bentuk revisi: 10-06-2013

Disetujui: 24-07-2013

ABSTRAK

KARAKTERISASI BaFe₁₂O₁₉ KOERSIVITAS TINGGI HASIL SINTESIS DENGAN METODE KOPRESIPITASI KIMIA. Bahan magnet BaFe₁₂O₁₉ dengan koersivitas dan magnetisasi tinggi telah berhasil disintesis dengan metode kopresipitasi kimia. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan bahan magnet BaFe₁₂O₁₉ yang memiliki sifat magnet tinggi dengan metode kopresipitasi kimia tanpa modifikasi dan tanpa pemberian surfaktan. Prekursor BaFe₁₂O₁₉ diperoleh dari campuran larutan Fe(NO₃)₃·9H₂O dan Ba(NO₃)₂·6H₂O dengan perbandingan mol Fe³⁺/Ba²⁺ = 7,4. Proses kopresipitasi BaFe₁₂O₁₉ dilakukan pada suhu sekitar 50 °C, menggunakan NaOH 1M, hingga dicapai larutan prekursor dengan pH ≈ 12. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa prekursor BaFe₁₂O₁₉ setelah *sintering* 900 dan 1000 °C membentuk sistem fase barium heksaferit, BaFe₁₂O₁₉. Nilai koersivitas intrinsik yang tinggi, H_{ci} ≈ 5,0 kOe diperoleh dari prekursor BaFe₁₂O₁₉ setelah *sintering* 900°C selama 5 jam. Nilai H_{ci} yang diperoleh dari penelitian ini jauh lebih tinggi bila dibandingkan dengan nilai H_{ci} produk komersial yang hanya 1,7 kOe. Nilai H_{ci} tinggi ini sangat erat kaitannya dengan ukuran kristalit BaFe₁₂O₁₉ yang sangat halus. Hal ini didukung oleh hasil pengamatan dengan *Transmission Electron Microscope (TEM)* yang menunjukkan bahwa BaFe₁₂O₁₉ yang dihasilkan memiliki ukuran partikel sekitar 200 nm. Dari hasil kegiatan penelitian ini dapat diperoleh bahan magnet BaFe₁₂O₁₉ koersivitas tinggi yang dapat diaplikasikan sebagai komponen pembangkit energi.

Kata kunci : magnetisasi, koersivitas, heksaferit, kopresipitasi kimia

ABSTRACT

CHARACTERIZATION OF HIGH COERCIVITY BaFe₁₂O₁₉ SYNTHESIZED WITH CHEMICAL CO-PRECIPIATION METHOD. BaFe₁₂O₁₉ magnetic materials with high coercivity has been successfully synthesized by chemical co-precipitation method. The purpose of this research is to obtain BaFe₁₂O₁₉ magnetic materials that have high magnetic properties with coprecipitation method, without modification and surfactant application. BaFe₁₂O₁₉ heksaferit precursors were obtained from the mixture of Fe(NO₃)₃·9H₂O and Ba(NO₃)₂·6H₂O solution with a mole ratio of Fe³⁺/Ba²⁺ was 7.4. Co-precipitation process of BaFe₁₂O₁₉ take place in the temperature of 50°C using 1M of NaOH, to reach a solution of pH ≈ 12. The result showed that BaFe₁₂O₁₉ precursor formed heksaferit barium phase system, BaFe₁₂O₁₉, after sintering 900 and 1000°C. High intrinsic coercivity value, H_{ci} ≈ 5.0 kOe, was obtained from BaFe₁₂O₁₉ precursors after sintering 900°C for 5 hours. The value of H_{ci} obtained from this research are much higher when compared with the H_{ci} value of commercial products that only 1.7 kOe. This high H_{ci} values are closely related to the crystallite size of very smooth BaFe₁₂O₁₉. This is supported by Transmission Electron Microscope (TEM) observations, which showed that produced BaFe₁₂O₁₉ has a particle size approximately 200 nm. From this research, it can be obtained high coercivity BaFe₁₂O₁₉ magnetic that can be applied as a energy generating component.

Keywords: magnetization, coercivity, hexaferrite, chemical co-precipitation

1. PENDAHULUAN

Bahan magnet heksaferit tipe M, seperti $(\text{Ba,Sr})\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ telah banyak diteliti dan dikembangkan para peneliti karena memiliki sifat-sifat magnetik yang relatif kuat, seperti koersivitas intrinsik, medan anisotropis magnetik, magnetisasi saturasi dan suhu Curie yang tinggi. Selain itu juga memiliki stabilitas kimia dan resistivitas korosi yang sangat baik (1,2). Bahan ini telah digunakan secara luas antara lain dalam fabrikasi magnet permanen komersial, penyimpanan data komputer, media *magnetic recording*, fluida magnetik untuk aplikasi biomedis dan peralatan gelombang mikro (3,4).

Teknik sintesis $(\text{Ba/Sr})\text{M}$ dapat dibagi ke dalam teknik fisika dan teknik kimia. Teknik fisika yang biasa digunakan adalah metode reaksi padat, metode ini mudah dilakukan namun memerlukan suhu *sintering* yang cukup tinggi, minimal 1000°C , dan hasilnya seringkali berupa partikel-partikel kasar dan kurang homogen.

Untuk memperoleh $(\text{Ba/Sr})\text{M}$ yang terdiri dari partikel-partikel homogen, halus dan reproduksibel, maka digunakan teknik kimia yaitu teknik kopresipitasi. Dengan metode tersebut sintesis dapat dilakukan pada suhu relatif rendah dan dapat diproduksi dalam skala besar, karena stoikiometri terkontrol dan pencampuran unsur penyusunnya homogen.

Metode kopresipitasi telah banyak dimanfaatkan untuk proses sintesis fase BaM, antara lain oleh Radwan et al (5). Selain menyusutkan perbandingan mol $\text{Fe}^{3+}/\text{Ba}^{2+}$ hingga 8, mereka juga

menambahkan surfaktan CTAB (*cetyltrimethyl ammonium bromide*); kemudian dilakukan sinter pada $800, 1000$ dan 1200°C masing-masing selama 2 jam. Hasil analisis menunjukkan bahwa harga M_s/H_c pada cuplikan hasil sinter $800, 1000$ dan 1200°C berturut-turut adalah $45,13/4347; 46,65/4358$ dan $49,85 /669,9$ $\text{emu.g}^{-1}/\text{Oe}$ (5).

Rashad dan Ibrahim (6) melakukan sintesis serbuk $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dengan metode kopresipitasi yang dimodifikasi menggunakan metode *sono-chemistry*, dimana prekursor diberi gelombang ultrasonik pada suhu ruang selama 1 jam dan ditambahkan 2% KNO_3 , 500 ppm CTAB dan asam oksalat. Pada penelitian ini BaM disintesis menggunakan perbandingan mol $\text{Fe}^{3+}/\text{Ba}^{2+} = 8,0$ dan prekursor disinter pada suhu bervariasi, yakni $800, 900$ dan 1200°C masing-masing selama 2 jam. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa harga magnetisasi saturasi tertinggi dari bahan BaM yang terbentuk adalah $M_s = 60,2$ emu/g , dan koersivitas $H_c = 999$ Oe.

S. Ray et al (7) telah melakukan sintesis kristal nano BaM dan SrM dengan metode kopresipitasi. Prekursor diberi perlakuan panas pada suhu 800°C hingga 1200°C dengan laju pemanasan $30^\circ\text{C}/\text{min}$ dalam lingkungan nitrogen. Dengan meningkatnya suhu sinter, M_s meningkat dari 1,94 menjadi 31,05 emu/g untuk BaM, sedangkan untuk SrM, harga M_s meningkat dari 2,44 menjadi 43,38 emu/g .

Dalam penelitian ini dilakukan sintesis fase BaM dengan metode kopresipitasi, tapi perbandingan mol $\text{Fe}^{3+}/\text{Ba}^{2+}$ diperkecil

hingga 7,4, sedangkan perlakuan panas (sinter) dilakukan pada suhu 900 dan 1000°C, masing-masing selama 5 jam. Jumlah mol Ba^{2+} diperbesar lagi mengingat rendahnya kelarutan Ba^{2+} di dalam air. Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan bahan magnetik BaM yang memiliki nilai saturasi magnetik dan koersivitas yang tinggi melalui suatu proses sintesis yang lebih sederhana, yakni metode kopresipitasi tanpa modifikasi dan tanpa pemberian surfaktan.

2. TATA KERJA

Sintesis $BaFe_{12}O_{19}$ dilakukan dengan metode kopresipitasi kimia. Bahan baku berupa serbuk $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ dan $Ba(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ (Katalog Merck) dengan perbandingan mol 7,4 dilarutkan dalam 100 ml air demineralisasi, kemudian diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 2 jam dengan suhu larutan prekursor dijaga sekitar 50°C sambil dialiri udara. Selanjutnya, larutan dititrasi dengan NaOH 1M menggunakan *peristaltic pump* pada skala 30. Setelah larutan mencapai pH \approx 12, titrasi dihentikan, tapi larutan terus diaduk dengan *magnetic stirrer* dengan suhu larutan prekursor dipertahankan tetap konstan.

Larutan dibiarkan selama \pm 2 jam, kemudian dicuci dengan 0,01 M HNO_3 untuk menghilangkan $NaNO_3$. Endapan dipisahkan dengan *centrifuge* pada laju putaran 5000 rpm selama 15 menit. Pencucian dan pemisahan endapan dilakukan 2 sampai 3 kali hingga dicapai pH larutan 7. Hasil endapan prekursor dikeringkan di dalam *oven* dengan suhu 100°C selama 24 jam. Setelah kering prekursor digerus dengan

mortar agate hingga berbentuk serbuk halus.

Serbuk prekursor dimasukkan ke dalam cetakan hingga merata ke setiap bagian, kemudian ditekan dengan tekanan $P = 3000$ psi (*pounds per square inch*) selama 1 sampai 2 menit, hingga diperoleh prekursor dalam bentuk pelet dengan diameter, $\phi = 1$ cm dan tebal, $d = 1-2$ mm. Pelet disinter di dalam tungku pada suhu 900 dan 1000°C selama masing-masing 5 jam dengan laju kenaikan suhu 450°C per jam. Pendinginan dilakukan di dalam tungku selama 2,5 jam hingga dicapai suhu ruang. Cuplikan tersebut berturut-turut disebut B9 dan B10. Kualitas cuplikan hasil penelitian ini dibandingkan dengan cuplikan produk komersial yang selanjutnya cuplikan ini disebut sebagai SM.

Analisis kualitatif fase di dalam cuplikan dilakukan dengan teknik difraktometer sinar X menggunakan XRD Philips, jenis PW1710 dengan target Cu, $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$, dan daerah pengukuran 2θ : 10°-80°. Data pola difraksi sinar X (XRD) kemudian dianalisis dengan metode Rietveld menggunakan perangkat lunak RIETAN (8,9). Struktur mikro cuplikan diamati dengan *Scanning* dan *Transmission Electron Microscope* (SEM dan TEM). Pengukuran sifat magnetik bahan dilakukan di dalam suatu medan magnet yang terpasang maksimum 1 T atau 10 kOe menggunakan *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM) pada suhu ruang. Dari kurva histeresis ditentukan magnet remanen (σ_r) dan koersivitas magnet intrinsik (H_{ci}).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis dengan metode Rietveld

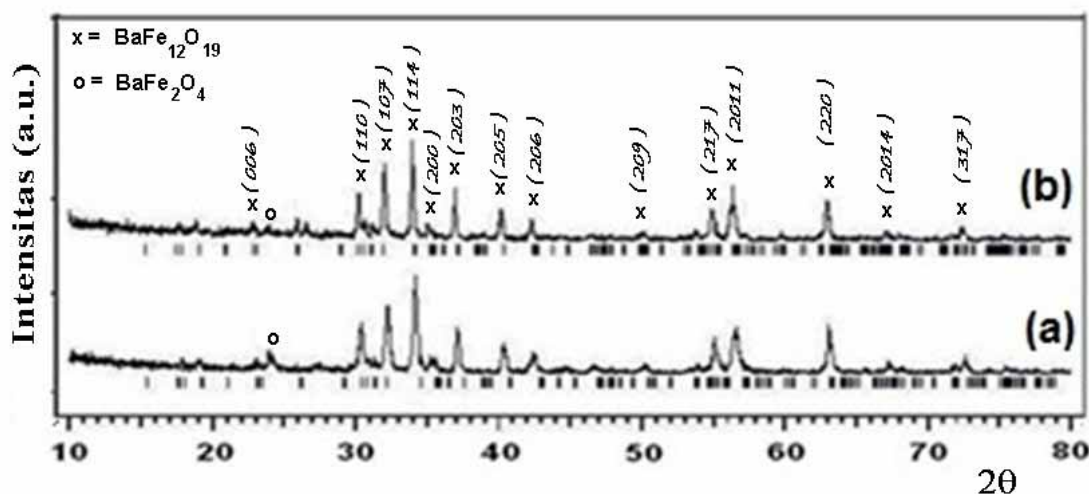
berupa pola XRD dari bahan heksaferit setelah proses *sintering* 900 dan 1000°C ditunjukkan pada Gambar 1a dan 1b. Pada pola XRD terlihat puncak-puncak difraksi yang cukup tajam, artinya kristal dari fase heksaferit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ telah terbentuk dengan baik. Hasil analisis dengan metode Rietveld menunjukkan bahwa pada rentang suhu *sintering* 900-1000°C, sistem fase yang terbentuk didominasi oleh fase utama $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dan sejumlah kecil impuritas non-magnetik. Fase tersebut teramati pada $2\theta \approx 23^\circ$ yang merupakan fase perantara (*intermediate*) mono-ferit BaFe_2O_4 , (diperlihatkan dengan tanda \circ pada Gambar 1).

Fase perantara, seperti BaFe_2O_4 memiliki sifat anti-feromagnetik, bila dalam jumlah cukup besar dapat menurunkan sifat magnetik bahan heksaferit. Fase perantara (BaFe_2O_4) muncul secara dominan pada pemanasan suhu rendah, dibawah suhu 900°C (10) dan hilang pada suhu pemanasan lebih besar dari 1000 °C. Pemanasan dengan suhu tinggi cenderung

mendorong pertumbuhan sistem kristalit, sehingga menyebabkan sifat magnet yang optimal sulit diperoleh.

Pembentukan fase BaFe_2O_4 dan fase $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (*hematite*) sangat mungkin terjadi. Pertama, bahan awal yang direaksikan (*reactants*) yaitu nano $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ dan amorf BaCO_3 dalam bentuk butiran yang sangat halus, sehingga menyebabkan luas total permukaan kontak menjadi besar dan proses difusi semakin mudah terjadi. Ke dua, dalam proses pencucian mungkin unsur Ba banyak yang terbuang, sehingga terbentuk fase $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (10).

Pola XRD pada Gambar 1 menunjukkan bahwa fase $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ heksaferit telah terbentuk dengan baik dan memiliki lebar puncak relatif besar, artinya mencirikan ukuran partikel sangat halus. Hasil pengukuran menggunakan VSM, menunjukkan bahwa sifat magnet bahan $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ hasil sintesis menggunakan pengendap NaOH mempunyai nilai koersivitas magnet yang tinggi seperti diperlihatkan Gambar 2.



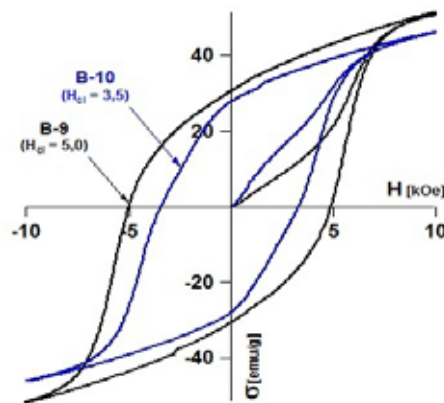
Gambar 1. Hasil analisis Rietveld dari pola XRD serbuk $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ setelah *sintering* 900 (a) dan 1000°C (b).

Hasil pengukuran sifat magnetik dengan VSM berupa kurva histeresis atau kurva magnetisasi. Kurva tersebut menyatakan hubungan antara magnetisasi, σ (emu/g) terhadap medan magnet terpasang, H (kOe). Dari kurva magnetisasi diperoleh beberapa parameter seperti medan *koersiv* atau koersivitas magnet intrinsik (H_{ci}), magnetisasi remanen (σ_r) dan magnetisasi saturasi (σ_s) bila medan terpasang lebih besar dari 1 T.

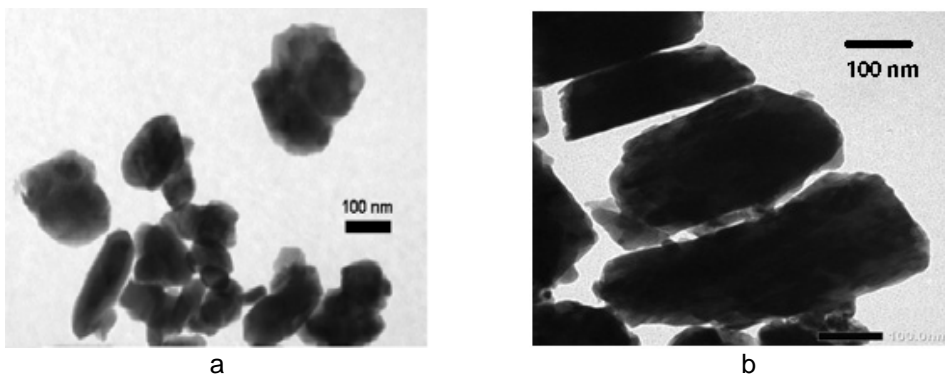
Kurva histeresis pada Gambar 2, memperlihatkan bahwa koersivitas magnet intrinsik (H_{ci}) dan magnet remanen (σ_r) bahan magnet $BaFe_{12}O_{19}$ berturut-turut

mencapai 5,0 kOe dan 30,70 emu/gr, setelah *sintering* 900°C (B9). Nilai H_{ci} yang diperoleh mendekati nilai H_{ci} tertinggi dari hasil penelitian dengan bahan magnet $SrO.6Fe_2O_3$ dan menggunakan TMOH dengan $H_{ci} = 6,0$ kOe (10). Namun demikian, bahan magnet $BaFe_{12}O_{19}$ hasil dari kegiatan ini dapat digolongkan ke dalam bahan magnet barium heksaferit berenergi tinggi dan berpotensi dapat diaplikasikan sebagai bahan komponen pembangkit energi.

Tingginya koersivitas magnet intrinsik $BaFe_{12}O_{19}$ setelah *sintering* 900°C (B9) berkaitan dengan ukuran kristalit yang sangat halus.



Gambar 2. Kurva histeresis serbuk magnet $BaFe_{12}O_{19}$ setelah *sintering* 900°C (B9) dan 1000°C (B10).



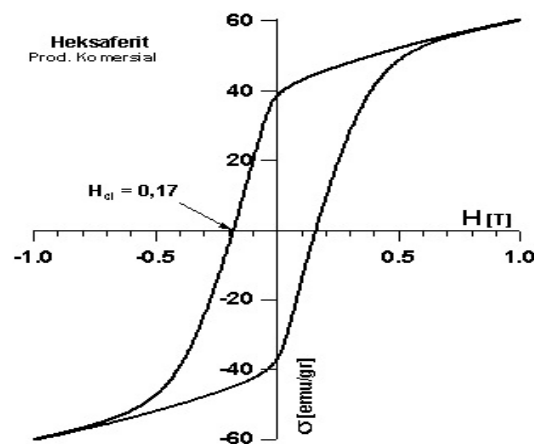
Gambar 3. TEM *bright field image* dari $BaFe_{12}O_{19}$ setelah *sintering* 900°C (B9) (a) dan 1000°C (B10) (b).

Dari hasil pengamatan TEM menggunakan metode *bright field image* terlihat bahwa kristalit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ hasil sintesis dengan metode kopresipitasi menggunakan larutan pengendap NaOH, memiliki dimensi ukuran kristalit sekitar 200 nm (Gambar 3a). Pada Gambar 2 terlihat kenaikan suhu *sintering* 1000°C (B10) menyebabkan koersivitas magnet intrinsik $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ turun menjadi $H_{ci} = 3,5$ kOe. Kondisi ini terkait dengan proses pertumbuhan kristalit yang semakin besar, mencapai hampir tiga kali lipat ukuran kristalit B9 seperti terlihat pada Gambar 3b.

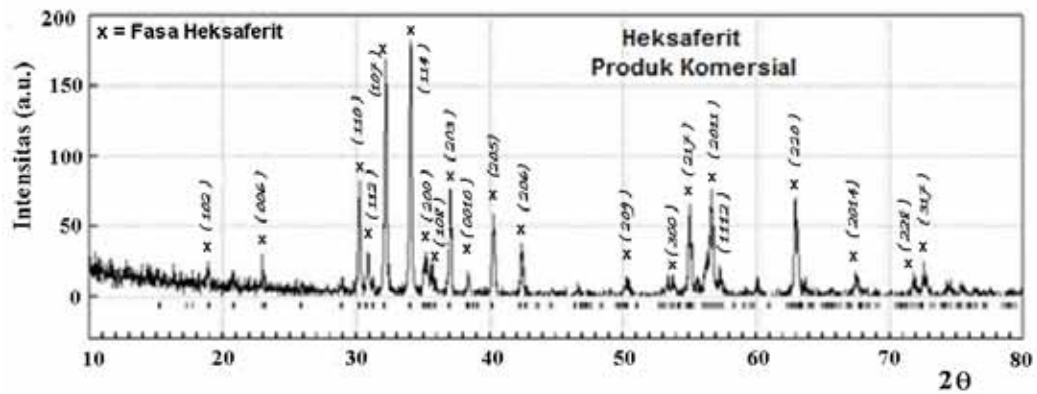
Koersivitas magnet heksaferit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ yang diperoleh dalam kegiatan penelitian ini sangat tinggi bila dibandingkan dengan koersivitas magnet produk komersial dengan koersivitas yang hanya 1,7 kOe, seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Nilai koersivitas magnet yang tinggi ini sangat mungkin disebabkan oleh ukuran partikel heksaferit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sangat halus. Ukuran kristalit prekursor yang sangat halus dapat mendorong terbentuknya fase

heksaferit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ pada suhu rendah. Proses pembentukan fase pada suhu rendah dapat memperlambat mekanisme pertumbuhan kristalit, sehingga koersivitas magnet bahan yang sangat besar dapat dicapai dengan kristalit yang diperoleh mendekati *single domain*, karena proses magnetisasi yang terjadi merupakan akibat rotasi spin, dan bukan proses pergerakan dinding *domain* (12).

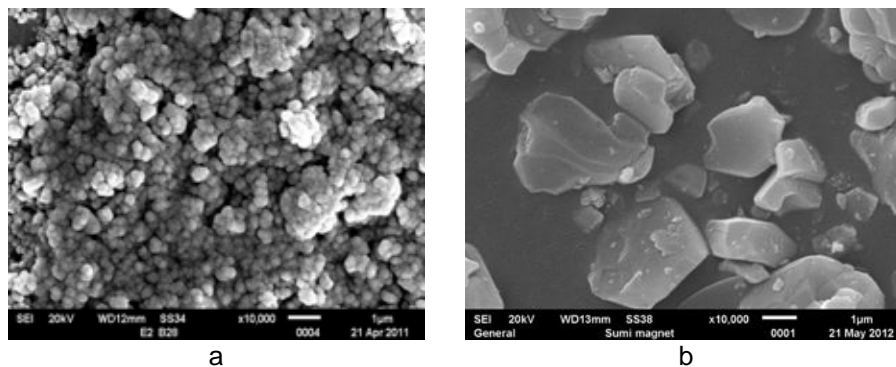
Sifat magnet seperti magnetisasi dapat ditingkatkan dengan memperbesar perbandingan mol Fe/Ba dari bahan baku, sebaliknya magnet saturasi rendah dapat diperoleh pada perbandingan mol Fe/Ba yang kecil. Hal ini bisa terjadi karena terdapat kekosongan (*vacant*) pada posisi *spin up* Fe. Dengan meningkatkan rasio mol Fe/Ba, maka posisi kekosongan dapat diisi oleh Fe, sehingga saturasi magnet yang optimal atau tinggi dapat tercapai. Jadi pada bahan magnet keras (*hard magnetic*) sifat magnet bisa ditingkatkan dengan memperbesar perbandingan mol Fe/Ba (5,13).



Gambar 4. Kurva histerisis serbuk magnet heksaferit dari produk komersial.



Gambar 5. Hasil analisis Rietan dari pola XRD serbuk heksaferrit produk komersial memperlihatkan pola difraksi *single phase*.



Gambar 6. Morfologi heksaferrit $BaFe_{12}O_{19}$ setelah *sintering* $900^{\circ}C$ (B9) (a) dan morfologi heksaferrit produk komersial (b).

Hasil analisis Rietan dari pola XRD serbuk heksaferrit komersial dapat dilihat pada Gambar 5. Tampak bahan serbuk heksaferrit produk komersial menampilkan pola difraksi berfase tunggal. Pola XRD serbuk heksaferrit komersial ini diidentifikasi sebagai struktur $BaFe_{12}O_{19}$ heksagonal, menurut kartu indeks JSPDS nomor 39-1433.

Puncak difraksi yang relatif sangat tajam mencerminkan bahan mengkristal sempurna. Lebar puncak difraksi yang relatif sempit menunjukkan bahwa ukuran kristalit bahan relatif besar, ini dapat dijelaskan dari hasil pengamatan dengan SEM pada Gambar 6. Dari data hasil pengamatan

dengan SEM pada Gambar 6, terlihat jelas bahwa ukuran partikel heksaferrit produk komersial lebih besar bila dibandingkan dengan ukuran partikel yang dihasilkan oleh penelitian ini. Ukuran kristalit yang besar tersebut menghasilkan nilai koersivitas magnet bahan terukur hanya 1,7 kOe, jauh lebih rendah dibanding hasil penelitian ini yaitu $H_{ci} = 5,0$ kOe.

Sintesis barium heksaferrit $BaFe_{12}O_{19}$ dengan metode kopresipitasi mempunyai karakteristik bahan terdiri dari domain tunggal (*single domain*), sedangkan bahan heksaferrit produk komersial menampilkan karakteristik bahan mendekati *multi domain* (14,15). Koersivitas magnet intrinsik

BaFe₁₂O₁₉ produk komersial lebih kecil dibanding dengan BaFe₁₂O₁₉ hasil penelitian ini, besarnya sekitar 41%.

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini, nanopartikel heksaferit BaFe₁₂O₁₉ telah berhasil disintesis dengan metode kopresipitasi kimia. Koersivitas magnet intrinsik bahan heksaferit BaFe₁₂O₁₉ disinter pada suhu 900°C besarnya 5,0 kOe, jauh lebih besar dibanding dengan koersivitas magnet intrinsik bahan heksaferit produk komersial yang besarnya 1,7 kOe. Koersivitas magnet yang tinggi berkaitan dengan ukuran kristalit bahan heksaferit BaFe₁₂O₁₉ yang sangat halus, sesuai dengan pengamatan SEM dan TEM. Hasil pengamatan SEM dan TEM menunjukkan bahwa ukuran kristalit BaFe₁₂O₁₉ memiliki dimensi kristalit sekitar 200 nm, mendekati domain tunggal. Berdasarkan hasil pengujian, bahan heksaferit BaFe₁₂O₁₉ yang dihasilkan dapat diaplikasikan sebagai komponen pembangkit energi.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Prof. Dr. Ridwan yang telah membantu hingga selesainya penelitian ini. Demikian pula kepada Kepala PTBIN, Kepala BKAN, Ka Bag TU dan teman-teman yang telah membantu kelancaran jalannya kegiatan litbang ini. Litbang ini dibiayai oleh proyek Riset Insentif KNRT – BATAN 2011.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Gyula K, Sanady AC., Laszlo T, Istvan S, Pap K, Sztaniszlav A, et al. The

influence of nanomilling on the formation of Ba-hexaferrite. *Rev Adv Mater Sci* 2008;18:317-21.

2. Drmota A, Žnidarsic A, Kosak A. Synthesis of strontium hexaferrite nanoparticles prepared using co-precipitation method and microemulsion processing. *Journal of Physics: Conference Series* 2010; 200082005.
3. Ridwan. Magnet dan kemagnetan: dari aplikasi sederhana hingga fusi nuklir. Orasi Pengukuhan Profesor Riset Bidang Zat Padat, Serpong 13 Desember 2010.
4. Jotania RB, Khomane RB, Deshpande AS, Chauhan CC, Kulkarni BD. Physical and magnetic properties of barium calcium hexaferrite nanoparticles synthesized by water-in-oil reverse micelle and co-precipitation techniques. *J Sci Res* 2009;1:1-13.
5. Radwan M, Rashad MM, Hessien MM. The influence of Fe/Ba molar ratio of barium hexaferrite nanoparticles prepared by chemicals co-precipitation. *Journal of Mat Process Tech* 2007;181:106-9.
6. Rashad MM, Ibrahim IA. Synthesis and magnetic properties of nanocrystalline hexaferrite prepared by co-precipitation and sono-chemistry method. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 2011;323:2158-64.
7. Ray S, Nath SK, Kumar A, Agarwala RC, Agarwala V, Chaudhari GP, et al. *Advanced materials research nanomaterials and devices: processing and applications* 2009;67:203-8.
8. Engkir Sukirman, Syahfandi Ahda.

- Analisis kualitatif dan kuantitatif fase $NaBiTiO_2$ dengan teknik difraksi sinar-X menggunakan metoda rietveld. *J Sains Materi Indonesia* 2011;13:69-74.
9. Tang X, Yang YG. Composition and magnetic properties of M-Ba ferrite powders fabricated via sugar-nitrates process. *Materials Science Poland* 2009;27: 529-37.
10. Ridwan, Didin S Winatapura. Karakterisasi stronsium heksaferit koersivitas tinggi hasil sintesis dengan metode ko-presipitasi. *Indonesian Journal of Materials Science* 2012;13:141-5.
11. Ping Xu, Xijiang Han, Maoju Wang. Synthesis and magnetic properties of $BaFe_{12}O_{19}$ hexaferrite nanoparticles by a reverse micro-emulsion technique. *J Phys Chem C* 2007; 111:5866–70.
12. Rollin J, Parker. *Advances in permanent magnetism*. New York: John Wiley & Sons; 1990.
13. Pooja C, Puneet S. Preparation and characterization of barium hexaferrite by barium monoferrite. A dissertation submitted in the partial fulfilment of the award of degree of master of technology in materials and metallurgical engineering. Patiala: School of Physics & Material Science, Thapar University; 2010.
14. Robert C, O’Handley. *Modern magnetic materials, principles and applications*. Canada: John Wiley & Sons; 2000.
15. Doroftei C, Rezlescu E, Popa PD, Rezlescu N. The influence of the technological factors on strontium hexaferrites with lanthanum substitution prepared by self-combustion method. *J Optoelectron Adv Mater* 2006;8:1023.

