

STRUKTUR DAN SIFAT KEMAGNETAN NANOPARTIKEL HEKSAFERRIT $\text{BaFe}_{(12-2x)}(\text{MnNi})_x\text{O}_{19}$ HASIL KOPRESIPITASI

Didin Sahidin Winatapura¹, Deswita¹ dan Nanang Sudrajat²

¹Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju - BATAN
Kawasan Puspipstek, Serpong 15313, Tangerang Selatan

²Pusat Penelitian Elektronik dan Telekomunikasi - LIPI
Jl. Cisitua Lama, Dago - Bandung 40135
E-mail: didinsw@batan.go.id

Diterima: 28 Desember 2016

Diperbaiki: 27 Maret 2017

Disetujui: 11 April 2017

ABSTRAK

STRUKTUR DAN SIFAT KEMAGNETAN NANOPARTIKEL HEKSAFERRIT $\text{BaFe}_{(12-2x)}(\text{MnNi})_x\text{O}_{19}$ HASIL KOPRESIPITASI. Nanopartikel heksaferrit $\text{BaFe}_{(12-2x)}(\text{MnNi})_x\text{O}_{19}$ ($x = 0,0; 0,3; 0,7; 1,0$) telah berhasil disintesis. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat heksaferrit $\text{BaFe}_{(12-2x)}(\text{MnNi})_x\text{O}_{19}$ dan mengamati pengaruh konsentrasi doping ion Mn dan Ni di dalam bahan heksaferrit terhadap perilaku struktur dan sifat magnet. Heksaferrit $\text{BaFe}_{(12-2x)}(\text{MnNi})_x\text{O}_{19}$ dibuat dari bahan dasar $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$ dan $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ dengan metoda kopresipitasi, yang kemudian diikuti perlakuan panas pada suhu 925°C selama 3 jam. Produk $\text{BaFe}_{(12-2x)}(\text{MnNi})_x\text{O}_{19}$ yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi menggunakan peralatan difraktometer sinar-X (XRD), *Scanning Electron Microscope (SEM)*, *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)* dan *Fourier Transform-Infra Red (FT-IR)*. Data XRD yang dihasilkan dianalisis menggunakan program *General Structure Analysis System (GSAS)*. Hasil *refinement XRD* menunjukkan bahwa substitusi ion-ion Ni dan Mn kedalam Ba heksaferrit dapat mengubah perilaku parameter struktur, seperti parameter kisi, volume unit sel dan kerapatan atom. Bentuk dan distribusi ukuran partikel Ba heksaferrit mengalami perubahan dengan penambahan doping ion Mn dan Ni. Demikian pula, perilaku sifat kemagnetan seperti koersivitas intrinsik (H_c), magnet saturasi (M_s) dan magnet remanen (M_r) dari Ba heksaferrit hasil substitusi berubah dengan penambahan substitusi ion-ion Ni dan Mn.

Kata kunci: Heksaferrit $\text{BaFe}_{(12-2x)}(\text{MnNi})_x\text{O}_{19}$, Kopresipitasi, Struktur parameter, Sifat magnet

ABSTRACT

STRUCTURE AND MAGNETIC PROPERTIES OF $\text{BaFe}_{(12-2x)}(\text{MnNi})_x\text{O}_{19}$ HEXAFERRITE NANOPARTICLES PRODUCED BY Co-PRECIPIATION METHOD. $\text{BaFe}_{(12-2x)}(\text{MnNi})_x\text{O}_{19}$ ($x = 0,0; 0,3; 0,7; 1,0$) hexaferrite nanoparticle has been successfully synthesized. The purpose of this study is to synthesize $\text{BaFe}_{(12-2x)}(\text{MnNi})_x\text{O}_{19}$ hexaferrite and to study the effect of Mn and Ni ion doping concentration in hexaferrite to the parameter structure and the magnetic properties. $\text{BaFe}_{(12-2x)}(\text{MnNi})_x\text{O}_{19}$ hexaferrite was prepared made from $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$ dan $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ raw materials using co-precipitation method, which is then followed by heat treatment at 925°C during 3 hours. The product is then characterized using X-Ray Diffraction Apparatus (XRD), Scanning Electron Microscope (SEM), Vibrating Sample Magnetometer (VSM) and Fourier Transform-Infra Red (FT-IR). XRD data were analyzed using a general program structure analysis system (GSAS). The XRD refinement result showed that the substitution of Ni and Mn ions into the hexaferrite can change the behavior of structural parameters, such as lattice parameters, unit cell volume and the atomic density. The particle size distribution and shape of hexaferrite changed with the addition of Mn and Ni ion doping. Similarly, the behavior of magnetic properties such as intrinsic coercivity (H_c), magnetic saturation (M_s) and magnetic remanence (M_r) of substituted hexaferrite change with the addition of Ni and Mn ions.

Keywords: $\text{BaFe}_{(12-2x)}(\text{MnNi})_x\text{O}_{19}$ hexaferrite, Co-precipitation method, Structure parameter, Magnetic properties

PENDAHULUAN

Heksagonal ferit atau heksaferite adalah sekelompok ferit yang memiliki struktur kristal heksagonal. Senyawa dengan kepentingan teknologi terbesar pada saat ini adalah heksaferit tipe-M, dengan rumus kimia $BaFe_{12}O_{19}$ atau $SrFe_{12}O_{19}$. Barium (Ba) atau stronsium (Sr) hexaferite banyak dimanfaatkan karena stabilitas kimia dan korosi cukup baik, suhu *Curie* tinggi dan magnetisasi relatif besar. Selain itu, heksaferit tipe-M memiliki medan *MagnetoCrystalline Anisotropy (MCA)* lebih tinggi bila dibandingkan dengan ferit dengan struktur *spinel* dan *garnet*. Sehingga heksaferit tipe-M dapat bekerja pada frekuensi tinggi (orde GHz), *narrow switching-field distribution* dan koefisien koersivitas suhu stabil. Tinggi nilai *MCA* pada heksaferit tipe-M ($BaFe_{12}O_{19}$ atau $SrFe_{12}O_{19}$) merupakan prasyarat untuk bahan dengan koersivitas tinggi yang menghasilkan bahan *hard magnetic* dan sangat sesuai untuk dimanfaatkan sebagai bahan magnet permanen [1-3].

Namun demikian, untuk diaplikasikan sebagai bahan *magnetic recording* atau bahan penyerap gelombang mikro, maka harga *MCA* heksaferit harus disusutkan. Secara umum, medan *MCA* heksaferit tipe-M sangat tinggi, sehingga mekanisme menyerap utama adalah hilangnya *magnetic (magnetic loss)*. Selanjutnya, penyusutan *MCA* dari bahan heksaferit berasal dari sifat magnetik intrinsiknya, penyerapan resonansi, pergeseran domain magnetik, dan relaksasi *spin* pada medan elektromagnetik frekuensi tinggi [4,5]. Metode yang dilakukan untuk menyusutkan *MCA* tersebut adalah dengan mensubstitusi ion-ion logam atau non logam pada bahan heksaferit.

Metode keramik konvensional seperti, *high energy ball milling* dan proses kimia seperti kopresipitasi, proses hidrotermal, proses sol-gel banyak digunakan untuk mendapatkan kualitas barium heksaferit yang tinggi [4-7]. Metode kimia seperti metode ko-presipitasi memiliki keunggulan antara lain, cara pembuatan yang relatif sederhana, namun bisa menghasilkan homogenitas partikel cukup tinggi dan distribusi ukuran partikel dalam kisaran nanometer, sehingga proses kristalisasi dan pertumbuhan kristal partikel dilakukan pada suhu relatif rendah [3,8].

Terdapat beberapa penelitian dan publikasi ilmiah untuk memahami pengaruh substitusi terhadap sifat listrik dan magnet dari bahan barium heksaferit [1,2,6,8,9]. Struktur dan sifat-sifat magnet Ba heksaferit dapat diubah dengan cara mensubstitusi ion logam Fe^{3+} dengan beberapa ion logam lain yang memiliki ion divalent atau tetravalent seperti, Nb^{2+} , Zn^{2+} , Zr^{4+} , Ti^{4+} . Substitusi kombinasi kation dapat menghasilkan distribusi kation yang berbeda dan menghasilkan sifat listrik dan magnet yang berbeda dengan bahan magnet semula. Jacobo dkk. dan Gurbuz dkk [10,11] telah melakukan substitusi

heksaferit masing-masing dengan ion logam Co-Nd dan Mn-Cu. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa proses substitusi ion logam tersebut terhadap heksaferit tipe-M, menyebabkan perubahan perilaku pada struktur, seperti parameter kisi (*a,c*) dan volume unit sel dan sifat magnet, seperti magnetisasi (M_s) dan koersivitas (H_c).

Nilai koersivitas dari kedua heksaferit tipe-M tersebut turun cukup signifikan dengan penambahan substitusi ion logam. Tujuan dari penelitian ini antara lain adalah untuk membuat heksaferit $BaFe_{(12-2x)}(MnNi)_xO_{19}$ yang substitusi dengan ion logam Mn dan Ni dengan variasi, $x = 0,0; 0,2; 0,6; 1,0$ dengan metoda kopresipitasi. Kemudian, mengamati pengaruh konsentrasi doping ion Mn dan Ni di dalam bahan heksaferit terhadap perilaku struktur dan sifat magnet.

METODE PERCOBAAN

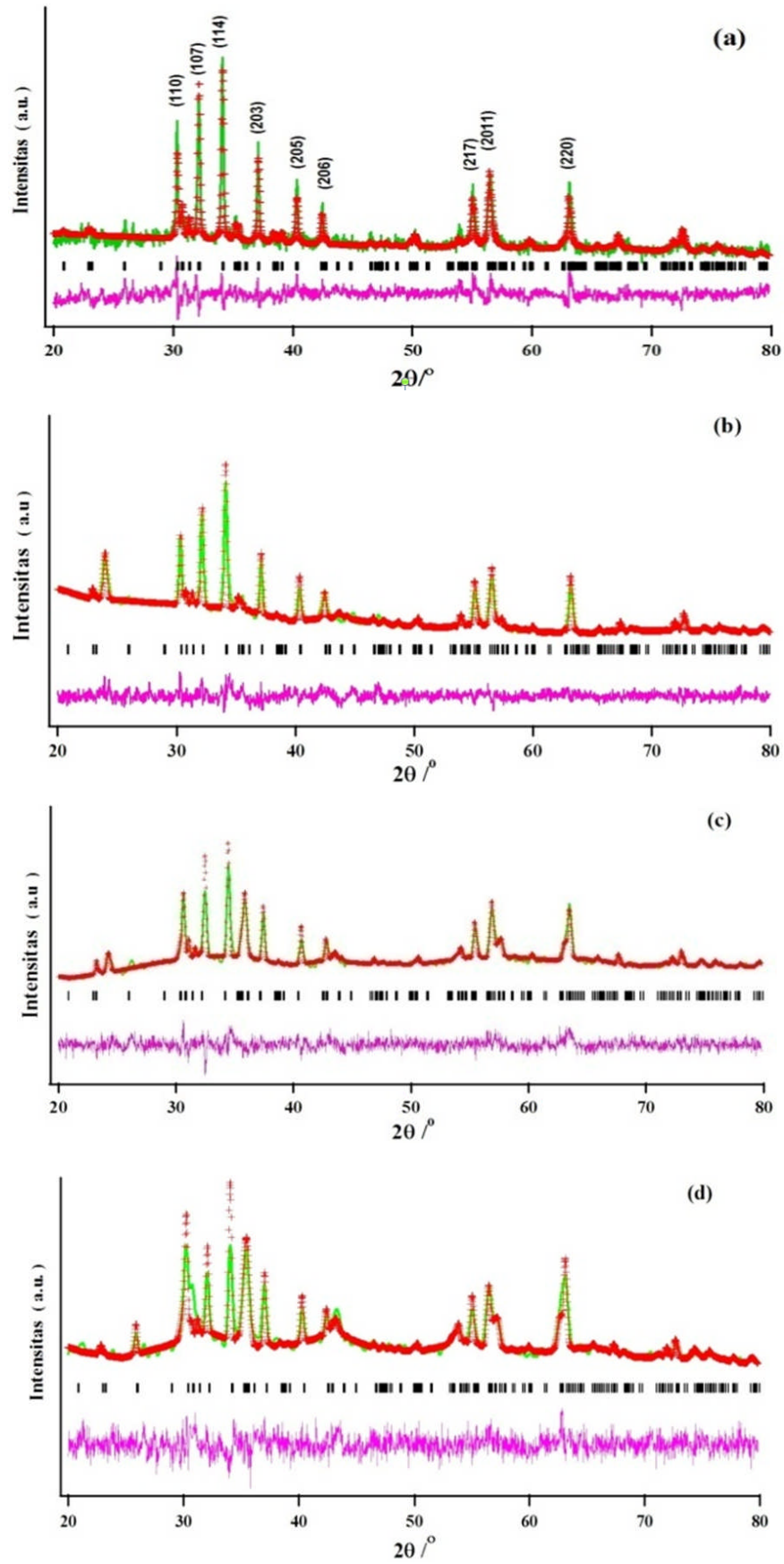
Bahan

Dalam penelitian ini, digunakan bahan-bahan dasar nitrat dengan kemurnian tinggi, seperti; $Ba(NO_3)_2$, $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$, $Mn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$, NaOH dari katalog Merck dan $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ diperoleh dari katalog Sigma Aldrich.

Pembuatan $BaFe_{(12-2x)}(MnNi)_xO_{19}$

Sampel $BaFe_{(12-2x)}(MnNi)_xO_{19}$ ($x = 0,0; 0,3; 0,7; 1,0$) dibuat dengan metoda kopresipitasi kimia. Bahan dasar yang digunakan adalah $Ba(NO_3)_2$, $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$, $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$, $Mn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$. Perbandingan molaritas antara Ba: Fe diatur 1: 12. Bahan dasar nitrat tersebut dicampurkan dan dilarutkan secara bersamaan, dengan susunan stokiometri yang telah ditentukan, dalam 400 mL air demin dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* sambil dipanaskan hingga mencapai suhu 70 °C. Kemudian ditambahkan sebanyak 150 mL larutan NaOH 1 M secara perlahan-lahan ke dalam campuran larutan nitrat (*precursor*), hingga pH larutan mencapai 12. Pengadukan diteruskan selama 2 jam sampai suhu kamar dan kemudian larutan dicuci dengan air demin hingga pH 7.

Precursor dikeringkan di dalam oven dan dicetak berbentuk *pellet* berukuran diameter 1,5cm dan tebal 2-4 mm dan kemudian di-*sinter* di dalam tungku (*furnace*) pada suhu 925 °C selama 3 jam. Karakterisasi sampel dilakukan menggunakan peralatan difraktometer sinar-X (*XRD*, Pan analytical), *Scanning Electron Microscope (SEM)*, JEOL-JSM 6510 yang dilengkapi dengan *Energy Dispersive Spectrophotometer (EDS)*, *Fourier Transform-Infra Red (FT-IR)* dan *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)*. Data *XRD* yang dihasilkan dianalisis menggunakan program *General Structure Analysis System (GSAS)* [12].



Gambar 1. Hasil refinement pola XRD serbuk heksaferit $BaFe_{(12-2x)}(MnNi)_xO_{19}$ untuk x (a). 0.0; (b). 0,3; (c). 0,7 dan (d). 1,0.

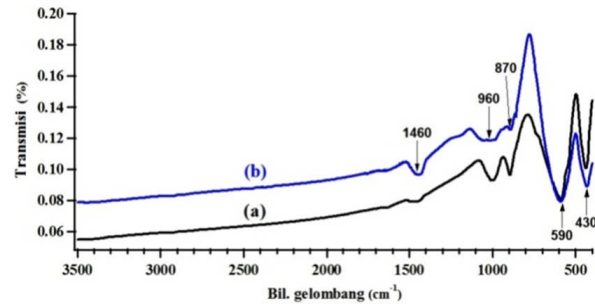
HASIL DAN PEMBAHASAN

Data *refinement Rietveld* dari semua heksaferit $BaFe_{(12-2x)}(MnNi)_xO_{19}$ yang dipersiapkan, ditunjukkan berturut-turut pada Gambar 1(a) hingga Gambar 1(d). *Refinement* dilakukan menggunakan program *software GSAS* dan *software EXPGUI* [12]. Semua sampel menunjukkan suatu struktur heksagonal dengan *space group* P63/mmc. Parameter R_p (*profile fitting R-value*), R_{wp} (*weighted profile R-value*), and χ^2 (*goodness-of-fit quality factor*) diperoleh setelah *refinement* (Gambar 1) untuk semua sampel dicantumkan dalam Tabel 1. Parameter struktur, parameterkisi (“a” dan “c”) dan volume unit sel hasil *refinement* dicantumkan dalam Tabel 1. Nilai χ^2 dan parameter profile (R_p dan R_{wp}) yang minimum menunjukkan bahwa hasil *refinement* sampel efektif. Pada Gambar 1(a) hingga Gambar 1(d), tanda (+) berwarna merah adalah puncak difraksi hasil perhitungan dan garis (-) kuntinyu berwarna hijau adalah puncak difraksi hasil observasi. Indeks *Miller* ditunjukkan oleh tanda bar (l) berwarna hitam dan perbedaan antara puncak difraksi hasil pengamatan dan perhitungan diperlihatkan oleh garis berwarna oranye.

Tabel 1. Parameter struktur heksaferit $BaFe_{(12-2x)}(MnNi)_xO_{19}$

Parameters	x= 0,0	x = 0,3	x = 0,7	x = 1,0
Parameter kisi, a=b(Å)	5,8792	5,8773	5,8764	5,8744
Parameter kisi, c(Å)	23,2012	23,1899	23,1899	23,1720
c/a=b	3,9463	3,9457	3,9462	3,9446
$V_{sel}(\text{Å}^3)$	694,5170	693,6180	693,5180	692,4980
ρ (gr.cm ⁻³)	5,2800	5,2680	5,5240	5,4880
Fasa $BaFe_{12}O_{19}$ (%)	100,0000	71,0000	68,0000	54,0000
Fasa Fe_2O_3 (%)	0,0000	29,0000	32,0000	46,0000

Dari Tabel 1, terlihat bahwa konstanta kisi a dan c berkurang setelah substitusi ion-ion Mn dan Ni. Demikian pula, volume unit sel (V_{cell}) $BaFe_{12}O_{19}$ berkurang cukup signifikan dari 694.5170Å menjadi 692.4980Å. Ini menunjukkan bahwa struktur heksaferit $BaFe_{12}O_{19}$ mengalami penyusutan sepanjang sumbu-a dan sumbu-c. Sebaliknya, densitas atom (ρ) $BaFe_{12}O_{19}$ mengalami peningkatan cukup berarti dari 5.2800 (g.cm⁻³) menjadi 5.4880(g.cm⁻³). Penurunan parameter kisi (a=b dan c) dan sel volume (V_{cell}) dengan substitusi ion-ion Mn dan Ni dalam penelitian ini erat kaitannya antara lain dengan peningkatan densitas atom (ρ) seperti tercantum dalam Tabel 1, adanya perbedaan jari-jari kovalent unsur Ni⁺² (1,62Å) dan Mn⁺² (1,79Å) dengan Fe⁺³ (1,72Å), dan meningkatnya fasa impuritas, seperti tercantum dalam Tabel 1 (seperti Fe_2O_3 yang memiliki struktur kristal jauh lebih kecil) dengan penambahan unsur Ni dan Mn. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Darokar dkk., Li dkk. dan Trukhanof dkk. [6,9,11].

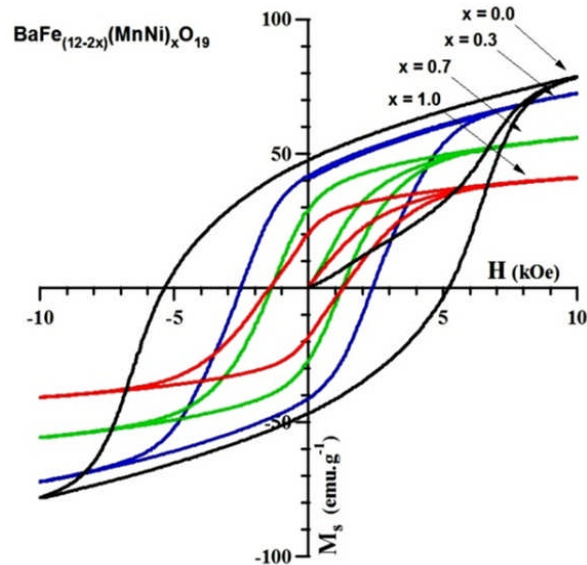


Gambar 2. Spektrum FT-IR heksaferit (a). $BaFe_{12}O_{19}$ dan (b). $BaFe_{11,4}(MnNi)_{0,3019}$.

Perilaku sifat-sifat magnetik sampel diukur pada temperatur kamar menggunakan *VSM*. *Hysteresis loop* sampel serbuk barium heksaferit yang disubstitusi dengan Mn dan Ni diperlihatkan pada Gambar 3. Lebar dan tingginya *hysteresis loop* pada Gambar 3 turun dengan adanya substitusi ion Mn dan Ni dan terus berkurang dengan semakin bertambahnya konsentrasi ion-ion Mn dan Ni. Hal ini menunjukkan masing-masing berkurangnya nilai koersivitas intrinsik (H_{ci}) dan juga magnetisasi (M_s dan M_r) dari bahan tersebut.

Berdasarkan pada Gambar 3, harga H_{ci} tanpa substitusi diperoleh sekitar 5,23 kOe, kemudian turun menjadi 2,4 kOe dan 1,25 kOe setelah *didoping* Mn dan Ni dengan konsentrasi 0,3; 0,7 dan 1,0. Demikian pula magnet saturasi (M_s) dan remanen (M_r) yang menyusut dengan bertambahnya kandungan Mn dan Ni. Berkurangnya nilai H_{ci} sangat berkaitan erat dengan penyusutan ukuran butir, nilai M_s dan M_r sangat bergantung pada fluktuasi arah *spin* elektron yang tidak terkompensasi dalam barium heksaferit.

Berkurangnya nilai M_s dan M_r dapat dijelaskan atas dasar hunian ion Mn dan Ni pada situs kisi yang berbeda. Kedua ion Mn dan Ni yang disubstitusikan pada

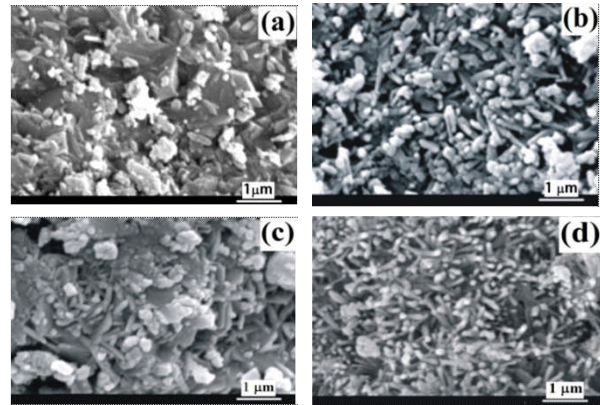


Gambar 3. Loop histeresis sampel serbuk $BaFe_{(12-2x)}(MnNi)_xO_{19}$ untuk x = 0,0; 0,3; 0,7 dan 1,0.

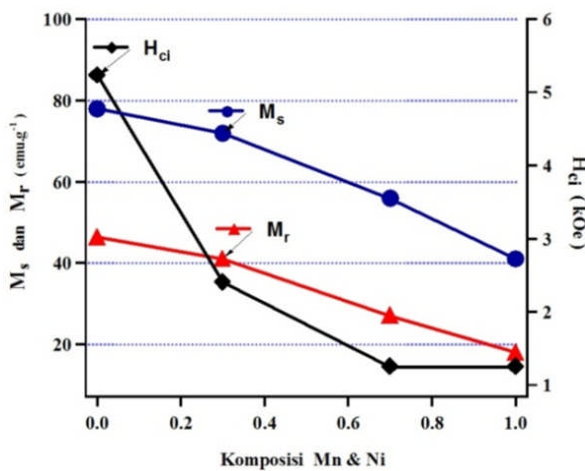
BaFe₁₂O₁₉ menggantikan ion Fe dari situs yang memiliki *spin* arah berlawanan dengan arah spin ion Fe, sehingga Mr dan Ms berkurang. Nilai magnet total dapat dilihat dari perbandingan antara harga M_r terhadap harga M_s. Jika kurva *loop* histerisis menunjukkan sifat makin ferromagnetik maka nilai rasio (Mr/Ms) akan makin besar. Ini berarti bahwa rasio (M_r/M_s) sangat tergantung pada permukaan nanopartikel itu sendiri.

Plot kurva magnetisasi (M_s) versus kuat medan magnet yang diberikan (H_c) dari BaFe_(12-2x)(MnNi)_xO₁₉ (x = 0,0; 0,3; 0,7 dan 1,0) ditunjukkan pada Gambar 4. Dapat dilihat bahwa BaFe_(12-2x)(MnNi)_xO₁₉ merupakan bahan ferromagnetik. Hal ini dicirikan oleh ratio antara magnet remanen (M_r) terhadap magnet saturasi (M_s) yang bernilai cukup besar, yaitu 0,4-0,6 besar (lebih besar bila dibandingkan dengan bahan *soft magnetic* atau *superparamagnetic* yang hanya bernilai 0,03-0,08 [13,14]) seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Ini berarti bahwa fluktuasi arah *spin* pada permukaan antar partikel yang terjadi dalam BaFe_(12-2x)(MnNi)_xO₁₉ cukup kecil, karena harga ratio M_r/M_s nya cukup besar. Perbedaan ukuran

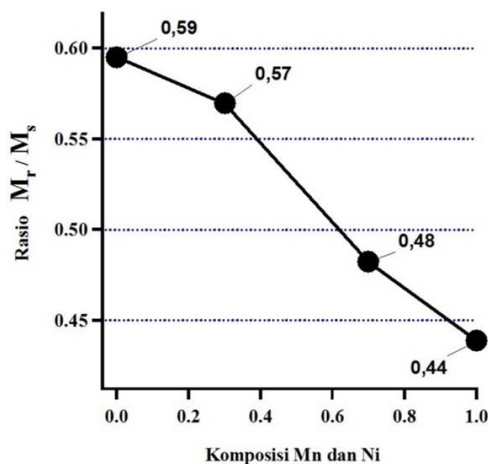
partikel BaFe_(12-2x)(MnNi)_xO₁₉ (x = 0,0; 0,3; 0,7 dan 1,0) digambarkan oleh hasil pengamatan menggunakan SEM, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Mikrograf SEM sampel BaFe_(12-2x)(MnNi)_xO₁₉ untuk (a). x = 0,0 (b). x = 0,3 (c). x = 0,7 dan (d). x = 1,0.



Gambar 4. Grafik H_c, M_r, M_s terhadap komposisi kandungan Mn dan Ni dari BaFe_(12-2x)(MnNi)_xO₁₉ untuk x = 0,0; 0,3; 0,7 dan 1,0.



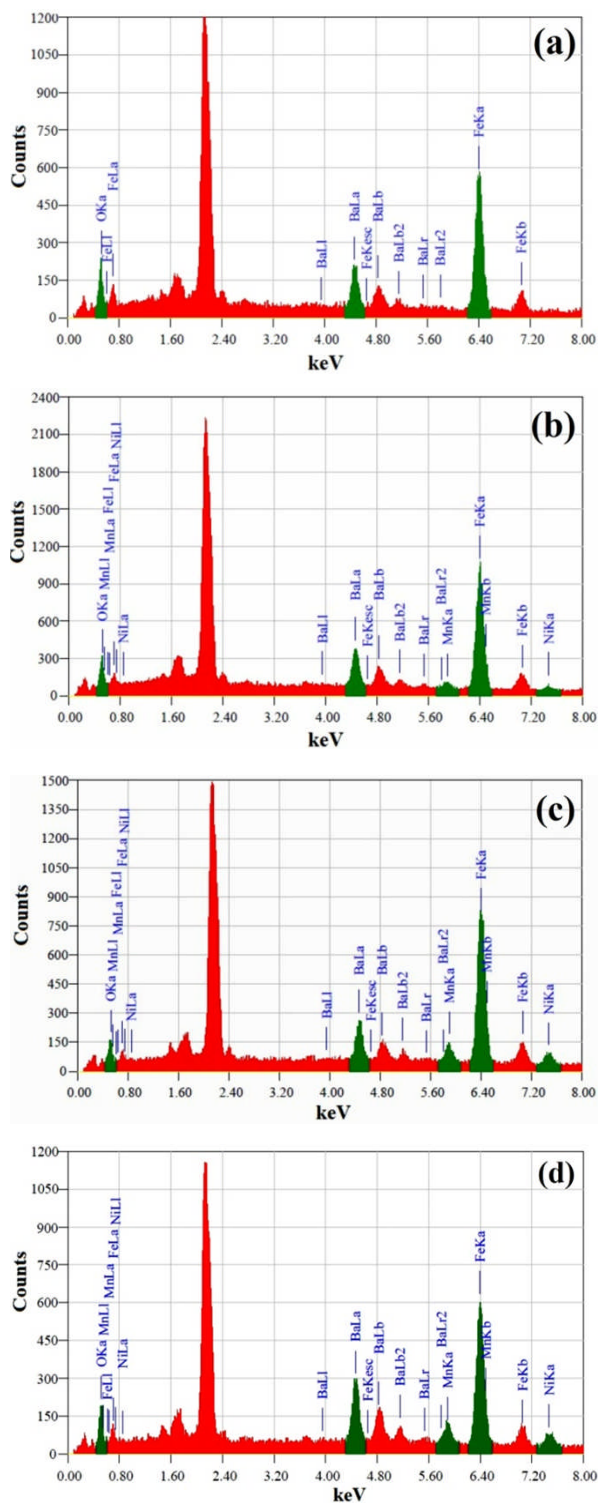
Gambar 5. Grafik rasio Mr/Ms pada setiap komposisi kandungan Mn dan Ni.

Hasil yang serupa juga telah dilakukan oleh Li dkk. yang mensubstitusi heksaferit tipe-M masing-masing dengan ion La-Co dan Ni-Cr [6]. Hasil mereka menunjukkan bahwa substitusi dari ion-ion tersebut menyebabkan perubahan pada sifat struktural dan perilaku magnetik bahan hexaferite. Berkurangnya harga magnet remanen pada bahan heksaferit yang disubstitusi disebabkan oleh karena interaksi pertukaran antarbutiran yang semakin lemah dengan pertambahan substitusi ion.

Gambar 6(a) hingga Gambar 6(d) memperlihatkan *image SEM* sampel BaFe_(12-2x)(MnNi)_xO₁₉ untuk x = 0,0; 0,3; 0,7 dan 1,0. Morfologi dan ukuran partikel yang ditemukan berpori, tidak-seragam dan terjadi aglomerasi di semua sampel, aglomerasi ini mungkin karena partikel berukuran kecil dan sifat magnetik dari partikel heksaferit.

Penyusutan ukuran partikel dan perubahan bentuk partikel tampak terlihat cukup jelas dengan penambahan kandungan unsur Mn dan Ni. Bentuk partikel BaFe₁₂O₁₉ heksaferit sebelum disubstitusi terlihat berbentuk struktur pelat heksagonal berukuran antara 200 nm hingga 500 nm. Setelah disubstitusi Mn dan Ni, partikel tersusun dari dua bentuk dan ukuran berbeda, seperti pada Gambar 6(b) dan Gambar 6(c). Dari Gambar 6(c) tampak jelas bahwa mayoritas partikel berbentuk batangan (*rod*) berukuran diameter antara 20 nm hingga 30 nm dengan panjang lebih kecil dari 500 nm.

Unsur yang terkandung dalam sampel, diidentifikasi menggunakan peralatan *Energy Dispersive Spectrophotometer (EDS)* yang tergabung dalam peralatan SEM. Spektrum hasil pengamatan EDS ditunjukkan pada Gambar 7(a) hingga Gambar 7(d). Sedangkan kandungan unsur yang terdapat di dalam sampel BaFe_(12-2x)(MnNi)_xO₁₉ untuk x = 0,0; 0,3; 0,7 dan 1,0 dicantumkan dalam Tabel 2. Berdasarkan pada Tabel 2, terlihat bahwa perbandingan antara elemen Mn dan Ni (dalam % atom) untuk setiap sampel memiliki



Gambar 7. Spektrum EDS sampel BaFe_(12-2x)(MnNi)_xO₁₉ untuk (a). x=0,0 (b). x=0,3 (c). x=0,7 dan (d). x=1,0

kandungan yang berbeda, namun perbedaan tersebut tidak terlalu signifikan.

KESIMPULAN

Heksaferit tipe-M, BaFe_(12-2x)(MnNi)_xO₁₉ (untuk x=0,0; 0,3; 0,7 dan 1,0) telah berhasil dibuat dengan

Tabel 2. Distribusi elemen dalam BaFe(12-2x)(MnNi)xO19.

No.	Elemen	x= 0.0	x = 0.3	x = 0.7	x = 1.0
1.	O	23,91	25,16	16,96	26,93
2.	Fe	64,77	60,66	63,01	49,60
3.	Ba	11,32	9,90	8,24	11,79
4.	Mn	-	1,43	4,97	5,07
5.	Ni	-	2,84	6,81	6,42

metode kopresipitasi. Hasil pengamatan sampel dengan FT-IR menunjukkan adanya mode vibrasi regangan (*stretching*) metal-oksigen dalam kisi heksagonal yang teramati pada spektrum 430cm⁻¹ dan 590cm⁻¹. Ini mengkonfirmasi telah terbentuknya struktur heksagonal. Perubahan parameter struktur, morfologi dan sifat magnet dari sampel BaFe_(12-2x)(MnNi)_xO₁₉, dikarakterisasi menggunakan peralatan XRD, SEM-EDS dan VSM.

Hasil *refinement XRD* menunjukkan bahwa pengaruh doping ion Mn dan Ni pada heksaferit tipe-M menyebabkan terjadinya kontraksi (penyusutan) pada perilaku struktur kristal seperti parameter kisi dan sel volume. Morfologi butiran sampel, BaFe_(12-2x)(MnNi)_xO₁₉ mengalami perubahan ukuran dan bentuk. Demikian pula perilaku magnetik heksaferit seperti koersivitas intrinsik (H_{ci}), magnet remanen (M_r) dan magnet saturasi (M_s) juga mengalami penurunan dengan bertambahnya *doping* ion Mn-Ni. Dari hasil serangkaian pengujian tersebut dapat dinyatakan bahwa BaFe_(12-2x)(MnNi)_xO₁₉ (untuk x=0,0; 0,3; 0,7 dan 1,0) dapat diaplikasikan sebagai bahan dasar penyerap gelombang elektromagnetik atau sebagai bahan dasar *magnetic recording*.

DAFTAR ACUAN

- [1]. W. A. Adi and A. Manaf. "Structural and Absorption Characteristics of Mn-Ti Substituted Ba-Sr Hexaferrite Synthesized by Mechanical Alloying Route." J. Basic Appl. Sci. Res., vol. 2, no. 4, pp. 7826-7834, 2012.
- [2]. Kanagesan, S, H. Mansor, and J. Sinnappan. "Microwave Sintering of Zn-Nb Doped Barium Hexaferrite Synthesized via Sol-Gel Method." Mater. Sci. Appl., vol. 5, no. March, pp. 171-176, 2014.
- [3]. S. Malhotra, M. Chitkara, and I. S. Sandhu. "Microwave Absorption Study of Nano Synthesized Strontium Ferrite Particles in X Band." Int. J. Signal Process., vol. 8, no. 10, pp. 115-120, 2015.
- [4]. Winatapura D. S., W. A. Adi, and Ridwan. "Microstructure and Magnetic Properties of Nanoparticles M0.9Ca0.1 (M= Ba, Sr) Hexaferrite Prepared by Coprecipitation Method." Int. J. Acad. Res., vol. 6, no. 6, pp. 195-199., 2014.
- [5]. J. Y. Kwak, L. CS., A. Kim D., and K. YI. "Characteristics of Barium Hexaferrite Nanoparticles Prepared by Temperature-Controlled

- Chemical Coprecipitation.” J. Korean Chem. Soc., vol. 56, no. 5, pp. 609-616, 2012.
- [6]. W. Li, X. Qiao, M. Liu, and H. Peng. “La and Co Substituted M-type Barium Ferrites Processed by Sol-gel Combustion Synthesis.” Mater. Res. Bull., vol. 48, pp. 4449-4453, 2013.
- [7]. L. Jie, Z. Huai-Wu, L. Yuan-Xun, L. Ying-Li, and M. Yan-Bing. “The Structural and Magnetic Properties of Barium Ferrite Powders Prepared by Sol-gel Method.” Chin. Phys. B, vol. 21, pp. 17501-4, 2012.
- [8]. A. D. Deshpande, V. M. Nanoti, and K. G. Rewatkar. “Structural and Electric Properties of Nanosized Zirconium- Cobalt Substituted Calcium Hexaferrites.” Int. J. Emerg. Trend Eng. Basic Sci., vol. 2, no. 2, pp. 60-63, 2015.
- [9]. A. González-Angeles, J. Lipka, A. Grusková, J. Sláma, V. Jančárik, and V. Slugeň. “Magnetic comparison of BaCa and BaSr substituted hexaferrite powders.” J. Phys. Conf. Ser., vol. 217, pp. 12137, 2010.
- [10]. S. E. Jacobo, P. G. Bercoff, C. A. Herme, and L. A. Vives. “Sr hexaferrite / Ni ferrite nanocomposites / : Magnetic behavior and microwave absorbing properties in the X-band.” Mater. Chem. Phys., vol. 157, pp. 124-129, 2015.
- [11]. T. Ne, I. N. Magnetne, L. Prahov, B. Ferita, N. E. Z. Mn, C. Ali, C. In, X. S. I. N. Ni, P. P. O. S. Metodi, A. Gurbuz, N. Onar, I. Ozdemir, A. C. Karaoglanli, and E. Celik. “Structural, Thermal and Magnetic Properties of Barium Ferrite Powders Substituted with Mn, Cu or Co and x(x = Sr and Ni) Prepared by The Sol-gel Method.” Mater. Technol., vol. 46, no. 3, pp. 2-7, 2012.
- [12]. A. C. Larson and R. B. Von Dreele. “General Structure Analysis System (GSAS), Los Alamos National Laboratory Report LAUR. pp. 86-748, 2004.
- [13]. A. V Trukhanov, L. V Panina, S. V Trukhanov, V. O. Turchenko, I. S. Kazakevich, and M. M. Salem. “Features of Crystal Structure and Magnetic Properties of M-type Ba-hexaferrites with Diamagnetic Substitution.” Int. J. Mater. Chem. Phys., vol. 1, no. 3, pp. 286-294, 2015.
- [14]. I. Ali, M. U. Islam, M. S. Awan, M. Ahmad, and M. Asif Iqbal. “Structural, electrical, and microstructure properties of nanostructured calcium doped Ba-Hexaferrites synthesized by Sol-Gel method.” J. Supercond. Nov. Magn., vol. 26, no. 11, pp. 3277-3286, 2013.
- [15]. A. Ahadpour Shal and A. Jafari. “Study of Structural and Magnetic Properties of Superparamagnetic Fe_3O_4 -ZnO Core-Shell Nanoparticles.” J. Supercond. Nov. Magn., vol. 27, no. 6, pp. 1531-1538, 2014.