

## Kajian Struktur Mikro terhadap Sifat Magnetik pada Magnet Permanen $Ba_{0.6}Fe_2O_3$

PERDAMEAN SEBAYANG DAN MULJADI  
Pusat Penelitian Fisika LIPI – Tangerang Selatan  
pard003@lipi.go.id ; perdameans@yahoo.com

WISNU ARI ADI  
Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir-BATAN, Tangerang Selatan

Diterima : 11 Agustus 2011

Revisi : 12 September 2011

Disetujui : 20 Oktober 2011

**ABSTRAK** :Telah dilakukan kajian struktur mikro terhadap sifat magnetik pada magnet permanen *barium hexaferrite* ( $Ba_{0.6}Fe_2O_3$ ). Pemilihan jenis material ini karena tahan terhadap bahan kimia dan tidak korosi. Material ini juga mempunyai nilai koersivitas ( $H_c$ ), saturasi magnet ( $M_s$ ) dan suhu transisi ( $T_c$ ) yang tinggi serta relatif murah harganya. Aplikasi antara lain untuk peralatan rumah tangga, industri otomotif, elektronik dan lainnya. Pada penelitian ini akan dilakukan sintesis bahan magnet permanen  $Ba_{0.6}Fe_2O_3$  dengan komposisi stokiometri (B-S), non stokiometri (C-NS), dan hasilnya akan dibandingkan dengan salah satu produk magnet yang beredar di pasaran (A-M). Tahapan penelitian dimulai dari preparasi serbuk  $BaCl_2$  dan  $FeCl_3$  dengan cara koopresipitasi, kalsinasi pada suhu  $1000^\circ C$ , dihaluskan dan diayak hingga lolos 400 mesh. Kemudian ditambahkan aditif polyvinil alkohol (PVA) sebanyak 2% (berat), dicetak dengan tekanan sebesar  $2 \text{ ton/cm}^2$  sehingga menghasilkan pelet dengan diameter 20 mm dan tebal 5 mm. Pelet tersebut kemudian dibakar (sinter) pada suhu  $1150^\circ C$  dan ditahan pada suhu tersebut selama 3 jam sehingga diperoleh sampel uji. Karakterisasi sampel uji meliputi analisa struktur mikro dan pengukuran sifat magnet (histerisis). Hasil pengujian menunjukkan bahwa sampel A-M mempunyai *single phase*  $Ba_{0.6}Fe_2O_3$ , sedangkan sampel B-S dan C-NS selain fasa  $Ba_{0.6}Fe_2O_3$ , juga terdapat fasa lain, seperti:  $BaFe_2O_4$ ,  $Fe_3O_4$  atau  $Fe_2O_3$ . Derajat kristalisasi fasa  $Ba_{0.6}Fe_2O_3$  adalah 100% untuk sampel A-M, 77,9% untuk B-S dan 34,6 % C-NS. Berdasarkan hasil kajian struktur mikro terhadap sifat magnetik pada magnet permanen *barium hexaferrite* ( $Ba_{0.6}Fe_2O_3$ ) dapat disimpulkan bahwa sampel A-M lebih baik dibanding B-S maupun C-NS.

**KATA KUNCI** : phase  $Ba_{0.6}Fe_2O_3$ , koopresipitasi, kalsinasi, sintering, histerisis

**ABSTRACT**: A microstructure analysis of magnetic properties for Barium Hexaferrite permanent magnet ( $Ba_{0.6}Fe_2O_3$ ) has been conducted. The material is selected because of its resistance to chemical substances and not corrosive. The material also has a high coercivity ( $H_c$ ), magnetic saturation ( $M_s$ ), transition temperature ( $T_c$ ) and its price is relatively cheap. Its application, among other things, is for household appliances, industrial automotive, and electronics. In this research, permanent magnet  $Ba_{0.6}Fe_2O_3$  is synthesized with stoichiometric composition (B-S), non stoichiometric composition (C-NS), and the result is compared with one type of product in the market (A-M). The research starts from powder preparation of  $BaCl_2$  and  $FeCl_3$  with coprecipitation technique, calcinations at a temperature of  $1000^\circ C$ , crushed and sieved to pass 400 mesh. Then 2% (by weight) additive Polyvinyl Alcohol (PVA) is added, printed with a pressure of  $2000 \text{ kg/cm}^2$  to produce pellets with a diameter of 20 mm and 5 mm thickness. The pellets are then sintered at a temperature of  $1150^\circ C$  and held at that temperature for 3 hours in order to obtain the test samples. Characterization of the test sample includes the analysis of microstructure and measurement of magnetic properties (hysteresis). The test results showed that the samples have single phase A-M  $Ba_{0.6}Fe_2O_3$ , while samples of B-S and C-NS in addition to phase  $Ba_{0.6}Fe_2O_3$ , there are also other phase, such as:  $BaFe_2O_4$ ,  $Fe_3O_4$  or  $Fe_2O_3$ . The degree of crystallization phase  $Ba_{0.6}Fe_2O_3$  is 100% for samples AM, 77.9% for BS and 34.6% C-NS. Based on a study of the microstructure on the magnetic properties of barium hexaferrite permanent magnets ( $Ba_{0.6}Fe_2O_3$ ) can be concluded that the samples A-M better than the B-S and C-NS.

**KEYWORDS** :phase  $Ba_{0.6}Fe_2O_3$ , coprecipitation, calcinations, sintering, hysteresis

### 1. PENDAHULUAN

Bahan magnet permanen yang dikenal dipasaran adalah berbasis oksida *ferrite*, diantaranya barium *hexaferrite* ( $BaFe_{12}O_{19}$  atau  $Ba_{0.6}Fe_2O_3$ ). Magnet permanen  $Ba_{0.6}Fe_2O_3$  memiliki beberapa keunggulan antara lain harganya murah, nilai koersivitas ( $H_c$ ) dan saturasi magnet ( $M_s$ ) tinggi, serta suhu transisi ( $T_c =$  suhu *Curie*) cukup tinggi. Disamping itu, juga memiliki sifat kimia yang stabil dan tahan korosi [1-3].

Magnet permanen  $Ba_{0.6}Fe_2O_3$  banyak digunakan pada peralatan rumah tangga, industri otomotif, elektronik dan lainnya [4]. Kebutuhan Indonesia akan magnet permanen ini masih disuplai dari luar negeri (*import*), pada hal bahan baku untuk pembuatan magnet cukup berlimpah di Indonesia dalam bentuk pasir besi sebagai sumber  $Fe_2O_3$ .

Umumnya magnet ini diproduksi secara massal, sehingga terkadang terdapat kegagalan produksi disebabkan ketidakhomogenitas fasa. Ketidakhomogenitas fasa ini bertumpu pada teknologi proses dan erat kaitannya dengan tingkat homogenitas campuran dan proses *heat treatment* [5]. Oleh karena itu kualitas bahan magnet sangat ditentukan dari ketidakhomogenitas fasa yang terbentuk dan berdampak langsung terhadap sifat instrinsiknya. Pada bahan magnet permanen, sifat instrinsik yang diharapkan memiliki medan koersivitas, magnetisasi total, dan magnetisasi remanen yang tinggi [6, 7].

Untuk mendapatkan *single phase* dari bahan magnet berbasis *ferrite* ini tidak mudah dilakukan. Nowosielski telah membuat senyawa barium *hexaferrite* dengan menggunakan proses *powder* metalurgi [8]. Menurut Nowosielski bahwa sintesis *barium hexaferrite* dapat menghasilkan fasa pengotor, yaitu: *hematite* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan *monoferrite* ( $\text{BaFe}_2\text{O}_4$ ). Walaupun jumlah fasa pengotor relatif kecil, tetapi mengakibatkan sifat magnetik menjadi tidak optimal. Nowosielski kemudian menyimpulkan bahwa sifat magnetik dipengaruhi oleh faktor ketidakhomogenitas dan distribusi ukuran partikel [9]. Disamping itu Joonghou Dho juga telah melakukan sintesis *hexaferrite* dengan menggunakan proses *mechanical alloying* pada sistem  $\text{MO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$  (M = Ba, Sr, dan Pb). Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa senyawa  $\text{MO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$  mengandung sebagian kecil fasa pengotor  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  [10].

Pada penelitian ini akan dilakukan sintesis bahan magnet permanen sistem  $\text{Ba}_{0,6}\text{Fe}_2\text{O}_3$  dengan komposisi stoikiometri, non stoikiometri dan dibandingkan hasilnya dengan produk yang beredar dipasaran. Jadi tujuan penelitian ini adalah untuk memahami pengaruh struktur mikro terhadap sifat magnetik pada pembuatan magnet permanen sistem  $\text{Ba}_{0,6}\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

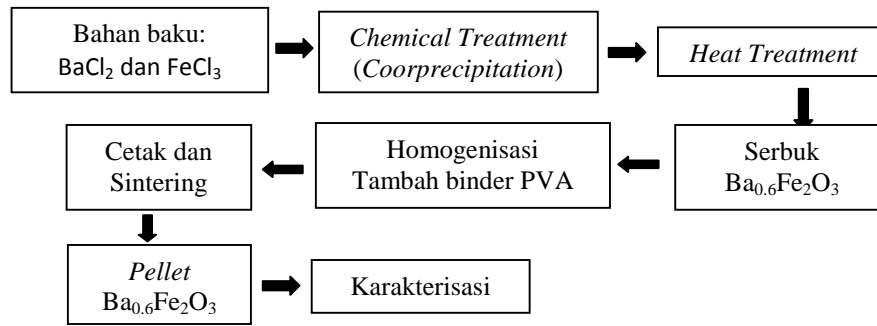
Bahan baku yang digunakan pada pembuatan magnet permanen  $\text{Ba}_{0,6}\text{Fe}_2\text{O}_3$  adalah bersumber dari  $\text{BaCl}_2$  dan  $\text{FeCl}_3$ . Proses pencampurannya dilakukan secara koapresipitasi atau kimia basah (*wet chemical process*) [11]. Kedua bahan baku tersebut ditimbang sesuai dengan komposisinya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Komposisi bahan baku magnet  $\text{Ba}_{0,6}\text{Fe}_2\text{O}_3$  berdasarkan perbandingan mole

Kode Sampel	Diskripsi	Mole	
		BaO	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
A-M	Produk yang beredar di Pasaran	-	-
B-S	Komposisi stoikiometri	1	6,0
C-NS	Komposisi non stoikiometri	1	5,8

Langkah selanjutnya adalah pencampuran dengan aquades, lalu diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* dan ditambahkan larutan ammonia dengan perbandingan 1:1, hingga campuran bahan tersebut larut sempurna. Endapan yang terbentuk pada larutan tersebut disaring dan dikeringkan di dalam oven pada suhu  $70^\circ\text{C}$  selama 24 jam. Serbuk bahan baku yang telah kering kemudian dikalsinasi (*heat treatment*) pada suhu  $1000^\circ\text{C}$ , dan selanjutnya dihaluskan dengan menggunakan mortar. Serbuk  $\text{Ba}_{0,6}\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang telah halus kemudian diayak hingga lolos 400 mesh.

Sebelum proses kompaksi, pada serbuk tersebut ditambahkan bahan perekat polyvinil alkohol (PVA) sebanyak 2 % berat dan kemudian dicetak dengan tekanan sebesar  $2 \text{ ton/cm}^2$  hingga menghasilkan sampel uji berbentuk disk (diameter 20 mm dan tebal 5 mm). Suhu pembakaran (sinter) ditetapkan sebesar  $1150^\circ\text{C}$  dan ditahan pada suhu tersebut selama 3 jam. Diagram alir proses pembuatan magnet permanen  $\text{Ba}_{0,6}\text{Fe}_2\text{O}_3$  diperlihatkan seperti pada Gambar 1.



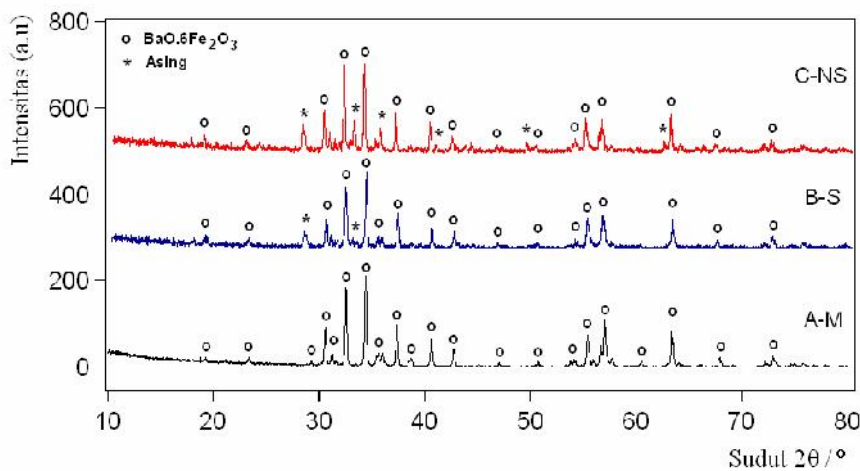
**Gambar 1.** Diagram alir pembuatan magnet permanen Ba<sub>0,6</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Dari sampel yang telah dibuat kemudian hasilnya dibandingkan dengan produk yang beredar di pasaran (*single phase* Ba<sub>0,6</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Analisa struktur mikro dilakukan dengan menggunakan alat *x – ray diffractometer (XRD) Philip* tipe PW1710. Berkas sinar-x ini terdiri dari *tube anode* Cu (tembaga) dengan panjang gelombang, } = 1,5406 Å, *mode continuous-scan*, *step size*: 0,02°, dan *time per step* 0,5 detik. Selanjutnya profil difraktometer sinar-x tersebut dianalisis dengan menggunakan perangkat lunak GSAS (*Rietveld Analysis*) [12]. Sifat magnetik kemudian diukur dengan menggunakan alat *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)*.

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

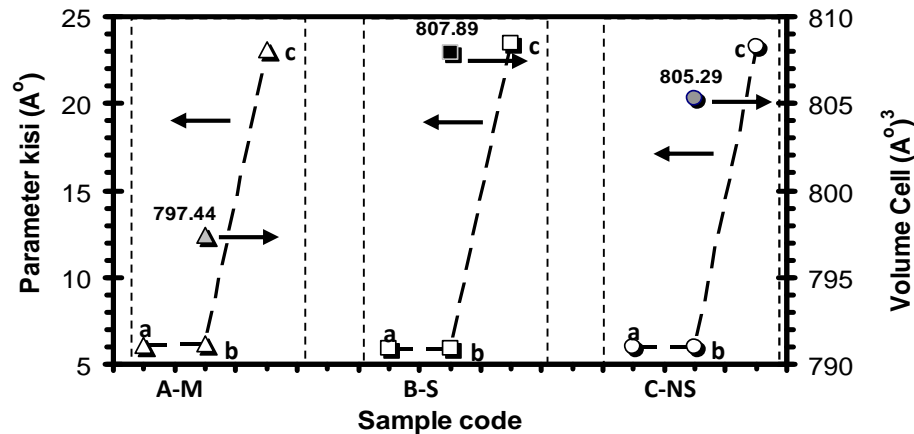
Pola difraksi sinar-x dari sampel A-M merupakan produk yang beredar di Pasaran (*single phase* Ba<sub>0,6</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Sampel B-S dan C-NS yang berturut-turut adalah sampel yang dibuat secara koopresipitasi dengan komposisi stoikiometri dan non stoikiometri. Kemudian dengan menggunakan *Rietveld-Refinement* [12] dari pola XRD yang diperoleh maka hasilnya seperti diperlihatkan pada Gambar 2.

Dari Gambar 2, menunjukkan bahwa telah terbentuk fasa baru pada suhu sintering 1150°C yang merupakan reaksi antara bahan baku BaO dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Pada sampel A-M telah teridentifikasi puncak-puncaknya dengan fasa Ba<sub>0,6</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> atau *Barium dodecairon (III) oxide* yang ditandai dengan symbol (O). Sedangkan pada sampel B-S dan C-NS juga tampak puncak-puncak fasa Ba<sub>0,6</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan munculnya fasa asing yang ditandai dengan symbol (\*). Adapun fasa asing tersebut setelah diidentifikasi lanjut adalah sebagai berikut: BaFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (*Barium diron tetraoxide*), Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (*Magnetite*) dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.



**Gambar 2.** Pola XRD dari sampel A-M, B-S, dan C-NS.

Adanya fasa minor, seperti:  $\text{BaFe}_2\text{O}_4$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , karena tidak terjadinya reaksi lebih lanjut antara kedua bahan baku, sebenarnya fasa tersebut sudah ada sejak sebelum proses sinter dilakukan. Jadi kondisi ini menunjukkan bahwa hanya terjadi perubahan mikrostruktur, seperti pertumbuhan butir (*grain growth*) yang berkaitan dengan densifikasi. Apabila dibandingkan dengan metoda konvensional (*solid-solid mixing*) dari campuran bahan baku  $\text{BaCO}_3$  dengan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dengan menggunakan *ball mill* maka diperoleh ukuran butir relatif lebih kasar dalam orde mikrometer. Akibatnya suhu sintering juga menjadi lebih tinggi, yaitu sekitar  $1200^\circ\text{C}$  untuk menghasilkan struktur kristal  $\text{Ba}_{0,6}\text{Fe}_2\text{O}_3$  [7].



**Gambar 3.** Hubungan antara parameter kisi dan volume sel terhadap kode sampel.

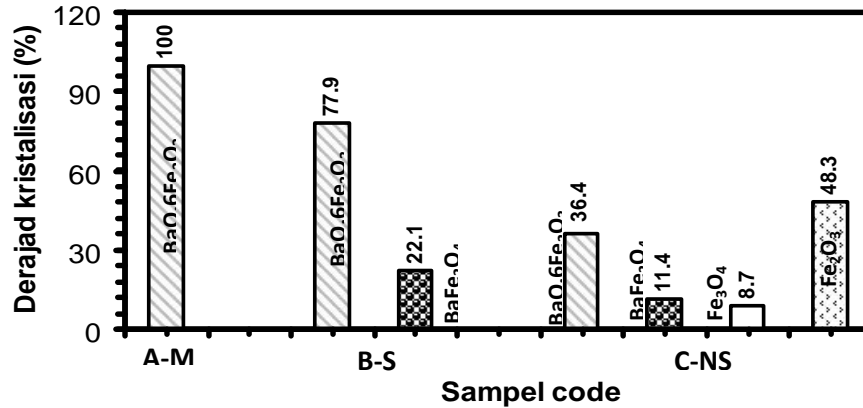
Berdasarkan tabel Hanawalt, struktur kristal  $\text{Ba}_{0,6}\text{Fe}_2\text{O}_3$  [3] mempunyai group ruang (*space group*) adalah  $P\ 63/m\ m\ c$  dengan sistem kristal hexagonal. Pada Gambar 3 diperlihatkan parameter kisi dan volume sel dari fasa  $\text{Ba}_{0,6}\text{Fe}_2\text{O}_3$  untuk sampel A-M, B-S dan C-NS. Ternyata sampel A-M dengan fasa  $\text{Ba}_{0,6}\text{Fe}_2\text{O}_3$  (produk di Pasaran) mempunyai parameter kisi:  $a = b = 5,8821\ \text{\AA}$ , dan  $c = 23,0230\ \text{\AA}$ , dengan sudut  $= 90^\circ$  dan  $V = 797,44\ \text{\AA}^3$ . Sedangkan volume sel ( $V$ ) dapat dihitung dengan formula,  $V = a \times b \times c$ . Untuk sampel B-S mempunyai parameter kisi:  $a = b = 5,8962\ \text{\AA}$ ,  $c = 23,221\ \text{\AA}$ , dan  $V = 807,89\ \text{\AA}^3$ . Sampel C-NS:  $a = 5,8956\ \text{\AA}$ ,  $b = 5,8831\ \text{\AA}$ ,  $c = 23,216\ \text{\AA}$ , dan  $V = 805,29\ \text{\AA}^3$ .

Apabila volume sel yang dihasilkan semakin kecil nilainya maka jarak antar atomik akan semakin dekat, hal ini dipengaruhi oleh panjang pendeknya parameter kisi dari sebuah unit sel. Kuat lemahnya *interaction exchange* antara *coupling spin magnetic* bergantung pada besarnya momen *magnetic ionic* dan berbanding terbalik dengan faktor jarak. Jadi semakin dekat jarak antara *coupling spin magnetic* tersebut, maka momen magnetiknya akan semakin kuat.

Untuk mengestimasi persentase derajat kristalisasi ( $X_k$ ) dapat diketahui dari pola XRD, yaitu berdasarkan pada perbandingan luasan puncak kristal ( $X_k$ ) dibagi dengan jumlah luasan kristal total ( $X_{kt}$ ) dan luasan daerah amorf ( $X_a$ ) yang memenuhi persamaan berikut [14]:

$$\text{Derajat Kristalisasi} = \frac{(X_k)}{(X_{kt}) + (X_a)} \times 100\% \quad (1)$$

Dari perhitungan dengan menggunakan persamaan (1) maka derajat kristalisasi dari masing-masing sampel A-M (produk di Pasaran), B-S dan C-NS untuk sampel yang dibuat, seperti diperlihatkan pada Gambar 4.

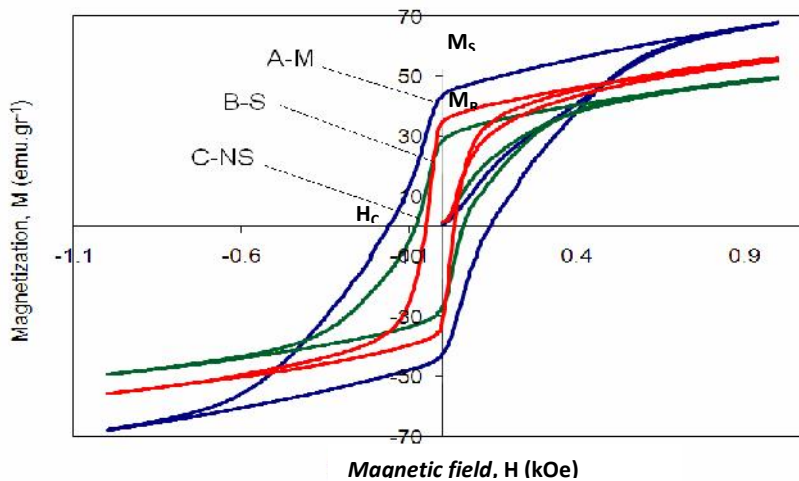


Gambar 4. Hubungan antara derajat kristalisasi terhadap kode sampel.

Dari Gambar 4, menunjukkan bahwa sampel A-M menghasilkan fasa tunggal Ba<sub>0.6</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan derajat kristalisasi sebesar 100%. Sampel B-S menghasilkan dua fasa: Ba<sub>0.6</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan BaFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> yang masing-masing dengan derajat kristalisasi sebesar 77,9 dan 22,1%. Sedangkan untuk sampel C-NS menghasilkan empat fasa, yaitu: Ba<sub>0.6</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, BaFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan masing-masing derajat kristalisasi sebesar: 34,6; 11,4; 8,7 dan 48,3%. Jadi apabila dilihat dari bentuk fasa *Barium hexa ferrite* (Ba<sub>0.6</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) maka persentase derajat kristalisasi yang dihasilkan pada sampel A-M > B-S > C-NS. Artinya jumlah total momen magnet atom-atom berbanding lurus dengan persentase derajat kristalisasi fasa tersebut, sehingga magnetisasi total atau magnetisasi remanen sebanding dengan derajat kristalisasinya.

Kurva *hysteresis loop* terdiri dari intrinsik magnetisasi saturasi (*magnetization saturation*) M<sub>S</sub>, magnetisasi remanen (*magnetization remanent*) M<sub>R</sub>, dan medan koersivitas (*coercivity*) H<sub>C</sub>. M<sub>S</sub> dan M<sub>R</sub> merupakan karakteristik intrinsik dari bahan magnetik, dan ditentukan oleh jumlah magnetisasi total atau polarisasi total dari bahan magnetik tersebut. Polarisasi total merupakan sifat kemagnetan yang penting dalam magnet permanen karena secara ideal remanen dari magnet permanen sama dengan polarisasi total.

Pada Gambar 5 ditunjukkan kurva hysteresis untuk sampel A-M, B-S, dan C-NS. Dari Gambar 5, tampak bahwa besarnya nilai magnetisasi saturasi (M<sub>S</sub>) maupun magnetisasi remanen (M<sub>R</sub>) pada sampel A-M > B-S > C-NS, dan nilai *coercivity* (H<sub>C</sub>) atau medan koersivitas sampel A-M > C-NS > B-S. Sedangkan data parameter magnetiknya dari hasil pengukuran sifat magnetik dengan *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM) ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 5. Hysteresis loops dari sampel A-M, B-S, dan C-NS.

**Tabel 2.** Data parameter magnetik dari magnet permanen Ba<sub>0,6</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Parameter magnetik	Kode Sampel		
	A-M	B-S	C-NS
<i>Saturation Magnetization, M<sub>S</sub></i> (emu/g)	68,0	56,2	49,8
<i>Remanent Magnetization, M<sub>R</sub></i> (emu/g)	43,6	34,9	28,1
M <sub>R</sub> /M <sub>S</sub>	0,64	0,62	0,56
<i>Intrinsic Coercivity, H<sub>C</sub></i> (Oe)	1650	515	833

Apabila densitas dari sampel A-M, B-S, dan C-NS masing-masing adalah 5,3, 4,34 dan 4,35 g/cm<sup>3</sup> [11] maka besarnya kuat medan magnet (B) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$B = H_C + 4fM_R \quad (2)$$

Dari hasil perhitungan diperoleh kuat medan magnet (B) untuk sampel A-M, B-S, dan C-NS masing-masing adalah sebesar 4554, 2418, dan 2369 gauss. Menurut referensi [4] kuat medan magnet (B) untuk magnet permanen Ba<sub>0,6</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan suhu sintering 1200-1300°C adalah berkisar 2000 – 5000 gauss. Jadi jelas terlihat bahwa kualitas magnet yang beredar dipasaran relatif lebih baik dari hasil magnet permanen yang telah dibuat. Hal ini mungkin disebabkan pengaruh proses kompaksi dan struktur kristalnya akibat adanya fasa lain.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil kajian struktur mikro terhadap sifat magnetik pada magnet permanen *barium hexaferrite* (Ba<sub>0,6</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dapat disimpulkan bahwa nilai parameter kisi dari sebuah unit sel berbanding lurus dengan jarak antara *coupling spin magnetic* dan berbanding terbalik dengan momen magnetiknya, jadi sampel A-M jauh lebih baik dibanding sampel B-S maupun C-NS. Jumlah total momen magnet atom-atom berbanding lurus dengan persentase derajat kristalisasi fasa yang dihasilkan sehingga magnetisasi total atau magnetisasi remanen dari sampel A-M > B-S > C-NS telah terbukti. Perlu dilakukan pembuatan magnet permanen Ba<sub>0,6</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan melihat bagaimana pengaruh partikel size terhadap sifat magnetnya, terutama dalam orde nano.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Alexandre R. Buena, Maria L. Gregorib, Maria C. S. No´ Bregac, (2008), *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 320, 864-870
- [2]. Bin yu, Lu Qi, Hui Sun, Jian-Zhong Ye, (2007), *J Mater Sci* 42: 3783-3788
- [3]. Kojima, H., (1982), *Fundamental Properties of Hexagonal Ferrites with Magnetoplumbite Structure*, vol. 3; ed. E. P. Wohlfarth, North Holland Publishing Company, Amsterdam.
- [4]. Moulson A. J., and J. M. Herbert, (1985), *Electroceramics: Materials, Properties and Applications*, Chapman and Hall, London-New York.
- [5]. Masno Ginting, Muljadi, dan Perdamean Sebayang, (2006), *Pembuatan Magnet Permanen Isotropik Berbasis Nd-Fe-B dan Karakterisasinya*, TEKNOLOGI INDONESIA, Vol. 29, No. 1, halaman 27-30.
- [6]. Ataie A., S.Heshmati Manesh, H. Kazempour, (2003), *Synthesis of Barium Hexaferrite by The Coprecipitation Method Using Acetate Precursor*, *Journal of Materials Science* 37, p. 2125-2128
- [7]. Martirosyan K. S., N. S. Martirosyan, and A. E. Chalykh, (2003), *Structure and Properties of Hard-Magnetic Barium, Strontium and Lead Ferrites*, *Inorganics Materials*, Vol. 39, No. 8, pp. 1007-1011.
- [8]. Estevez Rams, E., Martinez Garcia, R., Reguera, E., Montiel, Sanchez, E., and Madeira, H. Y., (2000), *Structural Transformation with Milling on Sol-Gel Precursor for BaM Hexaferrite*, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 33, 2708-2715
- [9]. Nowosielski, R., R. Babilas, G. Dercz, L. Pajk, J. Wrona, (2007), *Archives of Materials Science and Engineering*, Volume 28, Pages 735-742.

- [10]. Joonghoe Dho, E. K. Lee, J.Y. Park, N. H. Hur, (2005), *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 285, 164–168.
- [11]. Muljadi, Masno Ginting, Priyo Sarjono dan Perdamean Sebayang, (2011), Pengaruh Komposisi (mole ratio BaO : Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) Terhadap Sifat Fisis, Magnet dan Struktur Kristal pada Pembuatan Magnet Permanen BaO<sub>6</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, akan dipublikasi di Majalah TEKNOLOGI INDONESIA.
- [12]. Izumi, F., (1996), “*A Rietveld-Refinement Program Rietan-94 for Angle-Dispersive X-Ray and Neutron Powder Diffraction*”, *National Institute for Research in Inorganic Materials 1-1 Namiki, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan*.
- [13]. Obradors X, Solans X, Collomb A, Samaras D, Rodriguez J, Pernet M, Font-Altaba M, (1988), *Journal of Solid State Chemistry* volume '72', 218-224.
- [14]. Perdamean Sebayang, Agus Sukarto, Muljadi, (2004), Pemanfaatan Limbah Padat Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dari PT Krakatau Steel untuk Pembuatan Keramik Magnet SrO.6Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan Karakterisasinya, *Prosiding Simposium Fisika Nasional XX, Pekanbaru, 25-26 Agustus 2004, halaman 29-35, ISSN 1411-4771*.

