

## Sintesa dan Karakterisasi Material Komposit Berbasis BaO.6Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – C Sebagai Komponen Motor Listrik

Silviana Simbolon\* dan Achmad Maulana Sebayang

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No. 1, Tangerang Selatan, Indonesia

E-mail: \*dosen01923@gmail.com

Masuk : 5 Februari 2019

Direvisi : 25 Februari 2019

Disetujui : 10 Maret 2019

**Abstrak:** Telah dibuat komposit BaO.6Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - C dari bahan barium karbonat (BaCO<sub>3</sub>), Hematit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), dan Karbon Aktif (C) menggunakan teknik *High Energy Milling* (HEM) dengan variasi waktu *sintering* 750, 950, 1050, dan 1200°C masing-masing ditahan selama 2 jam. Perbandingan komposisi serbuk BaO.6Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - C adalah 9 : 1. Proses *milling* menggunakan metode *wet milling* dengan media *ethanol*. Karakterisasi yang dilakukan meliputi analisis struktur kristal dengan *X-Ray Powder Diffraction* (XRD), dan sifat kemagnetan dengan *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM). Hasil dari analisis XRD menunjukkan bahwa komposit BaO.6Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - C mempunyai fasa BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> memiliki struktur kristal *hexagonal* dengan parameter kisi a = 5.038 Å dan c = 14.539 Å. Sedangkan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mempunyai struktur kristal *cubic* dengan parameter kisi a = 5.025 Å dan c = 13.658 Å. Kondisi optimum dicapai pada proses *milling* 2 jam, suhu *sintering* 1200°C (2 jam) dengan magnetisasi saturasi (Ms) = 3,87 emu/g, magnetisasi remanen (Mr) = 1,87 emu/g dan koersivitas (Hc) 741,32 Oe.

**Kata kunci:** Magnetik Komposit, Barium Heksaferit dan Karbon Aktif, *High Energy Milling*

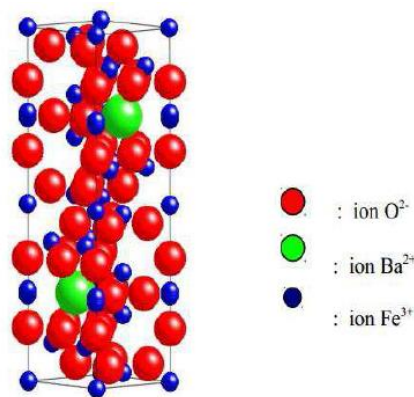
**Abstract:** BaO.6Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - C composites have been made from barium carbonate (BaCO<sub>3</sub>), Hematite (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), and Activated Carbon (C) using the *High Energy Milling* (HEM) technique with variations in *sintering* times of 750, 950, 1050, and 1200°C respectively. held for 2 hours. Comparison of BaO.6Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - C powder composition is 9: 1. The *milling* process uses the *wet milling* method with *ethanol* media. Characterization carried out included analysis of the crystal structure with *X-Ray Powder Diffraction* (XRD), and magnetic properties using a *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM). The results of XRD analysis show that the BaO.6Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - C composite has BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> phases. BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> has a *hexagonal* crystal structure with lattice parameters a = 5.038 Å and c = 14.539 Å. Meanwhile, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> has a *cubic* crystal structure with lattice parameters a = 5.025 Å and c = 13.658 Å. The optimum conditions were achieved in the 2 hour *milling* process, 1200°C (2 hours) *sintering* temperature with saturation (Ms) = 3.87 emu / g, remanent magnetization (Mr) = 1.87 emu / g and coercivity (Hc) 741.32 Oe.

**Keywords:** Composite Magnetic, Barium Hexaferrite and Activated Carbon, *High Energy Milling*

### PENDAHULUAN

Saat ini produk magnet di Indonesia khususnya magnet permanen 100% masih impor, seperti dari Jepang dan China. Kebutuhan magnet permanen sangat tinggi dan menempatkan Indonesia menjadi pasar nomor 2 di dunia. Magnet permanen banyak digunakan pada industri-industri di Indonesia, misal meteran air sampai 1 juta pcs/tahun. Belum lagi magnet untuk motor listrik dalam mendukung pengembangan mobil listrik Nasional [1]. Salah satu jenis magnet permanen adalah barium ferrit yang berbasis oksida, dan memiliki rumus kimia BaO.6Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Barium ferrit dapat disintesa menggunakan beberapa metoda seperti campuran kristalisasi gas, presipitasi hidrotermal, sol-gel, aerosol, copresipitasi, pemaduan mekanik, metalurgi serbuk, *milling*, dan reaksi padatan. Diantara metode tersebut, metode reaksi padatan merupakan metode yang lebih murah dan mudah dilakukan. Magnet permanen barium ferrit termasuk kedalam ferrit keras, karena memiliki medan saturasi yang besar serta stabilitas kimia yang tinggi [2]. Penggunaan barium heksaferit secara luas karena, selain murah juga tersedia dalam jumlah yang melimpah dan lebih tahan korosif, serta pembuatannya yang relatif mudah. Struktur

kristal barium heksaferite adalah hexagonal ferrite tipe M. Barium heksaferit mempunyai gaya koersivitas dan remanen yang tinggi dan mempunyai struktur kristal heksagonal dengan momen-momen magnetik yang sejajar antara bola-bola penghancur dan dinding chamber yang diputar dan digerakkan dengan cara tertentu [3]. Salah satu jenis ferit yang banyak dimanfaatkan adalah barium ferit ( $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ ). Pembuatan barium ferit dilakukan dengan pencampuran hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) dengan barium karbonat ( $\text{BaCO}_3$ ). Magnet barium ferit mempunyai medan koersivitas yang tinggi dan tahan terhadap korosi. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui sejauh mana, yaitu: pengaruh variasi suhu *sintering* terhadap sifat magnet dan *microstruktur* pada bahan uji  $\text{BaO.6Fe}_2\text{O}_3\text{-C}$ . Metoda yang dilakukan adalah *High Energy Milling* (HEM) dengan proses pencampuran basah (*wet mixing*). *Mechanical milling* merupakan teknik pencampuran bahan yang berfungsi untuk memperkecil ukuran partikel/kristalit baik logam, non logam maupun mineral [4]. Magnet permanen ferit dapat dibedakan menjadi dua kelompok utama, yaitu magnet keramik-*selfbonding* dan magnet agen (pengikat). Barium Ferit ( $\text{BaO.6Fe}_2\text{O}_3$ ), merupakan material ferromagnetik yang umumnya digunakan pada media perekam dengan frekuensi tinggi dan akhir-akhir ini dikembangkan sebagai material pelapis pesawat anti radar. Barium Heksaferit memiliki stabilitas kimia yang baik, sifat kekerasan yang bagus dan memiliki nilai koersivitas yang tinggi. Oleh karena itu, diharapkan kondisi terbaik diperoleh dari pencampuran bahan magnet Barium karbonat ( $\text{BaCO}_3$ ), Ferit oksida ( $6\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), dan Karbon aktif (C). Dengan hal ini, peneliti melakukan pengujian untuk meningkatkan sintesa komposit  $\text{BaO.6Fe}_2\text{O}_3\text{-C}$  dengan teknik High Energi Milling (HEM). Magnet permanen juga banyak digunakan sebagai komponen pada televisi, telepon, komputer, dan pada bidang otomotif. Penggunaan magnet permanen pada bidang otomotif, misalnya untuk *starter*, *door lock*, dan *wiper*. Barium M-heksaferit atau dikenal BaM memiliki rumus kimia  $\text{BaO.6Fe}_2\text{O}_3$  ( $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ ). Sel kompleks Barium heksaferit tersusun atas 2 sistem kristal yaitu struktur kubus-pusat-sisi (*face-centered-cubic*) dan heksagonal mampat (*hexagonal-close-packed*) seperti terlihat pada gambar 1. Keduanya tersusun dengan lapisan atom yang sama, satu lapisan diatas lapisan yang lain dalam setiap lapisan atom terletak di pusat jaringan. Sel satuan BaM berisi 2 molekul, atau totalnya  $2 \times 32 = 64$  atom. Inilah yang membuat struktur  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  memanjang ke arah sumbu z dengan  $c = 23,2 \text{ \AA}$  dan  $a = 5,88 \text{ \AA}$  [5]. Ion-ion  $\text{Ba}^{2+}$  dan  $\text{O}^{2-}$  memiliki ukuran yang besar, hampir sama dan bersifat non magnetik. Keduanya tersusun dalam model close packed (tertutup). Ion  $\text{Fe}^{3+}$  menempati posisi interstisi. Dalam sel satuan BaM, terdapat 10 lapisan dari ion-ion besar ( $\text{Ba}^{2+}$  dan  $\text{O}^{2-}$ ), dengan 4 ion di setiap lapisannya. Delapan dari lapisan-lapisan tersebut adalah oksigen, sedangkan dua lainnya berisi masing-masing satu ion barium. Seluruh blok dari 10 lapisan tersusun atas 4 blok, 2 blok kubus dan 2 blok heksagonal. Dalam blok kubus tersusun atas ion-ion oksigen yang memenuhi struktur tetrahedral dan oktahedral. Dalam setiap blok heksagonal, ion barium mengganti ion oksigen dan letaknya dilapisan tengah. Ion yang bersifat magnet dalam barium ferit hanyalah ion  $\text{Fe}^{3+}$ , tiap-tiap ion dengan nilai momen magnetik  $5 \mu\text{B}$  yang terletak dalam 3 jenis struktur kristalografi yang berbeda jenisnya yaitu tetrahedral, oktahedral dan heksahedral. Ion-ion  $\text{Fe}^{3+}$  searah dengan bidang lapisan oksigen, yang bisa sejajar atau tegak lurus dengan sumbu-z dalam  $\langle 0001 \rangle$ . Dalam setiap sel satuan terdapat 24 ion  $\text{Fe}^{3+}$ , 4 ion berada di sistem tetrahedral, oktahedral dan 2 ion dalam heksahedral. Terdapat 16 ion dengan *spin* searah dan 8 ion dengan *spin* berlawanan.



Gambar 1. Struktur barium heksaferit [4].

Barium heksaferit merupakan material magnetik dengan medan anisotropik yang tinggi sehingga dapat dimanfaatkan pada frekuensi yang lebih tinggi daripada ferit spinel atau garnet (di atas 30 GHz). Kristal magnet anisotropik berasal dari struktur kristal dengan anisotropik yang tinggi. Pertumbuhan butir struktur kristal tersebut juga bersifat anisotropik, dengan bentuk morfologi seperti bidang heksagonal yang memberikan peningkatan sisi anisotropiknya. Akibatnya, BaM menghasilkan koersifitas tinggi. Syarat itulah yang mestinya harus dimiliki oleh magnet permanen [5]. Hematite atau  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  lebih banyak digunakan untuk menghasilkan pigmen, bahan pelindung radiasi, ballast, dan masih banyak produk-produk lainnya. Arang aktif atau karbon

aktif merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 85-95% karbon yang dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi. Daya serap arang aktif sangat besar, yaitu 25-100% terhadap berat arang aktif. Karbon aktif merupakan karbon amorf dari pelat-pelat datar disusun oleh atom-atom C yang terikat secara kovalen dalam suatu kisi heksagonal datar dengan satu atom C pada setiap sudutnya yang luas permukaan berkisar antara 300 m<sup>2</sup>/g hingga 3500 m<sup>2</sup>/g dan ini berhubungan dengan struktur pori internal sehingga mempunyai sifat sebagai adsorben. Proses aktivasi merupakan suatu perlakuan terhadap arang yang bertujuan untuk memperbesar pori yaitu dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaannya. Karbon aktif mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia, yaitu luas permukaannya bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi. Pada umumnya karbon aktif dapat di aktivasi dengan dua cara, yaitu dengan cara aktivasi kimia dengan hidroksida logam alkali, garam-garam karbonat, klorida, sulfat, fosfat dari logam alkali tanah dan khususnya ZnCl<sub>2</sub>, CaCl<sub>2</sub>, asam-asam anorganik seperti H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dan aktivasi fisika yang merupakan proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan bantuan panas pada suhu 800 °C hingga 900 °C [6]. Aktivasi adalah suatu perlakuan terhadap arang yang bertujuan untuk memperbesar pori yaitu dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga arang mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia, yaitu luas permukaannya bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi. Proses yang melibatkan oksidasi selektif dari bahan baku dengan udara, juga digunakan baik untuk pembuatan arang aktif sebagai pemucat maupun sebagai penyerap uap. Bahan baku dikarbonisasi pada temperatur 400-500 °C untuk mengeliminasi zat-zat yang mudah menguap. Kemudian dioksidasi dengan gas pada 800-1000 °C untuk mengembangkan pori dan luas permukaan [7].

## METODOLOGI

Preparasi bahan baku serbuk Barium Karbonat (BaCO<sub>3</sub>), Hematit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), dan Karbon aktif (C) dengan langkah-langkah sebagai berikut: dilakukan perhitungan massa serbuk BaCO<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan C dengan perbandingan 9:1 sebanyak 3 sampel yang ditunjukkan pada Tabel 1. Perhitungan massa dilakukan dengan menggunakan neraca digital. Perbandingan massa sampel dengan bola (*ball stell*), seperti diperlihatkan pada Tabel 2.

**Tabel 1.** Komposisi Bahan Serbuk BaCO<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan C

Kode Sampel	Komposisi (g)		Perbandingan Massa (g)	
	BaCO <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub>	C
I	7,71	1,29	9	1
II	7,71	1,29	9	1

**Tabel 2.** Perbandingan sampel BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> - C dan *ball stell*

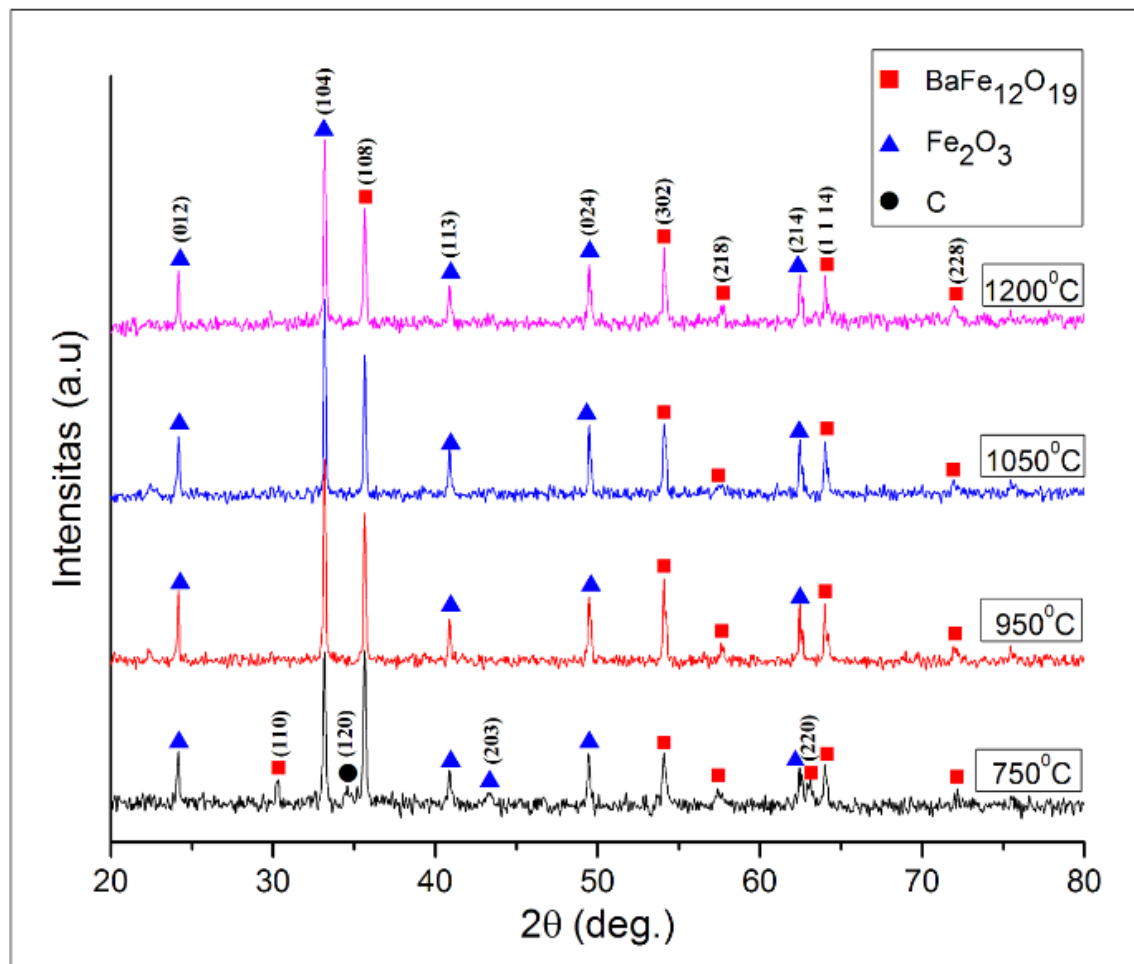
Kode Sampel	Komposisi Sampel BaFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub> - C	<i>Ball Stell</i> (± 50 g)		Perbandingan sampel dan <i>Ball Stell</i>
		Besar	Kecil	
I	10 g	40	10	1 : 5
II	10 g	30	20	1 : 5
III	10 g	20	10	1 : 5

Proses pencampuran bahan dilakukan dengan menggunakan *Shaker Mill*. Pencampuran dilakukan pada sampel yang telah di timbang dengan massa yang ditunjukkan pada tabel 1. Pencampuran bahan baku serbuk BaCO<sub>3</sub>, serbuk Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan serbuk C dimasukkan ke dalam wadah (*Jar*) dengan ditambahkan cairan *ethanol* sebagai media *milling*-nya. Bahan yang telah tercampur pada *Jar* kemudian dimasukkan ke dalam *Shaker Mill*. Lama Aktual proses *milling* dilakukan selama 3 jam [8]. Dalam proses *milling* dilakukan *interval* mesin *milling* hidup dan mati selama 15 menit. Proses pengeringan dilakukan setelah proses *milling* selesai. Tujuan dari proses ini untuk menghilangkan kadar air yang ada pada sampel BaCO<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan C. Setelah itu, pengeringan dilakukan pada temperatur 80 °C dengan menggunakan oven sampai sampel tersebut kering dan hasil maksimal pada saat proses sintering. Sintering merupakan suatu proses pembakaran yang bertujuan untuk saling mengikat

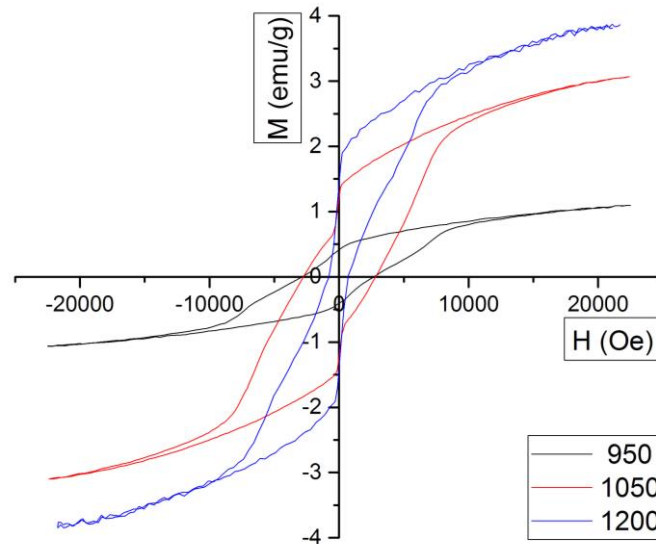
butiran-butiran dan menurunkan porositas yang dilakukan pada suhu tinggi dan untuk memperoleh sampel sesuai spesifikasi yang dibutuhkan. Pada penelitian ini menggunakan *electric furnace* dengan variasi temperatur 750, 950, 1050, dan 1200°C dengan pembakaran selama 2 jam [5]. VSM (*Vibrating Sample Magnetometer*) atau *M-H Curve Hysteresis Graph Test System* dari *Dexing Magnet Ltd* bertipe VSM250.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada suhu sintering 750, 950, 1050, dan 1200 °C masing masing ditahan selama 2 jam, menunjukkan hasil X-Ray Diffraction (XRD) memiliki tiga fasa yang terbentuk yaitu Barium ( $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ ), Hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan carbon (C). Ternyata kenaikan temperatur sintering menyebabkan terjadinya suatu perubahan akibat oksidasi artinya terjadi pelepasan unsur karbon (C). Pada dua fasa yang terbentuk masing-masing memiliki struktur kristal dan parameter kisi yang berbeda. Fasa  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  mempunyai struktur kristal *hexagonal* dengan parameter kisi  $a = b \neq c$  dengan nilai  $a = 5,038 \text{ \AA}$  dan  $c = 14,534 \text{ \AA}$ . Nilai parameter kisi diperoleh pada sudut difraksi 35,64 dengan nilai indeks *miller* (108). Fase  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  mempunyai struktur *rhombohedral* dengan parameter kisi  $a = b \neq c$  dengan nilai  $a = 5,042 \text{ \AA}$  dan nilai  $c = 13,767$ . Nilai parameter kisi diperoleh pada sudut difraksi 33,18 dengan nilai indeks *miller* (104). Untuk analisa selanjutnya tidak dilakukan pada suhu 750°C, karena di atas temperatur tersebut telah terjadi pelepasan unsur karbon.



**Gambar 2.** Pola  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  - C yang disintering 750, 950, 1050, dan 1200 °C dengan penahanan 2 jam.



**Gambar 3.** Kurva histerisis komposit  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19} - \text{C}$ , dengan variasi suhu sintering (950, 1050 dan  $1200^{\circ}\text{C}$ ) dengan penahanan selama 2 jam dan perbandingan komposisi 9:1.

Pada Tabel 3, dapat dilihat masing masing nilai magnetik saturasi ( $M_s$ ), momen *magnetic remanen* ( $M_r$ ), *koersivitas magnetic intrinsic* ( $H_c$ ) sebagai fungsi temperatur sintering.

**Tabel 3.** Nilai  $M_s$ ,  $M_r$  dan  $H_c$  pada temperatur 950, 1050 dan  $1200^{\circ}\text{C}$ , ditahan selama 2 jam.

Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )	$M_s$ (emu/g)	$M_r$ (emu/g)	$H_c$ (Oe)
950	1,10	0,40	2771
1150	3,07	1,24	2787
1200	3,87	1,87	741,3

Dari Tabel di atas yang terbaik adalah yang memiliki  $M_s$  dan  $M_r$  yang tinggi dan nilai  $H_c$  yang rendah. Hal ini dimiliki sampel III, komposit  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19} - \text{C}$  dengan suhu sintering  $1200^{\circ}\text{C}$  ( 2 jam) yaitu: nilai  $H_c = 741.28\text{Oe}$ ,  $M_s = 3.87\text{emu/g}$ , dan  $M_r = 1.87\text{emu/g}$ .

## KESIMPULAN

Telah berhasil pembuatan magnet komposit  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19} - \text{C}$  variasi suhu sintering 750, 950, 1050, dan  $1200^{\circ}\text{C}$  penahanan 2 jam dengan proses *mixing* menggunakan *High Energy Milling* (HEM). Berdasarkan analisis komposit  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19} - \text{C}$  dengan suhu sintering di atas  $750^{\circ}\text{C}$ , telah terjadi oksidasi pelepasan carbon sehingga membentuk senyawa komposit dengan fasa  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  memiliki struktur kristal *hexagonal* dengan parameter kisi  $a = 5.038 \text{ \AA}$  dan  $c = 14.539 \text{ \AA}$ . Sedangkan ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) mempunyai struktur kristal *rhombohedral* dengan parameter kisi  $a = 5.025$  dan  $c = 13.658$ . Hasil uji *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM) menunjukkan bahwa kondisi optimum diperoleh pada kondisi suhu sintering  $1200^{\circ}\text{C}$  (2 jam) dengan magnetisasi saturasi ( $M_s$ ) =  $3.87 \text{ emu/g}$ , magnetisasi remanen ( $M_r$ ) =  $1.87 \text{ emu/g}$  dan koersivitas ( $H_c$ )  $741.28 \text{ Oe}$ . Komposit  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19} - \text{C}$  sangat berpotensi digunakan sebagai komponen motor listrik

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hilda Ayu Marlina, Syahrul Humaidi, Manis Sembiring, dan Perdamean Sebayang. Pembuatan Magnet Bonded Permanen  $\text{PrFeB}$  dengan *Binder Polyester* dan *Silicone Rubber*.

- [2] Fernandez, B. R. 2011. Sintesis Nanopartikel. Program Studi Kimia. Pascasarjana Universitas Andalas Padang.
- [3] Afza, Erini. 2011. Pembuatan Magnet Permanen Ba-Heksaferit ( $BaO.6Fe_2O_3$ ) dengan Metode Kopresipitasi dan Karakterisasinya. Skripsi. Program Sarjana. Universitas Sumatra Utara
- [4] Silviana Simbolon, Anggito P Tetuko, Perdamean Sebayang, Kerista Sebayang, dan Herli Ginting, Sintesis dan Karakterisasi *Barium M-Heksaferit* Dengan Doping Ion Mn dan Temperatur *Sintering*
- [5] Martha Rianna, Timbangan Sembiring, Candra Kurniawan, Eko Arief Setiadi, Silviana Simbolon, Masno Ginting, dan Perdamean Sebayang. *Microstructure and Magnetic Properties of  $BaFe_{12-2x}Mg_xAl_xO_{19}$  for Microwave Absorbing Materials*
- [6] M. TAWALBEH, Journal of Applied Science, 5(3)(2005)482-487
- [7] Ami Cobb, Mikel Warms, Edwin P. Maurer, dan Steven Chiesa. 2012. Low-Tech Coconut Shell Activated Charcoal Production. *International Journal for Service Learning in Engineering*. Vol. 7, No. 1, pp. 93-104, Spring 2012
- [8] Suryatin. 2008. Efek Waktu Milling Terhadap Karakteristik Sinter dari Magnet Permanen Barium Heksaferit. Prosiding pertemuan Ilmiah XXXVIII HFI. Tangerang Selatan.