

PENGEMBANGAN BAHAN MAGNETIK BARIUM HEKSAFERRITE DARI MINERAL YAROSIT ALAM DAN KARAKTERISASINYA

Saragi, T.,¹ Syakir, N.,¹ Noelik, E.,¹ dan Gustaman, D.²

¹Jurusan Fisika Universitas Padjadjaran

²Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN) Bandung

E-mail: t.saragi@phys.unpad.ac.id

ABSTRAK

Bahan magnet permanen Barium Heksaferrite ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) telah berhasil dibuat dengan metode reaksi padatan dengan bahan dasar Fe_2O_3 yang diperoleh dari pemurnian bahan alam mineral yarosit. Dalam paper ini akan dikaji pengaruh penambahan aditif CuO-TiO_2 dengan konsentrasi 3% mol dan variasi suhu sintering (1000°C , 1150°C dan 1300°C) terhadap kualitas dan karakteristik energi potensial maksimum $(\text{B-H})_{\text{max}}$ $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$. Berdasarkan pengukuran struktur kristal (XRD), kualitas puncak kristal $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ meningkat seiring dengan berkurangnya puncak pengotor baik terhadap suhu sintering maupun terhadap penambahan aditif. Dari pengukuran SEM dihasilkan adanya peningkatan ukuran butiran terhadap suhu sintering dan terhadap penambahan aditif. Dari pengukuran Permagraph pada sampel tanpa aditif, dihasilkan peningkatan $(\text{B-H})_{\text{maks}}$ terhadap semua variasi suhu sintering, sedangkan pada sampel dengan aditif, dihasilkan peningkatan $(\text{B-H})_{\text{maks}}$ sampai pada suhu 1150°C dan berkurang pada suhu 1300°C . Penambahan aditif (CuO-TiO_2) akan menurunkan suhu sintering, namun menyebabkan ukuran butiran semakin besar, sehingga mengurangi kualitas energi potensial yang dihasilkan.

Kata kunci: Magnet, magnetisasi, ukuran butiran, $(\text{B-H})_{\text{maks}}$

MAGNETIC MATERIALS DEVELOPMENT OF BARIUM HEKSAFERRITE PREPARED FROM PRECIPITATION OF YAROSIT AND IT'S CHARACETRIZATION

ABSTRACT

The permanent magnet of Barium Heksaferrite ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) has been succesfully synthesized by solid state reaction method with Fe_2O_3 prepared from precipitation of natural product of yarosit mineral. In this paper, effect of addition of CuO-TiO_2 at a concentration of 3% mol and various of sintering temperature (1000°C , 1150°C dan 1300°C) to their characteristics of the maximum potential energy $(\text{B-H})_{\text{max}}$ of barium heksaferrit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) materials will be presented. XRD spectrum show that the crystal quality of $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ increase with decreasing impurity peaks by sintering temperature as well as by adding of CuO-TiO_2 . SEM images show grain size increase with increaseing sintering temperature also with adding the additives. The values of $(\text{B-H})_{\text{max}}$ of the samples without additives increase with the sintering temperature. The values of $(\text{B-H})_{\text{max}}$ of the samples with 3% additives increase at sintering temperature of 1000°C and 1150°C , however it decreases at sintering temperature of 1300°C . The addition of additives decreases the sintering temperature and increases the crystal growth, but decreases the value of $(\text{B-H})_{\text{max}}$ related to increase the grain size.

Key words: Magnet, magnetization, grain size, $(\text{B-H})_{\text{Max}}$

PENDAHULUAN

Kajian magnetisme membahas banyak hal terutama pada interaksi antara bahan dan medan magnet, serta energi potensial yang dimiliki oleh bahan magnetik itu sendiri. Interaksi ini dapat diamati melalui

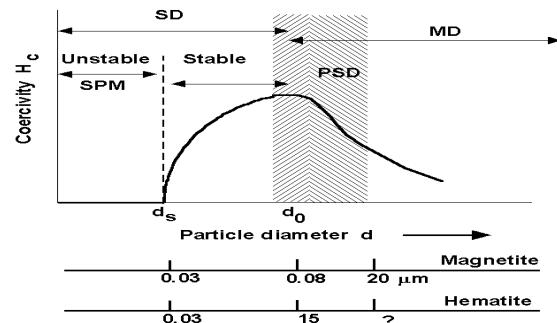
perubahan momen magnet (magnetisasi) atau gaya magnetik yang dialami sampel akibat distribusi medan magnet (Gignoux & Schlenker, 2005). Setiap bahan magnetik dalam skala atom akan menghasilkan arus (kecil) sebagai akibat dari orbit elektron sekitar inti dan spin elektron pada sumbunya. Ketika

medan magnet diaplikasikan, maka akan terjadi penyearahan dipol-dipol magnetik, dan bahan tersebut akan terpolarisasi secara magnetik (termagnetisasi) (Furlani, 2001).

Magnet Ferit adalah salah satu bahan magnet yang sering ditemui dengan rumus senyawa $XO \cdot 6(Fe_2O_3)$ dan sering dikenal dengan Heksa-Ferit, dimana X adalah unsur Ba, Sr dan O adalah oksigen. $BaFe_{12}O_{19}$ (Barium heksa-ferit) memiliki struktur kristal heksagonal (parameter kisi $a = 5,888 \text{ \AA}$ dan $c = 23,228 \text{ \AA}$) (Adelskold, 1938) dan parameter kemagnetan lainnya seperti koersif (Isotropik (H_{CB}) = 1,1625 KOe -1,8125 KOe, remanen $B_r = 0,19 \text{ T} - 0,22 \text{ T}$ dan $(BH)_{max}$ yang cukup besar $(B-H)_{max} = 6,5 \text{ KJ/m}^3 - 9 \text{ KJ/m}^3$) (Smith, 2006). Selain itu bahan ini juga memiliki keunggulan lain yaitu memiliki temperatur Currie yang tinggi (590°C) (Furlani, 2001) dan resistivitas korosi yang baik (Kotnala, 1992) dengan harga prekursor atau bahan dasar yang lebih murah dibandingkan dengan NdFeB, AlNiCo dan SmCo. Beberapa aplikasi bahan barium heksaferite meliputi: ferit sinter untuk aplikasi magnet motor DC, *loud speaker*, *stepping motor rotor* dan *water meter*, *magnetic rubber* dan *plastic bonded magnet*, *wave guide* (Zhou *et al.*, 2010), *mm wave phase filter* (Wang *et al.*, 2010), *magnetic recording* (Higuchi *et al.*, 1998). Magnet permanen (*hard magnetik*) memiliki koersif $> 1000 \text{ A/m}$. Empat kelompok magnet permanen yang sering digunakan dalam aplikasi industri adalah: magnet NdFeB, AlNiCo SmCo ($SmCo_5$ dan Sm_2Co_{17}) (Gignoux *et al.*, 2005). Karakteristik magnetik ini sangat dipengaruhi oleh beberapa hal, salah satu diantaranya adalah domain.

Keberadaan ukuran domain sangat mempengaruhi karakteristik permanen magnet khususnya koersif (H_{CB}) dan induksi remanen (B_r) yang bervariasi terhadap ukuran butiran. Berdasarkan ukuran butiran sifat magnetik dapat dibagi menjadi 4 bagian yaitu: *unstable single domain* (Superparamagnetik/SPM), *stable Single Domain* (SD), *Pseudo Single Domain* (PSD) dan *Multi Domain* (MD) seperti ditunjukkan dalam Gambar 1 (Moskowitz, 1991). Koersif maksimum dapat diperoleh pada saat ukuran

butiran berada dalam rentang SD yaitu 30 nm sampai dengan 80 nm. Semakin besar ukuran butiran, koersif akan cenderung menurun sejalan dengan terbentuknya domain-domain (multidomain) oleh butiran tersebut. Demikian juga sebaliknya, jika ukuran butiran semakin kecil dalam rentang SPM, koersif akan menurun sebagai akibat pengaruh energi termal yang menyebabkan terjadinya magnetisasi acak. Nilai koersif maksimum dalam rentang SD adalah 0.08 \mu m (80 nm) dan nilai ini merupakan batas kritis diameter partikel (d_0) dalam rentang SD. Analisa karakteristik domain merupakan proses yang sangat penting untuk menghasilkan energi potensial magnetik $(BH)_{max}$ sebagai suatu acuan pertimbangan aplikasi bahan, baik dalam teknologi preparasi bulk, lapisan tipis maupun nanomagnetik. Energi ini adalah produk antara medan magnet induksi B dan medan magnet aplikasi H yang menghasilkan nilai maksimum yang diperoleh melalui pengolahan data hasil pengukuran kurva histeresis loop pada kuadran kedua (kurva demagnetisasi).



Gambar 1. Pengaruh diameter ukuran butiran terhadap koersif bahan magnetit dan hematit. SPM adalah Super Para Magnetik, SD adalah single domain, PSD adalah Pseudo Single Domain dan MD adalah Multi Domain (Moskowitz, 1991).

Berdasarkan analisa di atas, maka perumusan masalah yang dikaji dalam makalah ini adalah bagaimana pengaruh penambahan aditif dan temperatur sintering terhadap kualitas kristal dan karakteristik energi potensial maksimum $(B-H)_{max}$ pada sampel barium heksaferit ($BaFe_{12}O_{19}$).

BAHAN DAN METODE

Barium-Ferit dibuat dengan menggunakan campuran bahan Fe_2O_3 dan BaCO_3 dengan menggunakan metode metalurgi. Untuk memperkecil biaya produksi $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$, maka digunakan bahan mineral Yarosit. Dengan asumsi bahwa kualitas magnet $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dapat ditingkatkan melalui penambahan aditif dan proses preparasinya, maka pada penelitian ini dilakukan pembuatan sampel $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dengan memperhatikan dua hal, yaitu pertama penambahan bahan aditif dan kedua variasi suhu sintering. Untuk meneliti pengaruh penambahan aditif, sampel dipreparasi dalam dua jenis, yaitu jenis sampel tanpa aditif dengan kode sampel A dan jenis sampel dengan tambahan bahan aditif CuO-TiO_2 pada konsentrasi 3% mol dengan kode sampel B. Penambahan aditif ini diharapkan akan dapat meningkatkan kualitas kristal dan energi potensial magnetik. Selain itu kedua jenis sampel ini juga dipanaskan (disintering) pada variasi suhu 1000°C , 1150°C dan 1300°C .

Pada tahap awal dilakukan sintesis serbuk Fe_2O_3 dari bahan mineral Yarosit dengan metoda kopresipitasi. Metode ini meliputi pelarutan mineral Yarosit dengan HCl, penyaringan (menghasilkan $\text{Fe}(\text{OH})_3$), dan kalsinasi (menghasilkan Fe_2O_3). Selanjutnya hasil kopresipitasi mineral Yarosit dikarakterisasi dengan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) untuk mengetahui kemurnian kandungan Fe_2O_3 . Pada tahap kedua adalah mencampur aditif CuO-TiO_2 . Pada tahap ketiga adalah pembuatan $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dengan mencampurkan Fe_2O_3 hasil pemurnian, BaCO_3 , dan (CuO-TiO_2) sesuai dengan komposisinya masing-masing. Campuran digerus kemudian dikalsinasi, dikompaksi dengan tekanan 90 kg/cm^2 , disinter pada variasi suhu 1000°C , 1150°C dan 1300°C dan dikarakterisasi dengan XRD, SEM dan PERMAGRAPH.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 menunjukkan komposisi kandungan senyawa setelah proses kopresipitasi. Tingkat kemurnian Fe_2O_3 setelah

proses pemurnian ini mencapai nilai kemurnian 91%. Nilai ini cukup tinggi dibandingkan dengan hasil yang dilakukan sebelumnya yaitu sebesar 55.9% walaupun masih jauh dibawah kemurnian *pro analysis* (*p.a*). Namun demikian nilai kemurnian dari kopresipitasi ini menunjukkan bahwa kekayaan alam yang dimiliki Indonesia dapat dimanfaatkan untuk pengembangan material permanen magnet.

Tabel 1. Hasil analisis kandungan Kopresipitasi mineral Yarosit.

Nama Senyawa	(%) Kandungan
FeO	1,440
Fe_2O_3	91
TiO_2	0,940
SiO_2	0,100
Al_2O_3	1,290
CaO	0,058
MgO	0,071
K_2O	1,000
Na_2O	0,049
Mn	0,068

Pengukuran kerapatan sampel sebelum dan sesudah sintering dilakukan untuk melengkapi analisa keadaan mikrostrukturnya. Hasil pengukuran tersebut ditampilkan pada Tabel 2 (sebelum sampel disintering) dan Tabel 3 (sesudah sampel disintering). Dari Tabel 2 dan Tabel 3 terlihat peningkatan kerapatan terhadap temperatur sintering (sampel $A_{1ts} = 3,71$ menjadi 3,36 (sampel A_{1s}), sampel $A_{2ts} = 3,72$ menjadi 3,50 (sampel A_{2s}), sampel $A_{3ts} = 3,70$ menjadi 3,64 (sampel A_{3s}), sampel $B_{1ts} = B_{1s} = 3,58$ tidak terjadi perubahan, sampel $B_{2ts} = 3,78$ menjadi 3,84 (sampel B_{2s}), dan sampel $B_{3ts} = 3,70$ menjadi 4,13 (sampel B_{3s}). Hal ini mengindikasikan secara umum terjadinya pertumbuhan kristal bahan yang baik artinya terbentuk kontak/jarak antar butiran yang semakin kecil dengan berkurangnya pori antar partikel. Namun kerapatan sampel dengan bahan aditif lebih besar dibandingkan dengan tanpa aditif, yang mengindikasikan

jarak antara molekul penyusunnya semakin dekat sehingga menyebabkan terjadinya reaksi yang semakin baik dan menyebabkan peningkatan ukuran butiran terhadap penambahan suhu sintering, seperti yang ditunjukkan melalui analisis SEM pada Gambar 3.

Gambar 2 menunjukkan pola XRD untuk sampel tanpa aditif dan sampel dengan aditif yang disintering pada suhu 1000°C, 1150°C dan 1300°C. Dari pola XRD tersebut tampak bahwa jumlah puncak impurity hasil XRD semakin berkurang terhadap pertambahan temperatur. Ini menandakan peningkatan kualitas kristal sampel $BaFe_{12}O_{19}$ yang semakin baik. Pada pola XRD sampel B_{1s} , B_{2s} , B_{3s} tampak ada beberapa tambahan puncak lain yang kemungkinan besar berasal dari aditif ($CuO-TiO_2$), yang dapat mempengaruhi sifat kemagnetan bahan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 6. Hasil XRD sampel B_{2s} (aditif, suhu sintering 1150°C) dan A_{3s} (tanpa aditif, suhu sintering 1300°C) memiliki kualitas kristal yang

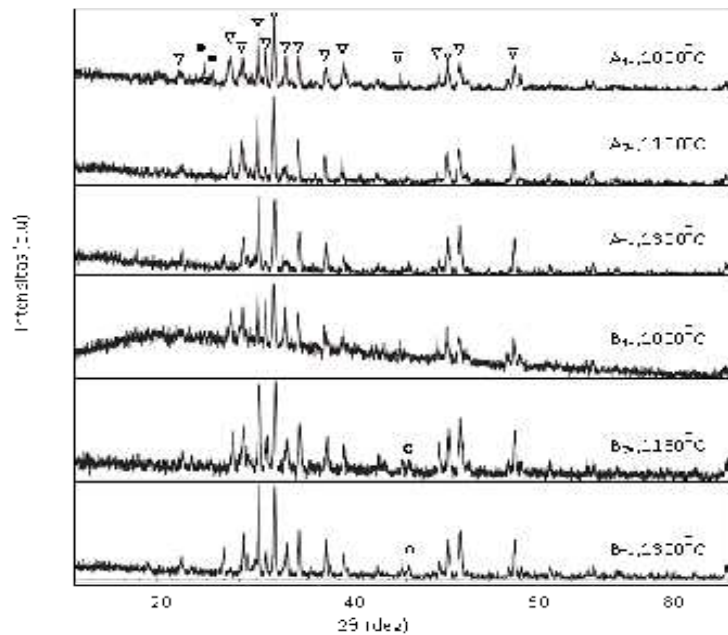
hampir sama. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan aditif dapat menurunkan suhu sintering dengan mempertahankan ukuran butiran yang relatif kecil. Dari 10 puncak maksimum dapat ditentukan parameter kisi \bar{a} dan \bar{c} seperti ditunjukkan pada tabel 4. Rentang perbandingan konstanta kisi \bar{c}/\bar{a} adalah 3,8804-3,9836 (baik tanpa aditif maupun dengan aditif). Nilai konstanta kisi yang diperoleh hampir mendekati nilai data standard JCPDS= 3,9384. Hal ini mengindikasikan bahwa fase bahan magnet barium heksaferite sudah terbentuk baik tanpa atau dengan penambahan aditif. Berdasarkan uraian di atas, yaitu adanya peningkatan kerapatan terhadap penambahan aditif, penurunan jumlah puncak pengotor (*impurities*) serta perubahan nilai konstanta kisi yang sangat kecil (mendekati nilai JCPDS) dapat dikatakan bahwa secara umum penambahan aditif hanya bersifat katalis yang mampu mempercepat pertumbuhan kristal barium heksaferit tanpa mengubah fase dan struktur kristal yang terbentuk.

Tabel 2. Parameter fisik pelet sampel sebelum disintering

Kode Sampel	Aditif (%)	$BaFe_{12}O_{19}$ (%)	Volume (cm ³)	Massa (gram)	ρ (g/cm ³)
A_{1ts}			0,2670	0 9913	3,7127
A_{2ts}	0	100	0,2822	1,0520	3,7279
A_{3ts}			0,2687	0,9955	3,7049
B_{1ts}			0,2742	0,9820	3,5826
B_{2ts}	3	97	0,2649	1,0018	3,7818
B_{3ts}			0,2689	0,9938	3,6958

Tabel 3. Parameter fisik pelet sampel sesudah disintering

Kode Sampel	T_s (°C)	Volume (cm ³)	Massa (gram)	ρ (g/cm ³)
A_{1s}	1000	0,288	0,97	3,36
A_{2s}	1150	0,291	1,02	3,50
A_{3s}	1300	0,263	0,96	3,64
B_{1s}	1000	0,268	0,96	3,58
B_{2s}	1150	0,250	0,96	3,84
B_{3s}	1300	0,232	0,96	4,13



Gambar 2. Pola XRD $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ untuk (a) sampel A_{1s} , (b) sampel A_{2s} , (c) sampel A_{3s} , (d) sampel B_{1s} , (e) sampel B_{2s} , (f) sampel B_{3s} . (∇ adalah puncak $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$, \bullet adalah puncak impuritas dari BaCO_3 dan Fe_2O_3 yang belum bereaksi sempurna, dan o adalah puncak impuritas yang diperkirakan dari puncak senyawa CuO-TiO_2).

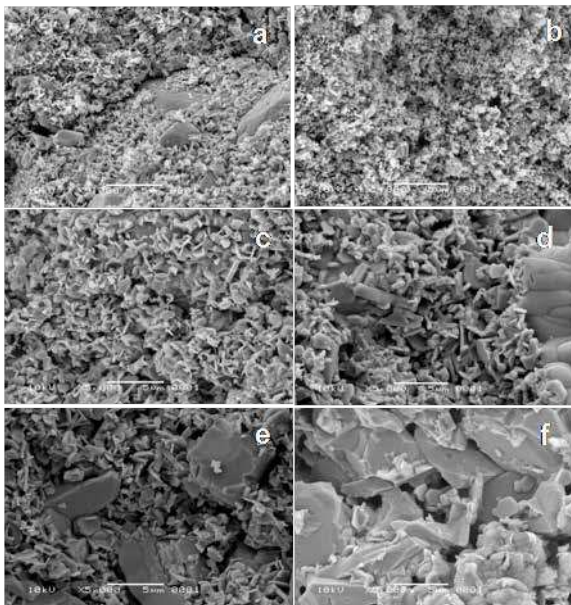
Tabel 4. Perbandingan konstanta kisi (\AA) tiap sampel terhadap suhu sintering.

Kode Sampel	\bar{a}	\bar{c}	$\frac{\bar{c}}{\bar{a}}$	Temperatur sinter
A_{1s}	5,8719	23,3915	3,9836	1000
A_{2s}	5,8970	23,3207	3,9546	1150
A_{3s}	5,8778	23,1222	3,9338	1300
B_{1s}	5,9177	23,2850	3,9348	1000
B_{2s}	5,8828	22,8280	3,8804	1150
B_{3s}	5,8791	23,1777	3,9423	1300

Dari hasil pengukuran SEM seperti terlihat pada Gambar 3 di atas, menunjukkan adanya peningkatan ukuran butiran terhadap suhu sintering baik untuk sampel tanpa aditif maupun dengan aditif, walaupun homogenitas ukuran butiran yang masih rendah. Ukuran kristal yang paling besar diperoleh pada sampel dengan aditif 3% dan suhu sintering 1300°C . Hal ini kemungkinan disebabkan hadirnya fasa

cair dari aditif yang terjadi pada temperatur 1175°C sebagaimana dilaporkan dalam (Soom, 1997) sehingga dapat mempercepat proses pertumbuhan butiran. Ukuran butiran sampel Barium Heksaferit berdasarkan pengukuran SEM ditabulasikan pada Tabel 5. Secara umum ukuran butiran bertambah terhadap suhu, baik pada sampel tanpa aditif maupun pada sampel dengan penambahan aditif, walaupun pada suhu 1000°C ,

ukuran butiran sampel tanpa aditif lebih besar dibandingkan dengan sampel dengan aditif. Hal ini mengindikasikan bahwa pada sampel dengan aditif yang disintering pada suhu 1000°C memiliki reaksi lebih baik dan ukuran butiran yang relatif homogen dan kecil dibandingkan dengan sampel tanpa aditif. Pada suhu sintering 1150°C dan 1300°C, ukuran butiran sampel tanpa aditif lebih kecil dibandingkan dengan ukuran butiran sampel dengan penambahan aditif. Pada sampel A (tanpa aditif) sampel mencapai batas kritis ukuran butiran (1 μ m) pada suhu sintering 1300°C, sedangkan pada sampel B (dengan aditif) sampel mencapai batas ukuran butiran pada temperatur sintering 1150°C. Berdasarkan data-data kerapatan, struktur kristal dan ukuran butiran di atas, sampel tanpa aditif memiliki karakterisasi yang lebih baik pada suhu sintering 1300°C, sedangkan sampel dengan aditif memiliki karakterisasi yang lebih baik pada suhu 1150°C. Dengan demikian penambahan aditif dapat menurunkan suhu sintering.



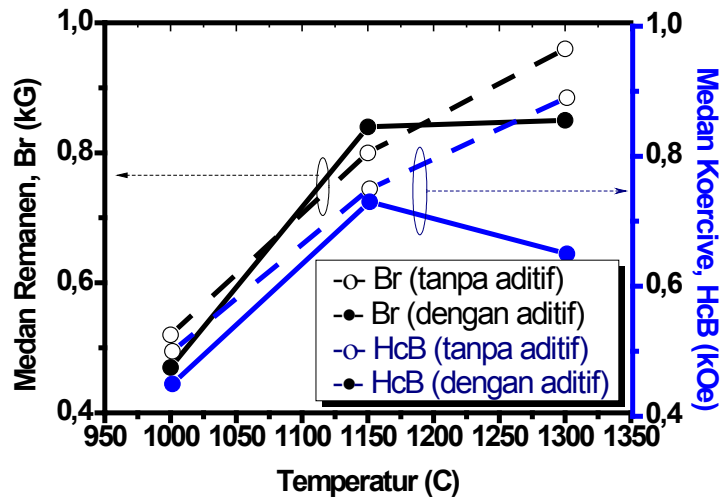
Gambar 3. Hasil SEM pada perbesaran 5000X untuk (a) sampel A_{1s}, (b) sampel B_{1s}, (c) sampel A_{2s}, (d) sampel B_{2s}, (e) sampel A_{3s} dan (f) sampel B_{3s}.

Tabel 5. Ukuran butiran sampel BaFe₁₂O₁₉ tanpa dan dengan aditif.

Kode Sampel	ukuran butiran (μ m)
A _{1s}	0,20 – 0,40
A _{2s}	0,30 – 0,60
A _{3s}	0,80 – 1,00
B _{1s}	0,15 – 0,30
B _{2s}	0,75 – 1,75
B _{3s}	2,00 – 6,00

Ukuran butiran di atas, tentunya akan mempengaruhi sifat kemagnetan bahan yang dihasilkan. Sifat kemagnetan seperti induksi remanen (B_r) dan koersif (H_{cb}) sangat dipengaruhi oleh ukuran butiran dan distribusi ukuran butiran (Moskowitz, 1991, Vidyawathi, 2002). Dari hasil pengukuran PERMAGRAPH diperoleh besaran-besaran medan induksi remanen (B_r) dan medan koersif (H_{cb}) seperti ditunjukkan pada Tabel 6. Pada sampel A diperoleh bahwa sifat kemagnetan atau magnetisasinya bertambah terhadap suhu sintering, sedangkan pada sampel B khususnya pada sampel B_{2s} dan B_{3s} sifat kemagnetan berkurang oleh karena kecenderungan momen magnet terorientasi secara acak atau terbentuknya pseudo single domain dan multi domain dengan ukuran butiran melampaui batas kritis partikel *single domain* BaFe₁₂O₁₉. Sifat kemagnetan semakin meningkat jika partikel yang dihasilkan berukuran dibawah batas kritis butiran *single domain* (1 μ m) dan akan cenderung menurun jika butiran yang dihasilkan lebih besar dari (1 μ m) karena akan terbentuk *pseudo single domain* dan multi domain, yang diikuti dengan menurunnya nilai (H_{cb}) bahan magnetik sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.

Karakteristik energi potensial maksimum dari hasil pengukuran dapat dilihat seperti pada Tabel 6. Berdasarkan pengukuran struktur kristal (XRD), morfologi permukaan (SEM) dan permagraph dapat dianalisa bahwa penambahan aditif hanya mempercepat pertumbuhan kristal, menyebabkan ukuran butiran semakin besar, dan mengurangi kualitas energi potensial



Gambar 4. Kurva medan magnetik remanen (B_r) dan medan magnetik coercive (H_{cB}) terhadap temperatur sintering tanpa aditif (o) dan dengan aditif (●).

Tabel 6. Karakteristik magnet dan $(BH)_{max}$ barium heksaferit.

Spl	B_r (kG)	$(BH)_{max}$	H_{max} (kOe)	H_{cJ} (kOe)	H_{cB} (kOe)	B_a (kG)	H_a (kOe)
A _{1s}	0,52	0,04	15450	4,300	0,502	0,42	0,10
A _{2s}	0,80	0,16	15400	3,950	0,752	0,39	0,40
A _{3s}	0,96	0,21	15650	3,650	0,892	0,38	0,55
B _{1s}	0,47	0,04	15400	3,510	0,451	0,37	0,10
B _{2s}	0,84	0,16	15700	2,462	0,730	0,46	0,35
B _{3s}	0,85	0,12	15350	1,623	0,658	0,23	0,50

Keterangan: satuan $(BH)_{max}$ adalah MGOe

yang dihasilkan. Nilai $(B-H)_{max}$ terhadap suhu pada kondisi tanpa aditif terlihat hampir linier, namun pada kondisi dengan aditif peningkatan hanya terjadi sampai pada temperatur 1150°C dan selanjutnya mengalami penurunan yang sangat tajam pada temperatur 1300°C. Penurunan ini sesuai dengan karakteristik sampel mulai dari munculnya puncak tambahan (XRD) sampai pada meningkatnya kerapatan dan ukuran butiran yang semakin besar (SEM). Selain faktor di atas, nilai energi $(B-H)_{max}$ sangat dipengaruhi oleh kualitas bahan Fe_2O_3 hasil kopresipitasi yang hanya memiliki kemurnian 91%.

SIMPULAN

Telah dihasilkan magnet permanen barium heksaferite dari bahan alam Yarosit melalui teknik pemurnian dengan kemurnian 91%. Sampel tanpa penambahan aditif, kualitas kristal, ukuran butiran dan energi potensial maksimum $(B-H)_{max}$ meningkat terhadap peningkatan suhu sintering. Sedangkan pada sampel dengan penambahan aditif 3% mol, pada suhu sintering 1000°C sampai dengan 1150°C diperoleh peningkatan kerapatan sampel, ukuran butiran dibawah batas kritis partikel *single domain* (1 μ m) dan meningkatnya energi potensial maksimum $(B-H)_{max}$, namun pada suhu sintering 1300°C

diperoleh kecenderungan penurunan kerapatan dan ukuran butiran yang lebih besar dari 1 μ m sehingga muncul *pseudo single* domain dan multi domain yang dapat menurunkan sifat kemagnetan dan energi potensial $(B-H)_{\max}$ bahan. Penambahan aditif (CuO – TiO₂) akan menurunkan suhu sintering. Namun disisi lain penambahan aditif menyebabkan ukuran butiran semakin besar, sehingga mengurangi kualitas energi potensial yang dihasilkan. Untuk meningkatkan kualitas magnetik bahan ini kedepan maka dapat dilakukan beberapa hal yaitu: peningkatan kualitas Fe₂O₃, mengontrol ukuran butiran dengan menghindari munculnya fase cair, dan sintesis nanopartikel Barium Heksaferrit dibawah rentang batas kritis domain baik dengan teknik sol-gel, hydrothermal maupun dengan teknik deposisi dalam bentuk lapisan tipis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN) Bandung yang memberikan fasilitas untuk melakukan sintesis dan preparasi bahan magnetik. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Fisika Universitas Padjadjaran atas terlaksananya acara seminar nasional energi 2010 (SNE-2010), panitia SNE-2010 yang telah melakukan seleksi paper sehingga makalah ini terpilih sebagai makalah pilihan, serta kepada Bionatura atas kerjasamanya untuk memuat makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

Adelskold V. 1938. Ark. Kemi. Min. Geol. 12A, 29 in Okamoto, S. Sekizawa, H. and Okamoto, S.I. 1975. Hydrothermal Synthesis, Structure and Magnetic Properties of Barium Diferrite. J. Phys. Chem. Solids, 36: 591-595.

Edward, F.P. 2001. Permanen Magnet and Electromechanical Devices. Materials, Analysis, and Application. New York: Academic Press.

Gignoux D., & Schlenker M. 2005. Magnetism Vol. 2, Materials and Applications, Boston: Springer.

Kazuo, H., Takahashi, S., Itoh, H. & Naka, S. 1988. Synthesis of barium hexaferrite for magnetic recording media using the KCl flux system. Journal of Materials Science, 23(2): 588-592.

Kotnala, R.K. 1992. Magneto-Optical Properties of Barium Ferrite Sputtered Films. Bull. Mater. Sci., 15(2): 149-152.

Bruce M.M. 1991. Domain Theory, Hitchhiker's Guide to Magnetism for the Environmental Magnetism Workshop. Institute for Rock Magnetism. http://www.irm.umn.edu/hg2m/hg2m_d/hg2m_d.html.

Smith, F.W. 2006. Foundations of Material Science and Engineering. Mc. Graw Hill. New York.

Soom, M.B. 1997. Fundamental Of Ceramics. New York: Mc Graw Hill.

Vidyawathi, S.S., Amaresh, R. & Satapathy, L.N. 2002. Effect Boric Acid Sintering Aid On Densification Of Barium Ferrite. Science, 25(6): 569-572.

Zihui, W., Song, Y.Y., Sun, Y., Bevivino, J., Wu, W., Veerakumar, V., Timothy J. Fal, & Camley, R.E. 2010. Millimeter wave phase shifter based on ferromagnetic resonance in a hexagonal barium ferrite thin film. Applied Physics Letters, 97: 0725091-3.

Zhou, T., Berre, M.L., Benevent, E., Dehlinger, A.S., Calmon, F., Verney, E., Perrot, S., & Gervy, B.P. 2010. Coplanar waveguides with or without barium ferrite thin film. Microwave Opt Technol Lett., 52: 2007–2010.