

PENINGKATAN SIFAT MAGNETIK MATERIAL HEMATIT MELALUI SUBTITUSI BARIUM DAN KONTROL TEMPERATUR SINTERING

Wahyu Widanarto*, Fuzi Nurrahman Fauzi, Wahyu Tri Cahyanto dan Mukhtar Effendi

Jurusan Fisika, FMIPA – Universitas Jenderal Soedirman

*Korespondensi penulis, Email: wahyu.widanarto@unsoed.ac.id

Abstract

Ferrite magnet or ceramic magnet is a competitive product in the magnet market due to low price, corrosion resistant and chemically stable. Barium hexa-ferrite magnet is one of ferrite magnet which is mostly used as magnetic storage and electronic devices based on nanotechnology. Barium hexa-ferrites are synthesized through solid state reaction method at sintering temperatures of 1100 °C with the composition $(100-x)\text{Fe}_2\text{O}_3 : x\text{BaCO}_3$, where $x = 0$ and 20 in mol %. Results of XRD characterization show that the diffraction peaks of XRD spectrum is dominated by the peaks of barium ferrite crystal with a hexagonal crystal system. Magnetic properties of Fe_2O_3 material doped with barium carbonate of 20 mol % and sintered at 1100 °C increase significantly compared to the others. This simple and inexpensive method is very promising for the manufacture of barium hexa-ferrite materials with natural ferrite as the main material.

Keywords: Iron sand, barium ferrite, structure, magnetic properties

Abstrak

Magnet ferit atau magnet keramik merupakan produk kompetitif dalam pasar magnet karena harganya yang murah, tahan terhadap korosi dan stabil secara kimiawi. Magnet barium heksaferit merupakan salah satu magnet ferit yang banyak digunakan sebagai penyimpan magnetik dan piranti elektronik berbasis teknologi nano. Barium heksaferit disintesa melalui metode reaksi padatan pada temperatur sintering 1100 °C dengan komposisi $(100-x)\text{Fe}_2\text{O}_3 : x\text{BaCO}_3$, dimana $x = 0$ dan 20 dalam mol%. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa puncak-puncak difraksi spektrum XRD didominasi oleh puncak-puncak kristal barium ferit dengan sistem kristal heksagonal. Sifat magnetik material Fe_2O_3 dengan doping 20 mol% barium karbonat dan disinterring pada 1100 °C, meningkat secara signifikan dibandingkan dengan yang lain. Metode sederhana dan murah ini sangat menjanjikan dalam pembuatan material barium heksaferit dengan ferit alam sebagai material utama

Kata Kunci: Pasir besi, barium ferit, struktur, sifat magnetik

Pendahuluan

Magnet ferit atau magnet keramik merupakan produk kompetitif dalam pasar magnet karena harganya yang murah, tahan terhadap korosi dan stabil secara kimiawi [1]. Magnet ini dikategorikan sebagai magnet keras yang mempunyai stuktur kristal heksagonal [2] dan formula kimia $M(\text{Fe}_x\text{O}_y)$, M mewakili elemen logam selain besi serta banyak digunakan untuk menghasilkan film tipis, piranti elektronik

berbasis *nano-technology* [3–5] serta penyimpan magnetik [6]. Disamping itu, sifat material magnet ferit dapat meningkatkan efisiensi energi pada sistem generator listrik dan sistem motor listrik [7].

Magnet barium heksaferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ atau $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$) merupakan salah satu magnet ferit yang telah didoping dengan oksida barium. Keunggulan magnet ini antara lain nilai medan koersivitas (H_c),

magnetisasi remanen (M_r), induksi remanen (B_r) dan magnetisasi saturasi (M_s) tinggi, serta suhu transisi ($T_c =$ temperatur Curie) cukup tinggi [8,9]. Berdasarkan komposisi kimianya, oksida ferit merupakan bahan utama penyusun magnet barium heksaferit. Oksida ini mempunyai sifat magnetik dan elektrik yang unik karena perpindahan elektron antara Fe^{2+} dan Fe^{3+} di dalam struktur tetrahedral dan octahedral [10,11].

Pasir besi merupakan salah satu sumber magnetit alam atau *lodestone* yaitu sebuah ferrous ferrite ($Fe[Fe_2O_4]$, or Fe_3O_4) yang terjadi secara alami [12] sehingga sangat potensial digunakan sebagai bahan baku utama penyusun magnet barium heksaferit melalui beberapa tahap pengolahan. Proses sintering pada temperatur tinggi dalam pembuatan magnet keramik mengakibatkan perubahan fase magnetit (Fe_3O_4) menjadi hematit (α - Fe_2O_3). Perubahan ini diikuti dengan hilangnya sifat-sifat magnetik material. Oleh karena itu, penambahan material dopan dalam hematit diperlukan untuk menjaga dan meningkatkan sifat-sifat magnetiknya.

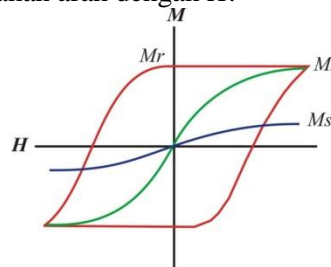
Tinjauan Literatur

Sifat kemagnetan material dapat dikarakterisasi melalui sebuah kurva hubungan antara vektor magnetisasi M dan kuat medan magnet H . Jika sebuah material diletakkan dalam sebuah medan magnetik luar, maka M sebanding dengan H dikalikan dengan faktor χ yang merupakan susceptibilitas magnetik material [6]. Gbr. 1 merupakan sebuah loop histeresis magnetik yang menggambarkan magnetisasi suatu material. Bentuk dan ukurannya tergantung pada sifat dari material dan kuat medan magnetik yang dikenakan. Ferromagnetik (kurva warna merah) mempunyai sebuah memory karena material tetap termagnetisasi setelah medan magnetik luar dihilangkan. Kurva warna hijau merupakan karakteristik kurva dari material superparamagnetik yang ditandai dengan nilai magnetisasi saturasi M_s yang

tinggi dan tidak ada magnetik remanen M_r , sedangkan kurva warna biru merupakan karakteristik kurva untuk material paramagnetik. Vektor magnetisasi M sebanding dengan kuat medan magnet H untuk material paramagnetik and diamagnetik. Jika material ini diletakkan dalam sebuah medan magnetik luar, maka M dapat dinyatakan sebagai

$$M = \chi H \quad (1)$$

Dimana χ (Greek letter chi) merupakan faktor tanpa satuan yang disebut dengan susceptibilitas magnetik. Untuk material paramagnetik χ adalah positif dan M searah dengan H , sedangkan untuk material diamagnetik, χ adalah negatif dan M berlawanan arah dengan H .



Gbr. 1. Kurva histeresis M - H untuk sebuah material magnetic

Metode

Penggabungan barium dalam hematit dilakukan melalui metode reaksi padatan pada temperatur sintering 900, 1000, 1100 °C dengan komposisi $(100-x)Fe_2O_3 : xBaCO_3$ dimana $x = 0, 20$ mol%. Material Fe_3O_4 yang diperoleh dengan ekstraksi pasir besi alam dihaluskan dengan *High Energy Ball Milling* (HEBM) [12] dan dikalsinasi pada temperatur 850 °C untuk membentuk Fe_2O_3 . Kemudian material baru Fe_2O_3 didoping dengan $BaCO_3$ ($\geq 99\%$: Sigma Aldrich) dan dimampatkan secara manual dalam pengaruh medan magnet luar (anisotropik) membentuk pelet-pelet barium heksaferit dengan diameter 8 mm dan ketebalan 1,5 mm. Setelah itu, pelet-pelet disintering pada temperatur 1100 °C selama 3 jam. Akhirnya, pelet-pelet didinginkan secara

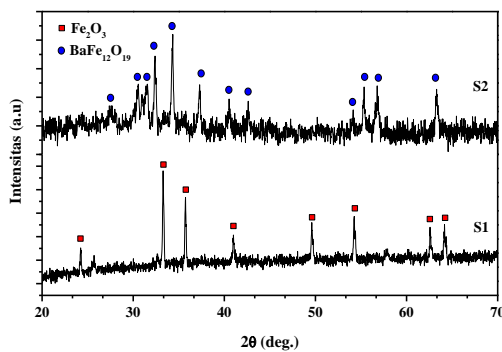
alami pada temperatur kamar dan diberi tanda masing-masing S1 dan S2 untuk $x = 0$ dan 20.



Gbr. 2. Material baku (a). Fe_3O_4 dan (b). Fe_2O_3

Hasil dan Pembahasan

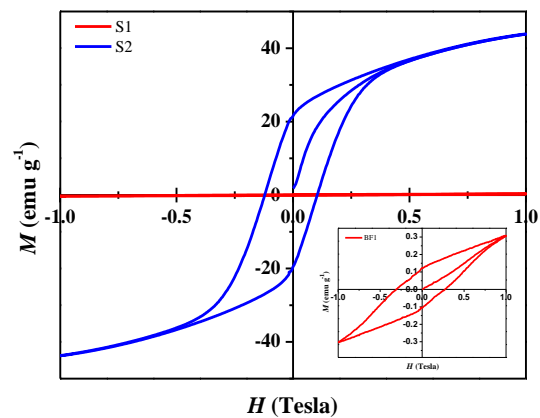
Pola XRD dari material ferit ditunjukkan dalam Gbr. 3. Proses sintering pada 1100 °C menghasilkan hematit (α - Fe_2O_3 - COD : 96-900-9783) dengan semua refleksi difraksi yang terdeteksi diindek sebagai sistem kristal rhombohedral ($a = 5,42 \text{ \AA}$, $\alpha = 55,280^\circ$) dan tidak ada difraksi lainnya yang teramati dalam pola tersebut, seperti yang ditunjukkan dalam spektrum S1. Puncak-puncak difraksi dalam spektrum S2 didominasi oleh puncak-puncak kristal barium ferit ($BaFe_{12}O_{19}$ - COD : 96-100-8329) dengan sistem kristal heksagonal ($a = 5,8650 \text{ \AA}$, $c = 23,0990 \text{ \AA}$).



Gbr. 3. Pola XRD dari material Fe_2O_3 tanpa doping dan dengan doping 20% $BaCO_3$ setelah disintering pada temperatur 1100 °C

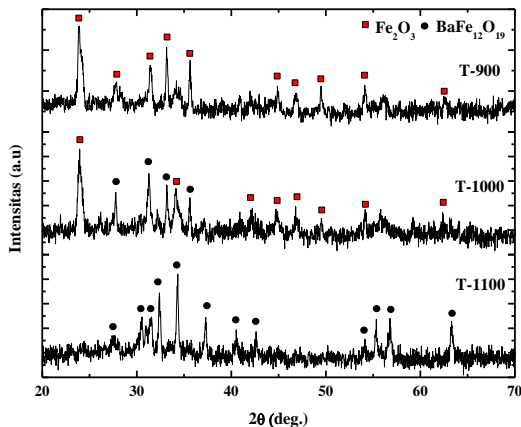
Kurva histeresis $M-H$ dari material magnetik yang diperoleh ditunjukkan dalam Gbr. 4. Sifat magnetik material dapat ditentukan melalui pengukuran parameter

magnetisasi remanen (M_r), medan koersivitas (H_c) dan magnetisasi saturasi (M_s). Kurva histeris magnetik menunjukkan bahwa sifat magnetik material hematit dengan doping barium (S2) lebih baik dibandingkan dengan material hematit tanpa doping (S1). Namun demikian, kurva histerisis terlihat masih ramping (medan koersivitas kecil). Hal ini menunjukkan bahwa barium heksaferit yang dihasilkan bersifat *soft magnetic*.



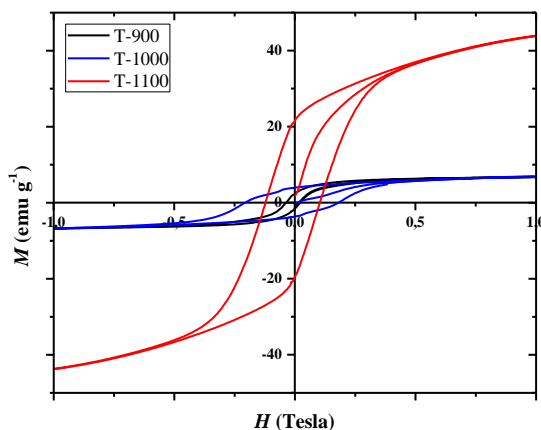
Gbr. 4. Kurva histerisis $M-H$ untuk Fe_2O_3 tanpa dan dengan doping 20% $BaCO_3$

Gambar 5 menunjukkan pengaruh tem-peratur sintering terhadap struktur dan fase material magnetik dengan komposisi 20% $BaCO_3$ dan 80% Fe_2O_3 . Pada temperatur sintering 900 °C (T-900) terbentuk fase tunggal Fe_2O_3 . Hal ini disebabkan kedua bahan belum bereaksi satu sama lain, sehingga komposisi bahan terbanyak yang akan mendominasi puncak-puncak difraksi. Pada temperatur sintering 1000 °C (T-1000), reaksi kedua bahan sudah terjadi namun belum sempurna. Hal ini ditandai dengan adanya dua fase yang berbeda yaitu Fe_2O_3 sebagai fase minor dan $BaFe_{12}O_{19}$ sebagai fase mayor. Sementara itu, pada temperatur sintering 1100 (T-1000), puncak-puncak difraksi didomina oleh puncak-puncak $BaFe_{12}O_{19}$ tanpa diikuti fase yang lain. Hal ini menunjukkan reaksi kedua bahan terjadi secara sempurna.



Gbr. 5. Spektrum XRD Fe_2O_3 yang doping 20% BaCO_3 pada temperatur sintering 900, 1000 dan 1100 °C

Sifat magnetik bahan dapat ditentukan melalui kurva hysteresis seperti terlihat dalam Gbr. 6 sifat magnetik bahan meningkat secara signifikan dengan peningkatan temperatur yang menuntun terbentuknya fase $\text{BaFe}_6\text{O}_{19}$. Namun demikian, kurva hysteresis dari ketiga sampel masih terlihat ramping. Hal ini mengindikasikan bahwa material magnetik yang diperoleh mempunyai sifat paramagnetik atau *soft magnetic*.



Gbr. 6. Kurva histeresis M - H dari material Fe_2O_3 dengan doping 20% BaCO_3 pada temperature sintering 900, 1000 dan 1100 °C

Kesimpulan

Penggabungan barium dalam material hematit telah dilakukan melalui metode reaksi padatan. Proses sintering pada temperatur 1100 °C menghasilkan struktur kristal barium heksaferit yang mempunyai peran penting dalam meningkatkan sifat magnetik material. Sifat magnetik material dapat dianalisa melalui kurva histeresis magnetik M - H yang terbentuk. Metode sederhana dan murah ini sangat menjanjikan untuk pembuatan material barium heksaferit dengan ferit alam sebagai material utama.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Jenderal Soedirman dan Kemenristekdikti yang telah mendanai kegiatan ini melalui Hibah IbM tahun 2015 (No.2219/UN23.14/PN/2015)

Daftar Pustaka

- [1] W. Kaszuwara, A. Witkowski, M. Leonowicz, P. Pawlik, J. Paszula, Effect of milling medium on structure and magnetic properties of mechanically alloyed barium ferrite, *Rev. Adv. Mater. Sci.* 18 (2008) 497–500.
- [2] A. Qomariyah, Pembuatan dan karakterisasi magnet permanen barium ferrite melalui reaksi padatan, Tugas Akhir S1, Program Studi Fisika, Jenderal Soedirman Purwokerto, 2012.
- [3] N.N. Shams, X. Liu, M. Matsumoto, A. Morisako, Manipulation of crystal orientation and microstructure of barium ferrite thin film, *J. Magn. Magn. Mater.* 290 (2005) 138–140.
- [4] U. Topal, H. Ozkan, H. Sozeri, Synthesis and characterization of nanocrystalline $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ obtained at 850 °C by using ammonium nitrate melt, *J. Magn. Magn. Mater.* 284 (2004) 416–422.

- [5] N.C. Pramanik, T. Fujii, M. Nakanishi, J. Takada, Development of nanograined hexagonal barium ferrite thin films by sol-gel technique, *Mater. Lett.* 59 (2005) 468–472.
- [6] W.D. Callister, *Material Science and Engineering An Introduction*, 7th ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, 2007.
- [7] P. Sardjono, dkk, Inovasi teknologi pembuatan magnet permanen untuk membangun industri magnet nasional, in: *Pros. InSINas*, 2012.
- [8] W.A. Adi, Kajian struktur mikro terhadap sifat magnetik pada magnet permanen $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$, *TELAAH J. Ilmu Pengetah. Dan Teknol.* 29 (2011) 55–62.
- [9] R. Nowosielski, R. Babilas, G. Dercz, F. Materials, S. Pro-ecological, Microstructure of polymer composite with barium ferrite powder, *J. Achiev. Mater. Manuf. Eng.* 31 (2008) 269–274.
- [10] O. Rahman, S. Mohapatra, S. Ahmad, E. Al, Fe_3O_4 inverse spinal super paramagnetic nanoparticles, *Mater. Chem. Phys.* 132 (2012) 196–202.
- [11] W. Widanarto, M.R. Sahar, S.K. Ghoshal, R. Arifin, M.S. Rohani, M. Effendi, Thermal, structural and magnetic properties of zinc-tellurite glasses containing natural ferrite oxide, *Mater. Lett.* 108 (2013) 289–292.
- [12] W. Widanarto, M.R. Sahar, S.K. Ghoshal, R. Arifin, M.S. Rohani, K. Hamzah, Effect of natural Fe_3O_4 nanoparticles on structural and optical properties of Er^{3+} doped tellurite glass, *J. Magn. Magn. Mater.* 326 (2013) 123–128.
- [13] A.E. Åbom, L. Hultman, R.D. Twosten, Properties of combined TiN and Pt thin films applied to gas sensing, (2002) 667–673.

