

MATERIAL MAGNETIK BARIUM HEKSAFERIT TIPE-M UNTUK MATERIAL ANTI RADAR PADA FREKUENSI S-BAND

Priyono¹ dan Azwar Manaf²

¹Jurusan Fisika, FMIPA - UNDIP

Jl. Prof. H. Soedarto, SH Tembalang, Semarang 50275

²Departemen Fisika, FMIPA - UI

Kampus Baru UI, Depok 16424

e-mail : priyonocp@gmail.com

ABSTRAK

MATERIAL MAGNETIK BARIUM HEKSAFERIT TIPE-M UNTUK MATERIAL ANTI RADAR PADA FREKUENSI S-BAND. Dalam makalah ini dibahas preparasi dan evaluasi karakteristik senyawa material penyerap (*absorber*) gelombang mikro dengan komposisi $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Mn}_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ ($x = 0,0$ hingga $1,5$) yang diperoleh melalui proses substitusi senyawa dasar barium heksaferit ($\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$) melalui alur paduan mekanik (*mechanical alloying*). Pembentukan fasa material penyerap diawali dengan substitusi ion Mn dan ion Ti terhadap ion Fe dalam komponen material Fe_2O_3 pada suhu 1.300°C . Material hasil substitusi dipadukan secara mekanik dengan komponen BaCO_3 untuk membentuk fasa heksaferit tipe-M setelah reaksi padat. Identifikasi puncak difraksi sinar-X dari material hasil paduan mekanik ini menunjukkan secara meyakinkan bahwa telah terbentuk material fasa tunggal $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Mn}_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$. Evaluasi material mencakup ukuran rata-rata butir dan karakteristik serapan gelombang mikro pada rentang frekuensi 1 GHz hingga 6 GHz. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa terjadi serapan gelombang pada frekuensi ~ 2.000 MHz dan ~ 3.500 MHz dengan koefisien refleksi yang relatif tinggi pada rentang frekuensi yang tersedia. Keberadaan ion Mn dan ion Ti mampu memperlebar frekuensi serapan terutama pada daerah 3.500 MHz.

Kata kunci : Material anti radar, Barium heksaferit tipe-M, Ukuran butir, Frekuensi S-band

ABSTRACT

M-TYPE BARIUM HEXAFERRITE MAGNETIC MATERIAL FOR ANTI RADAR MATERIALS AT S BAND FREQUENCY. In this paper, preparation and characteristic evaluation of microwave absorber materials of $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Mn}_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ ($x = 0,0 - 1,5$) compositions are discussed. The absorber material was obtained by a co-substitution of Mn and Ti to Fe in a Barium Hexaferrite ($\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$) basic compound through a mechanical alloying process. In this respect, a co-substitution of Mn and Ti ions for Fe was applied to Fe_2O_3 component at a temperature $\sim 1,300^\circ\text{C}$. The substituted alloy component was further alloyed mechanically with BaCO_3 to form M-Type hexaferrite after the solid state reaction. Identification of X-ray diffraction peaks for the mechanically alloyed materials indicates confidently that a single phase $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Mn}_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ material was formed. Materials characterization is covering the average grain sizes and absorption of microwaves in the frequency range 1-6 GHz. Absorption with a relatively high coefficient at frequencies $\sim 2,000$ MHz and $\sim 3,500$ MHz within the available frequency range was obtained. It is shown that the co-substitution of Mn and Ti ion able to widen the absorption frequency especially in the frequencies of about 3,500 MHz

Key words : Radar Absorber Materials (RAM), Type-M barium hexaferrites, Grain size, S-band frequency

PENDAHULUAN

Sejalan dengan perkembangan teknologi elektronik dan teknologi informasi (TI) yang begitu pesat, ruang sekitar akan terpolusi oleh pembawa gelombang elektromagnetik (EM) berbagai frekuensi termasuk EM dengan frekuensi ultra tinggi (GHz). Perkembangan tersebut dapat mengancam berbagai sistem peralatan berbasis elektronik seperti sistem kontrol elektronik pada

peralatan telekomunikasi, kesehatan, transportasi udara dan laut tidak terkecuali bidang pertahanan dan keamanan (militer). Pada dua bidang disebut terakhir, sistem *Radio Detection and Ranging (RADAR)* [1] menjadi perangkat penting baik itu untuk pelengkap pengaturan lalu lintas udara maupun untuk mendeteksi obyek asing.

Untuk mengimbangi dampak dari perkembangan TI yang pesat tersebut diperlukan sistem material yang dapat berperan sebagai penyanggah gelombang mikro (*microwave absorber*) termasuk frekuensi ultra tinggi (*UHF*) seperti aplikasi untuk anti radar dari radiasi EM yang dipancarkan.

Magnet ferit [2-4] disamping memiliki permeabilitas, permitivitas dan magnetisasi spontan relatif tinggi, juga tersusun oleh komponen-komponen oksida sehingga juga memiliki resistivitas listrik yang tinggi atau isolator yang baik. Kombinasi sifat intrinsik antara sifat magnetik dan sifat listrik dari ferit seperti itu menempatkan material magnet ferit sebagai penyanggah gelombang-gelombang mikro termasuk gelombang dengan frekuensi yang digunakan dalam *RADAR*. Pada makalah ini dibahas beberapa hasil penerapan material magnetik ferit khususnya barium heksaferit mencakup preparasi melalui substitusi ion Mn dan Ti, sifat magnetik dan karakteristik absorpsi khususnya gelombang EM pada rentang frekuensi sampai dengan 6 GHz.

METODE PERCOBAAN

Penelitian diawali dengan preparasi material magnetik barium heksaferit pada komposisi $BaFe_{12-2x}(Mn,Ti)_xO_{19}$ ($x=0$ hingga 1,5). Preparasi dilakukan melalui teknik pemaduan mekanik (*mechanical alloying*). Komponen-komponen material yang menjalani pemaduan mekanik masing-masing adalah $(Fe,Mn,Ti)_2O_3$ dan $BaCO_3$.

Pemaduan mekanik dilakukan dengan proses *milling* dalam alat *vibration ball mill* selama 60 jam diikuti dengan proses pemanasan pada berbagai suhu hingga 1.200 °C untuk pembentukan fasa utama. Material magnetik hasil sintesis dipelajari dengan metoda *X-Ray Diffraction (XRD)* untuk mengetahui strukturmikro material. Karakteristik serapan gelombang elektro magnetik dari material magnetik $BaFe_{12-2x}(Mn,Ti)_xO_{19}$ dievaluasi menggunakan *Vector Network Analyser (HP 8753ES)* pada kisaran frekuensi 1 GHz hingga 6 GHz.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Strukturmikro $BaFe_{12-2x}Mn_xTi_xO_{19}$

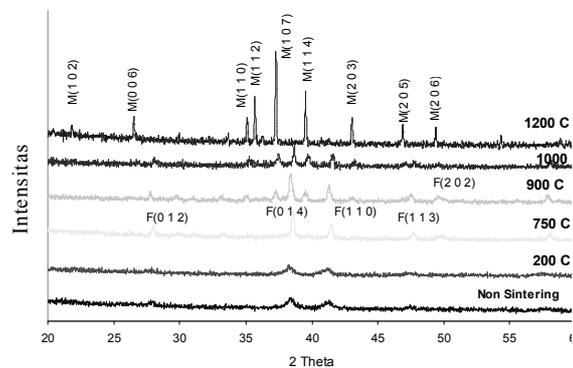
Gambar 1 memperlihatkan pola difraksi material magnetik *Barium Hexaferrite* sebelum dan sesudah kristalisasi pada suhu hingga 1.200 °C. Sebelum tahapan kristalisasi, terlihat pola difraksi hanya memiliki beberapa puncak difraksi yang melebar menunjukkan fasa material masih belum terbentuk sempurna, sebagian besar masih dalam bentuk inti dan klaster fasa stabilnya, juga sesudah pemanasan pada suhu 200 °C.

Pada suhu yang lebih tinggi terutama suhu sampai dengan 1.000 °C, puncak-puncak difraksi bertambah tajam secara intensif menunjukkan terjadinya kristalisasi dan pertumbuhan ukuran fasa utama. Pola

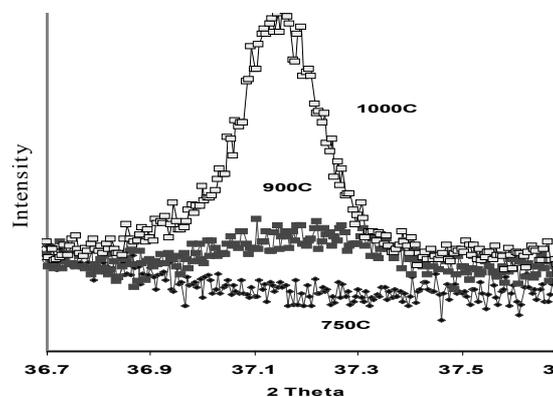
difraksi dengan pertumbuhan puncak-puncak difraksi yang lebih intensif diperoleh dari material sesudah kristalisasi pada suhu 1.200 °C dimana hasil identifikasi memastikan bahwa keseluruhan puncak difraksi sesuai dengan pola difraksi fasa $BaFe_{12}O_{19}$ [5,6]. Dengan demikian dipastikan bahwa material merupakan material fasa tunggal (*single phase material*).

Pembentukan fasa tunggal material sebagaimana hasil Gambar 1 terjadi pada suhu kristalisasi di atas 760 °C yaitu suatu suhu relatif tinggi. Energi kalor yang diterima material pada suhu di atas 760 °C digunakan untuk pembentukan dan pertumbuhan fasa.

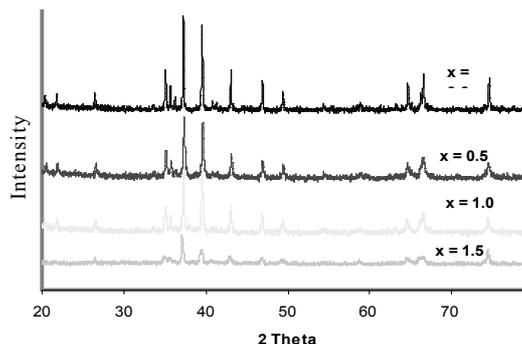
Pada Gambar 2 dapat dilihat intensitas puncak difraksi salah satu bidang kristal $BaFe_{12}O_{19}$ meningkat disertai dengan pengurangan lebar puncak difraksi karena pertumbuhan ukuran rata-rata kristal material. Dari evaluasi lebar puncak difraksi yang diambil melalui *step scanning* dan formula *Scherrer* diperoleh bahwa ukuran rata-rata kristal pada suhu 800 °C, 1.000 °C berturut-turut adalah ~45 nm dan ~80 nm. Ukuran rata-rata butir (*grain*) material magnetik terutama magnet permanen berpengaruh kepada sifat magnetik material. Banyak hasil penelitian memperlihatkan bahwa magnetisasi remanen meningkat dengan menurunnya ukuran rata-rata *grain* [7] dikarenakan interaksi antar butir (*grain exchange interaction*). Interaksi *grain* juga



Gambar 1. Pola difraksi $BaFe_{12}O_{19}$ ($x = 0$) sebelum dan sesudah kristalisasi selama 60 menit



Gambar 2. Peningkatan intensitas puncak difraksi karena kristalisasi dan pertumbuhan kristal utama pada pemanasan 750 °C, 900 °C dan 1.000 °C selama 1 jam



Gambar 3. Pola XRD pada sampel $BaFe_{12-2x}Mn_xTi_xO_{19}$ ($x = 0,0, 0,5, 1,0$ dan $1,5$)

memberi efek lain terhadap nilai koersivitas karena penurunan nilai konstanta anisotropi [8]. Kedua efek ini sangat menguntungkan bagi barium heksaferit yang pada awalnya berperan sebagai magnet permanen dapat berfungsi ganda sebagai magnet tidak permanen. Lebih jauh, oleh karena barium heksaferit terdiri dari senyawa oksida, maka nilai resistivitas listriknya relatif tinggi [9] memberi kemampuan untuk menyerap gelombang EM (*microwave absorber*) [10]. Namun demikian, diperlukan strukturmikro yang tepat untuk menjadikan material ini sebagai *absorber*.

Suhu kristalisasi $1.200\text{ }^\circ\text{C}$ digunakan untuk mempersiapkan material barium heksaferit termasuk sebagian ion Fe disubstitusi oleh ion Mn dan Ti untuk mencapai karakteristik yang diperlukan sebagai *absorber*.

Gambar 3 memperlihatkan pola difraksi senyawa dengan $x = 0; 0,5; 1,0$ dan $1,5$. Keempat senyawa memiliki pola difraksi yang sama dengan $BaFe_{12}O_{19}$. Dengan perkataan lain, substitusi parsial oleh Mn dan Ti tidak menyebabkan perubahan fasa kecuali sifat magnetnya [11]. Dengan demikian diketahui bahwa pengaruh substitusi parsial ion Fe oleh Mn dan Ti sedikit menurunkan nilai magnetisasi total tetapi secara signifikan menurunkan nilai koersivitas. Sifat magnetik yang semacam ini dari material berbasis ferit diperlukan untuk aplikasi sebagai penyerap gelombang EM.

Serapan Elektromagnetik Fasa

$BaFe_{12-2x}Mn_xTi_xO_{19}$

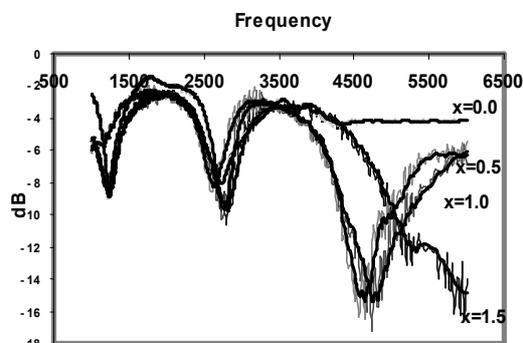
Gambar 4 memperlihatkan efek substitusi ion Mn dan ion Ti pada material terhadap reflektansi gelombang mikro pada rentang frekuensi 1 GHz hingga 6 GHz dibandingkan dengan karakteristik refleksi untuk material yang sama tetapi tanpa substitusi.

Pada frekuensi lebih dari 3,5 GHz terlihat perbedaan karakteristik reflektansi antara senyawa dengan substitusi Mn dan Ti dan non-substitusi yaitu terdapat refleksi dengan intensitas relatif kecil (-16 dB) pada rentang frekuensi yang relatif lebar oleh material dengan substitusi. Lebih jauh untuk material substitusi dengan fraksi $x = 1,5$ (at.%) memperlihatkan pelebaran

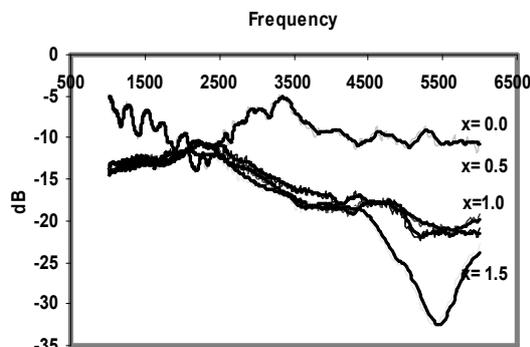
intensitas gelombang balik pada rentang frekuensi yang lebih lebar melebihi frekuensi alat ukur yang tersedia yaitu 6 GHz. Karakteristik yang semacam ini dengan tegas memperlihatkan efek substitusi ion Fe oleh Mn dan Ti adalah memperkecil intensitas gelombang refleksi. Makin besar fraksi ion tersubstitusi oleh Mn dan Ti makin rendah intensitas gelombang yang dikembalikan. Dengan perkataan lain, sebagian besar gelombang EM terserap oleh material

Besarnya transmitansi elektromagnetik yang diteruskan setelah melalui sampel diperlihatkan dalam Gambar 5. Terjadinya penurunan intensitas transmisi pada frekuensi di atas 3,5 GHz oleh material dengan substitusi menandakan bahwa sebagian besar intensitas radiasi diserap oleh material pada jangkauan frekuensi tertentu.

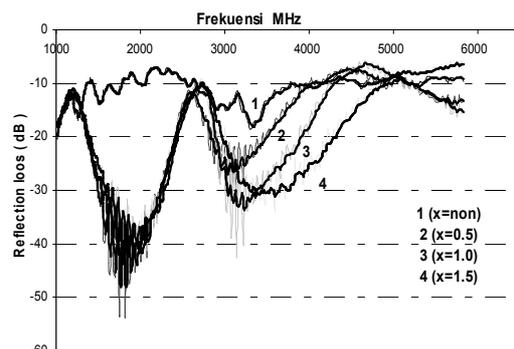
Hasil kalkulasi *reflection loss*, RL menggunakan persamaan $RL = 20 \text{ Log } (Z-Z_0)/(Z+Z_0)$ [12] dimana Z adalah impedansi material dan Z_0 sebagai impedansi udara ditunjukkan pada Gambar 6. *Reflection loss* untuk material tak tersubstitusi memiliki reflektansi yang paling rendah, sedangkan pada ketiga grafik ($x = 0,5; 1,0$ dan $1,5$) memiliki *reflection loss* pada dua puncak maksimum ~ 1.800 MHz dan ~ 3.000 MHz. Pada puncak maksimum pertama *returned loss* memiliki lebar frekuensi yang relatif sama, sedangkan pada puncak ~ 3.000 MHz terjadi pelebaran puncak dengan bertambahnya fraksi ion Mn dan ion Ti.



Gambar 4. Perbedaan reflektansi gelombang elektromagnetik oleh fasa $BaFe_{12-2x}Mn_xTi_xO_{19}$ ($x = 0,0, 0,5, 1,0$ dan $1,5$)



Gambar 5. Perbedaan transmitansi gelombang elektromagnetik fasa $BaFe_{12-2x}Mn_xTi_xO_{19}$ ($x = 0,0, 0,5, 1,0$ dan $1,5$)



Gambar 6. Reflection loss pada material $BaFe_{12-2x}Mn_xTi_xO_{19}$ ($x = 0, 0,5, 1,0$ dan $1,5$) pada ketebalan 1,2 mm

KESIMPULAN

Penyerap gelombang mikro pada frekuensi *S band* dapat diperoleh dari material barium heksaferit tipe M dengan komposisi $BaFe_{12-2x}Mn_xTi_xO_{19}$. Material penyerap diperoleh melalui pemaduan mekanik antara komponen Fe_2O_3 yang disubstitusi secara parsial oleh ion Mn^{+2} dan ion Ti^{+4} dan komponen $BaCO_3$ setelah reaksi padat pada suhu ~ 750 °C meskipun reaksi sempurna terjadi pada 1.200 °C. Meningkatnya fraksi ion Mn dan Ti pada material penyerap tidak mempengaruhi karakteristik serapan pada frekuensi *S-band* kecuali pada frekuensi lebih tinggi dari 2,5 GHz peningkatan fraksi ion substitusi memperlebar jangkauan frekuensi serapan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis pertama mengucapkan terima kasih kepada UNDIP atas pemberian izin untuk studi program Doktor di Program Studi Ilmu Material - UI. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Republik Indonesia atas pendanaan dibawah kontrak No. 522J/DRPM-UI/A/N1.4/2009.

DAFTAR ACUAN

- [1]. D. DUBRUNFAUT, S. ZOUHDI, A. F. FOURIER LAMER, E. BRANDO and H. VINCENT, *Eur. Phys. J.*, **8** (1999) 159-162
- [2]. H. YANFEI, G. RONG ZHOU, YAN NIE, H. HUAHUI, Z. ZHENSEHENH, *J. of App. Phys.*, **98** (2005) 08403
- [3]. BURKE T.F. DALBY, T.G. HANSEN, W.P. VINCENT, *Radar Camouflage Symposium*, Orlando, 18-20 Nov 1980. No. AFWAL-TR 81 (1980) 327-336
- [4]. C. F. LUIZA M and C. REZENDE, *Materials Research*, **11** (3) (2008) 245-249
- [5]. PRIYONO dan A. MANAF, *Substitusi Mn dan Ti Pada Struktur Fasa Fe_2O_3 , Melalui Teknik Mechanical Alloying*, Proc. Ketingan Physics Forum 4th, (2007) 25-30
- [6]. T. TOYODA, K. KITAGAWA, K. YAMAWAKI, T. HANASHIMA, S. SASAKI, P.D. SIDONS, *J. of The Ceramics Society of Japan Supplement*, **112** (1) (2004) 1455-1458
- [7]. PRIYONO dan A. MANAF, *Pembentukan Nanophase Barium Hexaferrite Tersubstitusi Ion Mn dan ion Ti dengan Metoda Alloy Mekanik*, Proc. SENAMM2, **01** (2008) 78-84
- [8]. H. FUKUNAGA and HIROSHI INOUE, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **31** (1992) 1347-1352
- [9]. J. SMITH and H.P. WIHN, *Physical properties of Ferrimagnetic oxides in Relation Their Technical Application*, Phillips res. Lab. Endoven, (1957)
- [10]. Z. W. LI and LIN-FENG CHEN, *J. of Appl. Phys.*, **92** (07) (2002)
- [11]. PRIYONO dan A. MANAF, *Jurnal Sains Materi Indonesia, Edisi Khusus Oktober 2007* (2007) 144-147
- [12]. P. SINGH, V.K. BABBAR, A. RASDAN, *Journal of Mat. Sci.*, **41** (7) (2006) 190-7196