

Pembuatan Material Magnetik Komposit $BaFe_9Mn_{0,75}Co_{0,75}Ti_{1,5}O_{19}$ / Elastomer untuk Aplikasi Penyerap Gelombang Elektromagnetik

¹Priyono dan ²Windu Ganar Prasongko

¹Laboratorium Fisika Material, Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika

²Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang

Email : [1priyonoep@fisika.undip.ac.id](mailto:priyonoep@fisika.undip.ac.id), [2ganarp.windu@rocketmail.com](mailto:ganarp.windu@rocketmail.com)

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian dan pengujian material magnet $BaFe_{12-2x}(MnCo)_xTi_xO_{19}$ yang merupakan material magnet Hexaferrite tipe M dan disubstitusi secara parsial 2 ion Fe^{3+} dengan sebuah ion Mn^{2+} , Co^{2+} , dan sebuah ion Ti^{4+} dengan menggunakan metode sol gel. Material magnet dibentuk dari senyawa-senyawa $Ba(NO_3)_2$, $Fe(NO_3)_2$, $Mn(NO_3)_2$, $Co(NO_3)_2$, $Ti(NO_3)_4$. $BaFe_{12-2x}(MnCo)_xTi_xO_{19}$ untuk $x=1,5$ disintesis dengan menggunakan metode sol gel, berupa serbuk. Hasil dari uji magnetik diperoleh nilai koersivitasnya 3,8 kA/m dan nilai magnetisasinya 0,29 Tesla. Hasil uji densitas pellet barium heksaferrite bernilai 3,453 hingga 5,060 gr / cm³ untuk lolos saring 90 μ m. Analisa morfologi permukaan sampel dengan menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) menunjukkan adanya heterogenitas ukuran partikel. Hasil uji absorpsi menunjukkan penyerapan pada daerah range 8-12 GHz. Hasil uji mekanik menunjukkan bahwa uji daya rekat elastomer memiliki variasi nilai pada titik yang berbeda.

Keywords: $BaFe_{12-2x}(MnCo)_xTi_xO_{19}$ untuk $x=1,5$, sol gel

PENDAHULUAN

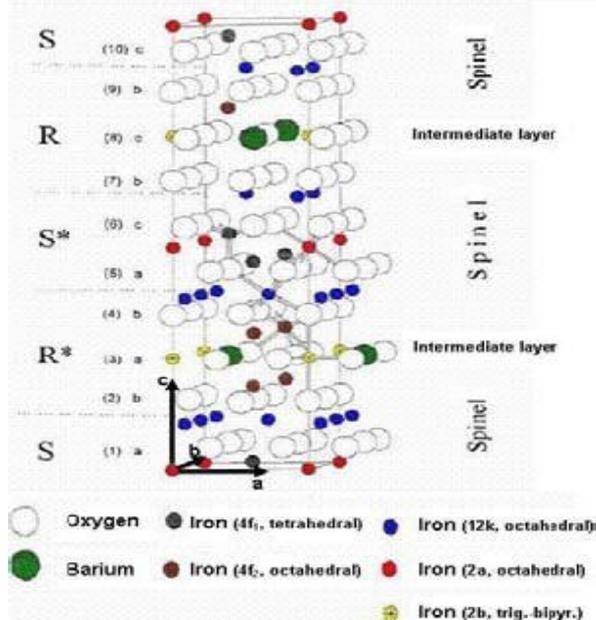
Penggunaan material magnet sudah banyak diaplikasikan di dunia industri. Para peneliti menemukan bahwa material magnet dapat digunakan untuk pengurangan intensitas gelombang pantul padar radar terhadap suatu obyek yang biasa disebut dengan *radar crosssection* (RCS) yang dimanfaatkan dalam aplikasi pada pesawat atau perangkat militer untuk menghindari deteksi. Material ini biasa dikenal dengan Radar Absorbing Material (RAM). Berbagai jenis RAM digolongkan menjadi dua yaitu material dari bahan dielektrik maupun dari bahan magnetik yang prinsipnya dapat digunakan untuk mencegah atau meminimalisir pantulan gelombang. Beberapa penelitian tentang struktur ferrite hexagonal, $MFe_{12}O_{19}$ dimana M adalah divalent metal seperti Ba, Sr atau Pb memungkinkan digunakan sebagai kandidat material anti deteksi Radar range frekuensi antara 8 sampai 16 GHz ataupun yang lebih tinggi lagi. Barium heksaferrit dikenal sebagai magnet permanen dengan struktur heksagonal yang sesuai dengan space group P 63/mmc [1]. Seperti

keluarga oksida lainnya, material ini memiliki sifat mekanik yang sangat kuat dan tidak mudah terkorosi [2]. Pemakaian senyawa hexaferrite digunakan secara luas sebagai magnet permanen, perekam magnetik, divais gelombang mikro (mikrowave) dan absorber [3]. Banyak usaha dilakukan untuk memproduksi dan merekayasa material ini dengan substitusi kation dari golongan divalent yang mungkin kedalam fasa $BaFe_{12}O_{19}$. Divalent logam transisi seperti Co, Ti dan Mn [11] sering digunakan karena persamaan jari-jari ionik dan konfigurasi elektron [5].

Penelitian ini mengkonsentrasikan pembentukan fasa komposit paduan antara $BaFe_{12}O_{19}$ yang disubstitusi dengan ion Mn^{2+} , Co^{2+} dan ion Ti^{4+} dengan polimer elastomer yang diharapkan mampu dihasilkan material magnet dengan sifat yang unggul untuk penyerap gelombang elektromagnetik. Substitusi dilakukan modifikasi komponen ferrite (Fe_2O_3) dengan ion Mn, Co dan Ti, sehingga diperoleh struktur fasa $(Fe, Mn, Co, Ti)_2O_3$ sebagai material induk untuk pembentukan fasa $BaFe_{12-2x}(MnCo)_xTi_xO_{19}$ dengan menambahkan barium karbonat $BaCO_3$ ke dalamnya.

DASAR TEORI

Barium Heksaferit sering ditulis dengan notasi BaM dan memiliki stoikiometri dengan struktur hexagonal yang mantap yang merupakan feromagnetik oksida dengan sifat dielektrik dan magnetik yang banyak digunakan pada aplikasi RF (Radio Frequency) dan microwave. Penggunaan BaM sebagai material magnet permanen dan perekam magnetik sangat diminati sehingga banyak penelitian dilakukan pada jenis material ini. Berbagai sifat magnetik material dapat divariasikan dengan substitusi pada kation yang berisi unsure besi Fe^{+2} dan Fe^{+3} dalam $BaFe_{12}O_{19}$. Divalen logam transisi seperti Ni, Co, Mn, Cr, Ti dan lain-lain kelas divalent dan tetravalen sering digunakan karena memiliki persamaan jari-jari ionik dan konfigurasi elektron. Sifat kelistrikan dan kemagnetan dari substitusi BaM sangat bergantung pada kondisi sintesisnya karena disebabkan oleh ketidakseimbangan distribusi muatan pada proses substitusi multivalen kationnya [5]. Dari gambar 1, barium hexaferrite (BHF) memiliki kristal struktur magnetoplumbite dengan struktur spinel yang berulang dalam SRS*R*



Gambar 1. Sebuah sel satuan dari BaFe₁₂O₁₉ yang dibentuk dari paduan struktur spinel SRS*R* [6]

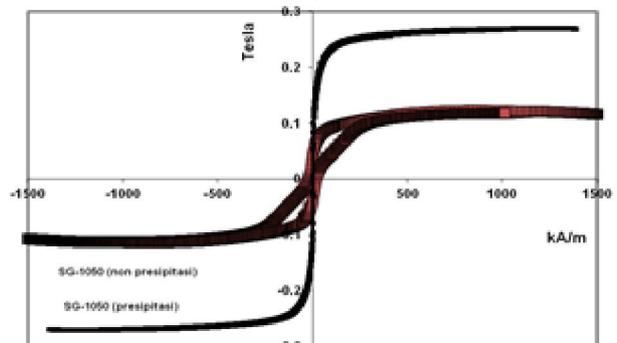
METODE PENELITIAN

Bahan-bahan dari senyawa nitrat seperti Fe(NO₃)₃.9H₂O, Ba(NO₃)₂, Mn(NO₃)₂.4H₂O, CO(NO₃)₂.6H₂O serta Ti(NO₃)₄. ditimbang untuk mendapatkan paduan stoikiometri dari fasa BaFe₉Mn_{0,75}Co_{0,75}Ti_{1,5}O₁₉. Semua bahan setelah dicampur dan ditambahkan dengan asam sitrat. Campuran tersebut dimilling menggunakan HEM supaya menjadi larutan asam yang homogen. Untuk menetralisasi tingkat keasaman paduan selanjutnya ditambahkan dengan Amonium nitrat NH₄OH sehingga terjadi pengendapan dari ion-ion dan pada pH antara 7 – 9. Larutan yang terbentuk kemudian dievaporasi secara perlahan dengan suhu 180 °C sampai larutan menjadi gel yang relatif kering dengan warna coklat kemerahan. Serbuk hasil evaporasi kemudian panaskan kembali pada temperatur 450°C bertujuan untuk menghilangkan senyawa yang tidak diinginkan.

Pembentukan fase kristal barium heksaferrit dilakukan dengan kalsinasi pada suhu 1050°C. Granuller hasil sol-gel berupa serbuk halus dimasukkan dalam perangkat cetak yang telah dibersihkan dengan acetone dan dikompaksi secara perlahan dengan hidraulik press pada tekanan akhir 2 ton. Setelah tekanan hidraulik tercapai sampel didiamkan dalam tekanan tersebut selama tiga puluh detik untuk menghilangkan tegangan sisa(residual stress) sehingga sampel tidak mengalami patahan saat dikeluarkan dari alat cetak. Hasil pencetakan ini berupa sampel pellet dengan diameter 10 mm dengan ketebalan 2-4 mm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat magnetik BaFe₉Mn_{0,75}Co_{0,75}Ti_{1,5}O₁₉



Gambar 2. Grafik kurva histerisis H-J dari BaFe₉Mn_{0,75}Co_{0,75}Ti_{1,5}O₁₉ pada proses presipitasi dan non presipitasi

Pada hasil uji kemagnetan yang menggunakan magnetometer pada medan 1.5 T terlihat perbedaan yang cukup signifikan antara hasil yang melalui proses presipitasi dan non presipitasi. Pada proses presipitasi diperoleh saturasi magnetik yang relatif tinggi dibandingkan dengan non presipitasi, sedangkan hasil non presipitasi histerisi loopnya menampilkan adanya dua fasa yang dimungkinkan dari fasa konvensional $BaFe_{12}O_{19}$ dan fasa tersubstitusi. Hal ini juga diperkuat dengan adanya penurunan dari saturasi magnetic yang disebabkan oleh adanya fasa fasa non magnetic karena tanpa melalui proses *leaching*. Dari gambar 2 dapat diperoleh besarnya nilai koersivitas adalah 3,8 kA/m. Hasil ini sangat berbeda jauh apabila dibandingkan dengan fasa konvensional $BaFe_{12}O_{19}$ sebesar 258,7 kA/m [9]. Dengan menurunnya nilai koersivitas magnetic menyebabkan kurva histerisis menjadi menyempit dibandingkan dengan kurva histerisis pada $BaFe_{12}O_{19}$ konvensional dan semakin besar konsentrasi ion substitusi membuat nilai koersivitas magnetic juga akan semakin kecil [10]. Ditinjau dari nilai saturasi magnetic, terjadi penurunan dari 0,48 Tesla pada $BaFe_{12}O_{19}$ menjadi 0,29 Tesla pada $BaFe_9Mn_{0,75}Co_{0,75}Ti_{1,5}O_{19}$, penurunan nilai saturasi lebih disebabkan adanya konstanta anisotropi dari unsure unsure penyumbangannya, misalnya keberadaan ion Co akan berdampak menaikkan nilai saturasi dibandingkan dengan ion Mn pada substitusi $BaFe_9Co_{1,5}Ti_{1,5}O_{19}$ $BaFe_9Mn_{1,5}Ti_{1,5}O_{19}$ [11].

Densitas Pellet Barium Heksaferrite/Elastomer

Karakterisasi densitas serbuk menggunakan pendekatan teoritis dengan memasukkan data sekunder hasil XRD ke persamaan berikut

$$\rho_{X-ray} = \frac{n \cdot M}{V_c \cdot N_A} \quad (1)$$

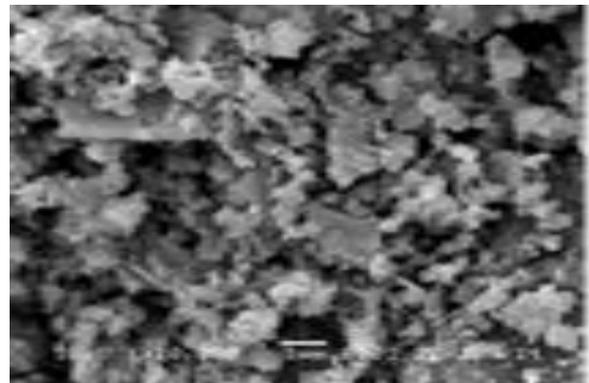
Yang diperoleh nilainya sebesar 5,207 g/cm³. Karakterisasi densitas pelletnya diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut

$$\rho_p = \rho_{bh} \cdot f_{bh} + \rho_e \cdot f_e \quad (2)$$

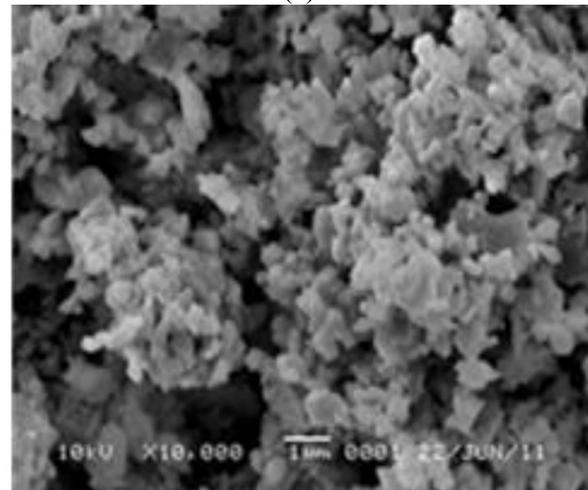
sehingga diperoleh nilainya sebesar 3,88 g/cm³.

Karakterisasi densitas pellet barium heksaferrite dengan menggunakan metode eksperimen dilakukan sebanyak 12 x pengukuran untuk lolos saring 90 μm. Hasil pengukuran rata-ratanya sebesar 4,131±0,408 g / cm³. Hal ini sangat bervariasi sekali. Perubahan yang cukup tinggi pada bubuk sampel menunjukkan belum padunya komposisi disamping dimensi yang cukup kecil disertai dengan pelapisan pada plat yang sangat tipis, juga diakibatkan oleh adanya pori dari paduan akibat adanya jebakan oksigen/udara dalam sampel. Hal ini diperjelas pada hasil uji SEM

Mikrostruktur $BaFe_9Mn_{0,75}Co_{0,75}Ti_{1,5}O_{19}$



(a)



(b)

Gambar 3. Citra SEM barium heksaferrite pada (a) 450 0C (b) 1050 0C

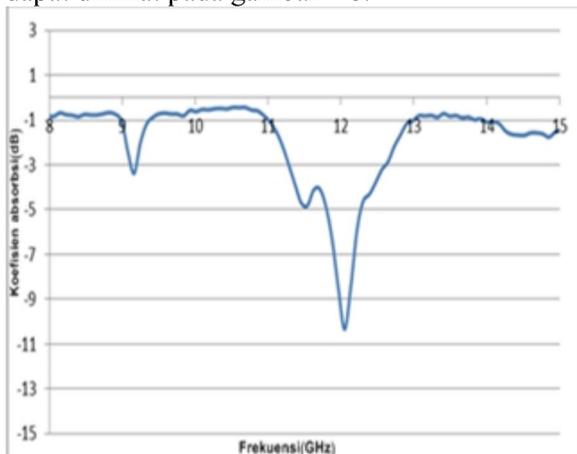
Gambar 3(a) pada suhu 450°C, ukuran partikel menjadi heterogen dengan adanya bentuk persegi panjang, Rata-rata ukuran partikel Bam dengan suhu sintering 450°C adalah 1 μm. Gambar 3(b)

pada suhu 1050°C ,mulai terjadi aglomerasi partikel, aglomerasi partikel berbentuk bola mulai muncul dengan jelas.

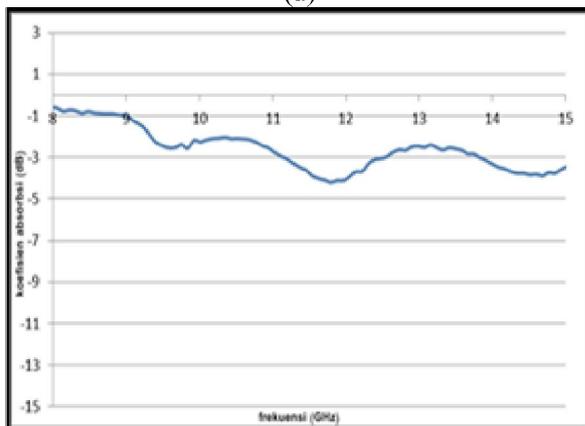
Serapan Gelombang Radar BaFe₉Mn_{0,75}Co_{0,75}Ti_{1,5}O₁₉ / Elastomer

Pada gambar 4 merupakan perbandingan hasil paduan antara Hasil uji serap BaFe₉Mn_{0,75} Co_{0,75} Ti_{1,5} O₁₉/elastomer dengan fraksi berat (a) 30 % (b) 50%

Secara keseluruhan adanya fasa magnetik BaFe₉Mn_{0,75}Co_{0,75}Ti_{1,5}O₁₉ dari rentang 8 GHz sampai dengan 16 GHz terjadi penurunan nilai refleksi pada frekuensi 12,1 GHz. Dengan konsentarsi fraksi elastomer yang bersifat nonmagnetic lebih besar akan berdampak pada penurunan nilai absorbsinya yang ditunjukkan dengan kenaikan nilai koefisien refleksi. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4 b.



(a)



(b)

Gambar 4. Hasil uji serap BaFe₉Mn_{0.75} Co_{0.75} Tii_{1.5} O₁₉/polimer dengan fraksi berat (a) 30 % (b) 50%

Dibandingkan dengan material konvensional terjadi penurunan frekuensi serapan gelombang radar dari 47,6 Ghz [10] menjadi kisaran 12,1 GHz pada BaFe₉Mn_{0,75}Co_{0,75}Ti_{1,5}O₁₉/elastomer. Menurut Philips[14] Koersivitas yang tinggi menyebabkan energi anisotropi magnetik menjadi tinggi sehingga akan berpengaruh terhadap frekuensi resonansi alami dari material menjadi semakin tinggi pula. Sejalan dengan substitusi ion Mn, Co dan Ti yang mampu menurunkan nilai koersivitas barium hexaferrite konvensional sehingga nilai energi anisotropi magnetik dan frekuensi resonansi alami juga menjadi semakin kecil.

Penambahan elastomer pada serbuk barium heksaferrite membuat daya absorbsinya lebih besar bila dibandingkan barium heksaferrite yang tidak diberi elastomer. Kecilnya nilai atenuasi bila dibandingkan terhadap referensi Ghasemi yang mempunyai nilai atenuasi antara 25 – 50 dB [10], diduga karena masih terdapatnya fase sekunder atau *intermediat* yang non magnetik. Fase non magnetik dan memiliki permitivitas yang rendah ini yang member sumbangan menurunnya serapan gelombang elektromagnetiknya.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. BaFe₉Mn_{0,75} Co_{0,75} Ti_{1,5} O₁₉/elastomer telah berhasil disintesis dengan menggunakan metode sol gel ,dengan menggunakan senyawa Fe(NO₃)₃.9H₂O, Ba(NO₃)₂ ,Mn(NO₃)₂.4H₂O, CO(NO₃)₂.6H₂O serta Ti(NO₃)₄, yang ditunjukkan dengan hasil uji sifat magnetiknya
2. Pembuatan BaFe₉Mn_{0,75} Co_{0,75} Ti_{1,5} O₁₉/elastomer terjadi serapan gelombang elektromagnetik;pada kisaran 12,1 Ghz.
3. Semakin besarnya fraksi elastomer akan menyebabkan kenaikan nilai koefisien refleksinya dan menjadi tidak efektif apabila fraksi elastomer melebihi nilai 50% berat.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Smith & Wijn. 1959 .Physical Properties of ferrimagnetic oxides in relation to their technical application. Netherland : Philips Research

- [2] Snoek, J.L.1947.New Development in Ferromagnetic Material.New York
- [3] Tang, Xin. 2005.Influence of Synthesis Variables on The Phase Component and Magnetic Properties of M-Ba-ferrite Powders Prepared Via Sugar-Nitrates Process.Journal of Material Science.ISSN 0021-2461.
- [4] Sudakar, C., Subbanna, G.N., and Kutty, T.R.N., 2003, "Hexaferrite FeCo nanocomposite particles and their electrical and magnetic properties at high frequencies", J. App.Phys. Vol 24 No. 9 pp 6030-6033
- [5] Mallick, Kajjal K., Phillip Sheperd, Roger J Green.2007.Magnetic Properties of cobalt substituted M-type Barium Hexaferrite prepared by coprecipitation. Journal of Magnetism Material 312 (2007) 418-429
- [6] Hemming.L.H.,2002,"Electromagnetic Field Theory Fundamentals"Cambridge .UK: University Press.
- [7] Callister, W. D., Jr., "Materials Science and Engineering an Introduction", Sixth Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2003.
- [8] Bennett, J. C., Chambers, B., Crossley, G. E., "Characterization of Microwave Four-Parameter Materials and Its Application in Wideband Radar Absorber Design". IEE Proc.-Radar, Sonar Navig., 1994. 141(6).
- [9] Choopani, S. , Keyhan, N.,Ghasemi, A., Sharbathi, A., Maghsoudi, I., Egbbali, M., 2009, *Static dan Dynamic Magnetic Characteristics of BaCo_{0,5}Mn_{0,5}Ti_{1,0}Fe₁₀O₁₉*, J. Magn. Magn. Mater..
- [10] Ghasemi, A., 2006. "Electromagnetic Properties and Microwave Absorbing Characteristics of Doped Barium Hexaferrite", Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 302(2): p. 429-435.
- [11] Moulson, A. J., Herbert, J. M., "Electroceramics: Materials, Properties, Applications", Second Edition, John Wiley & Sons Ltd. 2003.
- [12] Naito, Y., Suetake, K., 1971, "Application of ferrite to electromagnetic wave absorber and its characteristics", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 19, No.1,pp.65-72.
- [13] Abdullah, M., 2008, "Pengantar Nanosains", Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [14] Priyono, 2008, "Pembuatan Nano Komposit Ferromagnetik Untuk Material Anti Radar", Jakarta: Departemen Pertahanan RI Badan Penelitian dan Pengembangan Puslitbang Iptekhan.
- [15] Olmedo,L., Hourquebie, P., Jousse, F., 1997, "Handbook of organic conductive molecules and polymers", New York: John Wiley and Sons, Vol.3.
- [16] Yeadon W.H. & Yeadon A.W., Handbook of small Electric Motors, Mcgraw Hill Company Inc. USA, 2001.