

ANALISIS STRUKTUR DAN SIFAT MAGNETIC PEROVSKITE LaMnO₃ SEBAGAI KANDIDAT BAHAN ABSORBER GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK

Pius Sableku dan Wisnu Ari Adi

Pusat Penelitian Metalurgi LIPI

Kawasan Puspiptek Serpong Tangerang Selatan Banten

E-mail : dwisnuaa@batan.go.id

Masuk tanggal : 29-05-2013, revisi tanggal : 02-07-2013, diterima untuk diterbitkan tanggal : 17-07-2013

Intisari

ANALISIS STRUKTUR DAN SIFAT MAGNETIC PEROVSKITE LaMnO₃ SEBAGAI KANDIDAT BAHAN ABSORBER GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK. Telah dilakukan sintesis dan karakterisasi bahan magnetic system LaMnO₃ hasil proses mechanical alloying. Bahan magnetic ini dibuat dari oksida penyusun La₂O₃, dan MnCO₃. Campuran di milling selama 10 jam kemudian di sintering pada suhu 1000 °C selama 10 jam. Hasil refinement pola difraksi sinar-x menunjukkan bahwa sampel memiliki fasa tunggal (single phase), yaitu fasa LaMnO₃ yang memiliki struktur monoclinic (I12/a1) dengan parameter kisi $a = 5.4638(7) \text{ \AA}$, $b = 5.5116(6) \text{ \AA}$ dan $c = 7.768(1) \text{ \AA}$, $\alpha = \gamma = 90^\circ$ dan $\beta = 90.786(9)^\circ$, volume unit sel sebesar $V = 233.93(3) \text{ \AA}^3$ dan kerapatan atomik sebesar $\rho = 6.449 \text{ gr.cm}^{-3}$. Hasil analisis elementer dan morfologi partikel tampak bahwa sampel memiliki komposisi yang telah sesuai dengan yang diharapkan dengan bentuk partikel yang relatif seragam dan terdistribusi merata diseluruh permukaan sampel. Fenomena absorpsi gelombang EM telah terjadi pada rentang frekuensi antara 9 – 15 GHz dengan frekuensi puncak absorpsi pada 11 GHz sebesar ~ 2,6 dB. Pada frekuensi puncak ini dikalkulasi besarnya absorpsi gelombang EM mencapai 30 % dengan ketebalan bidang absorp 1,5 mm. Disimpulkan bahwa bahan lanthanum manganite LaMnO₃ sistem perovskite ini dapat digunakan sebagai studi awal pengembangan bahan baru untuk absorber gelombang elektromagnetik.

Kata kunci : LaMnO₃, Struktur kristal, Magnetik, Absorpsi, Gelombang elektromagnetik

Abstract

EFFECT OF STRUCTURE ANALYSIS AND MAGNETIC PROPERTIES OF PEROVSKITE LaMnO₃ AS FOR CANDIDATE MATERIALS ABSORBER ELECTROMAGNETIC WAVE. The synthesis and characterization of LaMnO₃ magnetic materials by mechanical alloying process have been performed. This magnetic material is prepared by oxides, namely La₂O₃, and MnCO₃. The mixture was milled for 10 h then sintered at a temperature of 1000 °C for 10 h. The refinement results of x-ray diffraction pattern of lanthanum manganite showed that the sample had single phases, namely, LaMnO₃ phases. LaMnO₃ phase had a monoclinic structure (I12/a1) $a = 5.4638(7) \text{ \AA}$, $b = 5.5116(6) \text{ \AA}$ and $c = 7.768(1) \text{ \AA}$, $\alpha = \gamma = 90^\circ$ and $\beta = 90.786(9)^\circ$, the unit cell volume of $V = 233.93(3) \text{ \AA}^3$, and the atomic density of $\rho = 6.449 \text{ gr.cm}^{-3}$. The results of elementary analysis and particle morphology appears that the sample has a composition as expected with a relatively uniform particle shape and evenly distributed the surface of the sample. The electromagnetic wave absorption phenomenon has occurred in the frequency range of 9-15 GHz with absorption of ~ 2.6 dB at 11 GHz peak frequency. The electromagnetic wave absorption is calculated about 30 % with a thickness of 1.5 mm. We concluded that the material lanthanum manganite perovskite system LaMnO₃ can be used as a preliminary study of the development of new materials for electromagnetic wave absorber.

Key words : LaMnO₃, Crystal structure, Magnetic, Absorption, Electromagnetic wave

PENDAHULUAN

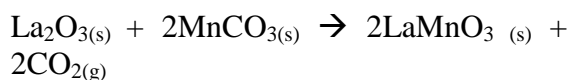
Pemanfaatan bahan magnet sebagai bahan absorber gelombang elektromagnetik menjadi sangat populer saat ini terutama untuk aplikasi elektronik dimana sering terjadi medan bias akibat munculnya interferensi gelombang elektromagnetik yang dapat mengurangi kinerja dari peralatan elektronik tersebut. Dan untuk menghilangkan medan bias tersebut diperlukan bahan yang dapat beresonansi pada frekuensi tertentu sehingga diharapkan dapat menyerap radiasi gelombang elektromagnetik yang tidak diinginkan. Prasyarat yang diperlukan sebagai bahan absorber gelombang elektromagnetik adalah bahan ini memiliki permeabilitas dan permitivitas yang tinggi. Pada awalnya bahan magnetic berbasis ferit yang menjadi primadona dalam rekayasa struktur untuk dikembangkan menjadi bahan absorber karena memiliki permeabilitas yang tinggi^[1-4]. Namun disamping itu, pada dekade terakhir ini juga sedang marak dikembangkan bahan absorber gelombang elektromagnetik dari bahan berbasis magnetoresistance dengan komposisi ABO_3 karena memiliki permitivitas yang tinggi. Bahan ABO_3 memiliki struktur perovskite dimana A adalah atom La, Ba, Nd atau Pr, sedangkan B adalah atom Mn, Fe atau Ti.

Pada penelitian ini akan dilakukan sintesis bahan lanthanum manganite sistem perovskite $LaMnO_3$. $LaMnO_3$ merupakan salah satu induk dari keluarga bahan magnetik manganit yang beberapa dekade terakhir ini menarik banyak perhatian karena menunjukkan sifat listrik dan magnetik yang beragam. Korelasi yang sangat kuat antara struktur, pembawa muatan, sifat magnetiknya, dan fenomena magnetoresistansi (MR) yang muncul membuat bahan ini sangat menarik untuk dipahami. Bahan ini pada awalnya diaplikasikan untuk menyimpan data magnetik (magnetic storage devices) dan sebagai katoda pada sel bahan bakar oksida

padat^[5-7]. Sifat magnetiknya muncul pada atom Mn dan dapat terjadi perubahan valensi pada atom Mn tersebut. Perubahan ini disebut sebagai charge ordered, yang dapat mempengaruhi struktur magnetik atom Mn pada sistem $LaMnO_3$. Sehingga pembahasan pada penelitian ini difokuskan pada hasil sintesis dan karakterisasi struktural dan sifat magnetik bahan lanthanum manganite sistem perovskite sebagai studi awal pengembangan bahan baru untuk absorber gelombang elektromagnetik. Jadi tujuan penelitian ini adalah untuk mensintesis dan karakterisasi bahan magnetik sistem lanthanum manganite dan memahami karakteristik struktur kristal, magnetik, listrik dan sifat absorber gelombang elektromagnetik dari bahan ini.

PROSEDUR PERCOBAAN

Bahan magnetic lanthanum manganite disintesis menggunakan metode reaksi padatan dengan oksida-oksida penyusun adalah La_2O_3 dan $MnCO_3$, dari produk Merck dengan kemurnian lebih dari 99,9 %. Campuran dari bahan-bahan dasar tersebut digunakan prinsip stoichiometri dengan persamaan reaksi :



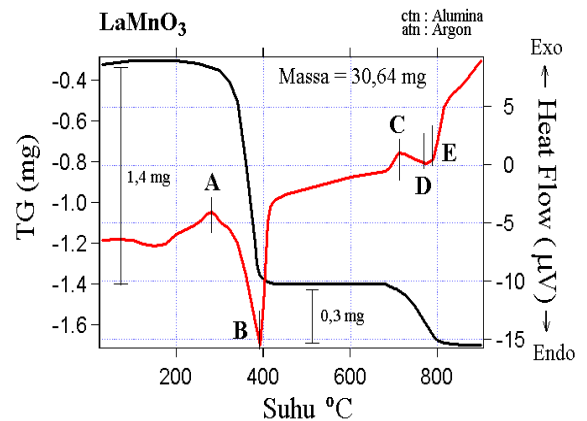
Kedua bahan dasar tersebut dicampur menggunakan alat high energy milling (HEM) Spex 8000. HEM ini berada di laboratorium Bidang Karakterisasi dan Analisis Nuklir (BKAN), Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN), Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) dengan spesifikasi *normal speed 1400 rpm, run time 90 menit, of time 30 menit, dan on of cycle 1 kali*. Dimensi *vial* HEM, panjang 7,6 cm dan diameter 5,1 cm. Sedangkan diameter *ball mill* sebesar 10 mm, terbuat dari bahan *stainless steel*. Campuran ini ditambahkan ethanol dan di-*milling* selama 10 jam pada suhu ruang. Campuran hasil proses milling kemudian dibuat dalam

bentuk sampel pelet diameter 2,5 cm dan ketebalan 2 mm yang dikompaksi dengan tekanan 5000 psi. Sampel pelet tersebut disintering pada suhu 1000 °C selama 10 jam dan didinginkan di dalam lingkungan furnace. Setelah itu sampel pelet hasil sintering digerus kembali untuk dilakukan karakterisasi.

Analisis kualitas dan kuantitas fasa-fasa yang ada di dalam sampel diukur menggunakan alat *x-ray diffractometer (XRD) Philip* tipe PW1710. Pengukuran pola difraksi sampel dilakukan dengan berkas sinar-x dari *tube anode Cu* (copper) dengan panjang gelombang, $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$, *mode: continuous-scan*, *step size : 0,02°*, dan *time per step : 0,5 detik*. Profil difraksi sinar-x dianalisis menggunakan perangkat lunak GSAS (*rietveld analysis*)^[8]. Sedangkan analisis termal, morfologi permukaan, elementer, sifat magnetik, listrik, dan absorber gelombang elektromagnetik berturut-turut menggunakan TG-DTA Merk Setaram, SEM-EDS Merk Jeol JED-2300, VSM Merk Oxford VSM1.2H Instrument, LCR meter Merk Hioki, dan VNA Merk Advantest type R3770.

HASIL DAN PEMBAHASAN

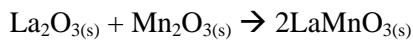
Lanthanum Manganite (LaMnO_3) dihasilkan dari pencampuran bahan-bahan dasar $\text{La}_2\text{O}_3(\text{s})$ dan $\text{MnCO}_3(\text{s})$ dengan prinsip stoichiometri. Sifat intrinsik dari bahan ini baik sifat magnetik maupun elektrik sangat bergantung dari hasil reaksi yang terbentuk. Pada Gambar 1 ditunjukkan hasil karakterisasi thermal (TG-DTA) pembentukan bahan LaMnO_3 ini.



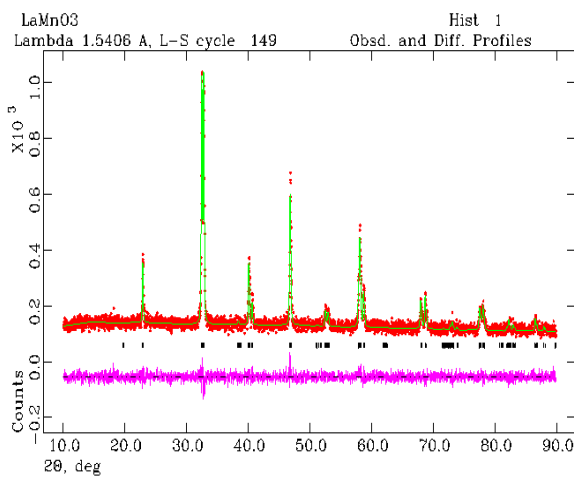
Gambar 1. Kurva TG-DTA pada proses pembentukan LaMnO_3

Berdasarkan kurva *heat flow* terlihat adanya reaksi eksotermis sebanyak dua kali dan endotermis sebanyak tiga kali, sedangkan kurva penurunan berat ditunjukkan pada kurva TG. Reaksi eksotermal terjadi pada posisi A dan C yang berturut-turut pada suhu sekitar 290 °C, dan 705 °C. Sedangkan reaksi endotermal pada posisi B, D, dan E yang berturut-turut terjadi pada sekitar suhu 395 °C, 770 °C, dan 795 °C. Pada puncak eksotermis A yang terjadi pada suhu sekitar 270 °C hingga 290 °C merupakan puncak perubahan susunan kristal dari MnCO_3 sebelum mengalami degradasi dari MnCO_3 menjadi MnO . Puncak endotermis B yang terjadi pada suhu sekitar 395 °C mengindikasikan adanya degradasi dari MnCO_3 menjadi MnO yang bersifat antiferomagnetik dengan melepaskan CO_2 ^[9].

Sehingga pada kurva TG terjadi penurunan berat sebesar 1,4 mg (kalkulasi sebesar 1,17 mg). Kemudian pada suhu sekitar 705 °C terjadi proses transformasi fasa MnO menjadi $\alpha\text{-Mn}_2\text{O}_3$ dengan melepaskan O_2 yang ditandai dengan penurunan kurva TG sebesar 0,3 mg (kalkulasi sebesar 0,22 mg). $\alpha\text{-Mn}_2\text{O}_3$ ini akan terdekomposisi menjadi $\gamma\text{-Mn}_2\text{O}_3$ pada suhu sekitar 770 °C^[10]. Dan pada akhirnya sekitar suhu 795 °C terjadi reaksi pembentukan fasa LaMnO_3 yang tersusun secara antiferomagnetik menurut persamaan reaksi sebagai berikut :



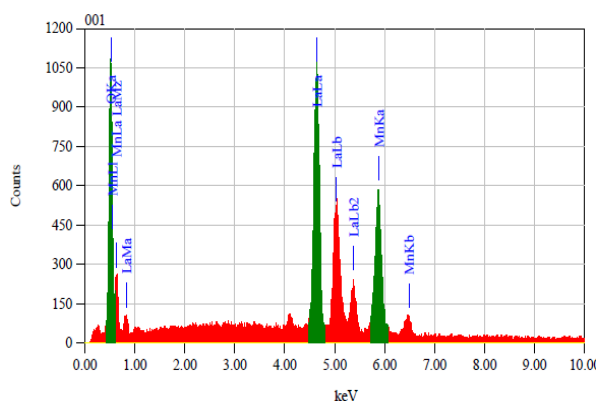
Pada Gambar 2 diperlihatkan hasil refinement pola difraksi sinar-x sampel LaMnO_3 .



Gambar 2. Refinement pola difraksi sinar-x sampel LaMnO_3

Identifikasi fasa ini merujuk pada hasil penelitian Maignan bahwa struktur LaMnO_3 memiliki struktur monoklinik [11]. Dan hasil analisis dengan program GSAS dari pola difraksi sinar-x diperoleh bahwa sampel merupakan *single phase* dengan struktur monoklinik dengan grup ruang (*space group*) $I12/a1$, parameter kisi $a = 5.4638(7) \text{ \AA}$, $b = 5.5116(6) \text{ \AA}$ dan $c = 7.768(1) \text{ \AA}$, $\alpha = \gamma = 90^\circ$ dan $\beta = 90.786(9)^\circ$, $V = 233.93(3) \text{ \AA}^3$ dan $\rho = 6.449 \text{ gr.cm}^{-3}$.

Pada Gambar 3 diperlihatkan hasil analisis elementer menggunakan *energy dispersive spectroscopy* pada sampel LaMnO_3 .



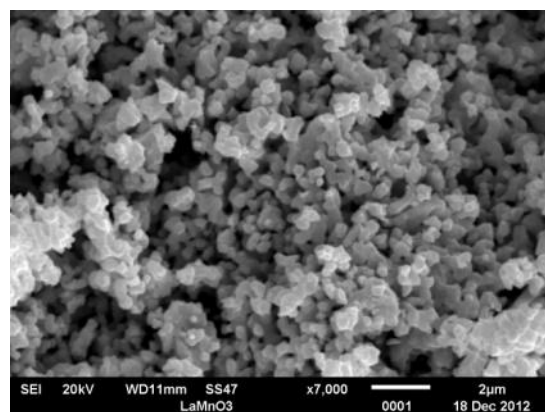
Gambar 3. Analisa elementer dengan menggunakan *energy dispersive spectroscopy* sampel LaMnO_3

Secara rinci kandungan unsur yang ada di dalam sampel LaMnO_3 ini ditunjukkan pada Tabel 1.

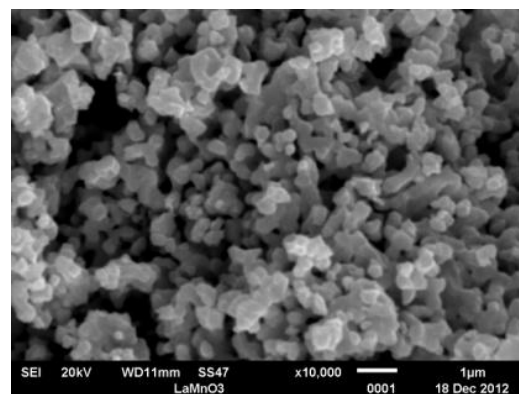
Tabel 1. Hasil analisis elementer menggunakan *energy dispersive spectroscopy*

No	Unsur	Kandungan (% berat)	Kandungan (% atom)
1.	Lanthanum (La)	60,20 ± 0,49	20,86
2.	Mangan (Mn)	19,04 ± 0,34	18,68
3.	Oksigen (O)	20,76 ± 0,12	60,46

Pada Gambar 4 diperlihatkan hasil pengamatan morfologi permukaan sampel LaMnO_3 .



(a) Perbesaran 7000 kali



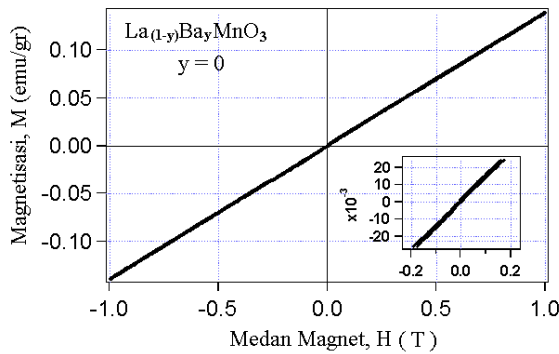
(b) Perbesaran 10.000 kali

Gambar 4. hasil pengamatan morfologi permukaan sampel LaMnO_3

Berdasarkan hasil analisis elementer dan morfologi partikel tampak bahwa sampel memiliki komposisi yang telah sesuai dengan yang diharapkan dengan

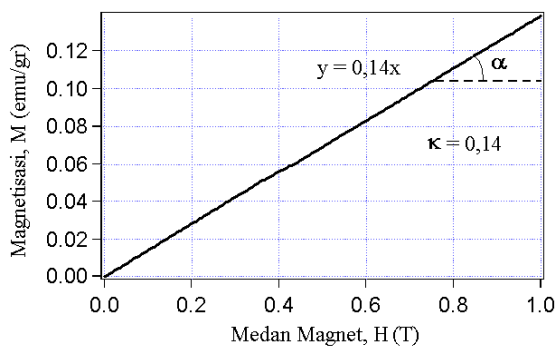
bentuk partikel yang relatif seragam dan terdistribusi merata diseluruh permukaan sampel.

Struktur LaMnO_3 yang telah tersusun secara antiferomagnetik ini sangat stabil^[12]. Untuk itu kurva magnetisasi seperti pada Gambar 5 dari bahan ini yang diukur pada suhu kamar memiliki pola magnetisasinya M linier terhadap fungsi medan magnet H .



Gambar 5. Kurva magnetisasi sampel LaMnO_3

Tampak pada Gambar 5 bahwa momen magnetik pada bahan ini dapat di *alignment* ke arah medan magnet yang diterapkan. Namun setelah medan magnet diturunkan tidak ada *net* magnetisasi dalam bahan ini^[13].

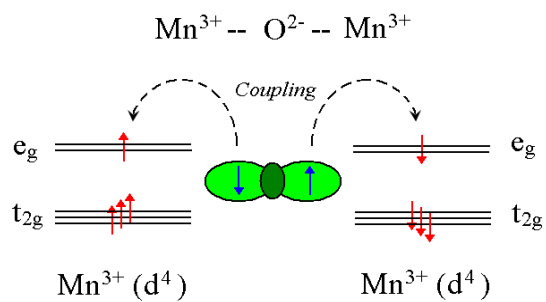


Gambar 6. Karakteristik κ sampel LaMnO_3

Apabila kurva magnetisasi diambil pada kuadran satu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 akan diperoleh sebuah garis lurus, dimana perubahan magnetisasi sebagai fungsi medan terapan (dM/dH) disebut dengan suseptibility κ yang merupakan karakteristik terjadinya

perubahan momen magnetik bahan dengan adanya medan magnet terapan. Secara matematis diperoleh persamaan $y = \kappa x + C$, dengan C adalah konstanta yang mengindikasikan adanya net magnetisasi saat medan terapan ditiadakan (bahan bersifat feromagnetik). Semakin besar harga dari karakteristik κ menunjukkan bahwa bahan tersebut memiliki momen magnetik yang dapat terorientasi dengan baik. Dan sebaliknya, bila karakteristik κ sangat rendah, kebolehjadian bahan tersebut tergolong non magnetik.

Pada sampel LaMnO_3 , ion Mn hanya bervalensi Mn^{3+} . Sifat antiferomagnetik ini dibangun karena adanya interaksi antara sesama ion Mn^{3+} dengan tetangga terdekat melalui anion O^{2-} yang disebut dengan interaksi *superexchange*. Dan interaksi ini yang membuat terjadinya perubahan transfer electron hadir. *Superexchange* merupakan interaksi magnetik antara ion Mn^{3+} yang berdekatan dimediasi oleh ion non magnetik O^{2-} dengan spin elektron yang berpasangan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Hal ini merupakan interaksi yang lazim terjadi pada saat oksida manganit terisolasi dengan ion perantaranya adalah O^{2-} .

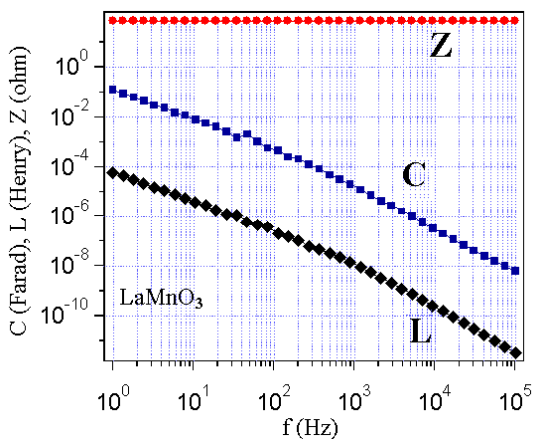


Gambar 7. Ilustrasi mekanisme interaksi *superexchange* $\text{Mn}^{3+} - \text{Mn}^{3+}$

Dalam hal ini, Mn^{3+} berada pada konfigurasi $3d^4$ yang terdiri dari orbital t_{2g} (*triply degenerate orbital*) dengan level energi yang lebih rendah dan orbital e_g (*excited degenerate orbital*) yang memiliki level energi lebih tinggi. Dengan demikian orbital yang terlibat adalah orbital e_g (*excited degenerate orbital*) yang kosong

dari ion Mn^{3+} dan orbital 2p ion O^{2-} yang terisi. Jadi elektron pada orbital 2p ion O^{2-} terbagi diantara dua ion Mn^{3+} yang berdekatan yang mengisi orbital e_g yang kosong. Ini merupakan transfer elektron secara tidak nyata (virtual transfer) yang menjadi ciri khas dari mekanisme interaksi *superexchange*^[14].

LaMnO₃ ini cocok diaplikasikan sebagai kandidat bahan absorber gelombang elektromagnetik karena memiliki karakteristik yang sesuai dengan prasyarat yang diperlukan sebagai bahan absorber tersebut yaitu memiliki karakteristik permitivitas (C) dan permeabilitas (L) seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Karakteristik LCZ pada sampel LaMnO₃

Namun kelemahannya bahwa bahan ini memiliki permeabilitas yang relatif rendah yang ditandai dengan karakteristik permeabilitasnya (L) yang rendah. Karena bahan ini tersusun secara antiferromagnetik, sehingga untuk meningkatkan nilai permeabilitas bahan ini diperlukan rekayasa struktur. Sifat elektromagnetik dari bahan-bahan berstruktur perovskite pada umumnya terjadi akibat dari interaksi yang sangat kompleks antara muatan, *spin-ordering* dan *orbital ordering* dari spin elektron. Kehadiran *spin ordering* dalam bahan-bahan ini akan menimbulkan struktur magnetik secara keseluruhan.

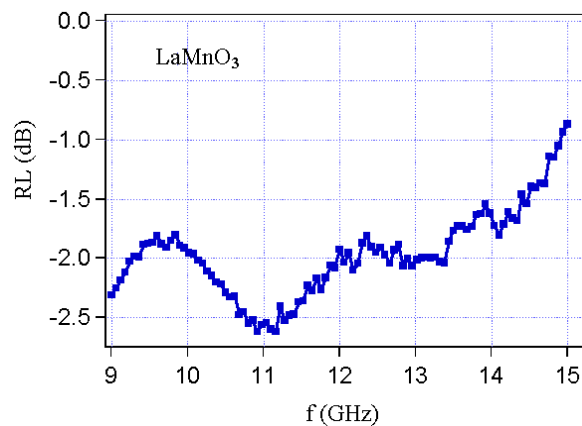
Absorpsi gelombang elektromagnetik (*reflection loss*) ini dipengaruhi oleh nilai

permitivitas dan permeabilitas sesuai dengan persamaan berikut :

$$\text{reflection loss(dB)} = 20 \log \frac{|Z_{in} - 1|}{|Z_{in} + 1|}$$

$$Z_{in} = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh \left[j \frac{2\pi}{c} \sqrt{\mu_r \epsilon_r} f d \right]$$

Dengan μ_r , ϵ_r , c, f, dan d berturut-turut adalah permeabilitas bahan, permitivitas bahan, kecepatan gelombang elektromagnetik di udara, frekuensi, dan ketebalan bahan^[15]. Pada Gambar 9, ditunjukkan hasil pengukuran kurva *reflection loss* (LR) sampel LaMnO₃.



Gambar 9. Kurva RL sampel LaMnO₃

Pada Gambar 8 tampak bahwa karakteristik impedansi (Z) sebagai fungsi frekuensi tidak berubah (konstan), sedangkan karakteristik permitivitas (C) dan permeabilitas (L) tampak menurun. Turunnya karakteristik C dan L pada sistem ini memberikan peluang terjadinya resonansi impedansi antara bahan dengan gelombang elektromagnetik (EM) sehingga diharapkan mekanisme absorpsi gelombang elektromagnetik (EM) dapat terjadi seperti ditunjukkan pada Gambar 9.

Pada Gambar 9 ditunjukkan bahwa telah terjadi absorpsi gelombang EM pada rentang frekuensi antara 9 – 15 GHz dengan frekuensi puncak absorpsi pada 11 GHz sebesar ~ 2,6 dB. Pada frekuensi puncak ini dikalkulasi besarnya absorpsi gelombang EM mencapai 30 % dengan

ketebalan bidang absorp 2,0 mm. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa bahan lanthanum manganite sistem perovskite ini dapat digunakan sebagai studi awal pengembangan bahan baru untuk absorber gelombang elektromagnetik.

KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah berhasil dipahami sintesis dan karakteristik bahan LaMnO_3 sistem perovskite. Berdasarkan hasil *refinement* dari pola difraksi sinar-x diperoleh bahwa sampel merupakan single phase dengan struktur monoklinik dengan grup ruang (space group) $I 1 2/a 1$, parameter kisi $a = 5.4638(7) \text{ \AA}$, $b = 5.5116(6) \text{ \AA}$ dan $c = 7.768(1) \text{ \AA}$, $\alpha = \gamma = 90^\circ$ dan $\beta = 90.786(9)^\circ$, $V = 233.93(3) \text{ \AA}^3$ dan $\rho = 6.449 \text{ gr.cm}^{-3}$. Dan hasil analisis elementer dan morfologi partikel tampak bahwa sampel memiliki komposisi yang telah sesuai dengan yang diharapkan dengan bentuk partikel yang relatif seragam dan terdistribusi merata diseluruh permukaan sampel. Fenomena absorpsi gelombang EM telah terjadi pada rentang frekuensi antara 9 – 15 GHz dengan frekuensi puncak absorpsi pada 11 GHz sebesar $\sim 2,6 \text{ dB}$. Pada frekuensi puncak ini dikalkulasi besarnya absorpsi gelombang EM mencapai 30% dengan ketebalan bidang absorp 1,5 mm. Dengan demikian bahan lanthanum manganite LaMnO_3 sistem perovskite ini dapat digunakan sebagai studi awal pengembangan bahan baru untuk absorber gelombang elektromagnetik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh Pusat Penelitian Metalurgi dan Riset Insentif Sinas Pasir Besi, Pengembangan Teknologi Pengolahan Sumber Daya Pasir Besi Ilmenit Menjadi Produk Besi/ Baja, Pigmen, Bahan Keramik, Kosmetik, dan Fotokatalistik dalam Mendukung Industri Nasional, Dr. Nurul Taufiqu Rochman, M. Eng, PhD.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zhang, H., Yao, X., Wu, M., Zhang, L. 2003. *Complex Permittivity and Permeability of Zn-Co Substituted Z-type Hexaferrite Prepared by Citrate Sol-gel Process*, British Cer. Transc., Vol. 102, pp. 01-10.
- [2] Li, X.C., Gong, R., Feng, Z., Yan, J., Shen, X., He, H. 2006. *Effect of Particle Size and Concentration on Microwave-Absorbing Properties of Hexaferrite Composites*, J. Am. Ceram. Soc., 89, 4, pp. 1450-1452.
- [3] Li, B., Shen, Y., Yue, Z., Nan, C. 2006. *Enhanced Microwave Absorption in Nickel/Hexagonal Ferrite/Polymer Composite*, J. Appl. Phys. Lett., Vol. 89, No. 132505.
- [4] Matsumoto, M., Miyata, Y. 1996. *A Gigahertz-range Electromagnetic Wave Absorber with Bandwidth Made of Hexagonal Ferrite*, J. Appl. Phys., Vol. 79, No.8, pp. 5486-5488.
- [5] Gross, R., Alff, L., Buchner, B., Freitag, B.H., etc. 2000. *Physics of Grain Boundaries in the colossal magnetoresistance manganites*, Journal of Magnetism and Magnetic materials, 211, p.150 – 159.
- [6] Damay, F., Matin, C., Maignan, A., Raveau, B. 1997. *Caution disorder and size effects upon magnetic transitions in $\text{Ln}_{0.5}\text{A}_{0.5}\text{MnO}_3$ Manganites*, J. Appl. Phys, 82 (p.12).
- [7] Lorenzo Malavasia, Clemens Ritterb, Maria Cristina Mozzatic, Cristina Tealdia, M. Saiful Islamd, Carlo Bruno Azzonic, Giorgio Flora,. 2005. *Effects of cation vacancy distribution in doped LaMnO_3 +perovskites*, Journal of Solid State Chemistry, 178, page 2042–2049.
- [8] Fujio Izumi, Rietan,. 1989. *A Software Package for The Rietveld Analysis and Simulation of X-ray and Neutron Diffraction Patterns*, The Rigaku Journal, Vol. 6, No. 1.
- [9] Leib W, Mueller-Buschbaum HK, 1986. *"Zur Verbindungsbildung MO:*

- M2 O3*", Zeitschrift fuer Anorganische und Allgemeine Chemie, 538, p.71-77
- [10] Wyckoff R. W. G., 1963. Second edition. Interscience Publishers, New York, New York, *Crystal Structures*, 1, p. 239-444
- [11] Maignan A, Michel C, Hervieu M, Raveau B., 1997. *A monoclinic manganite, LaMnO3, with colossal magnetoresistance properties near room temperature*, Solid State Communications, 101(4), p. 277-281
- [12] J. Z. Sun, L. Krusin-Elbaum, A. Gupta, Gang Xiao, P. R. Ducombe, and S. S. P. Parkin. 1998. *Magnetotransport in doped manganate perovskites*, IBM Journal of Research & Development, Vol. 42 No. 1.
- [13] Nicola A. Spaldn. 2003. *Magnetic Materials: Fundamentals and Device Applications*, Cambridge University Press.
- [14] Eirin Courtney Sullivan,. 2009. *Anion Manipulation in Perovskite-Related Materials, Thesis, School of Chemistry, The University of Birmingham*.
- [15] Praveen Singh, V. K. Babbar, Archana Razdan, R. K. Puri and T. C. Goel. 2000. *Complex permittivity, permeability, and X-band microwave absorption of CaCoTi ferrite composites*, Journal of Applied Physics, Vol. 87, No. 9, p. 4362-4366. 9b

RIWAYAT PENULIS

Pius Sebleku, lahir di Makasar. Menamatkan pendidikan S1 Jurusan Teknik Metalurgi UNJANI Bandung. Bekerja sebagai peneliti bidang ilmu logam dan material di P2M-LIPI dari tahun 1985 sampai sekarang. Mendalami keahlian di bidang material maju khususnya bidang Low Temperature Superconductor (LTS).