

KARAKTERISASI SIFAT MAGNETIK DAN SERAPAN GELOMBANG MIKRO $\text{Ni}_{(0,5-x)}\text{La}_x\text{Fe}_{2,5}\text{O}_4$ HASIL SINTESIS DENGAN METODE KO-PRESIPITASI

Yunasfi¹, Nurdini Awaliyah² dan Hendrawati²

¹ Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju (PSTBM) - BATAN
Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang Selatan

² Program Studi Kimia, FST - UIN Syarif Hidayatullah

Ir. H. Juanda No 95, Ciputat 15412

Email: yunasfi@gmail.com

Diterima: 19 April 2018

Diperbaiki: 1 Juni 2018

Disetujui: 19 Juli 2018

ABSTRAK

KARAKTERISASI SIFAT MAGNETIK DAN SERAPAN GELOMBANG MIKRO $\text{Ni}_{(0,5-x)}\text{La}_x\text{Fe}_{2,5}\text{O}_4$ HASIL SINTESIS DENGAN METODE KO-PRESIPITASI. Telah dilakukan sintesis bahan penyerap gelombang mikro $\text{Ni}_{(0,5-x)}\text{La}_x\text{Fe}_{2,5}\text{O}_4$ dengan metode ko-presipitasi. Serbuk $\text{Ni}_{(0,5-x)}\text{La}_x\text{Fe}_{2,5}\text{O}_4$ (dengan $x = 0; 0,2; \text{ dan } 0,4$) disintesis dengan mencampurkan serbuk NiCl_2 , LaCl_3 dan FeCl_3 sesuai dengan perbandingan molnya dengan larutan pengendap NH_4OH 4 M. Serbuk $\text{Ni}_{(0,5-x)}\text{La}_x\text{Fe}_{2,5}\text{O}_4$ yang terbentuk disinter pada suhu 1000°C selama 5 jam. Hasil identifikasi fasa dengan *X-Ray Diffractometer (XRD)* menunjukkan bahwa pada serbuk $\text{Ni}_{0,5}\text{Fe}_{2,5}\text{O}_4$ ($x = 0,0$) terbentuk fasa NiFe_2O_4 dan Fe_2O_3 . Substitusi ion La^{3+} menyebabkan munculnya fasa baru yang ditandai dengan munculnya fasa NiFe_2O_4 , Fe_2O_3 dan FeLaO_3 . Fasa NiFe_2O_4 berkurang, sedangkan fasa Fe_2O_3 dan FeLaO_3 semakin meningkat seiring dengan bertambahnya kandungan ion La^{3+} . Karakterisasi sifat magnet serbuk $\text{Ni}_{(0,5-x)}\text{La}_x\text{Fe}_{2,5}\text{O}_4$ dengan *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)* menunjukkan perilaku feromagnetik, nilai M_s semakin rendah dari 31 emu/g hingga 21 emu/g sedangkan nilai H_c semakin meningkat dari 123 Oe sampai 149 Oe seiring dengan peningkatan kandungan ion La^{3+} . Peningkatan kandungan ion La^{3+} juga berhubungan dengan kemampuan penyerapan gelombang mikro, yang diukur dengan *Vector Network Analyzer (VNA)*. Diketahui bahwa serapan gelombang mikro semakin meningkat seiring dengan peningkatan kandungan ion La^{3+} , yaitu pada kisaran ~80 % sampai ~94 %.

Kata kunci: $\text{Ni}_{(0,5-x)}\text{La}_x\text{Fe}_{2,5}\text{O}_4$, Metode ko-presipitasi, Sifat magnetik, Serapan gelombang mikro

ABSTRACT

CHARACTERIZATION OF MAGNETIC AND MICROWAVE ABSORPTION PROPERTIES ON $\text{Ni}_{(0,5-x)}\text{La}_x\text{Fe}_{2,5}\text{O}_4$ SYNTHESIZED BY CO-PRECIPIATION METHOD. Microwave absorbing materials of $\text{Ni}_{(0,5-x)}\text{La}_x\text{Fe}_{2,5}\text{O}_4$ have been synthesized by using co-precipitation method. $\text{Ni}_{(0,5-x)}\text{La}_x\text{Fe}_{2,5}\text{O}_4$ (with $x = 0.0; 0.2; \text{ and } 0.4$) powders were synthesized with mixture compound of NiCl_2 , LaCl_3 and FeCl_3 powders in mol ratio and 4M NH_4OH as precipitant. Each composition of $\text{Ni}_{(0,5-x)}\text{La}_x\text{Fe}_{2,5}\text{O}_4$ powder was sintered at 1000°C for 5 h. Phase identification by using XRD (X-Ray Diffraction) shows that $\text{Ni}_{(0,5-x)}\text{La}_x\text{Fe}_{2,5}\text{O}_4$ powders consists of NiFe_2O_4 and Fe_2O_3 phases. The substitution of La^{3+} ion causes the appearance of a new phase, which are Fe_2O_3 and FeLaO_3 phases. Along with the increasing content of La^{3+} ion, the NiFe_2O_4 phase decreases, while phase Fe_2O_3 and FeLaO_3 increases. Measurement of magnetic properties was done by using VSM (Vibrating Sample Magnetometer), which exhibited a ferromagnetic behavior, in which the M_s value decrease from 31 - 21 emu/g, meanwhile the H_c value increase from 123 - 149 Oe along with the increasing concentration of La^{3+} ion. The increasing content of La^{3+} ion also correspond with the microwave absorption properties, which have been done by using VNA (Vector Network Analyzer). It is known that the microwave absorption properties increase with the increasing content of La^{3+} ion, in the range of ~ 80% up to ~ 94%.

Keywords: $\text{Ni}_{(0,5-x)}\text{La}_x\text{Fe}_{2,5}\text{O}_4$, Co-precipitation methods, Magnetic properties, Microwave absorption

PENDAHULUAN

Akhir-akhir ini interferensi gelombang elektromagnetik semakin serius akibat perkembangan yang pesat dari bisnis alat komunikasi seperti telepon seluler dan sistem radar. Hal ini dapat menyebabkan terganggunya sistem peralatan berbasis elektronik dan sistem keamanan yang vital. Radiasi gelombang mikro yang dipancarkan dari sinyal telepon seluler dapat memicu terjadinya sel kanker [1]. Fenomena tersebut menarik minat para peneliti untuk mengembangkan material yang mampu menyerap gelombang elektromagnetik [1,2].

Secara umum kriteria material absorber yang baik harus memiliki permeabilitas dan permitivitas yang tinggi [3]. Selain itu diperlukan resistivitas dan saturasi magnet yang tinggi. Salah satu material yang telah banyak menjadi objek penelitian di bidang absorber adalah ferit. Bahan ferit termasuk ke dalam bahan yang sangat stabil dengan karakteristik yang sangat baik, diantaranya adalah tingginya resistivitas bahan tersebut. Ferit mempunyai resistivitas intrinsik yang tinggi dan nilai magnetisasi saturasi juga tinggi [1,4].

Sampai saat ini telah banyak dilakukan rekayasa bahan sehingga menghasilkan bahan yang dapat menyerap gelombang elektromagnetik, dimana salah satunya adalah bahan nanopartikel magnetik nikel ferit (NiFe_2O_4) yang disubstitusi ion tanah jarang [5]. NiFe_2O_4 merupakan bahan *soft magnetic* dengan nilai koersivitas yang rendah tetapi memiliki resistivitas listrik yang tinggi. Substitusi logam tanah jarang ke dalam bahan nanopartikel magnetik nikel ferit adalah untuk meningkatkan sifat listrik dan bahan NiFe_2O_4 [6].

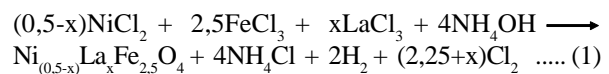
Berbagai metode dapat dilakukan untuk substitusi bahan ini, salah satunya adalah melalui metode kimia dan fisika [7]. Namun, belum ditemukan literatur yang melaporkan hasil penelitian tentang efek substitusi logam tanah jarang terhadap serapan gelombang mikro. Pada penelitian sebelumnya telah dipelajari substitusi ion La^{3+} pada NiFe_2O_4 dengan metode sol-gel yang menghasilkan komposit NiFe_2O_4 - LaFeO_3 berperilaku feromagnetik dengan nilai M_s pada rentang 16,5 emu/g hingga 9,4 emu/g dan mampu menyerap gelombang mikro pada rentang 92 % hingga 96 % [8]. Substitusi ion Nd^{3+} pada NiFe_2O_4 dengan metode *milling* yang menghasilkan komposit NiFe_2O_4 - NdFe_2O_3 berperilaku feromagnetik dengan nilai M_s pada rentang 17,5 hingga 22,4 emu/g [8,9], dan juga karakteristik material $\text{Ni}_{(0,5-x)}\text{La}_x\text{Fe}_{2,5}\text{O}_4$ sebagai absorber gelombang mikro [10].

Dalam makalah ini dilanjutkan dengan pengamatan sifat magnetik dan serapan gelombang mikro pada bahan NiFe_2O_4 yang disubstitusi ion La^{3+} dengan metode ko-presipitasi. Metode ko-presipitasi ini dipilih karena prosedur kerjanya lebih sederhana dan menghasilkan ukuran partikel yang lebih kecil serta lebih homogen dari pada metoda lainnya [5, 11]. Diharapkan dari hasil penelitian ini dapat memberikan informasi

penggunaan bahan ini sebagai penyerap gelombang mikro.

METODE PERCOBAAN

Sintesis $\text{Ni}_{(0,5-x)}\text{La}_x\text{Fe}_{2,5}\text{O}_4$ dilakukan dengan metode ko-presipitasi. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah NiCl_2 (produk *Merck*) dan LaCl_3 (produk *Merck*) dalam bentuk serbuk dengan kemurnian $\geq 99,9\%$, FeCl_3 (produk *Sigma Aldrich*) dengan kemurnian 99,9% serta NH_4OH (produk *Merck*) [10]. Komposisi bahan $(0,5-x)\text{NiCl}_2 : x\text{LaCl}_3 : (2,5)\text{Fe}_2\text{O}_3$ (dengan $x=0,0; 0,2$ dan $0,4$) sesuai perbandingan mol masing-masing dengan berat total 10 gram sesuai Persamaan (1).

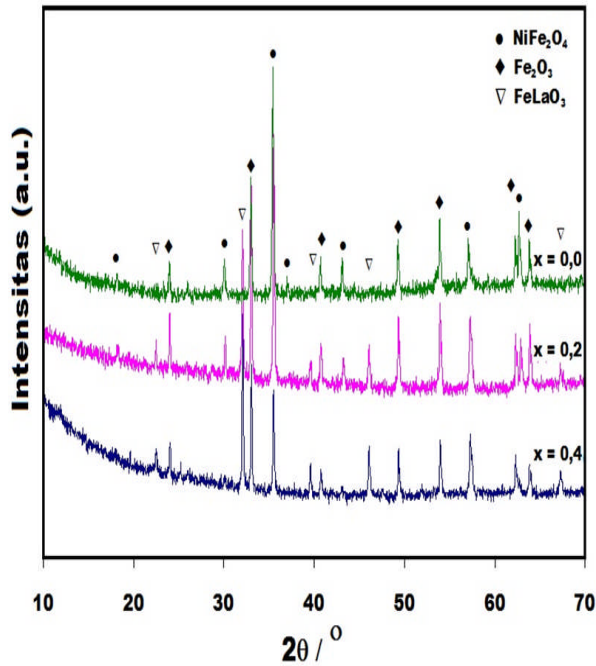


Campuran serbuk dilarutkan dalam *aquadest*, kemudian dipanaskan sampai suhu 80°C sambil diaduk dengan magnetik *stirrer* dan selanjutnya ditambahkan larutan NH_4OH sampai $\text{pH} = 9$ untuk membentuk endapan. Endapan yang terbentuk dicuci beberapa kali dengan *aquadest* sampai menunjukkan $\text{pH} = 7$. Selanjutnya dilakukan pengeringan dengan *oven* pada suhu 100°C dan dilanjutkan dengan proses sintering pada suhu 1000°C selama 5 jam [10].

Sampel $\text{Ni}_{(0,5-x)}\text{La}_x\text{Fe}_{2,5}\text{O}_4$ yang terbentuk dikarakterisasi menggunakan alat *X-Ray Diffraction (XRD)* merk PHILLIPS Panalytical Empyrean PW1710 untuk mengetahui fase yang terbentuk dan sifat magnetik diukur menggunakan alat *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)* tipe OXFORD dengan kisaran medan magnet luar ± 1 Tesla pada suhu ruang untuk pengukuran sifat magnetnya. Kegiatan presipitasi sampel dan peralatan karakterisasi yang digunakan dalam penelitian ini dilakukan di Bidang Sains Bahan Maju (BSBM), PSTBM-BATAN Serpong. Sedangkan pengukuran serapan gelombang mikro diukur menggunakan alat *Vector Network Analyzer (VNA)* merk Advatest-R3370 300 KHz - 20 GHz yang berada di PPET, LIPI - Bandung.

HASIL DAN PEMBAHASAN

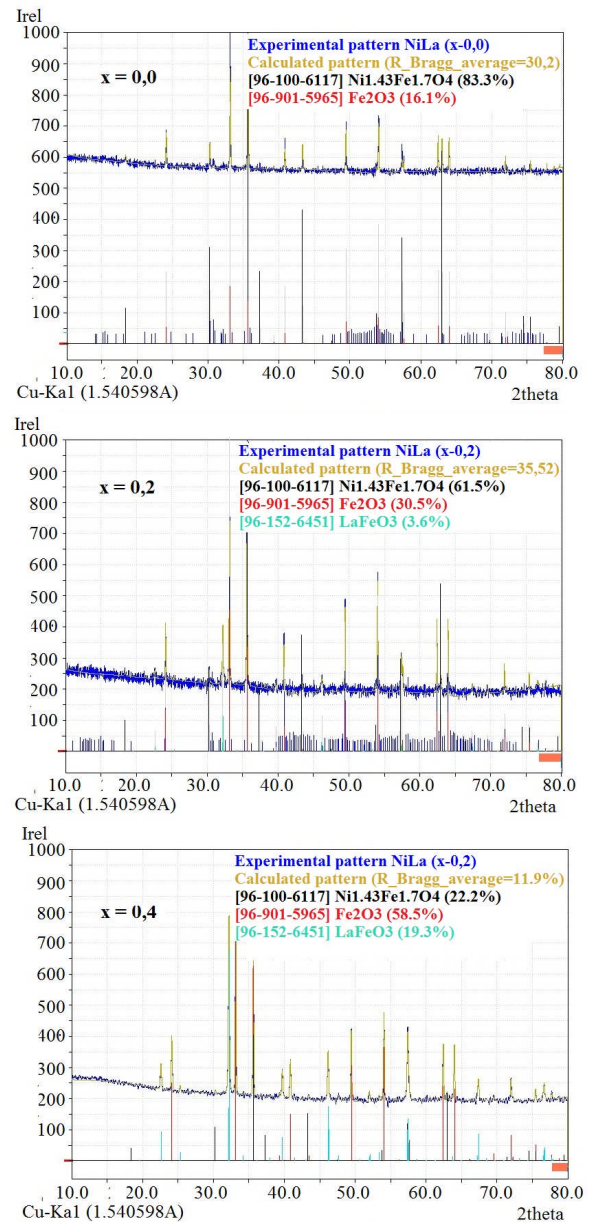
Pola *XRD* serbuk $\text{Ni}_{(0,5-x)}\text{La}_x\text{Fe}_{2,5}\text{O}_4$ ($x = 0,0; 0,2$ dan $0,4$) hasil sintesis dengan metode ko-presipitasi, ditunjukkan pada Gambar 1. Terlihat bahwa pola difraksi yang terbentuk untuk serbuk $\text{Ni}_{(0,5-x)}\text{La}_x\text{Fe}_{2,5}\text{O}_4$ dengan $x = 0$ (sebelum penambahan ion La^{3+}) menunjukkan indikasi terbentuknya multifasa, yaitu fasa NiFe_2O_4 dan fasa Fe_2O_3 . Puncak utama muncul pada sudut 2θ di sekitar sudut 35° yang merupakan puncak bidang (311) dari NiFe_2O_4 yang berbentuk kubik spinel. Analisis ini diperkuat dengan kemunculan puncak-puncak lain yang juga merupakan karakteristik dari NiFe_2O_4 , yaitu puncak bidang (111) pada sudut sekitar 18° , (220) pada



Gambar 1. Pola XRD serbuk $Ni_{(0,5-x)}La_xFe_{2,5}O_4$ ($x = 0; 0,2; 0,4$) hasil sintesis dengan metode ko-presipitasi.

sudut sekitar 30° , (222) pada sudut sekitar 37° , (400) pada sudut sekitar 43° , (422) pada sudut sekitar 53° , (511) pada sudut sekitar 57° , dan (440) pada sudut sekitar 64° . Sedangkan fasa Fe_2O_3 muncul pada sudut 2θ di sekitar 33° yang merupakan puncak bidang (104) memiliki struktur kristal heksagonal dan puncak lain yang merupakan karakteristik dari Fe_2O_3 , yaitu pada sudut 2θ sekitar 24° yang merupakan puncak bidang (012), (110) pada sudut sekitar 36° , (113) pada sudut sekitar 41° , (024) pada sudut sekitar 54° dan (300) pada sudut sekitar 63° , (125) pada sudut sekitar 66° , yang sesuai database ICDD 96-100-6117 pada program MATCH. Hasil identifikasi ini merujuk pada data yang dilaporkan peneliti sebelumnya [12].

Substitusi ion La^{3+} ($x = 0,2$ dan $0,4$) menunjukkan adanya penambahan puncak baru. Berdasarkan hasil analisis dengan program MATCH diketahui bahwa puncak baru yang muncul adalah fasa $LaFeO_3$ seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Puncak baru tersebut juga merupakan karakteristik dari fasa $LaFeO_3$, yaitu puncak bidang (101) pada sudut sekitar 23° , (121) pada sudut sekitar 30° , (220) pada sudut sekitar 40° , (202) pada sudut sekitar 46° , (240) pada sudut sekitar 52° dan (242) pada sudut sekitar 58° , yang sesuai database ICDD 96-100-6117 pada program MATCH. Prosentase masing-masing fasa yang terbentuk dalam serbuk dengan berbagai variasi ditunjukkan pada Tabel 1. Dari Tabel 1 terlihat bahwa % fasa $NiFe_2O_4$ yang terbentuk berkurang dengan adanya substitusi ion La^{3+} dan semakin berkurang seiring dengan peningkatan konsentrasi ion La^{3+} . Hal ini disebabkan oleh substitusi ion La^{3+} yang terlalu banyak, sehingga tidak semua ion La^{3+} dapat masuk ke dalam struktur spinel ferit untuk membentuk fasa $NiFe_2O_4$.

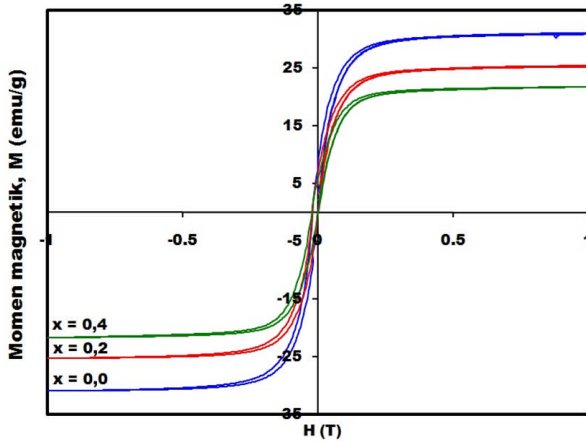


Gambar 2. Identifikasi fase dari pola XRD serbuk $Ni_{(0,5-x)}La_xFe_{2,5}O_4$ ($x = 0; 0,2; 0,4$) hasil sintesis dengan metode ko-presipitasi.

Tabel 1. Fase yang terbentuk dalam serbuk $Ni_{(0,5-x)}La_xFe_{2,5}O_4$ ($x = 0; 0,2; 0,4$) hasil sintesis dengan metode ko-presipitasi.

Nilai x	Senyawa	Fase (%)		
		$NiFe_2O_4$	Fe_2O_3	$LaFeO_3$
0,0	$Ni_{0,5}Fe_{2,5}O_4$	83,8	16,2	-
0,2	$Ni_{0,3}La_{0,2}Fe_{2,5}O_4$	61,5	35,0	3,5
0,4	$Ni_{0,1}La_{0,4}Fe_{2,5}O_4$	22,2	58,5	19,3

Karakterisasi sifat magnet serbuk $Ni_{(0,5-x)}La_xFe_{2,5}O_4$ hasil sintesis dengan metode ko-presipitasi dilakukan dengan peralatan VSM. Hasil karakterisasi ini digambarkan dengan kurva histeresis M-H pada range medan magnet -1 Tesla sampai 1 Tesla, yang memberikan informasi besarnya nilai magnetisasi remanen (M_r),



Gambar 3. Kurva M-H serbuk $Ni_{(0.5-x)}La_xFe_{2.5}O_4$ ($x = 0; 0,2$ dan $0,4$) hasil sintesis dengan metode ko-presipitasi.

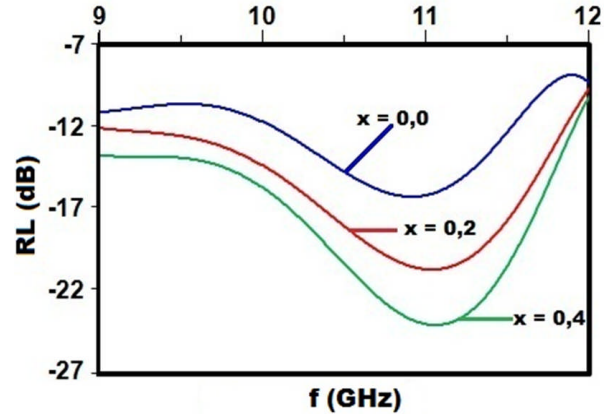
magnetisasi saturasi (M_s) dan medan koersivitas (H_c), yang ditunjukkan pada Gambar 3. Hasil pengamatan dengan VSM menunjukkan bahwa semua sampel menunjukkan perilaku sifat feromagnetik dengan nilai koersivitas yang relatif kecil [13]. Untuk lebih jelasnya, kurva histeresis diperbesar dan diperoleh nilai parameter magnetik sampel, yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter magnetik serbuk $Ni_{(0.5-x)}La_xFe_{2.5}O_4$ ($x = 0; 0,2; 0,4$) hasil sintesis dengan metode ko-presipitasi.

Nilai x	Senyawa	Nilai paramter magnetik		
		M_s (emu/g)	M_r (emu/g)	H_c (Oe)
0,0	$Ni_{0,5}Fe_{2,5}O_4$	31,1	7,44	123,5
0,2	$Ni_{0,3}La_{0,2}Fe_{2,5}O_4$	25,4	5,72	138,5
0,4	$Ni_{0,1}La_{0,4}Fe_{2,5}O_4$	21,8	4,85	149,0

Dari Tabel 2, dapat dilihat bahwa substitusi ion La^{3+} menyebabkan nilai magnetisasi (M_s) berkurang, sedangkan nilai koersivitas (H_c) cenderung semakin besar. Peningkatan kandungan ion La^{3+} (nilai x semakin besar) menunjukkan nilai M_s berkurang, sedangkan nilai koersivitas (H_c) semakin besar. Hal ini menunjukkan sifat magnetik serbuk $Ni_{(0.5-x)}La_xFe_{2.5}O_4$ semakin berkurang seiring dengan peningkatan kandungan ion La^{3+} , yang ditunjukkan dengan penurunan nilai M_s , sedangkan nilai H_c semakin besar. Menurut hasil penelitian yang dilaporkan oleh Mullai et. al. [14] bahwa nilai M_s turun karena kandungan nikel ferit semakin rendah seiring meningkatnya kadungan ion La^{3+} , sedangkan peningkatan nilai H_c diduga karena peningkatan konstanta anisotropi yang disebabkan hardirnya fasa $LaFeO_3$ [13-15],

Serapan gelombang mikro serbuk $Ni_{(0.5-x)}La_xFe_{2.5}O_4$ yang disintesis dengan metode ko-presipitasi diukur dengan alat VNA pada rentang frekuensi 9,0 GHz hingga 12 GHz dalam bentuk kurva kehilangan refleksi (*reflection loss*, RL), yang ditunjukkan pada Gambar 4. Kehilangan refleksi menunjukkan adanya mekanisme resonansi *spin* magnetik antara gelombang



Gambar 4. (a). Kurva kehilangan refleksi serbuk $Ni_{(0.5-x)}La_xFe_{2.5}O_4$ ($x = 0; 0,2$ dan $0,4$) hasil sintesis dengan metode ko-presipitasi.

mikro dengan bahan yang diindikasikan adanya kecocokan impedansi sehingga terjadi serapan gelombang mikro [16,17]. Pada Gambar 4 terlihat bahwa puncak RL terendah yang dihasilkan La^{3+} (nilai x). Penurunan puncak RL dikaitkan oleh serbuk $Ni_{(0.5-x)}La_xFe_{2.5}O_4$ pada puncak yang berbeda-beda untuk setiap sampel dan pada *range* panjang gelombang yang lebar. Puncak RL untuk $x = 0,0$ ($Ni_{0,5}Fe_{2,5}O_4$) adalah -12,851 dB pada frekuensi 10,9 GHz (serapan sebesar 77 %) dan puncak RL semakin turundengan adanya substitusi ion dengan nilai koersivitas (H_c) bahan sesuai dengan hasil pengukuran dengan VSM yang menunjukkan bahwa nilai H_c menjadi lebih besar dengan adanya substitusi ion La^{3+} . Puncak RL untuk $x = 0,2$ ($Ni_{0,3}La_{0,2}Fe_{2,5}O_4$) adalah -18,47 dB (serapan sebesar 90 %) pada 11,0 GHz, sedangkan pada saat $x = 0,4$ ($Ni_{0,1}La_{0,4}Fe_{2,5}O_4$) adalah -23,63 dB (serapan sebesar 93%) pada frekuensi 11,1 GHz. Hal ini menunjukkan bahwa substitusi ion La^{3+} menyebabkan terjadinya peningkatan serapan gelombang mikro.

Bahan spinel nikel ferit merupakan bahan yang bersifat *soft magnetic* yang memiliki medan anisotropi sangat kecil, sehingga harus ditingkatkan dengan mensubstitusi logam tanah jarang, yang salah satunya adalah ion Lantanum (ion La^{3+}). Substitusi ion La^{3+} (peningkatan nilai x) menunjukkan peningkatan serapan gelombang mikro. Hal ini disebabkan oleh adanya fasa $LaFeO_3$ yang bersifat paramagnetik, memiliki sifat listrik dan magnet sehingga memiliki nilai permeabilitas dan permitivitas yang tinggi [2,16,17].

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa substitusi ion La^{3+} kedalam sistem $Ni_{0,5}Fe_{2,5}O_4$ dengan metode ko-presipitasi, menghasilkan senyawa $Ni_{(0.5-x)}La_xFe_{2.5}O_4$ dalam bentuk multi fase yang ditunjukkan dari analisis data pola XRD. Untuk nilai $x = 0$, fasa yang terbentuk adalah fasa $NiFe_2O_4, Fe_2O_3$ sedangkan untuk nilai $x = 0,2$ dan $0,4$ maka terbentuk fasa $NiFe_2O_4, Fe_2O_3$ dan $FeLaO_3$ yang dianalisis dari pola

XRD. Hasil pengukuran sifat magnetik serbuk $Ni_{(0,5-x)}La_xFe_{2,5}O_4$ menunjukkan nilai M_s semakin rendah (pada kisaran sekitar 31 emu/g hingga 21 emu/g) sedangkan nilai H_c semakin meningkat (pada kisaran 123 Oe hingga 149 Oe) seiring dengan peningkatan kandungan ion La^{3+} . Substitusi ion La^{3+} juga dapat meningkatkan kemampuan bahan menyerap gelombang mikro. Serapan gelombang mikro ini semakin meningkat (pada kisaran 85 % hingga 94 %) seiring dengan bertambahnya ion La^{3+} .

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih diucapkan kepada kepala Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju (PSTBM) - BATAN dan penanggung jawab (PJ) kegiatan Litbang bahan Smart Magnetik yang telah memberi kepercayaan pada kami untuk melaksanakan penelitian ini, yang didanai dari DIPA tahun 2015 - 2019. Serta semua pihak yang telah membantu kami dalam pelaksanaan penelitian ini

DAFTAR ACUAN

- [1]. A. Teber, K. Cil, T. Yilmaz, B. Eraslan, D. Uysal, G. Surucu, A. Baykal, R. Bansal. "Manganese and Zinc Spinel Ferrites Blended with Multi-Walled Carbon Nanotubes as Microwave Absorbing Materials". *Aerospace*, vol. 4, no. 1, pp.1-18, 2017.
- [2]. K. Rafeekali, M. Maheen, E. M. Mohammed. "Influence of Rare Earth (Tb³⁺) on Electrical and Magnetic Studies of Nickel Ferrite Nanoparticles". *IOSR Journal of Applied Physics (IOSR-JAP)*, vol. 7, no. 3, pp. 21-25, May-Jun. 2015.
- [3]. K. C. Tripathi, S. M. Abbas, P. S. Alegaonkar, R. B. Sharma. "Microwave Absorption Properties of Ni-Zn Ferrite Nano-Particle Based Nano Composite". *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 463-468, February 2015.
- [4]. M. De, G. Bera and H. S. Tewari. "Characterization of Magnesium Substituted Nickel Ferrites Nanoparticles Synthesized Using Combustion Technique". *International Journal of Mathematics and Physical Sciences Research*, vol. 3, no. 1, pp. 71-76, 2015.
- [5]. M. Yousefi and P. Alimard. "Synthesis of M-Nd Doped Fe_3O_4 Nanoparticles (M = Co, Ce, Cr, Ni) with Tunable Magnetic Properties." *Bull. Chem. Soc. Ethiop.*, vol. 27, no. 1, pp. 49-56. 2013.
- [6]. M. Zeng, J. Liu, M. Yue, H. Yang, H. Dong, W. Tang, H. Jiang, X. Liu, and R. Yu. "High-Frequency Electromagnetic Properties of The Manganese Ferrite Nanoparticles." *Journal of Applied Physics*, vol. 117, 2015.
- [7]. M. Sigamani and K. S. Manja. "Spectroscopic and Structural Studies of Nickel Ferrite Doped with Rare Earth Ions". *International Journal of ChemTech Research*, vol.7, no. 3, pp. 1460-1464, 2014.
- [8]. Yunasfi, Mashadi dan A. Mulyawan. "Sintesis Bahan Absorber Gelombang Mikro $Ni_{(1,5-x)}La_xFe_{1,5}O_4$ dengan (x = 0.0 ; 0,5 dan 1,0) Menggunakan Metode Sol-Gel". *Jurnal Sains Materi Indonesia*, vol. 19, no. 1, pp.19-24 . 2017.
- [9]. A. Mulyawan, Yunasfi dan W. A. Adi. "Analisa Sifat Magnetik dan Sifat Listrik Komposit $NiFe_2O_4$ - $NdFeO_3$ ". *Metalurgi*, vol. 32, no. 3, pp. 105-114, 2017.
- [10]. Nurdini. "Sintesis dan Karakteristik Material $Ni_{(0,5-x)}La_xFe_{2,5}O_4$ Sebagai Absorber Gelombang Mikro". Skripsi Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta, 2017.
- [11]. S. Joshi, M. Kumar, S. Chhoker, G. Srivastava, M. Jewariya, V.N. Singh. "Structural, Magnetic, Dielectric and Optical Properties of Nickel Ferrite Nanoparticles Synthesized by Co-precipitation Method". *Journal of Molecular Structure*, vol. 1076, pp. 55-62, 2014.
- [12]. M. M. L. Sonia, S. Blessi and S Pauline. "Role of Lanthanum Substitution on the Structural and Magnetic Properties of Nanocrystalline Nickel Ferrites". *International Journal of Advance Research in Science and Engineering, IJARSE*, vol. 3, no. 7, pp. 360-367, July 2014.
- [14]. R. U. Mullai, P. Priyadharsini Pradeep and G. Chandrasekaran. "Synthesis and Characterization of Lanthanum Doped Mg-Zn Ferrite Nanoparticles Prepared by Sol-Gel Method". *International Journal of Recent Trends in Science And Technology*, vol.5, no. 2, pp. 78-85, 2012.
- [15]. Li Guo-Min, Wang Lian-Cheng, and Xu Yao. "Templated Synthesis of Highly Ordered Mesoporous Cobalt Ferrite and Its Microwave Absorption Properties". *Chin. Phys. B*, vol. 23, no. 8, 2014.
- [16]. S. K. A. K. Sahib, M. Suganthi, Vasant Naidu, S. Pandian and M. Sivabharathy. "Synthesis of Double Lanthanide Doped Nano Ferrite MetaMaterial for Microstrip Patch Antenna Application". *International Journal of ChemTech Research*, vol. 6, no. 11, pp. 4615-4624, 2014.
- [17]. S. Kumar, T. J. Shinde and P. N. Vasambekar. "Microwave Synthesis and Characterization of Nanocrystalline Mn-Zn Ferrites". *Adv. Mat. Lett.*, vol. 4, no. 5, pp. 373-377, 2013.