

SINTESIS BAHAN ABSORBER GELOMBANG MIKRO $\text{Ni}_{(1,5-x)}\text{La}_x\text{Fe}_{1,5}\text{O}_4$ DENGAN METODE SOL GEL

Yunasfi, Mashadi dan Ade Mulyawan

Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju (PSTBM) - BATAN
Kawaasan Puspipstek, Serpong 15314, Tangerang Selatan, Indonesia
E-mail : yunasfi@gmail.com

Diterima: 17 November 2016

Diperbaiki: 9 Juni 2017

Disetujui: 16 Juni 2017

ABSTRAK

SINTESIS BAHAN ABSORBER GELOMBANG MIKRO $\text{Ni}_{(1,5-x)}\text{La}_x\text{Fe}_{1,5}\text{O}_4$ DENGAN METODE SOL GEL. Telah dilakukan sintesis bahan absorber gelombang mikro $\text{Ni}_{(1,5-x)}\text{La}_x\text{Fe}_{1,5}\text{O}_4$ dengan ($x = 0,0; 0,5$ dan $1,0$) menggunakan metode sol-gel. Bahan $\text{Ni}_{(1,5-x)}\text{La}_x\text{Fe}_{1,5}\text{O}_4$ disintesis dari campuran serbuk $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ dan $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ dalam perbandingan mol masing-masing serbuk dengan menggunakan metode sol gel dan kemudian disinter pada suhu 1200°C selama 3 jam. Identifikasi fasa dengan *X-Ray Diffractometer (XRD)* menunjukkan bahwa dengan penambahan kandungan ion La^{3+} terbentuk $\text{Ni}_{(1,5-x)}\text{La}_x\text{Fe}_{1,5}\text{O}_4$ dengan 2 fasa yaitu NiFe_2O_4 dan LaFeO_3 . Pengamatan morfologi dengan *Scanning Electron Microscope (SEM)* menunjukkan terbentuknya partikel yang tidak homogen yang artinya bahwa reaksi pembentukan $\text{Ni}_{(1,5-x)}\text{La}_x\text{Fe}_{1,5}\text{O}_4$ belum sempurna. Sifat magnet sampel yang dianalisis dengan *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)* menunjukkan bahwa sampel berperilaku feromagnetik, dimana nilai M_s semakin rendah (pada rentang $32,76$ emu/g hingga $9,40$ emu/g) dan nilai H_c semakin besar (pada rentang $200 - 247$ Oe) seiring dengan penambahan kandungan La. Sedangkan kemampuan penyerapan gelombang mikro yang diukur dengan *Vector Network Analyzer (VNA)* menunjukkan nilai *Reflection Loss (RL)* maksimum diperoleh pada komposisi sampel $x = 0,5$ sebesar $-27,5$ dB pada frekuensi $10,60$ GHz. Berarti bahwa $\text{NiLa}_{0,5}\text{Fe}_{1,5}\text{O}_4$ mampu menyerap gelombang mikro sebesar $\sim 96\%$ pada frekuensi $10,60$ GHz.

Kata kunci: Nikel lantanum ferit, Metode *sol-gel*, Sifat magnet, Serapan gelombang mikro

ABSTRAK

SYNTHESIS OF $\text{Ni}_{(1,5-x)}\text{La}_x\text{Fe}_{1,5}\text{O}_4$ AS MICROWAVE ABSORBER MATERIAL BY SOL GEL METHODS. Synthesis of $\text{Ni}_{(1,5-x)}\text{La}_x\text{Fe}_{1,5}\text{O}_4$ with ($x = 0, 0.5$ and 1.0) as microwave absorber material by using sol-gel method have been carried out. The materials of $\text{Ni}_{(1,5-x)}\text{La}_x\text{Fe}_{1,5}\text{O}_4$ powder are made from a mixture of $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ and $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ in a mole ratio sol gel method and then sintered at 1200°C for 3 hours. Phase identification by X-Ray Diffractometer (XRD) shows that the La addition have formed of two phases of NiFe_2O_4 and LaFeO_3 . Morphological observation by Scanning Electron Microscope (SEM) shows unhomogenous particles which means the reaction in the formation of $\text{Ni}_{(1,5-x)}\text{La}_x\text{Fe}_{1,5}\text{O}_4$ has not been perfect. Magnetic properties of samples were analyzed by vibrating sample magnetometer (VSM) shows ferromagnetic behaviour, where the M_s value decrease (around of 32.76 to 9.40 emu/g) and value of H_c increased (around of $200-247$ Oe) along with the addition of the La content. While the ability of microwaves absorption measured by using Vector Network Analyzer (VNA) indicates that the maximum value of Reflection Loss (RL) obtained at the composition of $x = 0.5$ up to -27.5 dB at a frequency of 10.60 GHz. It means the $\text{Ni}_{(1,5-x)}\text{La}_x\text{Fe}_{1,5}\text{O}_4$ composition is able to absorb microwave up to $\sim 96\%$ at a frequency of 10.60 GHz.

Keywords: Nickle lanthanum ferrite, Sol-gel, Magnetic properties, Microwave absorber

PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir ini, telah banyak penelitian yang difokuskan pada sintesis nanometal oksida karena sifat optik, listrik dan magnetiknya yang

luar biasa dibandingkan dengan senyawa dalam bentuk *bulk* dan salah satunya adalah ferit *spinel*, MFe_2O_4 (M adalah ion logam valensi dua) [1]. Ferit *spinel* memiliki

sifat unggul seperti resistivitas listrik yang tinggi, permeabilitas tinggi dan rugi-rugi *Eddy current* yang dapat diabaikan dengan adanya perambatan gelombang elektromagnetik frekuensi tinggi sehingga material ini berpotensi untuk diaplikasikan pada teknologi *ferrofluid*, teknologi penyimpanan data, alat telekomunikasi, penyerap gelombang mikro dan radar, *shielding electromagnetic interference*, sistem penghantaran obat (*drug delivery system*) dan sensor gas [1,2].

Salah satu ferit *spinel* yang banyak dikembangkan saat ini adalah nikel ferit (NiFe_2O_4). NiFe_2O_4 adalah bahan ferimagnetik terkenal dengan struktur *spinel inverse*, yaitu semua ion Ni^{2+} berada di *site* oktahedral dan ion Fe^{3+} terdistribusi merata di *site* tetrahedral dan oktahedral. NiFe_2O_4 menunjukkan sifat ferimagnetik yang berasal dari pasangan momen magnet *anti-paralel* antara momen magnet ion Fe^{3+} pada *site* tetrahedral dengan momen magnet ion Ni^{2+} dan ion Fe^{3+} pada *site* oktahedral [3,4]. NiFe_2O_4 merupakan material *soft magnetic* dengan koersivitas dan magnetisasi saturasi yang rendah tetapi memiliki resistivitas listrik yang tinggi sehingga membuat material ini cocok untuk aplikasi bidang magnetik dan magneto-optik. Nanopartikel NiFe_2O_4 menampilkan kurva histeresis yang sempit sehingga material ini dapat digunakan sebagai bahan penyerap gelombang mikro, *low and high frequency transformer cores* dan *high density information storage materials* [5].

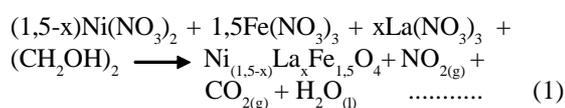
Sifat listrik dan magnetik dari *spinel* NiFe_2O_4 dapat ditingkatkan dengan penambahan kation divalen, trivalen atau tetravalen ke kisi *spinel*. Substitusi sejumlah kecil ion logam tanah jarang ke dalam ferit *spinel* dapat mendistorsi struktur karena jari-jari ioniknya menjadi besar sehingga menginduksi *strain* dan secara signifikan akan merubah sifat listrik, magnet dan strukturmikro. Ion tanah jarang berperan penting dalam menentukan anisotropi kristal magnet (*magneto crystalline anisotropy*) dalam senyawa intermetalik 4f-3d [4-6]. Sifat *spinel* NiFe_2O_4 dapat diatur oleh masuknya ion tanah jarang yang cocok sehingga memiliki aplikasi yang luas. Faktor-faktor yang mempengaruhi sifat *spinel* NiFe_2O_4 adalah komposisi dan strukturmikro, metode sintesis dan suhu *sintering* [7]. Metode untuk substitusi logam tanah jarang ke dalam senyawa *spinel* NiFe_2O_4 telah banyak dikembangkan, seperti *sol-gel method* [7], *co-precipitation method* [8], *ceramic method* [9], dan metode hidrotermal [10], namun belum ada yang akan mengaplikasikannya untuk serapan gelombang mikro.

Pada penelitian sebelumnya telah berhasil dilakukan sintesis *spinel* NiFe_2O_4 yang memiliki fase tunggal dengan metode *sol-gel* [11]. Sedangkan dengan teknik *milling* dengan *High Energy Milling (HEM)* selama 5 jam juga telah berhasil disintesis *spinel* $\text{Ni}_x\text{Fe}_{(3-x)}\text{O}_4$ dengan ($x = 0,5 ; 1,0 ; 1,5$ and $2,0$) yang memiliki fase tunggal dengan serapan gelombang mikro maksimum pada $x = 1,5$ ($\text{Ni}_{1,5}\text{Fe}_{1,5}\text{O}_4$) [12]. Pada penelitian ini dilanjutkan dengan substitusi ion La^{3+} pada *spinel* $\text{Ni}_{1,5}\text{Fe}_{1,5}\text{O}_4$ dengan metode *sol-gel*. Metode *sol-gel* dipilih

dalam penelitian ini karena metode ini sederhana dan biaya rendah. Diharapkan dari hasil penelitian ini dapat memberikan informasi tentang pemanfaatan bahan magnet berbasis sistem ferit sebagai penyerap gelombang mikro.

METODE PERCOBAAN

Masing-masing bahan serbuk $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (produk *Merck* dengan kemurnian $\geq 99\%$), $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (produk *Merck* dengan kemurnian 76-77%) dan $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (produk *Merck* dengan kemurnian 99,9%) ditimbang sesuai dengan perbandingan molnya dengan berat total 10 gram. Komposisi kimia untuk sampel $\text{Ni}_{1,5-x}\text{La}_x\text{Fe}_{1,5}\text{O}_4$ (dengan $x = 0; 0,5$ dan $1,0$) disintesis berdasarkan Persamaan 1.



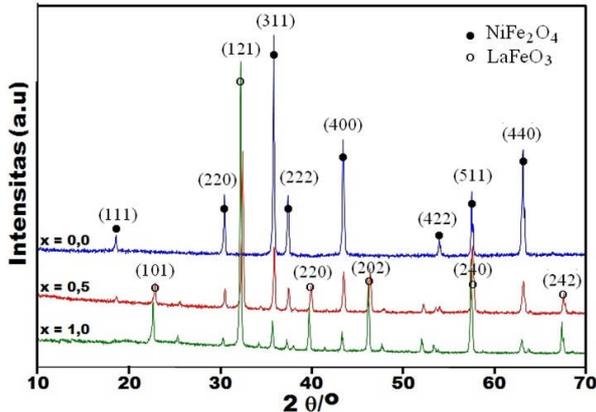
Masing-masing campuran serbuk ini ditambahkan larutan etilen glikol (produk *Merck*) sebanyak 20 mL sambil diaduk dengan *magnetic stirrer* dan dipanaskan pada suhu sekitar 80°C sampai terbentuk gel basah. Gel basah yang terbentuk dikeringkan dengan oven pada suhu sekitar 100°C , kemudian disinter pada suhu 1200°C dan digerus .

Masing-masing serbuk $\text{Ni}_{(1,5-x)}\text{La}_x\text{Fe}_{1,5}\text{O}_4$ yang terbentuk, dilakukan identifikasi fasa dengan peralatan *Difraktometer Sinar-X (XRD)* merek *Phillips PANalytical Empyrean*. Pengamatan morfologi dilakukan dengan alat *Scanning Electron Microscope (SEM)/ Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)* merek *JEOL* dan pengukuran sifat magnetnya dilakukan dengan peralatan *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)* tipe *OXFORD 1,2 H* dengan kisaran medan magnet luar ± 1 Tesla pada suhu ruang. Semua peralatan ini terpasang di Bidang Sains Bahan Maju (BSBM), PSTBM-BATAN. Serta pengukuran serapan gelombang mikro dilakukan dengan alat *Vector Network Analyzer (VNA)* merek *Advatest-R3370 300 KHz - 20 GHz* yang terpasang di PPET, LIPI-Bandung.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui struktur kristal dan fasa yang terbentuk dari serbuk $\text{Ni}_{1,5-x}\text{La}_x\text{Fe}_{1,5}\text{O}_4$ ($x = 0,0; 0,5$ dan $1,0$) hasil sintesis dengan metode *sol-gel* ditunjukkan pada Gambar 1. Pola difraksi yang terbentuk untuk $x = 0$ ($\text{Ni}_{1,5}\text{Fe}_{1,5}\text{O}_4$) menunjukkan indikasi terbentuknya fasa tunggal dengan sktruktur *ferrite spinel* yang memiliki struktur kristal kubik dengan *space group Fd3m* dengan parameter kisi adalah $a = b = c = 0,58836$ nm pada suhu ruang. Puncak utama yang muncul pada sudut 2θ di sekitar sudut 35° yang merupakan puncak bidang (311) dari $\text{Ni}_{1,5}\text{Fe}_{1,5}\text{O}_4$ yang berbentuk kubik *spinel* [13].

Analisis ini diperkuat dengan kemunculan puncak-puncak lain yang juga merupakan karakteristik dari $Ni_{1,5}Fe_{1,5}O_4$ yaitu puncak bidang (111) pada sudut sekitar 18° , (220) pada 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° , yang mana sesuai dengan database ICDD 96-100-6117 pada *MATCH*.

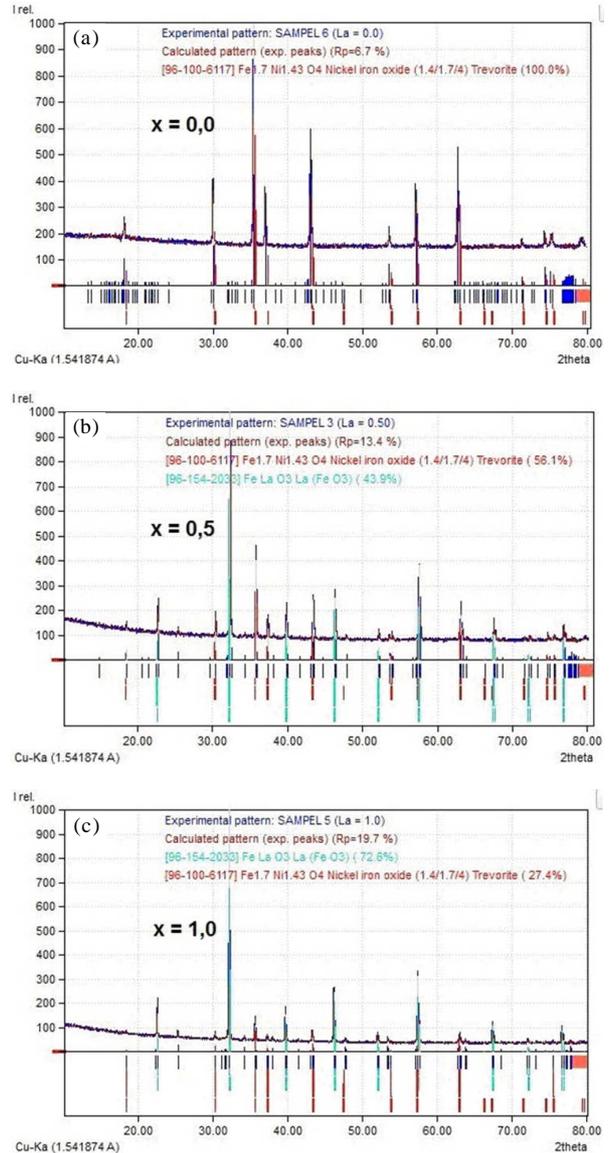


Gambar 1. Pola difraksi serbuk $Ni_{(1,5-x)}La_xFe_{1,5}O_4$ dengan $x = 0,0; 0,5$ dan $1,0$.

Dengan penambahan nilai x (kandungan La) dalam serbuk $Ni_{1,5-x}La_xFe_{1,5}O_4$ menunjukkan adanya penambahan puncak baru sehingga menjadi 2 fasa (Gambar 2). Berdasarkan hasil analisis dengan program *MATCH* diketahui bahwa puncak baru adalah fasa $LaFeO_3$. Puncak tersebut juga merupakan karakteristik dari $LaFeO_3$ 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 dengan database ICDD 96-100-6117 pada *MATCH*.

Hasil analisis identifikasi fasa menunjukkan substitusi ion La^{3+} menyebabkan terbentuknya multifasa yang ditandai dengan munculnya fasa $NiFe_2O_4$ dan fasa $LaFeO_3$. Prosentase masing-masing fasa yang terbentuk ditunjukkan pada Tabel 1. Dari Tabel 1 terlihat bahwa persentase fasa $NiFe_2O_4$ yang terbentuk berkurang sedangkan fasa $LaFeO_3$ semakin bertambah seiring dengan peningkatan kandungan ion La^{3+} yang disubstitusikan. Menurut Sonia, et. al. [13] bahwa substitusi ion La^{3+} terhadap $NiFe_2O_4$ dengan kandungan 0,025 sampai 0,075 terbentuk fasa tunggal $NiLaFe_2O_4$. Sedangkan pada penelitian ini dilakukan substitusi ion La^{3+} pada $NiFe_2O_4$ dengan kandungan 0,5 hingga 1,0 terbentuk multifasa. Hasil penelitian ini sama dengan yang dilaporkan oleh Mullai et.al. [14], bahwa substitusi ion La^{3+} terhadap $NiFe_2O_4$ terbentuk multifasa yaitu fasa $NiFe_2O_4$ dan fasa $LaFeO_3$. Hal ini disebabkan oleh kandungan ion La^{3+} yang terlalu banyak sehingga tidak semua ion La^{3+} yang dapat masuk kedalam struktur *spinel* ferit untuk membentuk fasa tunggal $NiLaFe_2O_4$.

Hasil pengamatan morfologi permukaan sampel $Ni_{(1,5-x)}La_xFe_{1,5}O_4$ ($x = 0,0; 0,5$ dan $1,0$) dengan *SEM* pada

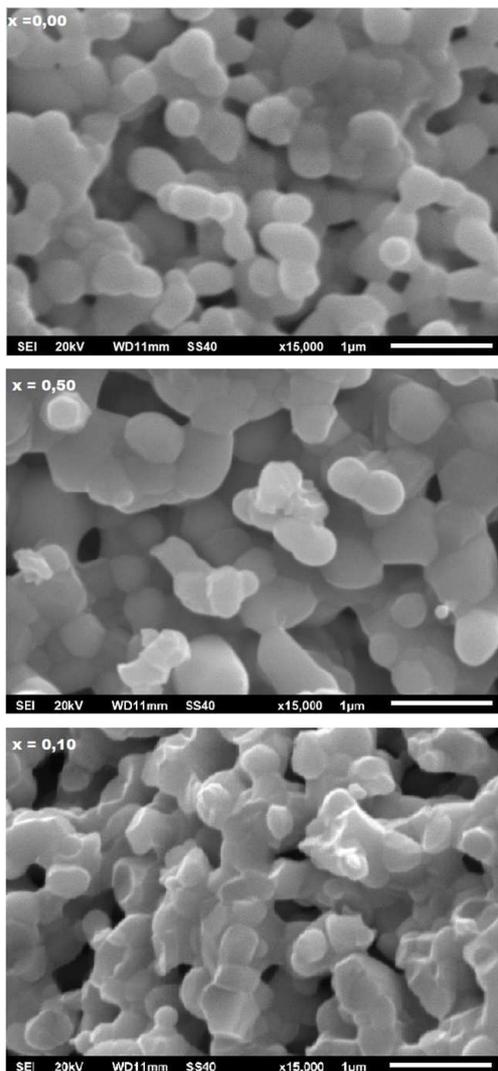


Gambar 2. Identifikasi fasa dari pola XRD serbuk $Ni_{(1,5-x)}La_xFe_{1,5}O_4$ dengan (a). $x = 0,0$; (b). $0,5$ dan (c). $1,0$.

Tabel 1. Prosentase fasa yang terbentuk dalam serbuk $Ni_{(1,5-x)}La_xFe_{1,5}O_4$ dengan $x = 0; 0,5; 1,0$

Komposisi (x)	Sampel	Fasa (%)	
		$NiFe_2O_4$	$LaFeO_3$
0,0	$Ni_{1,5}Fe_{1,5}O_4$	100	-
0,5	$NiLa_{0,5}Fe_{1,5}O_4$	56,1	43,9
1,0	$Ni_{0,5}LaFe_{1,5}O_4$	27,4	76,2

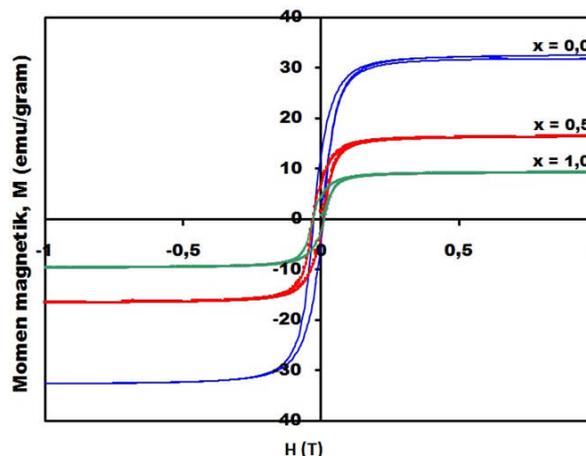
pembesaran 5000x, ditunjukkan pada Gambar 3. Pada Gambar 3 terlihat bahwa sampel $Ni_{(1,5-x)}La_xFe_{1,5}O_4$ dengan $x = 0,0$ ($Ni_{1,5}Fe_{1,5}O_4$) memiliki partikel yang tidak homogen dan merata diseluruh permukaan sampel dengan ukuran partikel sekitar 300 nm, yang berarti bahwa sampel $Ni_{1,5}Fe_{1,5}O_4$ memiliki fasa tunggal. Sedangkan, dengan adanya penambahan kandungan ion lantanum ($x = 0,5$ dan $1,0$) terlihat bahwa partikel mulai tidak merata dengan



Gambar 3. Morfologi permukaan serbuk $Ni_{(1,5-x)}La_xFe_{1,5}O_4$ ($x = 0,0; 0,5$ dan $1,0$)

ukuran bervariasi (200-500 nm), yang berarti bahwa sampel $NiLa_{0,5}Fe_{1,5}O_4$ dan sampel $Ni_{0,5}LaFe_{1,5}O_4$ memiliki fasa lebih dari satu (multi fasa). Sesuai dengan hasil identifikasi fasa dengan XRD yang menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan ion lantanum menyebabkan timbulnya fasa baru. Hal ini menunjukkan bahwa substitusi ion La ke dalam senyawa $Ni_{1,5}Fe_{1,5}O_4$ dengan metode sol-gel membentuk senyawa $Ni_{(1,5-x)}La_xFe_{1,5}O_4$.

Sifat magnetik $Ni_{1,5-x}La_xFe_{1,5}O_4$ hasil sintesis dengan metode sol-gel dikarakterisasi menggunakan 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), magnetisasi saturasi (M_s) dan medan koersivitas (H_c), yang ditunjukkan pada Gambar 4. Informasi kurva histeresis yang diperoleh menggambarkan karakteristik dari berbagai parameter dalam pembuatan material magnet. Hasil pengamatan VSM menunjukkan bahwa semua sampel menunjukkan perilaku sifat feromagnetik dengan



Gambar 4. Kurva M-H serbuk $Ni_{(1,5-x)}La_xFe_{1,5}O_4$ ($x = 0,0; 0,5$ dan $1,0$).

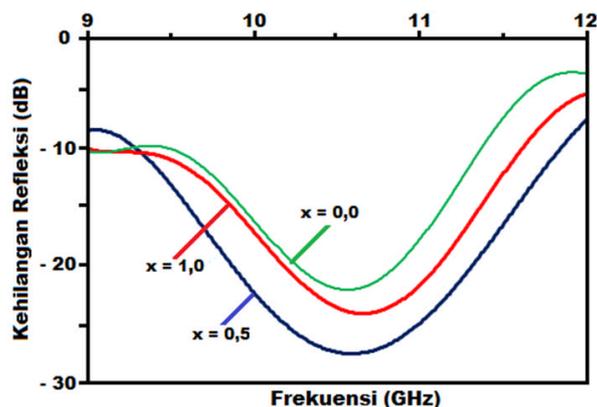
nilai koersivitas yang relatif kecil. Untuk lebih jelasnya, kurva histeresis diperbesar seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter magnetik serbuk $Ni_{(1,5-x)}La_xFe_{1,5}O_4$ ($x = 0,0; 0,5$ dan $1,0$).

Komposisi (x)	Sampel	Parameter Magnetik		
		M_s (emu/g)	M_r (emu/g)	H_c (Oe)
0,0	$Ni_{1,5}Fe_{1,5}O_4$	32,76	12,58	200
0,5	$NiLa_{0,5}Fe_{1,5}O_4$	16,50	6,46	217
1,0	$Ni_{0,5}LaFe_{1,5}O_4$	9,40	4,38	247

Nilai-nilai magnetisasi $Ni_{1,5-x}La_xFe_{1,5}O_4$ dengan berbagai konsentrasi lantanum ($x = 0,0; 0,5$ dan $1,0$) ditunjukkan pada Tabel 2, terlihat bahwa puncak kurva menjadi lebih rendah dengan adanya substitusi lantanum. Nilai magnetisasi (M_s) semakin kecil sedangkan nilai koersivitas (H_c) cenderung semakin besar seiring dengan bertambahnya konsentrasi lantanum (nilai x semakin besar). Menurut hasil penelitian yang dilaporkan oleh Mullai et. al. [14] bahwa substitusi ion La^{3+} ini dapat meningkatkan nilai H_c . Hal ini disebabkan oleh posisi kation dan juga efek pertukaran ion La^{3+} menggantikan ion nikel dalam struktur spinel inverse yang merupakan kontributor utama sifat magnetiknya. Ion La^{3+} yang bersifat paramagnetik yang disubstitusikan ke dalam struktur spinel inverse akan berpengaruh terhadap magnetisasi. Dalam keadaan ini, momen magnet pada $Ni_{1,5-x}La_xFe_{1,5}O_4$ akan sulit termagnetisasi oleh medan magnet eksternal dan ketika didemagnetisasi maka koersivitasnya akan cenderung lebih besar.

Serapan gelombang mikro oleh $Ni_{1,5-x}La_xFe_{1,5}O_4$ yang disintesis dengan metode sol gel diukur dengan VNA pada rentang frekuensi 9,0-12 GHz dalam bentuk kurva kehilangan refleksi (reflection loss, RL), ditunjukkan pada Gambar 5. Kehilangan refleksi menunjukkan adanya mekanisme resonansi spin



Gambar 5. Kurva kehilangan refleksi komposit $Ni_{(1,5-x)}La_xFe_{1,5}O_4$ ($x = 0.0; 0.5$ and 1.0).

magnetik antara gelombang elektromagnetik dengan bahan sehingga terjadi serapan gelombang mikro. Pada Gambar 5 terlihat bahwa puncak RL terendah yang dihasilkan oleh $Ni_{1,5-x}La_xFe_{1,5}O_4$ pada puncak yang berbeda-beda untuk setiap sampel dan pada *range* panjang gelombang yang lebar. Puncak RL untuk $x = 0,0$ ($Ni_{1,5}Fe_{1,5}O_4$) adalah $-24,21$ dB dan semakin turun dengan adanya substitusi ion La^{3+} (nilai x). Penurunan puncak RL dikaitkan 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+} .

Dari hasil penelitian ini diperoleh bahwa puncak RL yang paling rendah diperoleh pada sampel $x = 0,5$ ($NiLa_{0,5}Fe_{1,5}O_4$) yaitu $-27,5$ dB pada frekuensi $10,60$ GHz. Hal ini berarti bahwa $NiLa_{0,5}Fe_{1,5}O_4$ mampu menyerap gelombang mikro sekitar 96% pada frekuensi $10,60$ GHz. Sedangkan penambahan kandungan ion La^{3+} sampai $x = 1,0$ menunjukkan pengurangan puncak RL. Dari hasil ini diketahui substitusi ion La^{3+} dengan nilai $x = 0,5$ menunjukkan kandungan La^{3+} yang optimum sehingga memberikan serapan yang paling besar.

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 lantanum [15]. Substitusi ion La^{3+} (peningkatan nilai x) menunjukkan peningkatan serapan gelombang mikro. Hal ini disebabkan oleh lantanum yang bersifat paramagnetik yang memiliki sifat listrik dan magnet sehingga memiliki nilai permeabilitas dan permitivitas yang tinggi. Dengan adanya substitusi ion La^{3+} akan meningkatkan sifat intrinsik $Ni_{1,5-x}La_xFe_{1,5}O_4$, sehingga serapannya terhadap gelombang mikro meningkat.

KESIMPULAN

Substitusi ion La^{3+} pada nikel ferit dengan metode *sol-gel* dari serbuk-serbuk $Fe(NO_3)_3$, $Ni(NO_3)_2$ dan $La(NO_3)_3$ menghasilkan senyawa $Ni_{1,5-x}La_xFe_{1,5}O_4$ dalam bentuk multifasa yang ditunjukkan dengan munculnya fasa $NiFe_2O_4$ dan $LaFeO_3$, $Ni_{1,5-x}La_xFe_{1,5}O_4$ yang terbentuk

memiliki partikel yang tidak homogen dengan ukuran sekitar $200-500$ nm. Substitusi ion La^{3+} ini menyebabkan penurunan nilai M_s dan peningkatan nilai H_c . Nilai M_s semakin turun (pada rentang 58 emu/g – 39 emu/g) sedangkan nilai H_c semakin besar (pada rentang $116-170$ Oe) seiring dengan penambahan kandungan ion La^{3+} . Substitusi ion La^{3+} juga menunjukkan puncak RL semakin rendah. Puncak RL paling rendah ditunjukkan oleh sampel dengan $x = 0,5$ yaitu sebesar $-27,5$ dB pada frekuensi $10,60$ GHz. Berarti bahwa $NiLa_{0,5}Fe_{1,5}O_4$ hasil sintesis dengan metode sol-gel mampu menyerap gelombang mikro sekitar $96,5\%$ pada frekuensi $10,60$ GHz. Sehingga $NiLa_{0,5}Fe_{1,5}O_4$ dapat diaplikasikan sebagai bahan untuk penerap gelombang mikro.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih diucapkan kepada kepala Pusat Sains dan Teknologi Bahan Nuklir (PSTBM)-BATAN 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]. M. T. Farid, I. Ahmad, Ss. Aman, M. Kanwal, G. Murtaza, I. Ali, I. Ahmad, M. Ishfaq. "Structural, Electrical and Dielectric Behavior of $Ni_xCo_{1-x}Nd_yFe_{2-y}O_4$ Nano Ferrites Synthesized by Sol-Gel Method." *Journal of Nanomaterials and Biostructures*, vol. 10, no. 1, pp. 265-275, 2015.
- [2]. Shivani Malhotra, Mansi Chitkara and IS Sandhu. "Microwave Absorption Study of Nano Synthesized Strontium Ferrite Particles in X Band." *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*, vol. 8, no. 10, pp.115-120, 2015.
- [3]. Manojit De, Ganesh Bera, H. S. Tewari. "Characterization of Magnesium Substituted Nickel Ferrites Nano Particles Synthesized Using Combustion Technique." *International Journal of Mathematics and Physical Sciences Research*, vol. 3, no. 1, pp. 71-76, 2015.
- [4]. K. Sarkar, S. Mukherjee, S. Mukherjee. "Structural, Electrical and Magnetic Behaviour of Undoped and Nickel Doped Nanocrystalline Bismuth Ferrite by Solution Combustion Route." *Processing and Application of Ceramics*, vol. 9, no. 1, pp. 53-60, 2015.
- [5]. H. Moradmard, S. Farjami Shayesteh. "The Variation of Magnetic Properties of Nickel Ferrite by Annealing." *Manufacturing Science and Technology*, vol. 3, no. 4, pp. 141-145, 2015.
- [6]. S. Mahalakshmi and K.Srinivasa Manja. "Spectroscopic and Structural Studies of Nickel Ferrite Doped with Rare Earth Ions." *International*

- Journal of Chem. Tech. Research, vol. 7, no. 3, pp. 1460-1464, 2015.
- [7]. K. Rafeekali, M. Maheen, and E.M. Mohammed. "Influence of Rare Earth (Tb^{3+}) on Electrical and Magnetic Studies of Nickel Ferrite Nanoparticles." IOSR J. Appl. Phys. (IOSR-JAP), vol. 7, no. 3, pp. 21-25, May - Jun 2015.
- [8]. 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.
- [9]. Saiduzzaman, Md. Abul Hossain, A.K.M. Hakim, S. Noor, R. Islam and Md. Al-Mamun. "The Effect of La on the Physical and Magnetic Properties of NiCuZn Ferrites." Journal of Materials Science and Engineering B, vol. 1, pp. 891-894, 2011.
- [10]. E.Pervaiz and I.H.Gul. "Magneto Dielectric and Electromagnetic Absorbing studies of Antimony Doped Nickel Ferrites." International Journal of Current Engineering and Technology, vol.3, no. 5, pp. 1784-1788, December 2013.
- [11]. Mashadi, Yunasfi and W.A. Adi. "Analisis Struktur Kristal dan Gugus Fungsi $NiFe_2O_4$ dengan Metode Sol Gel", Jurnal Sains Materi Indonesia, vol. 17, no. 3, p. 131-135, April 2016.
- [12]. Yunasfi, Wisnu Ari Adi, Mashadi and Putri Astari Rahmy. "Magnetic and Microwave Absorption Properties of Nickel Ferrite ($Ni_xFe_{3-x}O_4$) by HEM Technique." Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences (MJFAS), vol. 13, no. 3, pp. 203-206, July-September 2017.
- [13]. M. Maria Lumina Sonia, S.Blessi, 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, 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, pp. 088105 (1-7), 2014.