



ANALISIS FASA SISTEM $Mn_{(1-x)}Nd_xFe_2O_4$ SEBAGAI KANDIDAT BAHAN PENYERAP GELOMBANG MIKRO

Yunasfi^{a*}, Indri Racmawati^b, Mashadi^a, Wisnu Ari Adi^a dan Nurmaya Arofah^b

^aPusat Sains dan Teknologi Bahan Maju – BATAN

Gedung 40 Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan, Indonesia 15410

^bProgram Studi Kimia FST, UIN Syarif Hidayatullah – Jakarta

Ir. H. Juanda No 95, Ciputat Indonesia 15412

*Email : yunasfi@gmail.com

Masuk Tanggal : 19-04-2018, revisi tanggal : 20-06-2018, diterima untuk diterbitkan tanggal 29-08-2018

Intisari

Telah dilakukan analisis fasa sistem $Mn_{(1-x)}Nd_xFe_2O_4$ sebagai bahan penyerap gelombang mikro hasil sintesis dengan metode *sol-gel*. Sistem $Mn_{(1-x)}Nd_xFe_2O_4$ (dengan $x = 0,0; 0,1$ dan $0,2$) disintesis dengan mencampurkan serbuk $Fe(NO_3)_3$, $Mn(NO_3)_3$ dan $Nd(NO_3)_3$ sesuai dengan perbandingan molnya. Campuran bahan ini dilarutkan dengan etilen glikol, dikeringkan dengan oven pada suhu $120\text{ }^\circ\text{C}$ dan kemudian disinter pada $1200\text{ }^\circ\text{C}$ selama 3 jam. Identifikasi fasa menggunakan XRD (*x-ray diffractometer*) menunjukkan terbentuknya multifasa yang ditandai dengan munculnya fasa $MnFe_2O_4$ dan $NdFeO_3$. Pengamatan morfologi dengan SEM (*scanning electron microscopy*) menunjukkan terbentuknya struktur yang tidak homogen untuk seluruh sampel dengan ukuran sekitar 200-400 nm. Serapan gelombang mikro yang diukur dengan VNA (*vector network analyzer*) menunjukkan bahwa substitusi ion Nd^{3+} dapat meningkatkan kemampuan material menyerap gelombang mikro, dengan serapan terbesar $\sim 93\%$ oleh komposisi $x = 0,2$ ($Mn_{0,8}Nd_{0,2}Fe_2O_4$).

Kata Kunci: Sistem $Mn_{(1-x)}Nd_xFe_2O_4$, metode *sol-gel*, serapan gelombang mikro

Abstract

Phase analysis of $Mn_{(1-x)}Nd_xFe_2O_4$ system as candidate of microwave absorber materials have been carried out. $Mn_{(1-x)}Nd_xFe_2O_4$ (with $x = 0.0; 0.1$ dan 0.2) system was synthesized by mixing the powder of $Fe(NO_3)_3$, $Mn(NO_3)_3$ and $Nd(NO_3)_3$ in mole ratio. The mixture was dissolved with ethyleneglycol, dried at $120\text{ }^\circ\text{C}$ and sintered at $1200\text{ }^\circ\text{C}$ for 3 h. Phase identification with XRD (*x-ray diffractometer*) shows that multiphase have been formed which is indicated by the appearance of $MnFe_2O_4$ and $NdFeO_3$ phase. According to the morphological observation with SEM (*scanning electron microscopy*), it is known that all of the samples has unhomogeneous structure with particle size is 200-400 nm. The results of microwave absorbing properties measured by VNA (*vector network analyzer*) shows that the increasing substitution of Nd^{3+} ion will increased the ability of material to absorb microwave with the highest value of $\sim 93\%$ for the composition of $x=0.2$ ($Mn_{0,8}Nd_{0,2}Fe_2O_4$).

Keywords: $Mn_{(1-x)}Nd_xFe_2O_4$ system, *sol-gel* method, microwave absorption

1. PENDAHULUAN

Tantangan yang dihadapi dalam aplikasi elektronik adalah terjadinya medan bias yang biasanya terjadi akibat interferensi gelombang elektromagnetik sehingga dapat mengurangi kinerja dari peralatan elektronik. Untuk menghilangkan medan bias tersebut diperlukan bahan magnet yang dapat beresonansi pada frekuensi tertentu sehingga diharapkan dapat

menyerap radiasi gelombang elektromagnetik yang tidak diinginkan [1]. Prasyarat yang diperlukan sebagai bahan penyerap gelombang elektromagnetik adalah bahan ini memiliki permeabilitas dan permitivitas yang tinggi [2]-[3].

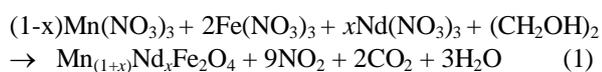
Bahan penyerap gelombang yang sedang dikembangkan saat ini adalah bahan magnet berbasis ferit dengan permeabilitas yang relatif tinggi yang dimodifikasi dengan logam tanah

jarang untuk meningkat permittivitasnya [4]-[5]. Rekayasa bahan ini dapat dimanfaatkan menjadi bahan unggul untuk aplikasi absorber gelombang elektromagnetik [6]. Salah satu bahan ferit yang banyak digunakan sebagai bahan absorber adalah mangan ferit ($MnFe_2O_4$). $MnFe_2O_4$ banyak digunakan karena memiliki performa elektromagnetik yang tinggi pada rentang frekuensi yang luas dan merupakan komposit magnet yang memiliki keunggulan seperti, bahannya ringan, biaya rendah, fleksibilitas desain, dan memiliki sifat penyerap gelombang [7]-[8].

Sampai saat ini, masih jarang ditemukan literatur yang membahas serapan gelombang mikro oleh logam tanah jarang berbasis sistem ferit ini. Sifat magnetik dari mangan ferit ($MnFe_2O_4$) tergantung pada komposisi, morfologi, ukuran partikel yang sangat berhubungan dengan kondisi preparasi [9]-[10]. Pada penelitian sebelumnya, Mashadi, dkk. [11] telah berhasil mensintesis senyawa $MnFe_2O_4$ yang memiliki fase tunggal dengan serapan gelombang mikro sekitar 80%. Untuk meningkatkan daya serap gelombang mikro oleh senyawa $MnFe_2O_4$, maka dilakukan modifikasi dengan menambahkan logam tanah jarang. Pada penelitian ini dilakukan substitusi ion Nd^{3+} pada senyawa $MnFe_2O_4$ untuk membentuk sistem $Mn_{1-x}Nd_xFe_2O_4$ (dengan $x = 0,0; 0,1$ dan $0,2$) dengan metode sol-gel, kemudian dilakukan analisis fasa yang terbentuk, pengamatan struktur mikro dan serapan gelombang mikronya. Pada penelitian sebelumnya, doping ion Nd pada $MnFe_2O_4$ dengan metode ko-presipitasi menunjukkan serapan maksimum 91% [12]. Diharapkan dari hasil penelitian ini didapatkan sistem $Mn_{(1-x)}Nd_xFe_2O_4$ yang dapat menyerap gelombang mikro lebih baik dari penelitian sebelumnya.

2. PROSEDUR PECOBAAN

Masing-masing bahan serbuk $Fe(NO_3)_3$, $Mn(NO_3)_3$ dan $Nd(NO_3)_3$ dari produk Merck dengan kemurnian $\geq 99,9\%$ ditimbang sesuai dengan perbandingan molnya dengan berat total 10 gram. Komposisi kimia untuk sampel $Mn_{1-x}Nd_xFe_2O_4$ (dengan $x = 0,0; 0,1$ dan $0,2$) disintesis berdasarkan persamaan reaksi sebagai berikut :



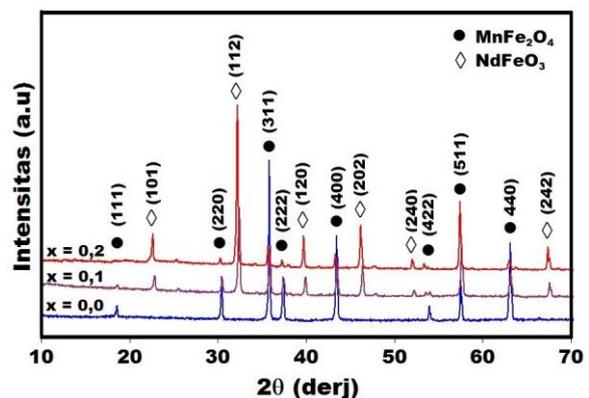
Masing-masing campuran serbuk ini ditambahkan 20 ml larutan polietilen glikol (produk Merck), sambil diaduk dengan *magnetic stirrer* dan dipanaskan pada suhu sekitar $80^\circ C$

sampai terbentuk *gel* basah. Gel basah yang terbentuk dikeringkan dengan oven pada suhu sekitar $120^\circ C$, kemudian dipanaskan dengan *furnace* pada suhu $1200^\circ C$ selama 3 jam dan digerus.

Masing-masing serbuk $Mn_{1-x}Nd_xFe_2O_4$ yang terbentuk, dilakukan identifikasi fasa dengan peralatan XRD (*x-ray diffraction*) merek Phillips Panalytical Empyrean, dan pengukuran serapan gelombang mikro dilakukan dengan alat VNA (*vector network analyzer*) merek Advatest-R3370 300 KHz - 20 GHz yang terpasang di PPET, LIPI-Bandung.

3. HASIL DAN DISKUSI

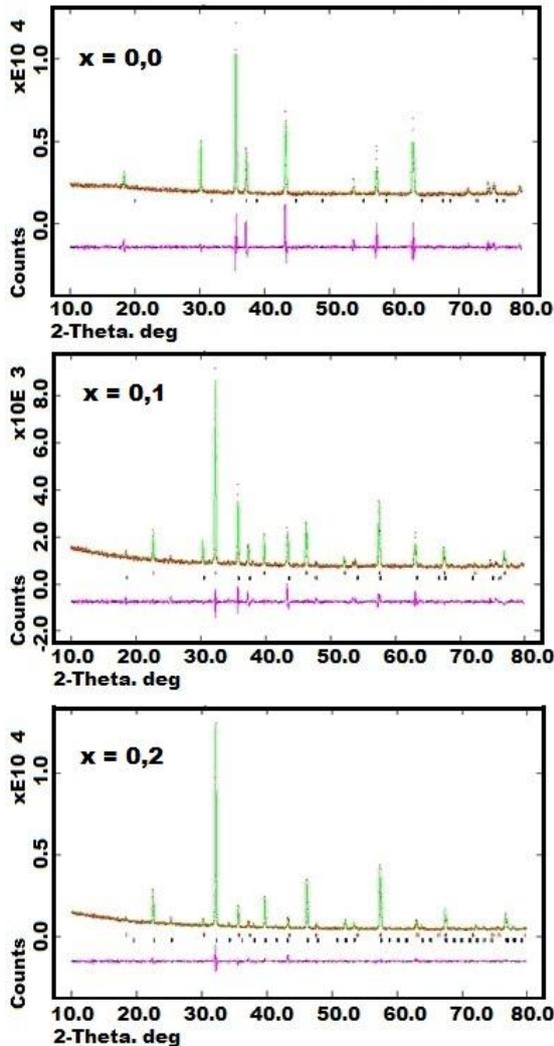
Untuk mengetahui fasa yang terbentuk dari serbuk $Mn_{1-x}Nd_xFe_2O_4$ ($x = 0,0; 0,1$ dan $0,2$) hasil sintesis dengan metode *sol-gel* dilakukan identifikasi fasa. Hasil identifikasi fasa ini ditunjukkan pada Gambar 1. Pola difraksi yang terbentuk untuk $x = 0$ ($MnFe_2O_4$) menunjukkan indikasi terbentuknya 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 $MnFe_2O_4$ yang berbentuk kubik spinel. Identifikasi fasa ini merujuk pada hasil penelitian Zeng, dkk. [13] dan sesuai dengan database ICDD 96-100-6117.



Gambar 1. Pola XRD serbuk $Mn_{1-x}Nd_xFe_2O_4$ ($x=0,0; 0,1$ dan $0,2$)

Berdasarkan hasil *refinement* pola difraksi sinar-X dari serbuk $Mn_{1-x}Nd_xFe_2O_4$ (dengan $x = 0,0; 0,1$ dan $0,2$), menunjukkan bahwa untuk nilai $x = 0,0$ ($MnFe_2O_4$) adalah membentuk fasa tunggal, yang ditunjukkan pada Gambar 2. Substitusi ion Nd^{3+} (peningkatan nilai x) pada $MnFe_2O_4$ menimbulkan munculnya puncak baru. Hasil *refinement fitting* dari pola difraksi sinar-x serbuk $Mn_{1-x}Nd_xFe_2O_4$ untuk $x = 0,1$ dan $0,2$ menunjukkan bahwa puncak baru yang muncul adalah puncak dari fasa $NdFeO_3$, yaitu puncak

bidang (121) pada sudut sekitar 32° , yang merupakan puncak karakteristik dari NdFeO_3 , yang merujuk pada hasil penelitian Babu, dkk. [14] dan sesuai dengan database ICDD 96-200-3125. Hasil *refinement* ini menghasilkan kualitas *fitting* yang sangat baik dengan faktor R yang sangat kecil, yang ditunjukkan pada Tabel 1. Faktor R merupakan *criteria of fit* dan faktor S adalah *goodness of fit* yang bernilai sangat kecil, dan menurut Izumi [15] nilai S atau χ^2 (*chi-squared*) diperkenankan maksimum 1,3.



Gambar 2. *Refinement* pola XRD serbuk $\text{Mn}_{1+x}\text{Nd}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ ($x = 0 ; 0,1$ dan $0,2$)

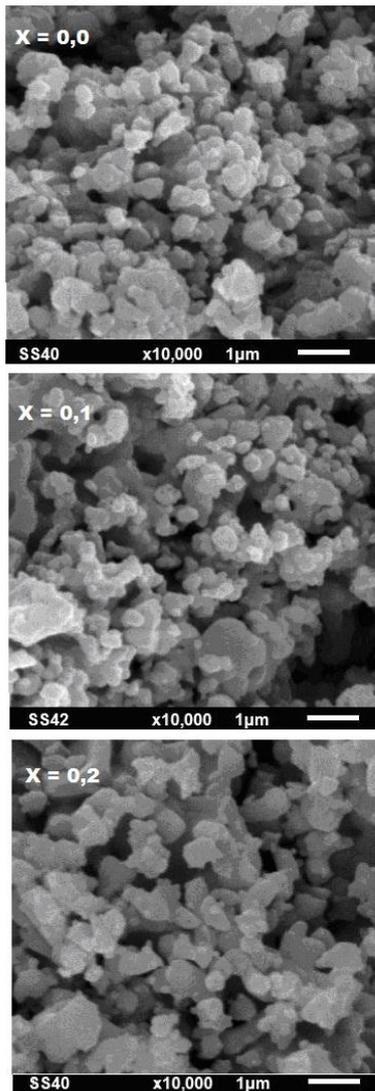
Pada Gambar 2 tampak hasil *refinement* dari pola XRD serbuk $\text{Mn}_{1+x}\text{Nd}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ ($x = 0 ; 0,1$ dan $0,2$) yang menunjukkan bahwa antara kurva observasi (kurva hasil pengukuran) dan kurva kalkulasi (kurva hasil perhitungan dengan menggunakan program GSAS (*general structure analysis system*)) terlihat sangat berimpit. Hal ini menunjukkan bahwa kurva hasil pengukuran dengan kurva hasil perhitungan hampir sama, yang didukung dengan nilai χ^2 sekitar 1,3.

Tabel 1. Parameter struktur, *criteria* (faktor R) dan *goodness of fit* (S) serbuk $\text{Mn}_{(1-x)}\text{Nd}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ ($x = 0,0; 0,1$ dan $0,2$)

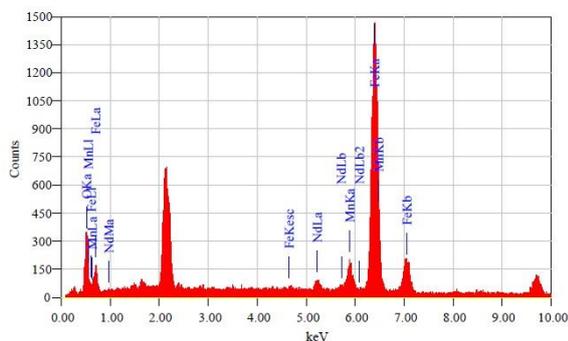
	$x = 0$	$x = 0,1$	$x = 0,2$
Fasa	MnFe_2O_4	MnFe_2O_4	MnFe_2O_4
Grup ruang	Fd-3m	Fd-3m	Fd-3m
Sistem kristal	Kubik	Kubik	Kubik
Parameter kisi (Å)	$a = b = c = 8,570(1)$	$a = b = c = 8,570(1)$	$a = b = c = 8,570(1)$
	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
$V (\text{Å}^3)$	587,356	585,563	580,583
$\rho (\text{gr.cm}^{-3})$	6,987	6,633	6,575
% Fasa	100	88,7	74,9
Fasa	NdFeO_3	NdFeO_3	NdFeO_3
Grup ruang		Pnma	Pnma
Sistem kristal		Ortorombik	Ortorombik
Parameter kisi (Å)		$a = 5,587$	$a = 5,587$
		$b = 7,761$	$b = 7,761$
		$c = 5,540$	$c = 5,540$
		$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
$V (\text{Å}^3)$		60,284	51,850
$\rho (\text{gr.cm}^{-3})$		6,846	6,686
% Fasa		11,3	25,1
Faktor R:			
Rwp	0,0284	0,0336	0,0414
Rp	0,0221	0,0301	0,0302
χ^2	1,29	1,32	1,37

Hasil pengamatan morfologi permukaan sampel $\text{Mn}_{(1-x)}\text{Nd}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ ($x = 0,0; 0,1$ dan $0,2$) dengan SEM (*scanning electron microscopy*) pada pembesaran 10000 \times , ditunjukkan pada Gambar 3. Pada Gambar 3 terlihat bahwa $\text{Mn}_{(1-x)}\text{Nd}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ dengan $x = 0,0$ (MnFe_2O_4) memiliki morfologi hampir sama dan merata diseluruh permukaan sampel dengan ukuran partikel sekitar 200 nm. Sedangkan, dengan adanya penambahan kandungan ion Nd^{3+} ($x = 0,1$ dan $0,2$) terlihat bahwa morfologi partikel mulai tidak merata dengan ukuran bervariasi (yaitu antara 200-400 nm) dan tidak merata pada permukaan, yang berarti bahwa sampel $\text{Mn}_{0,9}\text{Nd}_{0,1}\text{Fe}_2\text{O}_4$ dan sampel $\text{Mn}_{0,8}\text{Nd}_{0,2}\text{Fe}_2\text{O}_4$ memiliki fasa lebih dari satu (multi fasa). Sesuai dengan hasil identifikasi fasa dengan XRD yang menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan ion Nd^{3+} menyebabkan timbulnya fasa baru. Hal ini menunjukkan bahwa substitusi ion Nd^{3+} ke dalam senyawa MnFe_2O_4 dengan metode *sol-gel* membentuk senyawa komposit MnFe_2O_4 - NdFeO_3 . Kandungan unsur yang terdapat pada serbuk $\text{Mn}_{1+x}\text{Nd}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ ($x = 0 ; 0,1$ dan $0,2$) hasil sintesis dengan metode *sol-gel* dilihat dengan menggunakan EDS (*energy dispersive spectroscopy*) ditunjukkan pada Gambar 4 dan Tabel 3. Pada Tabel 3 terlihat bahwa hanya atom Fe, Mn, Nd dan O yang ada dalam sampel. Kandungan atom Mn semakin berkurang dan

kandungan atom Nd semakin bertambah seiring dengan bertambahnya nilai x .



Gambar 3. Foto hasil pencitraan dengan SEM untuk serbuk $Mn_{(1-x)}Nd_xFe_2O_4$



Gambar 4. Spektrum EDS serbuk $Mn_{(1-x)}Nd_xFe_2O_4$ ($x = 0,0; 0,1$ dan $0,2$)

Tabel 2. Komposisi massa serbuk $Mn_{(1-x)}Nd_xFe_2O_4$ ($x = 0,0; 0,1$ dan $0,2$) dari spektrum EDS

Nilai x	Persen massa (%)			
	Fe	Mn	Nd	O
0	77,4	11,5	-	11,1
0,1	75,5	8,4	2,1	14,0
0,2	73,2	7,1	3,3	16,4

Untuk mengetahui kemampuan serapan gelombang mikro masing-masing sampel dilakukan pengukuran kehilangan refleksi (*reflection loss*, RL) dengan alat VNA merk Advatest-R3370 yang mempunyai rentang frekuensi pengukuran 300 KHz - 20 GHz. Untuk analisis refleksi dan transmisi gelombang mikro oleh sampel sistem $Mn_{(1-x)}Nd_xFe_2O_4$ ($x = 0,0; 0,1$ dan $0,2$) dilakukan pada rentang frekuensi 9 GHz hingga 12 GHz. Hasil pengujian serapan gelombang mikro oleh material sistem $Mn_{(1-x)}Nd_xFe_2O_4$ ($x = 0,0; 0,1$ dan $0,2$) yang ditunjukkan pada Gambar 5, yang menunjukkan kurva antara kehilangan refleksi (dB) terhadap frekuensi (GHz). Untuk mengetahui hubungan antara kehilangan refleksi (RL) dengan serapan gelombang mikro dapat digunakan rumus sebagai berikut [16].

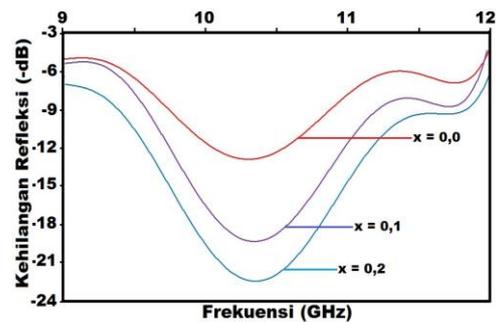
$$RL(\text{dB}) = 20 \log \left| \frac{(Z_{in} - Z_0)}{(Z_{in} + Z_0)} \right| \quad (2)$$

$$\text{Absorban } (\%) = (1 - Z) \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan :

Z_{in} = impedansi bahan

Z_0 = impedansi kondisi vakum



Gambar 5. Kurva kehilangan refleksi serbuk $Mn_{(1-x)}Nd_xFe_2O_4$ ($x = 0,0; 0,2$ dan $0,4$)

Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa peningkatan nilai x (kandungan ion Nd^{3+}) menunjukkan penurunan nilai RL, yang berarti gelombang mikro yang diserap semakin besar. Untuk $x = 0$ ($MnFe_3O_4$) menunjukkan nilai RL sekitar -12 dB dengan serapan gelombang mikro sekitar 80%. Dengan adanya substitusi ion (peningkatan nilai $x = 0,1$), maka nilai RL menjadi lebih rendah yaitu sekitar -19 dB dengan serapan gelombang mikro sekitar 90%. Nilai RL

paling rendah ditunjukkan oleh substitusi ion Nd^{3+} dengan $x = 0,2$ yaitu sekitar -23 dB dengan serapan gelombang mikro sekitar 93%. Berarti bahwa substitusi ion Nd^{3+} dapat meningkatkan serapan gelombang mikro oleh bahan. Hal ini disebabkan oleh ion Nd^{3+} yang bersifat paramagnetik dan memiliki sifat listrik dan magnet sehingga memiliki nilai permeabilitas dan permitivitas yang tinggi [17]. Pada penelitian sebelumnya, Rachmawati [18] dalam tesisnya melaporkan bahwa bahan sistem $\text{Mn}_{(1-x)}\text{Nd}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ ($x = 0,0; 0,1$ dan $0,2$) yang disintesis dengan metode sol-gel menghasilkan multifasa yaitu fasa-fasa MnFe_2O_3 , Fe_2O_3 dan NdFeO_3 , dengan serapan gelombang mikro paling besar ditunjukkan oleh nilai $x = 0,2$ yaitu sebesar 90%. Dalam penelitian ini, Rachmawati menggunakan bahan $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ hasil sintesa sendiri dari material Nd_2O_3 . Kemungkinan, $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ yang dihasilkan memiliki kemurnian yang lebih rendah sehingga menghasilkan sistem $\text{Mn}_{(1-x)}\text{Nd}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ multi fasa dengan serapan gelombang mikro yang lebih rendah.

Tabel 3. Hasil perhitungan serapan gelombang mikro serbuk $\text{Mn}_{(1-x)}\text{Nd}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ ($x = 0,0; 0,1$ dan $0,2$)

Nilai x	RL (dB)	Serapan (%)	Frekuensi (GHz)
0,0	14,98	82,18	10,34
0,1	20,89	90,97	10,32
0,2	23,32	93,18	10,36

Mangan ferit (MnFe_2O_4) merupakan salah satu senyawa spinel ferit yang bersifat *soft magnetic* dan memiliki medan anisotropi sangat kecil sehingga harus ditingkatkan dengan mensubstitusi logam tanah jarang, yang salah satunya adalah neodymium (Nd) [19]. Substitusi ion Nd^{3+} (peningkatan nilai x) pada MnFe_2O_4 menunjukkan peningkatan serapan gelombang mikronya. Berarti bahwa substitusi ion Nd^{3+} dapat meningkatkan nilai permeabilitas dan permitivitas bahan sistem $\text{Mn}_{(1-x)}\text{Nd}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$.

4. KESIMPULAN

Sistem $\text{Mn}_{(1-x)}\text{Nd}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ (dengan $x = 0,0; 0,1$ dan $0,2$) hasil sintesis dengan metode sol-gel yang dianalisis dengan XRD menunjukkan bahwa nilai $x = 0,0$ telah terbentuk fase tunggal MnFe_2O_4 , sedangkan untuk $x = 0,1$ dan $0,2$ terbentuk dua fasa yaitu fasa MnFe_2O_4 dan fasa NdFeO_3 . Fasa MnFe_2O_4 membentuk spinel ferit dengan struktur kristal kubik, sedangkan fasa NdFeO_3 membentuk struktur kristal ortorombik. Hasil pengamatan morfologi dengan SEM menunjukkan terbentuknya partikel yang tidak homogen dengan ukuran antara 200-400 nm.

Substitusi ion Nd^{3+} pada MnFe_2O_4 dapat meningkatkan serapan gelombang mikro dengan serapan terbesar sekitar 93% oleh $x = 0,2$. Dengan demikian, sistem $\text{Mn}_{0,8}\text{Nd}_{0,2}\text{Fe}_2\text{O}_4$ dapat diaplikasikan sebagai bahan penyerap gelombang mikro.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kepada Pusat Sains dan Teknologi Bahan Nuklir (PSTBM) – BATAN yang telah mendanai kegiatan Litbang bahan Smart Magnetik ini melalui DIPA tahun anggaran 2017.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Jänis, R. T. Olsson, S. J. Savage, U. W. Gedde, dan U. Klement, "Microwave absorbing properties of ferrite-based nanocomposites," *Proc. of SPIE*, 2017, vol. 6526, pp. 65261P-1.
- [2] M. T. Farid, I. Ahmad, S. Aman, M. Kanwal, G. Murtaza, I. Ali, I. Ahmad, dan M. Ishfaq, "Structural, electrical and dielectric behavior of $\text{Ni}_x\text{Co}_{1-x}\text{Nd}_y\text{Fe}_2\text{-yO}_4$ nano-ferrites synthesized by sol-gel method," *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, vol. 10, no. 1, pp. 265-75, 2015.
- [3] K. Rafeekali, M. Maheen, dan E. M. Mohammed, "Influence of rare earth (Tb^{3+}) on electrical and magnetic studies of nickel ferrite nanoparticles," *IOSR Journal of Applied Physics*, vol. 7, no. 3, pp. 21-25, 2015.
- [4] R. U. Mullai, P. P. Pradeep, dan 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.
- [5] Y. Jamil, M. R. Ahmad, A. Hafeez, Z. ul Haqi, dan N. Amin. "Microwave assisted synthesis of fine magnetic manganese ferrite particles using Co-precipitation technique," *Pak. J. Agri. Sci.*, vol. 45, no. 3, pp. 59-64, 2008.
- [6] H. Chakraborty, S. Chabri, dan N. Bhowmik, "Electromagnetic interference reflectivity of nanostructured manganese ferrite reinforced polypyrrole composites," *Transactions on Electrical and Electronic Materials*, vol. 14, no. 6, pp. 295-98, 2013.
- [7] S. H. Hosseini, dan A. Asadnia, "Polyaniline/ Fe_3O_4 coated on MnFe_2O_4 nanocomposite: Preparation, characterization, and applications in microwave

- absorption,” *International Journal of Physical Sciences*, vol. 8, no. 22, pp. 1209-17, 2013.
- [8] K. Zipare, J. Dhumal, S. Bandgar, V. Mathe, dan G. Shahane, “Super-paramagnetic manganese ferrite nanoparticles: Synthesis and magnetic properties,” *Journal of Nanoscience and Nanoengineering*, vol. 1, no. 3, pp. 178-82, 2015.
- [9] D. Carta, M. F. Casula, P. Floris, A. Falqui, G. Mountjoy, A. Boni, C. Sangregorio, dan A. Corrias, “Synthesis and microstructure of manganese ferrite colloidal nanocrystals,” *Physical Chemistry Chemical Physics*, vol. 12, pp. 5074-5083, 2010.
- [10] U. S. Sharma, R. N. Sharma, dan R. Shah, “Physical and magnetic properties of manganese ferrite nanoparticles,” *Int. Journal of Engineering Research and Applications*, vol. 4, no. 8, pp. 14-17, 2014.
- [11] Mashadi, Yunasfi, dan A. Mulyawan, “Microwave absorption study of manganese ferrite in x-band range prepared by solid state reaction method.” *Jurnal Teknologi Universiti Teknologi Malaysia (UTM)*, vol. 80, no. 2, pp. 147-151, 2018.
- [12] Yunasfi, M. Adha, dan Nurhasni, “Sifat magnet dan serapan gelombang mikro Mn(1-x)NdxFe2O4 hasil sintesis dengan metode Ko-Presipitasi,” *Jurnal Ilmu Dasar*, vol. 19, no. 1, pp. 17-22, 2018.
- [13] M. Zeng, J. Liu, M. Yue, H. Yang, H. Dong, W. Tang, dan H. Jiang, “High-frequency electromagnetic properties of the manganese ferrite nanoparticles,” *Journal of Applied Physics*, vol. 117, issue 17, pp. B527, 2015.
- [14] P. R. Babu, dan R. Babu, “Starch assisted sol gel syntheses and characterization of NdFeO₃,” *International Journal of ChemTech Research*, vol. 9, no. 4, pp. 364-69, 2016.
- [15] F. Izumi, “A rietveld-refinement program RIETAN-94 for angle-dispersive x-ray and neutron powder diffraction,” National Institute for Research in Inorganic Materials 1-1 Namiki, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan, Tech. Report., 24 Maret 1997.
- [16] A. Teber, K. Cil, T. Yilmaz, B. Eraslan, D. Uysal, G. Surucu, A. H. Baykal dan R. Bansa, “Manganese and zinc spinel ferrites blended with multi-walled carbon nanotubes as microwave absorbing materials,” *Aerospace*, vol. 4, no. 2, pp. 1-18, 2017.
- [17] M. Yousefi dan P. Alimard, “Synthesis of M-Nd doped Fe₃O₄ nanoparticles (M = Co, Ce, Cr, Ni) with tunable magnetic properties,” *Bull. Chem. Soc. Ethiop.*, vol. 27, no. 1, pp. 49-56, 2013.
- [18] I. Rachmawati, “Sintesis dan karakterisasi bahan absorber Mn(1-x)NdxFe2O4 dengan metode sol-gel,” Tesis Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri, Jakarta, 2017.
- [19] S. Mahalakshmi dan 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, 2015.