

ANALISIS DAN KARAKTERISASI $Zn_xFe_{(3-x)}O_4$ SEBAGAI PENYERAP GELOMBANG MIKRO PADA PERALATAN TELEKOMUNIKASI

Yunasfi¹⁾, Siti Nurfadilah²⁾, Mashadi¹⁾ dan Wisnu Ari Adi¹⁾

¹⁾Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju (PSTBM) – BATAN
Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan – 15413

²⁾FMIPA – Kimia, Institut Pertanian Bogor (IPB) - Bogor, Alamat, Kota, Kode Pos,
Email: yunasfi@gmail.com; fadilahsiti@ipb.ac.id

Diterima: 08-12-2017

Diterima dalam bentuk revisi: 12-01-2018

Disetujui: 27-07-2018

ABSTRAK

ANALISIS DIFRAKSI SINAR-X DAN KARAKTERISASI $Zn_xFe_{(3-x)}O_4$ SEBAGAI PENYERAP GELOMBANG MIKRO OLEH PADA PERALATAN TELEKOMUNIKASI. Telah dilakukan analisis dan karakterisasi $Zn_xFe_{(3-x)}O_4$ sebagai penyerap gelombang mikro pada peralatan telekomunikasi. Sistem $Zn_xFe_{(3-x)}O_4$ (dengan $x = 0,50; 0,75; 1,0$ dan $1,25$) disintesis dengan mencampurkan serbuk $Zn(NO_3)_2$ dan $Fe(NO_3)_3$ sesuai dengan perbandingan molnya dengan metode sol-gel dan kemudian disintering pada suhu $1000\text{ }^\circ\text{C}$ selama 5 jam. Hasil *refinement* dari pola difraksi sinar-X menunjukkan bahwa sampel dengan nilai $x < 1$ membentuk fasa $ZnFe_2O_4$ dan Fe_2O_3 , untuk nilai $x = 1,0$ membentuk fasa tunggal dari $ZnFe_2O_4$, sedangkan untuk nilai $x > 0$ membentuk fasa $ZnFe_2O_4$ dan ZnO . Fasa $ZnFe_2O_4$ memiliki struktur spinel kubik (*space group* $Fd\bar{3}m$), parameter kisi $a = b = c = 8,428\text{ \AA}$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$. Fasa Fe_2O_3 memiliki struktur trigonal (*space group* $R\bar{3}c$), parameter kisi $a = b = 5,03\text{ \AA}$ dan $c = 13,7\text{ \AA}$, $\alpha = \beta = 90^\circ$ dan $\gamma = 120^\circ$. Fasa ZnO memiliki struktur kristal heksagonal (*space group* $P6_3mc$), parameter kisi $a = b = 3,246\text{ \AA}$ dan $c = 5,198\text{ \AA}$, $\alpha = \beta = 90^\circ$ dan $\gamma = 120^\circ$. Hasil pengukuran serapan gelombang mikro menunjukkan bahwa sistem $Zn_xFe_{(3-x)}O_4$ dengan nilai $x = 1,0$ ($ZnFe_2O_4$) memiliki serapan gelombang mikro paling tinggi, yaitu $\sim 91\%$. Dengan demikian, $ZnFe_2O_4$ dapat diaplikasikan sebagai bahan penyerap gelombang mikro.

Kata kunci : $ZnFe_2O_4$, Difraksi sinar-X, Serapan gelombang mikro, Metode *sol-gel*.

ABSTRACT

ANALYSIS AND CHARACTERIZATION OF THE $Zn_xFe_{(3-x)}O_4$ AS MICROWAVE ABSORBER ON THE TELECOMMUNICATION EQUIPMENTS. Analysis and characterization of the $Zn_xFe_{(3-x)}O_4$ as microwave absorber on the telecommunication have been carried out. The $Zn_xFe_{(3-x)}O_4$ (with $x = 0.50; 0.75; 1.0$ dan 1.25) system was synthesized by mixing the powder of $Fe(NO_3)_3$ and $Zn(NO_3)_2$ with sol-gel methods, and then sintered at $1000\text{ }^\circ\text{C}$ for 5 hours. Result of refinement from X-ray diffraction pattern indicated that the sample with the value of $x < 1$ formed the $ZnFe_2O_4$ and Fe_2O_3 phase, for the value of $x = 1.0$ formed a single phase of $ZnFe_2O_4$, whereas for the value $x > 0$ formed the $ZnFe_2O_4$ and ZnO phase. The $ZnFe_2O_4$ phase has a structure of cubic spinel (*space group* $Fd\bar{3}m$) with lattice parameters $a = b = c = 8.428\text{ \AA}$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$. The Fe_2O_3 phase has a trigonal structure (*space group* $R\bar{3}c$) with lattice parameters $a = b = 5.03\text{ \AA}$ and $c = 13.7\text{ \AA}$, $\alpha = \beta = 90^\circ$ and $\gamma = 120^\circ$. The ZnO phase has a hexagonal structure (*space group* $P6_3mc$) lattice parameters $a = b = 3.246\text{ \AA}$ and $c = 5.198\text{ \AA}$, $\alpha = \beta = 90^\circ$ and $\gamma = 120^\circ$. The results of microwave absorption measurements showed that for the value of $x = 1.0$ ($ZnFe_2O_4$) has largest microwave absorption of $\sim 91\%$. Thus, $ZnFe_2O_4$ can be applied as a microwave absorbent material.

Key words: $ZnFe_2O_4$, X-ray diffraction, microwave absorption, sol-gel methods

1. PENDAHULUAN

Akhir-akhir ini, perkembangan teknologi semakin meningkat terutama di bidang telekomunikasi, seperti telepon genggam (ponsel). Ponsel dengan komponen elektronik yang bekerja pada frekuensi tinggi sering mengalami kebocoran frekuensi. Fenomena ini disebut EMI (interferensi gelombang elektromagnetik). Fenomena EMI dapat mengganggu kinerja komponen elektronik tersebut. Oleh karena itu, diperlukan suatu bahan penyerap gelombang elektromagnetik (absorber) untuk menghindari kebocoran frekuensi (1). Syarat yang harus dipenuhi oleh suatu material agar dapat digunakan sebagai bahan penyerap gelombang elektromagnetik adalah material tersebut harus memiliki permeabilitas tinggi (μ), permitivitas (ϵ) yang tinggi, koersivitas (H_c) rendah, resistivitas tinggi dan saturasi magnetik (M_s) yang tinggi, sehingga nilai dari *reflection loss* yang dihasilkan bahan cukup besar (2-3). Salah satu contoh bahan absorber yang sedang dikembangkan saat ini adalah zink-ferit ($ZnFe_2O_4$). $ZnFe_2O_4$ mengandung zink (Zn) sebagai komponen permitivitas sedangkan ferit sebagai komponen permeabilitasi (4).

$ZnFe_2O_4$ merupakan salah satu senyawa magnetik yang memiliki struktur kristal spinel kubik yang mengandung ion Zn^{2+} dan Fe^{3+} . Ion Zn^{2+} menempati tapak (*site*) A (tetrahedral), sedangkan ion Fe^{3+} menempati tapak B (oktahedral) (5). $ZnFe_2O_4$ bersifat antiferomagnetik pada suhu Neel 10.5 K dan bersifat paramagnetik pada suhu tinggi (6). $ZnFe_2O_4$ digolongkan

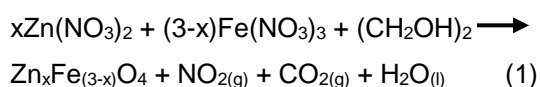
sebagai material *soft magnetic* dengan koersivitas dan magnetisasi saturasi yang rendah tetapi memiliki resistivitas listrik yang tinggi sehingga membuat material ini sangat cocok untuk aplikasi bidang magnetik dan magneto-optik (7). Nanopartikel $ZnFe_2O_4$ menampilkan kurva histeresis yang sempit sehingga material ini dapat digunakan sebagai bahan penyerap gelombang mikro, *low and high frequency transformer cores*, *high density information storage materials*, dan aplikasi frekuensi tinggi lainnya (8,9).

Berbagai metode telah yang dikembangkan untuk mensintesis senyawa spinel $ZnFe_2O_4$, baik secara fisika maupun kimia, namun belum ada yang mengaplikasikannya untuk penyerap gelombang mikro. Pada penelitian sebelumnya telah berhasil disintesis senyawa spinel lainnya, seperti spinel $NiFe_2O_4$ fase tunggal hasil sintesis dengan metode milling (10) dan dengan metode sol-gel (10). Pada penelitian ini, dilakukan analisis dan karakterisasi $Zn_xFe_{(3-x)}O_4$ sebagai serapan gelombang mikronya. $ZnFe_2O_4$ memiliki sifat paramagnetik dan *dielectric loss* yang kecil dibanding dengan senyawa spinel ferit lainnya sehingga cocok sebagai kandidat penyerap gelombang mikro (12). Metode sol-gel dipilih dalam penelitian ini karena dapat diaplikasikan pada berbagai partikel atau bersifat serba guna, ukuran partikel seragam, relatif mudah dan murah, nanopartikel yang dihasilkan memiliki kristalinitas tinggi bila dibanding dengan metode sintesis lainnya (13). Diharapkan dari hasil penelitian ini, dapat diketahui fasa yang terbentuk dari

sistem $Zn_xFe_{(3-x)}O_4$ hasil sintesis dengan metode sol-gel serta kemampuannya menyerap gelombang mikro sehingga bahan ini dapat diaplikasikan sebagai bahan dasar penyerap gelombang mikro.

2. TATA KERJA

Masing-masing bahan serbuk $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ (produk Merck dengan kemurnian $\geq 99\%$) dan $Zn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ (produk Merck dengan kemurnian 76-77%) ditimbang sesuai dengan perbandingan molnya dengan berat total 10 gram. Komposisi kimia untuk sampel $Zn_xFe_{(3-x)}O_4$ (dengan $x = 0,50; 0,75; 1,0$ dan $1,25$) disintesis berdasarkan persamaan reaksi berikut :



Masing-masing campuran serbuk ini ditambahkan 20 mL larutan etilen glikol (produk Merck) sambil diaduk dengan *magnetic stirrer* dan dipanaskan pada suhu sekitar 80 °C sampai terbentuk *gel* basah. Gel basah yang terbentuk dikeringkan pada suhu sekitar 120 °C, kemudian disinter pada suhu 1000 °C selama 5 jam dan digerus untuk mendapatkan serbuk $Zn_xFe_{(3-x)}O_4$.

Masing-masing serbuk $Zn_xFe_{(3-x)}O_4$ yang terbentuk, dilakukan identifikasi fasa dengan peralatan XRD (*Difraktometer Sinar-X*) merek Phillips PANalytical Empyrean dengan sudut 2θ sebesar 10°–80° dan panjang gelombang sebesar 1.5418740 Å. Pola difraksi sinar-X yang dihasilkan dianalisis dengan program GSAS, yang

dilakukan di Bidang Sains Bahan Maju (BSBM), PSTBM-BATAN. Selanjutnya, dilakukan pengukuran serapan gelombang mikro dengan alat VNA (*Vector Network Analyzer*) merek Keysight N5232A 300 KHz - 20 GHz pada frekuensi 8 - 12 GHz, dilakkan di Balai Penelitian dan Pengembangan (BALITBANG) – Kementrian Pertahanan (KEMHAN), Pondok Labu, Jakarta Selatan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

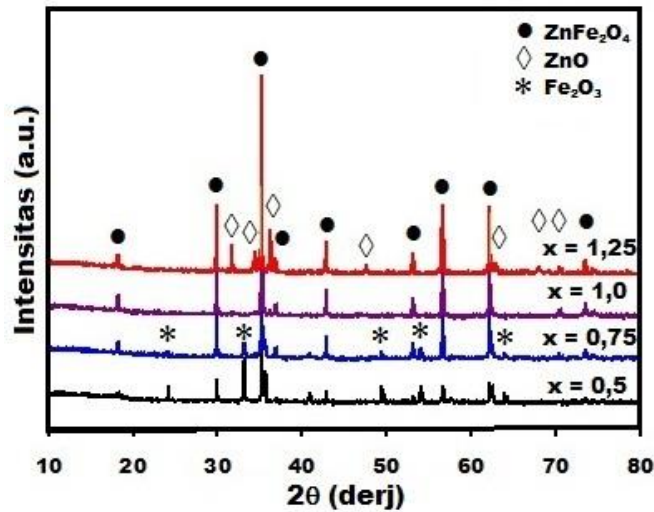
Hasil identifikasi fasa serbuk $Zn_xFe_{(3-x)}O_4$ (dengan $x = 0,5; 0,75; 1,0$ dan $1,25$) yang disintesis dengan metode *sol-gel* ditunjukkan pada Gambar 1. Pola difraksi yang dihasilkan beserta data intensitas relatifnya dicocokkan dengan data pola difraksi material tertentu dengan posisi puncak dan intensitas yang paling sesuai. Identifikasi fasa ini merujuk pada hasil penelitian Jiang et al., (2009) (14) dan dicocokkan dengan data referensi dari *Crystallography Open Database* (COD).

Analisis lebih lanjut, dilakukan menggunakan perangkat lunak GSAS untuk mengetahui parameter-parameter struktur kristal dari sistem $Zn_xFe_{(3-x)}O_4$ ($x = 0,50; 0,75; 1,0$ dan $1,25$), ditunjukkan pada Gambar 2. Pada Gambar 2 terlihat bahwa antara kurva observasi (kurva hasil pengukuran) dengan kurva kalkulasi (kurva hasil perhitungan sangat berhimpit Hasil *refinement fitting* menunjukkan bahwa telah terbentuk puncak-puncak difraksi yang terdiri dari multi fasa, yaitu fasa-fasa Fe_2O_3 dan $ZnFe_2O_4$ untuk nilai $x < 1,0$ dan fasa tunggal dari $ZnFe_2O_4$ untuk nilai $x = 1,0$

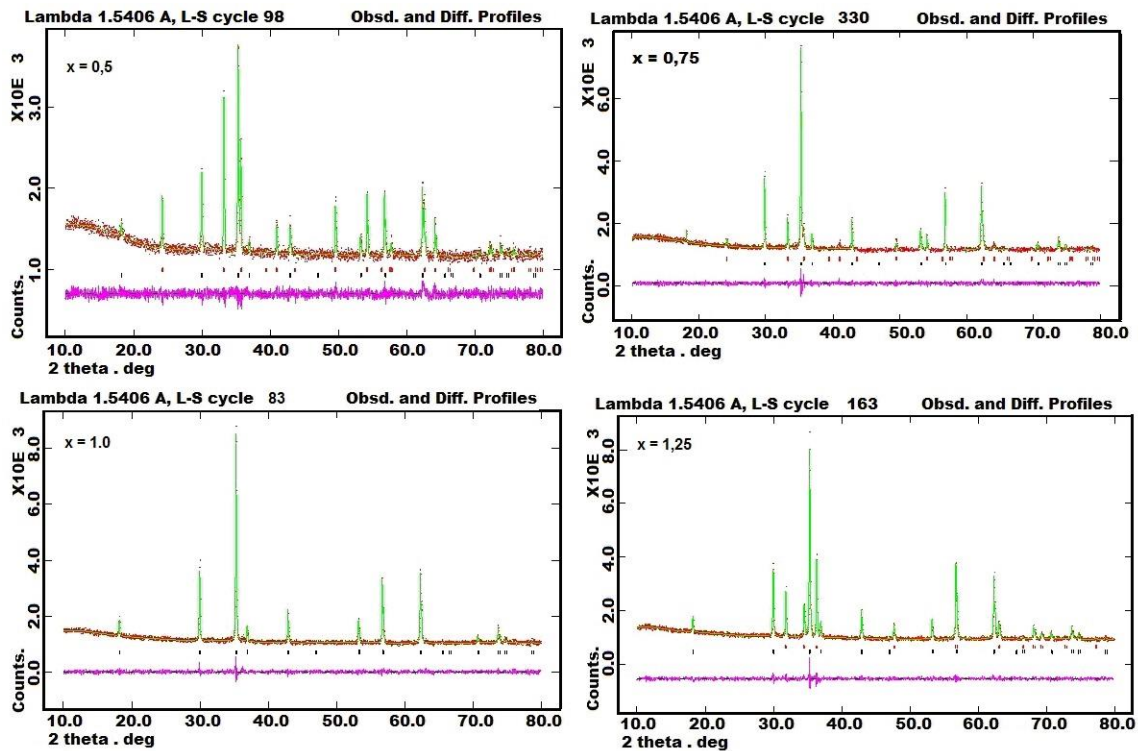
serta fasa-fasa $ZnFe_2O_4$ dan ZnO untuk nilai $x = 1,25$, yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Hasil *refinement* ini menghasilkan kualitas *fitting* sangat baik dengan faktor R yang sangat kecil. Faktor R merupakan

criteria of fit dan faktor S adalah *goodness of fit* yang bernilai sangat kecil, yaitu dibawah 1,3, dan menurut Izumi (15) nilai S atau χ^2 (*chi-squared*) diperkenankan maksimum 1,3.



Gambar 1. Pola XRD serbuk sistem $Zn_xFe_{(2-x)}O_4$ ($x = 0,50; 0,75; 1,0$ dan $1,25$)



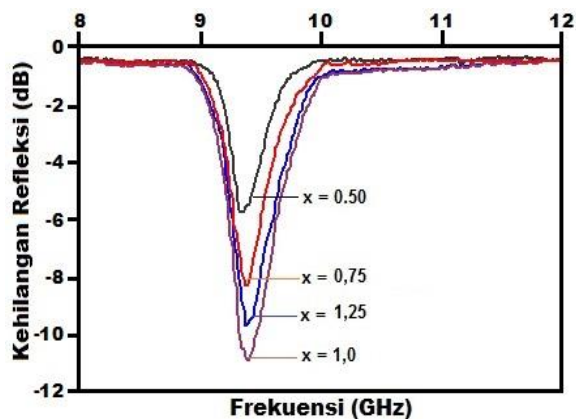
Gambar 2. *Refinement* pola difraksi sinar-X sistem $Zn_xFe_{(3-x)}O_4$ ($x = 0,50; 0,75; 1,0$ dan $1,25$)

Tabel 1. Parameter kisi, struktur, *criteria* (faktor R) dan *goodness of fit* (S) serbuk $Zn_xFe_{(3-x)}O_4$ ($x = 0,50; 0,75; 1,0$ dan $1,25$) hasil sintesis dengan metode *sol-gel*.

	x = 0,50	x = 0,75	x = 1,0	x = 1,25
	#Fasa $ZnFe_2O_4$	#Fasa $ZnFe_2O_4$	#Fasa $ZnFe_2O_4$	#Fasa $ZnFe_2O_4$
Sistem kristal	Kubik	Kubik	Kubik	Kubik
Grup ruang	F d -3 m (227)	F d -3 m (227)	F d -3 m (227)	F d -3 m (227)
Parameter kisi (Å)	$a = b = c = 8,428$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a = b = c = 8,429$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a = b = c = 8,429$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a = b = c = 8,430$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
V (Å ³)	598,685	598,941	598,907	599,063
ρ (gr.cm ⁻³)	5,348	5,283	5,347	5,348
%	36,4	79,8	100,0	80,7
	#Fasa Fe_2O_3	#Fasa Fe_2O_3	#Fasa Fe_2O_3	#Fasa ZnO
Grup ruang	R-3c (167)	R-3c (167)	Tidak ada	P 63 mc (186)
Sistem kristal	Trigonal	Trigonal	Tidak ada	Heksagonal
Parameter kisi (Å)	$a = b = 5,03$ $c = 13,73$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ dan $\gamma = 120$	$a = b = 5,03$ $c = 13,7294$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ dan $\gamma = 120$	Tidak ada	$a = b = 3,25$ $c = 5,198$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ dan $\gamma = 120$
V (Å ³)	300,741	300,893	Tidak ada	47,440
ρ (gr.cm ⁻³)	5,29	5,60	Tidak ada	17,09
%	63,6	20,2	dak ada	19,3
Faktor R:				
wRp	0,030	0,032	0,031	0,033
Rp	0,0238	0,0250	0,0245	0,0261
χ^2	1. 16	1,32	1,18	1,29

Untuk mengetahui kemampuan serapan gelombang mikro masing-masing sampel dilakukan pengukuran kehilangan refleksi (*reflection loss*, RL) dengan alat VNA . Kehilangan refleksi menunjukkan adanya mekanisme resonansi spin magnetik antara gelombang elektromagnetik dengan bahan

sehingga terjadi serapan gelombang mikro (16). Untuk pengukuran kehilangan refleksi pada sampel sistem $Zn_xFe_{3-x}O_4$ ($x = 0,5; 0,75; 1,0$ dan $1,25$) dilakukan pada rentang frekuensi 8 GHz hingga 12 GHz, yang hasil pengukurannya ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Kurva kehilangan refleksi sistem $Zn_xFe_{3-x}O_4$ ($x = 0,5; 0,75; 1,0$ dan $1,25$)

Gambar 3 menunjukkan kurva antara kehilangan refleksi (dB) terhadap frekuensi (GHz). Untuk mengetahui hubungan antara kehilangan refleksi (RL) dengan serapan gelombang mikro dapat digunakan *Return Loss to VSWR Conversion Table, Marki Microwave* (17), ditunjukkan pada Tabel 2.

Pada Gambar 3 terlihat bahwa penurunan nilai RL mulai terjadi pada frekuensi antara 9,0 GHz sampai 10,0 GHz. Hal ini menunjukkan bahwa sampel dengan sistem $Zn_xFe_{3-x}O_4$ ini mampu menyerap gelombang mikro pada rentang frekuensi sekitar 9 GHz sampai sekitar 10 GHz.

Tabel 2. Serapan gelombang mikro oleh sampel sistem $Zn_xFe_{3-x}O_4$

Nilai x	Frekuensi (GHz)	Nilai RL (dB)	Serapan (%)
0,50	9,36	- 5,8	73,6
0,75	9,38	- 8,2	84,8
1,0	4,00	-10,9	92,3
1,25	9,38	- 9,7	89,2

Pada Tabel 2 terlihat bahwa untuk sampel sistem $Zn_xFe_{3-x}O_4$ dengan nilai $x \leq 1$ menunjukkan nilai RL semakin kecil

sedangkan untuk nilai $x > 1$ menunjukkan peningkatan nilai RL. Ini berarti bahwa serapan gelombang mikro semakin meningkat seiring dengan peningkatan nilai x sampai nilai $x = 1,0$, sedangkan nilai $x > 1$ menunjukkan serapannya berkurang. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini hampir sama dengan yang dilaporkan oleh Raju (18). Raju melaporkan bahwa sintesis sistem $Zn_xFe_{3-x}O_4$ (dengan $x = 0,2 - 0,6$) menunjukkan serapan gelombang mikro sekitar 20% - 18 %. Sedangkan Teber (4) melaporkan bahwa sampel $ZnFe_2O_4$ yang disintesis dengan metode sol – gel tidak menunjukkan puncak serapannya.

Sesuai dengan hasil analisis fasa dengan XRD yang menunjukkan bahwa sampel sistem $Zn_xFe_{3-x}O_4$ dengan nilai $x < 1$ terbentuk fasa-fasa $ZnFe_2O_4$ dan Fe_2O_3 , dan nilai $x=1,0$ hanya terbentuk satu fasa dari fasa $ZnFe_2O_4$, sedangkan untuk nilai $x > 1$ terbentuk fasa-fasa $ZnFe_2O_4$ dan ZnO . Serapan gelombang mikro oleh sampel sistem $Zn_xFe_{3-x}O_4$ semakin meningkat seiring dengan peningkatan nilai x dan serapan paling besar ditunjukkan oleh sampel dengan nilai $x=1,0$. Peningkatan serapan ini disebabkan oleh penurunan fasa Fe_2O_3 yang terbentuk seiring dengan peningkatan nilai x. Fe_2O_3 dan ZnO memiliki perilaku antiferomagnetik dan membuat sifat magnetik bahan menjadi lebih lemah daripada komposisi bentuk fasa tunggal. Hasil ini sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Muflihatun (19).

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa hasil *refinement* pola difraksi sinar-X dari sampel sistem $Zn_xFe_{(3-x)}O_4$ menunjukkan bahwa sampel dari sistem $Zn_xFe_{(3-x)}O_4$ dengan nilai $x < 1$ terbentuk fasa $ZnFe_2O_4$ dan Fe_2O_3 , untuk nilai $x = 1,0$ terbentuk fasa tunggal dari $ZnFe_2O_4$, sedangkan untuk nilai $x > 0$ terbentuk fasa $ZnFe_2O_4$ dan ZnO . Fasa $ZnFe_2O_4$ memiliki struktur spinel kubik (*space group* $Fd\bar{3}m$), parameter kisi $a = b = c = 8,428 \text{ \AA}$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$, $V = 590 \text{ \AA}^3$ dan $\rho = 5,34 \text{ g.cm}^{-3}$. Fasa Fe_2O_3 memiliki struktur trigonal (*space group* $R\bar{3}c$), parameter kisi $a = b = 5,03 \text{ \AA}$ dan $c = 13,7$, $\alpha = \beta = 90^\circ$ dan $\gamma = 120^\circ$, $V = 300 \text{ \AA}^3$ dan $\rho = 5,29 \text{ g.cm}^{-3}$. Fasa ZnO memiliki struktur kristal heksagonal (*space group* $P6_3mc$), parameter kisi $a = b = 3,246 \text{ \AA}$ dan $c = 5,198 \text{ \AA}$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ dan $\gamma = 120^\circ$, $V = 700,1 \text{ \AA}^3$ dan $\rho = 17,9 \text{ g.cm}^{-3}$. Hasil pengukuran serapan gelombang mikro menunjukkan bahwa serapan gelombang mikro semakin meningkat seiring dengan peningkatan nilai x . Serapan yang paling besar ditunjukkan oleh nilai $x = 1,0$ ($ZnFe_2O_4$), yaitu $\sim 91 \%$. Sedangkan peningkatan nilai $x > 1,0$ menunjukkan serapan gelombang mikro semakin kecil.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih diucapkan kepada kepala Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju (PSTBM) – BATAN dan penanggung jawab (PJ) kegiatan yang telah memberi kepercayaan pada kami untuk melaksanakan penelitian ini, yang didanai

dari DIPA kegiatan Litbang bahan Smart Magnetik tahun 2015 – 2019. Serta semua pihak yang telah membantu kami dalam pelaksanaan penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Kumar, S.; Shinde, T. J. and Vasambekar, P. N., "Microwave synthesis and characterization of nanocrystalline Mn-Zn ferrites," *Adv. Mater. Lett.* 2013, 4(5): 373–377.
2. Huang, X.; Zhang, J.; Xiao, S., et al., "Unique electromagnetic properties of the zinc ferrite nanofiber," *Mater. Lett.* 2014, 124: 126–128.
3. Gatelytė, A.; Jasaitis, D.; Beganskienė, A., et al., "Sol-Gel Synthesis and Characterization of Selected Transition Metal Nano-Ferrites", *Materials Science (Medžiagotyra)* 2011, 17(3): 302–307.
4. Teber, R.; Cil, A.; Yilmaz, K., et al., "Manganese and Zinc Spinel Ferrites Blended with Multi-Walled Carbon Nanotubes as Microwave Absorbing Materials" *Aerospace* 2017, 4(1): 1–18.
5. Gafton, E. V.; Bulai, G.; Caltun, O. F.; et al., "Structural and magnetic properties of zinc ferrite thin films irradiated by 90 keV neon ions," *Appl. Surf. Sci.* 2016, 379: 171–178.
6. Fan, G.; Gu, Z.; Yang, L. et al., "Nanocrystalline zinc ferrite photocatalysts formed using the colloid mill and hydrothermal technique," *Chem. Eng. J.* 2009, 155(1–2): 534–541.
7. Deraz, N. M. and Alarifi, A., "Microstructure and Magnetic Studies of

- Zinc Ferrite Nano- Particles,” *Int. J. Electrochem.Sci.* 2012, 7: 6501–6511.
8. Singh, J. P.; Kumar, H.; Srivastava, R. C. et al., “Solubility limit, magnetic interaction and conduction mechanism in rare earth doped spinel ferrite” *Appl. Sci. Lett.* 2016, 2(1): 3–11.
 9. Xue, H.; Li, Z.; Wang, X. et al., “Facile synthesis of nanocrystalline zinc ferrite via a self-propagating combustion method” *Mater. Lett.* 2007, 61(2): 347–350.
 10. Yunasfi Yunas, Wisnu Ari Adi, Mashadi Mashadi, Putri Astarti Rahmy, “Magnetic and microwave absorption properties of nickel ferrite (Ni_xFe_{3-x}) by HEM technique,” *Malaysian J. Fundam. Appl. Sci.* 2017, 13(3): 203–206.
 11. Mashadi, Yunasfi dan Wisnu A. A., “Analisis struktur kristal dan gugus fungsi NiFe₂O₄ hasil sintesis dengan metode sol gel,” *Jurnal Sains Materi. Indonesia* 2016, 17(3): 131–135.
 12. Swamy, P. M. P.; Basavaraja, S.; Lagashetty, A., et al., “Synthesis and characterization of zinc ferrite nanoparticles obtained by self-propagating low-temperature combustion method”, *Bull. Mater. Sci.* 2011, 34 (7): 1325–30.
 13. Hasanpour, A.; Niyafar, M.; Asan, M., et al., “Synthesis and characterization of Fe₃O₄ and ZnO nanocomposites by the sol-gel method,” *J. Magn. Mater.* 2013, 334: 41–44.
 14. Jiang, W.; Cao, Z.; Gu, R., et al., “A simple route to synthesize ZnFe₂O₄ hollow spheres and their magnetorheological characteristics”, *Smart Mater. Struct.* 2009, 18: 125013 (4pp)
 15. F. Izumi, A Rietveld-Refinement Program RIETAN-94 for Angle-Dispersive X-Ray and Neutron Powder Diffraction, National Institute for Research Inorganic Materials, 1-1 Namiki, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan. 1997.
 16. K. C. Tripathi, S. M. Abbas, P. S. Alegaonkar, et al., “Microwave Absorption Properties of Ni-Zn Ferrite Nano-Particle based Nano Composite,” *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology* 2015, 2 (2): 463–468,
 17. Marki Microwave, “Return Loss Conversion Table”, 215 Vineyard Court, Morgan Hill, CA 95037
www.markimicrowave.com.
 18. Raju V. S. R., “Synthesis of non-stoichiometric zinc ferrite for electromagnetic wave absorber applications, *Materials Science and Engineering B* 2017, 224: 88–92
 19. Muflihatun E. S., Siti Shofiah, “Sintesis Nanopartikel Magnetite (Fe₃O₄) dengan Template silika (SiO₂) dan Karakterisasi Sifat,” *Jurnal Fisika Indonesia* 2015, XIX (55): 20–25,