

SINTESIS BAHAN MAGNETIK $Zn_xFe_{(3-x)}O_4$ DENGAN METODE KO-PRESIPITASI SEBAGAI PENYERAP GELOMBANG MIKRO

SYNTHESIS OF THE $Zn_xFe_{(3-x)}O_4$ MAGNETIC MATERIALS AS MICROWAVE ABSORBER BY CO-PRECIPITATION METHODS

Mashadi ^a, Rika Andriyani Putri ^b, Bambang Sugeng ^a dan Yunasfi ^a

^a Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju PSTBM – BATAN
Kawasan Puspipstek Serpong, Tangerang Selatan, Banten, Indonesia
e-mail : mashadi71@gmail.com, bsugeng6322@gmail.com, yunasfi@gmail.com

^b Jurusan Kimia, FMIPA – UI, Jakarta
e-mail : rikaandriyaniputri3@gmail.com

Abstrak

Bahan magnetik $Zn_xFe_{(3-x)}O_4$ ($x = 0,75; 1$ dan $1,25$) disintesis dengan mencampurkan serbuk $ZnCl_2$ dan $FeCl_2$ sesuai dengan perbandingan molnya dengan metode ko-presipitasi, kemudian disintering pada suhu $1000\text{ }^\circ\text{C}$ selama 5 jam. Hasil identifikasi fasa dengan XRD (*X-ray diffractometer*) menunjukkan bahwa sampel dengan nilai $x = 0,75$ membentuk fasa $ZnFe_2O_4$ dan Fe_2O_3 , untuk nilai $x = 1$ membentuk fasa tunggal dari $ZnFe_2O_4$, sedangkan untuk nilai $x = 1,25$ membentuk fasa $ZnFe_2O_4$ dan ZnO . Pengukuran sifat magnet VSM (*vibrating sample magnetometer*) menunjukkan bahwa sampel berperilaku ferromagnetik dengan nilai M_s semakin tinggi (pada rentang $21,2 - 31,7$ emu/g) sedangkan nilai H_c semakin kecil (pada rentang $254 - 135$ Oe) seiring dengan penambahan kandungan ion Zn^{2+} . Kemampuan penyerapan gelombang mikro yang diukur dengan VNA (*Vector Network Analyzer*) menunjukkan nilai RL (*Reflection Loss*) maksimum pada komposisi sampel $x = 1,0$ ($ZnFe_2O_4$) adalah $-12,77$ dB pada frekuensi $10,18$ GHz. Berarti bahwa serbuk $ZnFe_2O_4$ mampu menyerap gelombang mikro sebesar $94,69\%$ pada frekuensi $10,18$ GHz. Dengan demikian, $ZnFe_2O_4$ dapat diaplikasikan sebagai bahan penyerap gelombang mikro.

Kata Kunci : $Zn_xFe_{(3-x)}O_4$, Metode ko-presipitasi, Sifat magnetik, Serapan gelombang mikro.

Abstract

*The magnetic materials of $Zn_xFe_{(3-x)}O_4$ ($x = 0.75; 1$ and 1.25) was synthesized by mixing the powder of $ZnCl_2$ and $FeCl_2$ with co-precipitation methods, and then sintering at $1000\text{ }^\circ\text{C}$ for 5 hours. The results of phase identification with XRD (*X-ray diffractometer*) indicated that the sample with the value of $x = 0.75$ formed the $ZnFe_2O_4$ and Fe_3O_4 phase, for the value of $x = 1$ formed at single phase of $ZnFe_2O_4$, whereas for the value of $x = 1.25$ formed the $ZnFe_2O_4$ and ZnO phase. The measurement of properties magnetic with VSM (*vibrating sample magnetometer*) showed that the sample behave ferromagnetically with M_s higher (in the range $21.2 - 31.7$ emu/g) while the H_c value is smaller (in the range $254 - 135$ Oe) with the addition of Zn^{2+} ion content. Microwave absorption ability were measured by using VNA (*Vector Network Analyzer*) which indicated that the maximum value of RL (*reflection loss*) obtained at the composition of $x = 1.0$ ($ZnFe_2O_4$) is -12.77 db. It mean that the $ZnFe_2O_4$ has largest microwave absorption of 94.69% at a frequency of 10.18 GHz. Thus, $ZnFe_2O_4$ can be applied as a microwave absorbent material.*

Key Words : $Zn_xFe_{(3-x)}O_4$, co-precipitation methods, magnetic properties, microwave absorption.

Diterima (received) : 10 Desember 2018 , Direvisi (revised) : 01 Maret 2019 ,
Disetujui (accepted) : 04 Maret 2019

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi semakin meningkat terutama di bidang telekomunikasi, seperti telepon genggam (ponsel)¹⁾. 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. Maka dari itu diperlukan suatu bahan penyerap gelombang elektromagnetik (absorber) untuk menghindari kebocoran frekuensi^{2,3)}. 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 tinggi⁴⁾. Salah satu contoh absorber adalah seng-ferit. Seng-ferit mengandung seng sebagai komponen permitivitas dan ferit sebagai komponen permeabilitas⁵⁾.

Seng-ferit ($ZnFe_3O_4$) merupakan salah satu senyawa magnetit berbentuk 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)^{6,7)}. Seng-ferit bersifat antiferomagnetik pada suhu Neel 10,5 K, dan bersifat paramagnetik di atas suhu Neel dan suhu ruang^{8,9)}. Namun dalam bentuk nanopartikel, seng ferit seringkali menunjukkan perilaku feromagnetik jika berada di bawah *temperature blocking* (TB) karena memiliki struktur spinel campuran yang sangat bergantung pada kondisi sintesis. Studi magnetik menunjukkan bahwa nanopartikel seng ferit memiliki medan anisotropi dan momen magnetik yang rendah¹⁰⁾. Namun demikian, seng ferit merupakan magnetit unggul karena stabilitas kimia dan termalnya yang sangat baik, seragam dalam segi ukuran, tingginya resistivitas dan memiliki nilai koersivitas serta rugi dielektrik yang rendah¹⁰⁻¹²⁾. Sifat elektromagnetik seperti permeabilitas dan permitivitas kompleks pada seng ferit berada pada jangkauan frekuensi MHz hingga GHz. Hal ini mengindikasikan bahwa seng ferit memiliki potensi untuk diaplikasikan sebagai penyerap gelombang elektromagnetik frekuensi tinggi^{13,14)}.

Berbagai metode telah yang dikembangkan untuk mensintesis senyawa

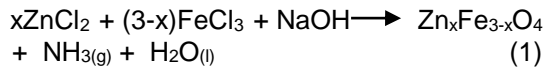
spinel $ZnFe_2O_4$. Pada penelitian sebelumnya telah berhasil disintesis senyawa $ZnFe_2O_4$ dengan teknik milling yang menunjukkan bahwa senyawa berperilaku feromagnetik dengan nilai magnetik saturasi (M_s) sekitar 21,10 emu/g¹⁵⁾. Sintesis senyawa $ZnFe_2O_4$ dengan metode sol-gel menunjukkan kemampuan serapan gelombang mikro sekitar 92,3 %¹⁶⁾. Pada penelitian ini, dilakukan analisis dan karakterisasi bahan magnetik $Zn_xFe_{(3-x)}O_4$ 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 mikro¹⁷⁾. Metode ko-presipitasi dipilih dalam penelitian ini karena dapat dilakukan pada kondisi lingkungan normal. Dengan menggunakan metode ini, struktur kristal dan sifat magnetik dari sampel yang disintesis dapat dioptimalkan dengan mengontrol parameter-parameter sintesis seperti suhu, bahan pelarut, pH larutan, kecepatan pengadukan, lama pengadukan, konsentrasi garam logam, konsentrasi ko-presipitan dan konsentrasi surfaktan¹⁸⁾. Diharapkan dari hasil penelitian ini dapat memberikan informasi karakteristik bahan berbasis sistem ferit untuk aplikasi sebagai penyerap gelombang mikro.

BAHAN DAN METODE

Bahan-bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah $FeCl_3 \cdot 6H_2O$, $ZnCl_2 \cdot 6H_2O$, *deionize water*, dan NaOH. Peralatan untuk karakterisasi yang digunakan, yaitu *Difraktometer Sinar-X* (XRD) merek *Phillips PANalytical Empyrean* dan VSM (*Vibrating Sample Magnetometer*) merk Oxford dengan magnetisasi 1 Tesla, yang ini terpasang di Bidang Sains Bahan Maju (BSBM), PSTBM-BATAN. Serta alat *Vector Network Analyzer* (VNA) merk Advatest-R3370 300 KHz - 20 GHz yang terpasang di PPET, LIPI-Bandung.

Masing-masing bahan serbuk $FeCl_3 \cdot 6H_2O$, $ZnCl_2 \cdot 6H_2O$ (ditimbang sesuai dengan perbandingan molnya dengan berat total 5 gram. Campuran serbuk ini ditambahkan 250 ml *deionize water* dan diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 100 rpm, selama \pm setengah jam sampai homogen, sambil dipanaskan sampai suhu 80 °C. Selanjutnya, tambahkan larutan NaOH 2M setetes-setetes sampai campuran mencapai pH = 12 kemudian dinginkan dan biarkan

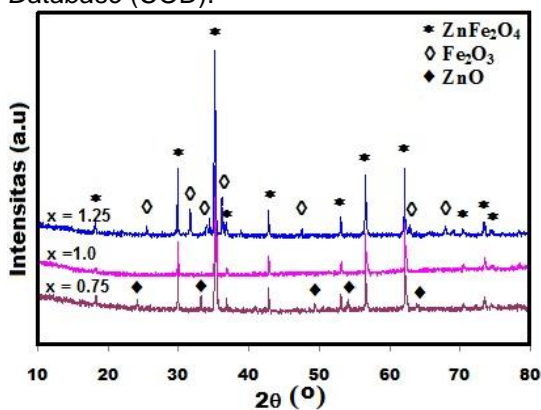
mengendap. Endapan dibilas dengan *deionize water* sampai mencapai $pH = 7$, kemudian keringkan dengan oven pada suhu $120\text{ }^\circ\text{C}$, kemudian disinter pada suhu $1000\text{ }^\circ\text{C}$ selama 5 jam. Komposisi kimia untuk sampel sistem $Zn_xFe_{3-x}O_4$ (dengan $x = 0,75; 1,0$ dan $1,25$), disintesis berdasarkan Persamaan 1.



Masing-masing serbuk $Zn_xFe_{3-x}O_4$ yang terbentuk, digerus untuk lebih menghaluskan butiran serbuk dan selanjutnya dilakukan identifikasi fasa dengan peralatan XRD, pengukuran sifat magnetik dilakukan dengan VSM dan pengukuran serapan gelombang mikro dilakukan dengan alat VNA.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil identifikasi fasa dengan XRD terhadap sampel $Zn_xFe_{3-x}O_4$ (dengan $x = 0,75; 1,0$ dan $1,25$) yang disintesis dengan metode ko-presipitasi ditunjukkan pada Gambar 1. Pola difraksi yang dihasilkan beserta data intensitas relatifnya dicocokkan dengan data pola difraksi bahan tertentu dengan posisi puncak dan intensitas yang paling sesuai. dicocokkan dengan data referensi dari *Crystallography Open Database* (COD).



Gambar 1.

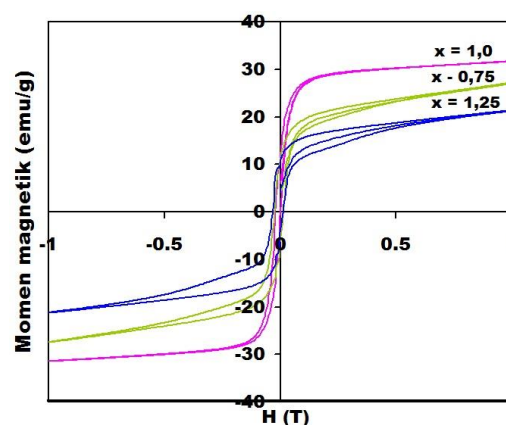
Pola XRD sampel sistem $Zn_xFe_{3-x}O_4$ ($x = 0,75; 1,0$ dan $1,25$) hasil disintesis dengan metode ko-presipitasi

Pola difraksi yang terbentuk menunjukkan bahwa sampel sistem $Zn_xFe_{3-x}O_4$ untuk komposisi dengan nilai $x = 0,75$ terbentuk dua fasa yaitu fasa Fe_2O_3 dan fasa $ZnFe_2O_4$. Komposisi dengan nilai $x = 1,0$ menunjukkan terbentuknya fasa tunggal dari

$ZnFe_2O_4$. Sedangkan sampel untuk komposisi dengan nilai $x = 1,25$ menunjukkan terbentuk 2 fasa yaitu fasa ZnO dan fasa $ZnFe_2O_4$. Fasa Fe_2O_3 muncul dengan puncak utama pada sudut 2θ sekitar 33° yang merupakan puncak bidang [104], dengan struktur trigonal. Analisis ini diperkuat dengan kemunculan puncak-puncak lain yang juga merupakan karakteristik dari Fe_2O_3 yaitu puncak bidang [012] pada sudut sekitar 24° , [024] pada sudut sekitar 49° , [116] pada sudut sekitar 54° , [018] pada sudut sekitar 58° dan [300] pada sudut sekitar 64° yang sesuai dengan data referensi dari COD dengan nomor 96-901-5965.

Fasa $ZnFe_2O_4$ muncul dengan puncak utama pada sudut 2θ di sekitar sudut 35° yang merupakan puncak bidang [311], dengan struktur kristal kubik *spinel*. Analisis ini diperkuat dengan kemunculan puncak-puncak lain yang juga merupakan karakteristik dari $ZnFe_2O_4$ 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° , [440] pada sudut sekitar 62° dan [533] pada sudut sekitar 73° yang sesuai dengan data referensi dari COD dengan nomor 96-900-5113.

Fasa ZnO muncul dengan puncak utama pada sudut 2θ sekitar 32° yang bersesuaian dengan bidang [100] yang berbentuk heksagonal. Hasil analisis menunjukkan bahwa puncak-puncak yang merupakan karakteristik dari fasa ZnO yaitu puncak bidang [002] pada sudut sekitar 34° , [102] pada sudut sekitar 48° dan [112] pada sudut sekitar 69° yang sesuai dengan data referensi dari COD dengan nomor 96-900-8878.



Gambar 2.

Kurva M-H sampel sistem $Zn_xFe_{3-x}O_4$ ($x = 0,75; 1,0$ dan $1,25$) hasil disintesis dengan metode ko-presipitasi

Sifat magnetik sampel $Zn_xFe_{(3-x)}O_4$ ($x = 0,75; 1,0$; dan $1,25$) hasil sintesis dengan metode ko-presipitasi, 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 2. Informasi kurva histeresis yang diperoleh menggambarkan karakteristik dari berbagai parameter dalam pembuatan material magnet. Hasil pengamatan VSM menunjukkan bahwa semua sampel menunjukkan perilaku sifat ferromagnetik dengan nilai koersivitas yang relatif kecil.

Untuk lebih jelasnya, kurva histeresis diperbesar dan diperoleh nilai parameter magnetik masing-masing sampel, ditunjukkan pada Tabel 1. Berdasarkan data pada Tabel 1, dapat dilihat bahwa semakin besar nilai $1 < x > 1$ (kandungan ion Zn^{2+}) maka nilai magnetisasi (M_s) semakin kecil sedangkan nilai koersivitas cenderung semakin besar. Sesuai dengan hasil identifikasi fasa dengan XRD bahwa sampel $Zn_xFe_{(3-x)}O_4$ dengan nilai $x = 0,75$ teridentifikasi terbentuk fasa fasa Fe_2O_3 dan fasa $ZnFe_2O_4$, sedangkan nilai $x = 1,25$ teridentifikasi terbentuk fasa ZnO dan fasa $ZnFe_2O_4$. Penurunan nilai M_s ini disebabkan oleh adanya Fasa Fe_2O_3 dan fasa ZnO yang bersifat antiferomagnetik sehingga dapat memperkecil nilai magnetisasi. Dalam keadaan ini, momen magnet pada sampel $Zn_xFe_{(3-x)}O_4$ akan sulit termagnetisasi oleh medan magnet eksternal dan ketika didemagnetisasi maka koersivitasnya akan cenderung lebih besar. Pada penelitian sebelumnya, diperoleh nilai M_s dari serbuk $ZnFe_2O_4$ hasil sintesis dengan teknik *milling* menghasilkan nilai M_s sebesar $21,10 \text{ emu/g}^{15}$. Diketahui bahwa metode ko-presipitasi dapat mengoptimalkan sifat magnetik bahan dengan parameter penelitian yang dilakukan. Namun, hampir sama dengan hasil penelitian yang dilaporkan oleh Raju¹⁹) dan Teber²⁰) yang mensintesis $ZnFe_2O_4$ dengan metode *Microwave Hydrothermal*, yaitu sekitar 35 emu/g .

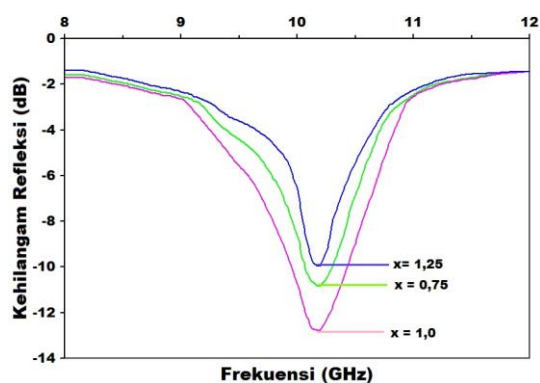
Tabel 1.

Parameter magnetik sampel $Zn_xFe_{(3-x)}O_4$ ($x = 0,75; 1,0$; dan $1,25$) hasil sintesis dengan metode ko-presipitasi

Nilai x	Senyawa	Nilai parameter magnetik		
		M_s (emu/g)	M_r (emu/g)	H_c (Oe)
0,75	$Zn_{0,75}Fe_{2,25}O_4$	27,4	10,7	217
1,00	$ZnFe_2O_4$	31,7	12,6	135
1,25	$Zn_{1,25}Fe_{1,75}O_4$	19,8	10,1	254

Untuk mengetahui kemampuan serapan gelombang mikro masing-masing sampel dilakukan pengukuran kehilangan refleksinya (*reflection loss*, RL) dengan alat VNA merek Advatest-R3370 dengan rentang frekuensi 300 KHz - 20 GHz. Kehilangan refleksi menunjukkan adanya mekanisme resonansi spin magnetik antara gelombang elektromagnetik dengan bahan sehingga terjadi serapan gelombang mikro²¹). Untuk analisis refleksi dan transmisi gelombang mikro sampel sistem $Zn_xFe_{3-x}O_4$ ($x = 0,75; 1,0$ dan $1,25$) hasil disintesis dengan metode ko-presipitasi dilakukan pada rentang frekuensi 8 GHz hingga 12 GHz (pita frekuensi *X-Band*) dan ditunjukkan pada Gambar 3. Untuk mengetahui hubungan antara kehilangan refleksi (RL) dengan serapan gelombang mikro dapat digunakan *Return Loss to VSWR Conversion Table, Marki Microwave*²²), ditunjukkan pada Tabel 2.

Pada Gambar 3 terlihat bahwa penurunan nilai RL mulai terjadi pada frekuensi antara 9,0 GHz sampai 11,0 GHz. Berarti bahwa sampel $Zn_xFe_{3-x}O_4$ mampu menyerap gelombang mikro pada rentang frekuensi sekitar 9 GHz sampai sekitar 11 GHz.



Gambar 3.

Kurva kehilangan refleksi sampel $Zn_xFe_{3-x}O_4$ ($x = 0,75; 1,0$ dan $1,25$) hasil disintesis dengan metode ko-presipitasi

Pada Tabel 2 terlihat bahwa untuk sampel sistem $Zn_xFe_{3-x}O_4$ dengan nilai $x = 0,75$ menunjukkan nilai RL semakin kecil sedangkan untuk nilai $x = 1,25$ menunjukkan peningkatan nilai RL. Ini berarti bahwa serapan gelombang mikro semakin meningkat seiring dengan peningkatan nilai x sampai nilai $x = 1,0$, sedangkan nilai $x = 0,75$ menunjukkan serapannya berkurang. Pada penelitian sebelumnya, diperoleh serapan gelombang oleh serbuk $ZnFe_2O_4$ hasil sintesis dengan metode sol-gel yaitu sekitar 91%¹⁶⁾. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini lebih tinggi karena perbedaan metode sintesis. Metode ko-presipitasi dapat mengoptimalkan sifat magnetik bahan dengan parameter penelitian yang dilakukan hampir sama dengan yang dilaporkan oleh Raju¹⁹⁾. Raju melaporkan bahwa sintesis $ZnFe_2O_4$ dengan metode *Microwave Hydrothermal* menunjukkan serapan gelombang mikro antara 22% - 96%. Sedangkan Teber²⁰⁾ melaporkan bahwa sampel $ZnFe_2O_4$ yang disintesis dengan metode sol-gel tidak menunjukkan puncak serapannya.

Tabel 2.

Serapan gelombang mikro oleh sampel $Zn_xFe_{3-x}O_4$ hasil sintesis dengan metode ko-presipitasi

Nilai x	Frekuensi (GHz)	Nilai RL (dB)	Serapan (%)
0,75	10,20	- 10,81	91,67
1,0	10,18	- 12,77	94,69
1,25	10,20	- 9,93	89,82

Hasil pengukuran serapan gelombang mikro paling besar oleh sampel $Zn_xFe_{3-x}O_4$ ditunjukkan oleh komposisi dengan nilai $x = 1,0$. Sesuai dengan hasil analisis fasa dengan XRD yang menunjukkan bahwa sampel $Zn_xFe_{3-x}O_4$ dengan nilai $x = 1,0$ menghasilkan fasa $ZnFe_2O_4$, sedangkan untuk nilai $x = 0,75$ terbentuk fasa $ZnFe_2O_4$ dan fasa Fe_2O_3 , untuk $x = 1,25$ terbentuk fasa-fasa $ZnFe_2O_4$ dan ZnO . Hasil pengukuran sifat magnetik sampel $Zn_xFe_{3-x}O_4$ juga menunjukkan nilai M_s paling tinggi sampel dengan nilai $x = 1,0$. Keberadaan fasa Fe_2O_3 , dan fasa ZnO maka nilai M_s menjadi berkurang karena Fe_2O_3 , dan ZnO bersifat antiferomagnetik. Begitu juga dengan penurunan serapan untuk nilai $x =$

0,75 dan 1,25 disebabkan oleh adanya fasa Fe_2O_3 dan ZnO yang menyebabkan sifat magnetik bahan menjadi lebih lemah daripada komposisi dalam bentuk fasa tunggal. Penurunan sifat magnetik sampel $Zn_xFe_{3-x}O_4$ juga menurunkan kemampuan penyerapan gelombangnya.

SIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa hasil identifikasi dengan XRD menunjukkan bahwa sampel $Zn_xFe_{(3-x)}O_4$ dengan nilai $x = 0,75$ terbentuk fasa $ZnFe_2O_4$ dan Fe_2O_3 , untuk nilai $x = 1,0$ terbentuk fasa tunggal dari $ZnFe_2O_4$, sedangkan untuk nilai $x = 1,25$ terbentuk fasa $ZnFe_2O_4$ dan ZnO . Hasil pengukuran sifat magnetik sampel $Zn_xFe_{(3-x)}O_4$ dengan nilai $x = 1,0$ (sampel $ZnFe_2O_4$) menunjukkan nilai M_s paling tinggi yaitu 31,7 emu/g. Serapan gelombang mikro maksimum juga ditunjukkan oleh sampel $Zn_xFe_{(3-x)}O_4$ dengan nilai $x = 1,0$ (sampel $ZnFe_2O_4$), yaitu 94,69 %, dengan demikian, sampel $ZnFe_2O_4$ dapat diaplikasikan sebagai bahan penyerap gelombang mikro.

UCAPAN TERIMA KASIH

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

DAFTAR PUSTAKA

1. Malhotra, S., M. Chitkara, & I.S. 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 (10), 2015, p. 115-120.
2. Rafeekali, K., Maheen, M. & Mohammed E. M., *Influence of Rare Earth (Tb3+) on Electrical and Magnetic Studies of Nickel ferrite Nanoparticles*, IOSR Journal of Applied Physics (IOSR-JAP), Vol. 7 (3), 2015, p. 21-25.
3. Liu, Z., Xing, H., Liu, Y., Wang, H., Jia, H., Ji, X., *Hydrothermally synthesized Zn*

- ferrite/multi-walled carbon nanotubes composite with enhanced electromagnetic-wave absorption performance*, Journal of Alloys and Compounds, Vol. 731, 2018, p. 745-752
4. Tripathi, K. C., Abbas, S. M, Alegaonkar, P. S. & Sharma, R. B., *Microwave Absorption Properties of Ni-Zn Ferrite Nano-Particle based Nano Composite*, International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology, Vol. 2 (2), 2015, p. 463–468.
 5. Swamy, P. M. P., Basavaraja, S., Lagashetty, A., Rao, N. V. S., Nijagunappa, R., and Venkataraman, A., *Synthesis and characterization of zinc ferrite nanoparticles obtained by self-propagating low-temperature combustion method*, Bull. Mater. Sci., Vol. 34(7), 2011, p. 1325–1330.
 6. Gafton, E. V., Bulai, G., Caltun, O. F., Cervera, S., Macé, S., Trassinelli, M., Steydli, S. and Vernhet, D., *Structural and magnetic properties of zinc ferrite thin films irradiated by 90 keV neon ions*, Applied Surface Science, Elsevier B., Vol. 379, 2016, p. 171–178.
 7. Abbas, S. I., John, H. T. and Fraih, A. J., *Preparation of Nano Crystalline Zinc – Ferrite as Material for Microwaves Absorption by Sol-Gel Methods*, Indian Journal of Science and Technology, Vol. 10(21), 2017, p. 1–6.
 8. Yan, A., Liu, X., Yi, R., Shi, R., Zhang, N. and Qiu, G., *Selective Synthesis and Properties of Monodisperse Zn Ferrite Hollow Nanospheres and Nanosheets*, J. Phys. Chem. C., Vol. 112, 2008, p. 8558–8563
 9. Hasanpour, A., Niyafar, M., Asan, M., *Synthesis and Characterization of Fe₃O₄ & ZnO Nanocomposites by Sol- Gel Method*, Proceedings of the 4th International Conference on Nanostructures (ICNS4) 12-14 March, 2012, Kish Island, I.R. Iran, p. 205-207
 10. Wan, J., X. Jiang, H. Li, and K. Chen., *Facile Synthesis of Zinc Ferrite Nanoparticles as Non-Lanthanide T1 MRI Contrast Agents*. Journal of Materials Chemistry. Vol. 22, 2012, p. 13500-13505.
 11. Gu, W., Xie, Q., Qi, C., Zhao, L., and Wu, D., *Phosphate Removal Using Zinc Ferrite Synthesized through a Facile Solvothermal Technique*, Powder Technology, Vol. 301, 2016, p. 723–729
 12. Shinde, T. J., Gadkari, A. B. and Vasambekar, P. N., *Effect of Nd³⁺ Substitution on Structural and Electrical Properties of Nanocrystalline Zinc Ferrite*. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol. 322, 2010, p. 2777–2781
 13. Huang, X., Zhang, J., Xiao, S., Sang, T., Chen, G., *Unique electromagnetic properties of the zinc ferrite nanofiber*, Materials Letters, Vol. 124, 2014, p. 126–128.
 14. Abbas, S. I., John, H. T. and Fraih, A. J., *Preparation of Nano Crystalline Zinc – Ferrite as Material for Microwaves Absorption by Sol-Gel Method*, Indian Journal of Science and Technology, Vol. 10(21), 2017, p. 1–6.
 15. Mashadi, Tiana, S., and Yunasfi, *Phase Analysis and Magnet Properties of Zn_xFe_(3-x)O₄ Prepared by Milling Process*, Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences. Vol.14, 2018, p. 208-212.
 16. Yunasfi, Siti Nurfadilah, Mashadi dan Wisnu Ari Adi, *Analisis dan Karakterisasi Zn_xFe_(3-x)O₄ sebagai Penyerap Gelombang Mikro Pada Peralatan Telekomunikasi*, Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia [JSTNI], Vol. 19(2), 2018, p. 53-60
 17. Swamy, P. M. P., Basavaraja, S., Lagashetty, A., et al., *Synthesis and characterization of zinc ferrite nanoparticles obtained by selfpropagating low-temperature combustion method*, Bull. Mater. Sci., Vol. 34 (7), 2011, p.1325–30.
 18. Muflihatun, Siti Shofiah dan Edi Suharyadi, *Sintesis Nanopartikel Nickel Ferrite (NiFe₂O₄) dengan Metode Kopersipitasi dan Karakterisasi Sifat Kemagnetannya*, Jurnal Fisika Indonesia, Vol XIX (55), 2015, p. 20-25.
 19. Raju, S. R. *Synthesis of Non-Stoichiometric Zinc Ferrite for Electromagnetic Wave Absorber*

- Applications*. Materials Science and Engineering. Vol. 224, 2017, p. 88–92.
20. Teber, A.; Cil, A.; Yilmaz, K., et al., *Manganese and Zinc Spinel Ferrites Blended with Multi-Walled Carbon Nanotubes as Microwave Absorbing Materials*, Aerospace, Vol. 4(1), 2017, p. 1–18.
21. Kadhum. J. K. and Zeyad. T. I., *Microwave Properties of Spinel Ferrite*, International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEEM), Vol.3(9), 2014, p. 93-97.
22. Marki Microwave, “Return Loss Conversion Table”, 215 Vineyard Court, Morgan Hill, CA 95037

(halaman ini sengaja dikosongkan)