

Sifat Magnet dan Serapan Gelombang Mikro $Mn_{(1-x)}Nd_xFe_2O_4$ Hasil Sintesis dengan Metode Ko-Presipitasi

Magnetic and Microwave Absorbing of $Mn_{(1-x)}Nd_xFe_2O_4$ Synthesized with Co-Precipitation Method

Yunasfi^{1*}, Mia Adha², dan Nurhasni²

¹⁾ Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju (PSTBM) – BATAN

²⁾ Program Studi Kimia FST, UIN Syarif Hidayatullah – Jakarta

*E-mail: yunasfi@gmail.com

ABSTRACT

Characterization of magnetic and microwave absorbing properties of $Mn_{(1-x)}Nd_xFe_2O_4$ synthesized with co-precipitation method have been carried out. $Mn_{(1-x)}Nd_xFe_2O_4$ (with $x = 0.0$; 0.4 ; and 0.8) powders was synthesized from mixture of $NiCl_2$, $NdCl_3$ and $FeCl_3$ in mole ratio. Mixing of this powders were soluted with NH_4OH 4M up to $pH = 9.0$. The formed precipitate were washed with demineralized water up to $pH = 7.0$ and then dried at $120\text{ }^\circ\text{C}$ for 5 h, sintered at 1200 for 3 h. Phase identification with X-ray diffractometer (XRD) have formed composite multiphases, which indicated by the appearance of $MnFe_2O_4$, $NdFeO_3$ and Fe_2O_3 phase. The magnetic measurement using VSM (vibrating sample magnetometer) showed that the sample exhibited a ferromagnetic behavior, the M_s value is lower (in the range of $30 - 11\text{ emu/g}$) while the H_c value is greater (in the range of $111 - 132\text{ Oe}$) with increased concentration of Nd^{3+} ion (x values). Measurement by VNA (Vector Network Analyzer) showed the ability of absorption of microwaves increased with increasing content of Nd^{3+} ion, the composition of $x = 0.0$ at about 70% and addition of Nd^{3+} ion up to composition $x = 0.8$ at about 91%.

Keywords: MnNd ferrite, co-precipitation method, magnetic properties, microwave absorption

PENDAHULUAN

Aplikasi teknologi gelombang elektromagnetik telah berkembang sangat cepat, seperti pada teknologi telekomunikasi dan militer. Hal ini mengakibatkan semakin banyak gelombang elektromagnetik dalam bentuk radiasi gelombang elektromagnetik yang terpancar ke lingkungan. Radiasi gelombang elektromagnetik yang berlebihan akan mengganggu lingkungan dan kesehatan manusia. Untuk tujuan tersebut sekarang telah dikembangkan teknologi penyerapan terhadap radiasi gelombang elektromagnetik ke lingkungan (Malhotra *et al*, 2015). Teknologi tersebut menghasilkan suatu bahan yang dinamakan bahan magnetik cerdas. Bahan magnetik cerdas ini termasuk dalam kategori material penyerap gelombang yang dapat diaplikasikan sebagai penangkal interferensi gelombang elektromagnetik (*Electromagnetic Interference/EMI*) dan sebagai *Radar Absorbing Materials* (RAM) (Rafeekali *et al*, 2015 dan Teber *et al*, 2017).

Secara umum kriteria material *absorber* yang baik haruslah memiliki permeabilitas dan permitivitas yang tinggi (Tripathi *et al*, 2015). Selain itu, diperlukan resistivitas yang tinggi dan saturasi magnet tinggi. Salah satu material

yang telah banyak menjadi objek penelitian di bidang *absorber* adalah ferit. Material ferit termasuk ke dalam material yang sangat stabil dengan karakteristik yang sangat baik, diantaranya adalah tingginya resistivitas bahan tersebut. Ferit mempunyai resistivitas intrinsik yang tinggi (Chakraborty *et al*. 2013 dan Hosseini dan Asadnia, 2012). Selain itu material ini mempunyai permeabilitas yang tinggi, tetapi resistivitas *bulk*-nya relatif rendah. 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 (Zipare *et al*, 2015). $MnFe_2O_4$ banyak digunakan dalam perangkat elektronik seperti *microwave devices*, media penyimpanan data, dan *transformer cores* (Tawainella *et al*, 2014).

Pada penelitian ini dilakukan pengamatan sifat magnet dan serapan gelombang mikro oleh $MnFe_2O_4$ yang disubstitusi ion Nd^{3+} . Substitusi ion Nd^{3+} bertujuan untuk

meningkatkan sifat listrik dan magnetik dari MnFe_2O_4 . Substitusi sejumlah kecil ion Nd^{3+} ke dalam spinel ferit dapat mendistorsi struktur karena jari-jari ioniknya menjadi besar sehingga menginduksi *strain* dan secara signifikan akan merubah sifat listrik, magnet dan struktur mikro (Zhu *et al*, 2011, dan Mahalakshmi dan Manja, 2015).

Namun, sampai saat ini belum ditemukan literatur yang melaporkan pengaruh substitusi ion Nd^{3+} ke dalam MnFe_2O_4 terhadap kemampuannya menyerap gelombang mikro. Hasil penelitian sebelumnya yang telah dilaporkan bahwa nikel ferit yang disubstitusi dengan ion Nd^{3+} dengan metode ko-presipitasi menunjukkan serapan gelombang mikro maksimal sekitar 94 % (Yunasfi *et al*, 2017), sedangkan nikel ferit yang disubstitusi ion Nd^{3+} dengan metode *milling* menunjukkan serapan gelombang mikro sekitar 96,5% (Yunasfi *et al*, 2017). Mia (2017) juga telah mempelajari karakteristik mangan ferit disubstitusi dengan ion Nd^{3+} dengan metode ko-presipitasi. Dalam penelitian ini dilanjutkan dengan pengamatan sifat magnet dan serapan gelombang mikro oleh MnFe_2O_4 yang disubstitusi ion Nd^{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 (Farooq *et al*, 2012). Diharapkan dari hasil penelitian ini dapat memberikan informasi penggunaan bahan ini sebagai penyerap gelombang mikro.

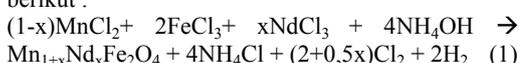
METODE

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah besi klorida (FeCl_3) dan mangan klorida (MnCl_2) dan neodinium klorida (NdCl_3) yang masing-masingnya dalam bentuk serbuk dengan kemurnian $\geq 99.9\%$ produksi Sigma Aldrich, serta NH_4OH produksi Merck. Sedangkan, alat yang digunakan adalah XRD (*X-ray diffraction*) merk PHILLIPS Panalytical Empyrean PW1710, VSM (*Vibrating Sample Magnetometer*) tipe OXFORD dan VNA (*Vector Network Analyzer*) merk Advatest-R3370 300 KHz - 20 GHz.

Metode

Masing-masing serbuk MnCl_2 , FeCl_3 dan NdCl_3 ditimbang sesuai dengan perbandingan molnya dengan berat total 10 gram. Komposisi kimia untuk sampel $\text{Mn}_{1-x}\text{Nd}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ (dengan $x = 0,0; 0,4$ dan $0,8$) disintesis berdasarkan persamaan reaksi sebagai berikut :

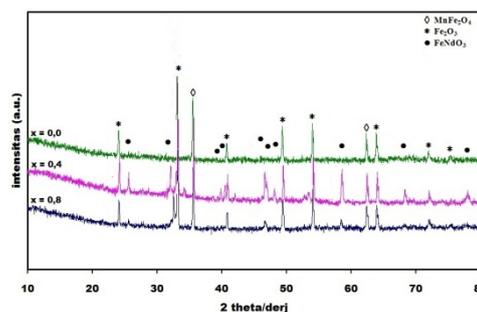


Masing-masing campuran serbuk dilarutkan dengan aquades, kemudian dipanaskan sampai suhu 80°C sambil diaduk dengan *magnetic stirer* dan selanjutnya ditambahkan larutan NH_4OH sampai pH = 9 untuk membentuk endapan (Mia, 2017).

Endapan yang terbentuk dicuci beberapa kali dengan aquades sampai menunjukkan pH = 7. Selanjutnya dilakukan pengeringan dengan oven pada suhu 100°C dan dilanjut dengan proses sintering pada suhu 1200°C selama 3 jam. Sampel $\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ yang terbentuk dilakukan identifikasi fasa dengan alat XRD dan pengukuran sifat magnetnya dengan alat VSM. Semua kegiatan preparasi sampel dan peralatan karakterisasi yang digunakan dalam penelitian ini dilakukan di Bidang Sains Bahan Maju (BSBM), PSTBM-BATAN Serpong. Serta pengukuran serapan gelombang mikro dilakukan dengan alat VNA yang terpasang di PPET, LIPI – Bandung.

HASIL DAN PEMBAHASAN

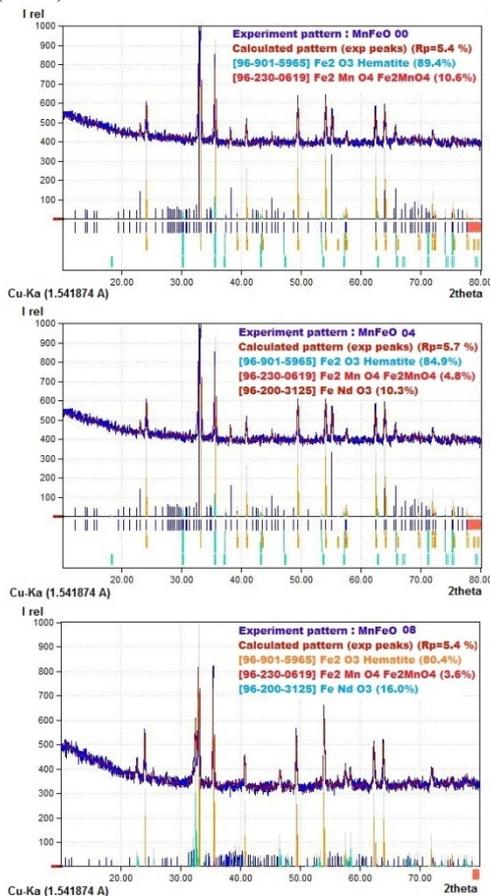
Hasil identifikasi fasa serbuk $\text{Mn}_{(1-x)}\text{Nd}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ (dengan $x = 0,0; 0,4$ dan $0,8$) yang disintesis dengan metode ko-presipitasi ditunjukkan pada Gambar 1. Pada Gambar 1 terlihat adanya puncak utama yang muncul pada sudut 2θ di sekitar 35° yang merupakan puncak bidang (311) dari $\text{Mn}_{1-x}\text{Nd}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ yang berbentuk kubik spinel, dan juga puncak-puncak lainnya. Untuk mengetahui puncak-puncak yang muncul, dilakukan analisis fasa menggunakan perangkat lunak Match! Edisi ke-3 dan bersumber pada data pola difraksi dari *Crystallography Open Database* (COD).



Gambar 1. Pola XRD serbuk $\text{Mn}_{1-x}\text{Nd}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ ($x = 0 ; 0,4$ dan $0,8$)

Hasil identifikasi fasa yang telah dilakukan menggunakan perangkat lunak Match! Edisi ke-3 yang ditampilkan pada Tabel 1, diketahui bahwa sampel $x = 0,0$ (MnFe_2O_4) menunjukkan seluruh puncak utama yang terbentuk memiliki posisi sudut difraksi dan intensitas yang sesuai dengan data referensi dari *Crystallography Open Database* (COD) dengan nomor 96-230-0169 menunjukkan fasa NiFe_2O_4 dengan puncak utama yang 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 $Ni_{1,5}Fe_{1,5}O_4$ 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° . Sedangkan fasa Fe_2O_3 muncul pada sudut 2θ di sekitar (104) pada sudut sekitar 33° yang memiliki struktur kristal trigonal dan puncak lain yang merupakan karakteristik dari Fe_2O_3 yaitu pada sudut 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° dan, yang sesuai dengan database ICDD 96-901-5965 pada Match. Hasil identifikasi ini merujuk pada data yang dilaporkan oleh Sonia (2014).



Gambar 2. Identifikasi fasa serbuk $Mn_{(1+x)}Fe_{(2-x)}O_4$ ($x = 0 ; 0,4$ dan $0,8$)

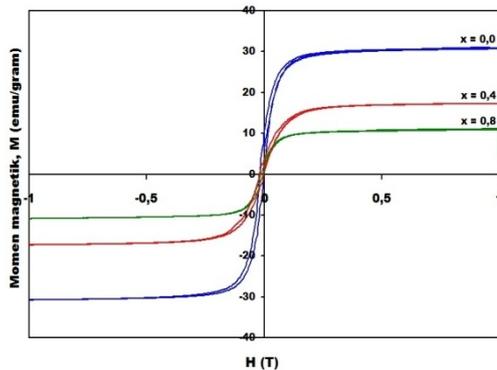
Penambahan ion Nd^{3+} ($x = 0,4$ dan $0,8$) menunjukkan adanya penambahan puncak baru. Berdasarkan hasil analisis dengan program Match diketahui bahwa puncak baru yang muncul tersebut adalah fasa $NdFeO_3$ (Gambar 2). Puncak tersebut juga merupakan karakteristik dari $NdFeO_3$ yaitu puncak bidang (101) 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 96-200-3125 pada Match. Persentase masing-masing fasa yang terbentuk dalam serbuk dengan variasi ditunjukkan pada Tabel 1. Pada Tabel 1 terlihat bahwa % fasa $NiFe_2O_4$ yang terbentuk berkurang dengan adanya substitusi ion Nd^{3+} dan semakin berkurang seiring dengan peningkatan konsentrasi ion Nd^{3+} . Hal ini disebabkan substitusi ion Nd^{3+} yang terlalu banyak sehingga tidak semua ion Nd^{3+} yang dapat masuk kedalam struktur spinel ferit untuk membentuk fasa $MnFe_2O_4$.

Tabel 1. Persentase fasa yang terbentuk pada serbuk $Mn_{1+x}Nd_xFe_2O_4$ ($x = 0 ; 0,4 ; 0,8$)

Komposisi (x)	Fasa (%)		
	$NiFe_2O_4$	Fe_2O_3	$NdFeO_3$
0.0	10,6	89,4	-
0.4	4,8	84,9	10,3
0.8	3,6	80,4	16,0

Sifat magnetik sampel $Mn_{1-x}Nd_xFe_2O_4$ hasil sintesis dengan metode ko-presipitasi dikarakterisasi menggunakan peralatan VSM. Hasil karakterisasi ini digambarkan dengan kurva histeresis M-H pada kisaran 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 3. 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 2.



Gambar 3. Kurva M-H serbuk $Mn_{(1-x)}Nd_xFe_2O_4$ ($x = 0 ; 0,4$ dan $0,8$)

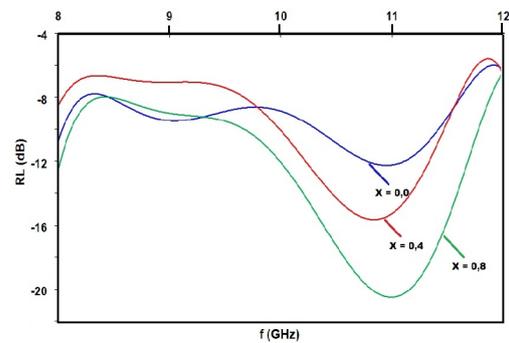
Tabel 2. Parameter magnetik serbuk $Mn_{(1-x)}Nd_xFe_2O_4$ ($x = 0 ; 0,4$ dan $0,8$)

Sampel	Nilai paramter magnetik		
	111,5	M_r (emu/g)	H_c (Oe)
$x = 0,0$	125,5	8,05	111,5
$x = 0,4$	131,5	3,11	125,5
$x = 0,8$	11,1	3,17	131,5

Berdasarkan data pada Tabel 2, dapat dilihat bahwa semakin besar nilai x (kandungan Nd) maka nilai magnetisasi (M_s) semakin kecil sedangkan nilai koersivitas cenderung semakin besar. Hal ini menunjukkan sifat magnetik bahan semakin berkurang seiring dengan peningkatan kandungan Nd. Mullai *et al* (2012) menyatakan bahwa substitusi ion La^{3+} ini dapat menurunkan nilai M_s sedangkan nilai H_c meningkat. Dalam keadaan ini, momen magnet pada nanopartikel $Ni_{1-x}Nd_xFe_2O_4$ akan sulit termagnetisasi oleh medan magnet eksternal dan ketika didemagnetisasi maka koersivitasnya akan cenderung lebih besar.

Serapan gelombang mikro dari sampel $Mn_{(1-x)}Nd_xFe_2O_4$ yang disintesis dengan metode ko-presipitasi diukur dengan VNA pada rentang frekuensi 9,0-12 GHz dalam bentuk kurva *reflection loss* (RL), ditunjukkan pada Gambar 4. *Reflection loss* menunjukkan adanya mekanisme resonansi spin magnetik antara gelombang elektromagnetik dengan bahan sehingga terjadi serapan gelombang mikro. Pada Gambar 4 terlihat bahwa ada tiga puncak RL terendah yang dihasilkan oleh sampel $Mn_{(1-x)}Nd_xFe_2O_4$ dengan puncak yang berbeda-beda untuk setiap sampel. Hal ini menunjukkan bahwa sampel $Mn_{(1-x)}Nd_xFe_2O_4$ dapat menyerap gelombang mikro pada rentang panjang gelombang yang lebar. Serapan gelombang mikro oleh sampel $Mn_{(1-x)}Nd_xFe_2O_4$ meningkat

seiring dengan peningkatan kandungan Nd (nilai x) dalam sampel. Peningkatan nilai RL dikaitkan dengan nilai koersivitas (H_c) bahan (sesuai dengan hasil pengukuran dengan VSM). Semakin besar nilai H_c maka serapan gelombang mikro semakin besar pula. Dari hasil penelitian ini diperoleh puncak RL sebelum substitusi ion Nd^{3+} adalah $-10,24$ dB (berarti serapan sebesar 70%) pada 10,88 GHz, sedangkan untuk substitusi ion Nd^{3+} maksimal ($x=0,8$) adalah $-20,39$ dB (berarti serapan sebesar 91%) pada 11,12 GHz. Hal ini berarti bahwa dengan adanya substitusi ion Nd^{3+} terhadap serbuk mangan ferit dapat meningkatkan serapan gelombang mikro.



Gambar 4. Kurva kehilangan refleksi serbuk $Mn_{(1-x)}Nd_xFe_2O_4$ ($x = 0 ; 0,4$ dan $0,8$)

Bahan spinel nikel ferit merupakan bahan yang bersifat *soft magnetic* memiliki medan anisotropi yang sangat kecil sehingga harus ditingkatkan dengan mensubstitusi logam tanah jarang, yang salah satunya adalah ion Neudinium (ion Nd^{3+}). Substitusi ion Nd^{3+} (peningkatan nilai x) menunjukkan peningkatan serapan gelombang mikro. Hal ini disebabkan oleh ion Nd^{3+} yang bersifat paramagnetik dan memiliki sifat listrik dan magnet sehingga memiliki nilai permeabilitas dan permitivitas yang tinggi (Music *et al*, 2011). Dengan adanya substitusi ion Nd^{3+} akan meningkatkan sifat intrinsik komposit $Mn_{(1-x)}La_xFe_2O_4$, sehingga serapannya terhadap gelombang mikro meningkat.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa senyawa $Mn_{(1-x)}Nd_xFe_2O_4$ ($x = 0 ; 0,4$ dan $0,8$) yang disintesis dengan metode ko-presipitasi menghasilkan senyawa dalam bentuk komposit. Hal ini diketahui dari pola XRD yang menunjukkan dengan munculnya puncak difraksi dari fasa-fasa

MnFe₂O₄, NdFeO₃ dan α-Fe₂O₃, sesuai dengan pengamatan morfologi dengan SEM menunjukkan partikel yang tidak homogen dengan ukuran yang bervariasi antara 100 nm sampai 500 nm. Substitusi ion Nd³⁺ terhadap serbuk mangan ferit dapat meningkatkan serapan gelombang mikro yang diukur dengan VNA. Serapan gelombang mikro ini meningkat seiring dengan peningkatan kandungan ion Nd³⁺, dengan serapan maksimum ditunjukkan oleh substitusi ion Nd³⁺ dengan x=0,8 (Mn_{0,2}Nd_{0,8}Fe₂O₄) adalah sebesar 91% pada 11,12 GHz. Dengan demikian, senyawa Mn_{0,2}Nd_{0,8}Fe₂O₄ dapat diaplikasikan untuk penyerap gelombang mikro.

DAFTAR PUSTAKA

- Chakraborty, H., S. Chabri, & N. Bhowmik. 2013. Electromagnetic Interference Reflectivity of Nanostructured Manganese Ferrite Reinforced Polypyrrole Composites. *Transactions on Electrical and Electronic Materials*. Dec, 14(6): 295-298
- Farooq, H., M.R. Ahmad, Y. Jamil, A. Hafeez, Z. Mahmood, & T. Mahmood. 2012. Structural and Dielectric Properties of Manganese Ferrite Nanoparticles. *Journal of Basic & Applied Sciences*, Vol 8, 597-60
- Hosseini, S. H. & A. Asadnia. 2012. Synthesis, Characterization, and Microwave-Absorbing Properties of Polypyrrole / MnFe₂O₄ Nanocomposite. *Journal of Nanomaterials*.
- Mahalakshmi, S., & K.S. Manja. 2015. Spectroscopic and Structural Studies of Nickel Ferrite Doped with Rare Earth Ions, *International Journal of ChemTech Research*. 7 (3).
- Malhotra, S., M. Chitkara, & I.S. Sandhu. 2015. Microwave Absorption Study of Nano Synthesized Strontium Ferrite Particles in X Band, *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*. 8 (10):115-120.
- Mia, A. 2017. Sintesis dan Karakterisasi Bahan Absorber Mn(1-x)Nd_xFe₂O₄ dengan Metode Kopresipitasi, *Skripsi Program Studi Kimia*, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta.
- Mullai R. U., P.P. Pradeep, & G. Chandrasekaran. 2012. Synthesis and Characterization of Lanthanum Doped Mg-Zn Ferrite Nanoparticles Prepared by SOL-GEL Method, *International Journal of Recent Trends in Science And Technology*, 5 (2):78-85.
- Music B., A. Znidarsic, & P.Venturini. 2011. Electromagnetic Absorbing Materials, *Informacije MIDE M*, 41(2), 86-91.
- Rafeekali, K., M. Maheen, & E.M. Mohammed. 2015. Influence of Rare Earth (Tb³⁺) on Electrical and Magnetic Studies of Nickel ferrite Nanoparticles, *IOSR Journal of Applied Physics (IOSR-JAP)* e-ISSN: 2278-4861. 7 (3):21-25.
- Sonia, M. M. L., S. Blessi, & S. Pauline. 2014. Role of Lanthanum Substitution on the Structural and Magnetic Properties of Nanocrystalline Nickel Ferrites, *International Journal of Advance Research In Science And Engineering (IJARSE)*, 3 (7): 360–367.
- Tawainella, R. D., Y. Riana, R. Fatayati, T. Kato, & S. Iwata. 2014. Sintesis Nanopartikel Manganese Ferrite (MnFe₂O₄) dengan Metode Kopresipitasi dan Karakterisasi Sifat Kemagnetannya, *XVIII(April)*, 1–7.
- Teber, A., K. Cil, T. Yilmaz, B. Eraslan, D. Uysal, G. Surucu, A.H. Baykal, & R. Bansal. 2017. Manganese and Zinc Spinel Ferrites Blended with Multi-Walled Carbon Nanotubes as Microwave Absorbing Materials, *Aerospace*, 4 (2).
- Tripathi, K. C., S.M Abbas, P.S. Alegaonkar, & R.B. Sharma. 2015. Microwave Absorption Properties of Ni-Zn Ferrite Nano-Particle based Nano Composite, *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*. 2 (2): 463–468.
- Yunasfi, M., & A. Mulyawan. 2017. Magnetic And Microwave Absorbtion Properties of Nd Doped Nickel Ferrite Using Milling Technique. *Jurnal Teknologi*, UTM, Malaysia (dalam proses penerbitan).
- Yunasfi, Maspin Apit, Emriadi & W.A. Ady. 2017. Analisis Struktur Kristal dan Sifat Magnet Bahan Absorber Ni_(0,5-x)Nd_xFe_{2,5}O₄ Hasil Sintesis dengan Metode Kopresipitasi, *Makalah Ilmiah Pengkajian Industri*, (dalam proses penerbitan).
- Zipare, K., Dhumal, J., Bandgar, S., Mathe, V., & Shahane, G. 2015. Superparamagnetic Manganese Ferrite Nanoparticles : Synthesis and Magnetic Properties, *Journal of Nanoscience and Nanoengineering* 1 (3): 178-182.
- Zhu, W., L. Wang, R. Zhao, J. Ren, G. Lu, &

Y. Wang. 2011. Electromagnetic and Microwave-Absorbing Properties of Magnetic Nickel Ferrite Nanocrystals. *Nanoscale* 3 (7): 2862–2864.