

Studi Spektral Inframerah pada Ferit *Spinel* Nanokristal MFe_2O_4 ($M = Ni, Mn$ dan Zn)

Heni Sungkono dan Darminto*

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Intisari

Ferit *spinel* MFe_2O_4 dengan $M = Zn, Ni$ dan Mn telah berhasil disintesis dengan menggunakan metode kopresipitasi pada temperatur $70^\circ C$. Uji karakterisasi dilakukan dengan menggunakan difraktometri sinar-X dan spektrofotometri inframerah. Diketahui bahwa kandungan prosentase fasa *spinel* untuk masing-masing sampel mendekati 100%. Intensitas serapan inframerah oleh sampel terletak pada daerah $400-600\text{ cm}^{-1}$, yang mengkonfirmasi bahwa doping Zn mensubstitusi ion Fe^{2+} pada bagian tetrahedral sedangkan doping Ni serta Mn menggantikan ion Fe^{2+} pada bagian oktahedral dari struktur kristal *spinel*. Dari perhitungan berdasarkan spektra XRD didapatkan ukuran kristal untuk semua sampel $< 10\text{ nm}$, kecuali untuk $Zn_{0,5}Ni_{0,5}Fe_2O_4$ yang memiliki ukuran $16,7\text{ nm}$. Lebih lanjut, nilai indeks bias sampel bervariasi bergantung pada doping yang diberikan.

KATA KUNCI: Ferit, nanokristal, spektroskopi inframerah, tetrahedral, oktahedral

I. PENDAHULUAN

Spektroskopi inframerah merupakan metoda untuk menentukan informasi struktural zat organik. Namun, dewasa ini metode spektroskopi juga diterapkan pada penelitian untuk zat anorganik. Spektroskopi inframerah banyak digunakan dalam analisis kualitatif dan analisis kuantitatif. Metode analisisnya berdasarkan pada interaksi gelombang elektromagnetik pada daerah inframerah dengan materi berupa absorpsi pada frekuensi atau panjang gelombang tertentu yang berhubungan dengan keadaan energi transisi antar tingkat vibrasi-rotasi dari molekul.[1]

Frekuensi atau panjang gelombang absorpsi bergantung pada massa relatif atom-atom dalam gugus fungsional molekul, tetapan gaya ikatan antar atom dan struktur keseluruhan. Pemanfaatan spektroskopi ini didasarkan pada letak pita karakteristik vibrasi dari gugus atom tertentu yang selalu muncul pada frekuensi yang sama atau berdekatan meskipun struktur geometri molekulnya berbeda. Hasil studi inframerah berguna untuk mengamati perubahan atau distorsi struktur molekul dan memantau kadar dopan atau impuritas dalam suatu bahan.[2]

Studi spektra inframerah untuk bahan anorganik telah banyak dilakukan, contohnya studi tentang dinamika kisi pada superkonduktor sistem bismuth (Bi) yang dilakukan oleh Kovaleva dkk.[3] dan studi spektra inframerah dari ferit $Co_{0,6}Zn_{0,6}Mn_xFe_{2-x}O_4$ ($x = 0,7 ; 0,8 ; 0,9$ dan 1) yang dilakukan oleh Hemeda dkk.[4] Menurut Hemeda dkk., penambahan konsentrasi Mn menyebabkan peningkatan nilai indeks bias dan penurunan kecepatan gelombang inframerah

dan konstanta dielektrik bahan. Selain itu peningkatan konsentrasi Mn juga mempengaruhi peningkatan intensitas serapan subkisi oktahedral dari struktur kristal *spinel*.

Dalam penelitian ini digunakan sampel ferit *spinel* MFe_2O_4 dengan $M = Zn, Ni$ dan Mn . Ferit merupakan sebuah kelompok bahan yang sangat penting dalam kelas feromagnetik[5], dan mempunyai struktur kristal *spinel* (tipe $MgO.Al_2O_3$) sehingga umum disebut dengan fero-*spinel* [6] dengan penulisan yang lazim dan sesuai strukturnya, $MO.Fe_2O_3$. Subkisi MO berstruktur ikatan tetrahedral (A), sedangkan subkisi Fe_2O_3 berstruktur ikatan oktahedral (B). Satu sel satuan kristal MFe_2O_4 tersusun oleh 4 buah kubus A dan 4 buah kubus B yang berselang - selang.

Analisis komposisi fasa dan ukuran kristal dilakukan melalui pengukuran dengan menggunakan difraktometri sinar-X (XRD). Sementara itu, dengan menggunakan spektrofotometri inframerah akan dikaji sebagai konfirmasi dari teori yang sudah ada fenomena penempatan kation dopan ($M = Zn, Ni$ dan Mn) dalam struktur kristal *spinel* ferit MFe_2O_4 , apakah menempati bagian tetrahedral atau bagian oktahedral. Spektrum yang diperoleh merupakan hubungan persentase transmitansi dan frekuensi serapan. Transmitansi merupakan nisbah antara intensitas sinar yang ditransmisikan dengan intensitas sinar yang diterima sampel sehingga nilai indeks biasnya dapat ditentukan [3, 7, 8].

II. METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam pembuatan sampel adalah teknik kopresipitasi, yaitu pembentukan kristal campuran akibat terjadinya absorpsi ion ketika proses pengendapan.[10, 11] Langkah pertama serbuk Fe (Zn, Mn dan Ni) ditimbang sesuai dengan fraksi mol yang dibutuhkan kemudian ditambah-

*E-MAIL: darminto33@yahoo.com

kan dengan larutan HCl (12 M) dan diaduk dengan menggunakan pengaduk magnetik dan dipanaskan pada temperatur 70°C. Setelah warna larutan menjadi coklat pekat ditambahkan larutan NH₄OH (6.5M) dengan tetap diaduk dan dipanaskan. Pengadukan dihentikan ketika warna larutan telah berubah menjadi hitam pekat. Hal ini berarti larutan sudah dalam kondisi homogen. Selanjutnya, larutan diendapkan dan disaring. Selama proses penyaringan dicuci dengan menggunakan Aqua DM, kemudian dikeringkan dalam oven pada temperatur 100°C, sehingga didapatkan sampel ferit MFe₂O₄ dalam bentuk serbuk. Langkah terakhir dilakukan pengujian XRD dan spektroskopi inframerah. Pengujian Difraksi Sinar-X dengan menggunakan Difraktometer Sinar-X JEOL 3530 dengan sumber sinar CuK α , sedangkan pengujian spektroskopi Inframerah dengan menggunakan Spektrofotometer FTIR-5300.

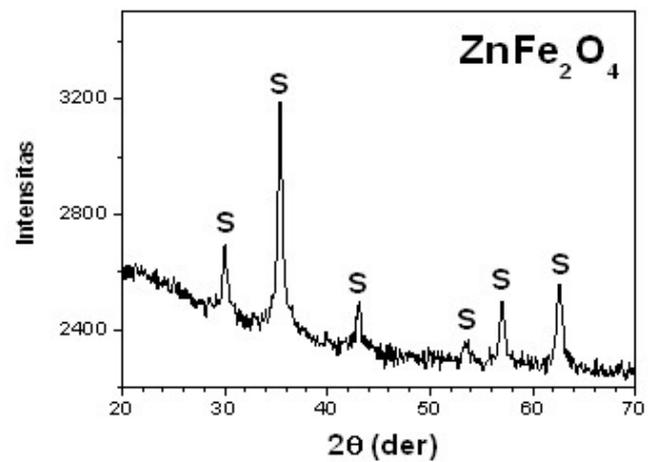
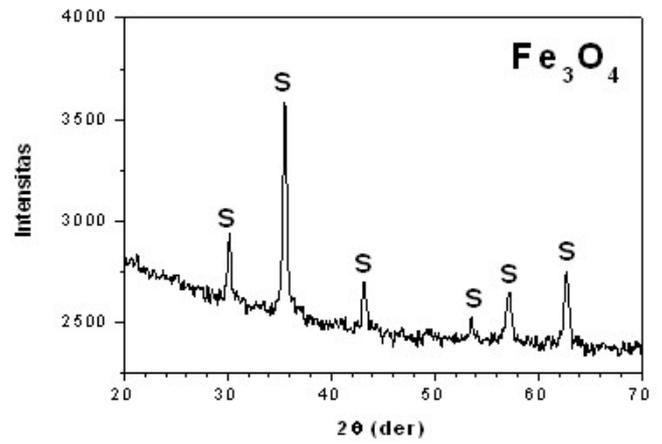
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari pengujian dengan menggunakan XRD didapatkan pola difraksi seperti pada Gambar 1 (sebagai contoh), yang menunjukkan spektra XRD dari Fe₂O₃ (ferit murni) dan ZnFe₂O₄ (ferit dengan dopan). Puncak-puncak yang ditandai dengan huruf S menyatakan intensitas yang berasal dari difraksi struktur kristal *spinel* dari ferit MFe₂O₄. Intensitas *spinel* ini menyatakan tingkat kemurnian fasa *spinel* yang terbentuk dalam sampel ferit MFe₂O₄. Berdasarkan hasil analisis didapatkan bahwa fasa *spinel* yang terbentuk mencapai hampir 100%, dan jika ada impuritas konsentrasinya < 1%. Hal ini berarti bahwa metode kopresipitasi telah berhasil digunakan untuk mendapatkan sampel dengan kemurnian fasa yang sangat tinggi (fasa tunggal). Hasil analisis kuantitatif dengan menggunakan persamaan Scherrer didapatkan nilai ukuran kristal (D) seperti pada Tabel 1.

Tabel I: Ukuran Kristal ferit *spinel* MFe₂O₄

No.	Sampel	D (nm)
1.	Fe ₃ O ₄	9,1
2.	ZnFe ₂ O ₄	5,0
3.	NiFe ₂ O ₄	6,7
4.	MnFe ₂ O ₄	8,7
5.	Zn _{0,5} Ni _{0,5} Fe ₂ O ₄	16,7

Dari Tabel 1 terlihat bahwa nilai ukuran kristal sampel ferit *spinel* MFe₂O₄ yang diperoleh jauh di bawah 100 nm, sehingga sampel yang digunakan dalam eksperimen ini dapat dikategorikan sebagai nanokristal. Sampel dengan *spinel* normal (ZnFe₂O₄) maupun *spinel* invers (Fe₃O₄, NiFe₂O₄, MnFe₂O₄) mempunyai ukuran kristal di bawah 10 nanometer. Ukuran kristal dari sampel ferit terdoping lebih kecil daripada ukuran kristal Fe₃O₄. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian dopan Zn, Ni dan Mn menyebabkan ukuran kristal ferit *spinel* MFe₂O₄ menurun.



Gambar 1: Pola spektra XRD dari sampel Fe₂O₃ dan ZnFe₂O₄

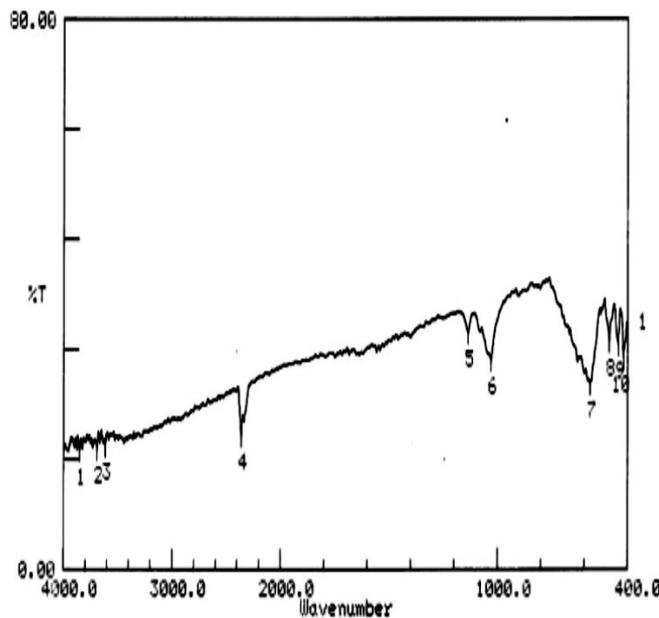
Perbedaan ukuran kristal ini dipengaruhi oleh jejeri ion penyusunnya. Jari-jari ion Mn²⁺, Fe²⁺, Fe³⁺, Ni²⁺ dan Zn²⁺ secara berurutan masing-masing adalah 0,8 Å; 7,6 Å; 7,0 Å; 7,2 Å dan 6,2 Å. Dapat diamati bahwa jari-jari ion Zn²⁺ mendekati jari-jari ion Fe³⁺ sedangkan jari-jari ion Ni²⁺ dan Mn²⁺ mendekati jari-jari ion Fe²⁺. Hal inilah yang menyebabkan Zn²⁺ dapat menempati bagian tetrahedral yang menggantikan ion Fe³⁺, sedangkan Ni²⁺ dan Mn²⁺ masuk ke bagian oktahedral menggantikan ion Fe²⁺. Perbedaan jejeri ion yang terlalu besar antara ion dopan dan ion Fe yang digantikan menyebabkan mudah/tidaknya fasa *spinel* terbentuk. Hal ini yang merupakan faktor penyebab menurunnya ukuran kristal dengan adanya kation dopan dalam struktur Fe₃O₄.

Di pihak lain, sampel ferit Zn_{0,5}Ni_{0,5}Fe₂O₄ (*spinel* campuran) mempunyai ukuran kristal yang lebih besar daripada Fe₃O₄. Kation logam penyusun sampel Zn_{0,5}Ni_{0,5}Fe₂O₄ lebih banyak jenisnya daripada ion logam penyusun Fe₃O₄. Pada sampel Zn_{0,5}Ni_{0,5}Fe₂O₄, baik pada bagian A maupun bagian B ditempati oleh dua macam ion logam. Subkisi bagian A ditempati ion Zn²⁺ dan Fe³⁺ sedangkan bagian B ditempa-

ti oleh ion Ni^{2+} dan Fe^{3+} . Berbeda dengan sampel Fe_3O_4 , di mana bagian tetrahedral ditempati oleh ion Fe^{3+} sedangkan bagian oktahedralnya ditempati oleh ion Fe^{2+} dan Fe^{3+} . Dari data ini belum dapat dijelaskan mengapa jenis sampel yang bersangkutan memiliki ukuran kristal yang hampir dua kali lipat dari sampel lainnya, sehingga kajian yang lebih mendalam masih perlu dilakukan.

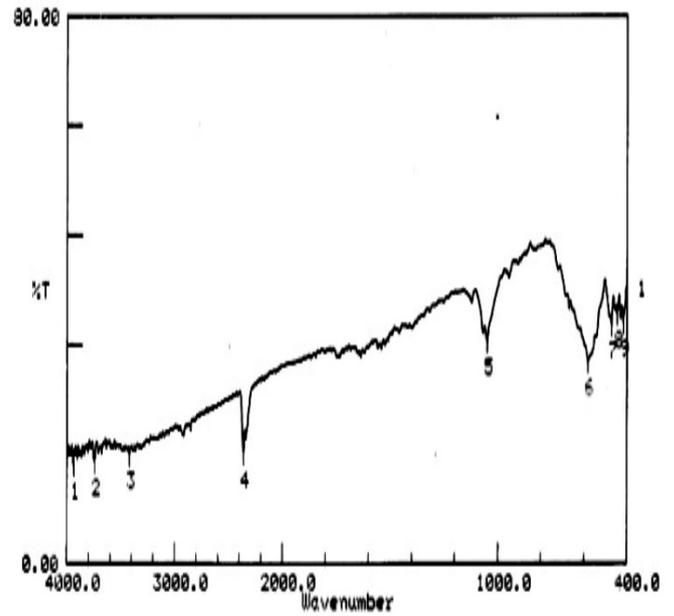
Hasil pengujian dengan spektrofotometer inframerah memberikan pola spektrum seperti pada Gambar 2 sampai dengan Gambar 6. Puncak-puncak yang terbentuk menyatakan intensitas serapan spektrum inframerah untuk ferit *spinel* MFe_2O_4 yang dinyatakan dalam % transmitansi. Selain itu, juga ditunjukkan frekuensi serapan inframerah untuk ferit *spinel* MFe_2O_4 . Frekuensi serapan dinyatakan dalam bilangan gelombang dengan satuan cm^{-1} . Frekuensi serapan untuk ferit terletak pada daerah pita karakteristik vibrasi $200-700\text{ cm}^{-1}$.

Nilai transmitansi dan frekuensi serapan spektrum inframerah sampel ferit *spinel* MFe_2O_4 seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Dari tabel tersebut dapat disimak bahwa untuk sampel $ZnFe_2O_4$, pada bagian A mempunyai frekuensi serapan yang lebih tinggi daripada bagian B. Jika dibandingkan dengan sampel Fe_3O_4 , frekuensi serapan pada bagian A meningkat sedangkan pada bagian B menurun.

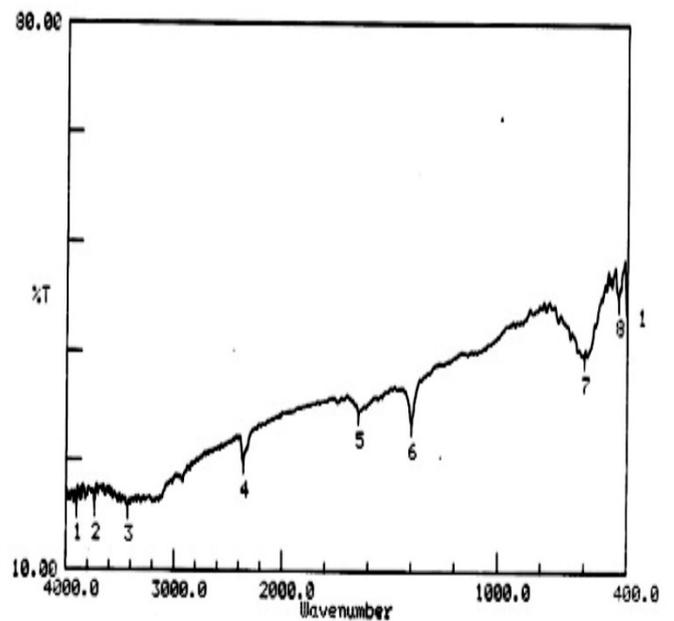


Gambar 2: Spektrum inframerah dari Fe_3O_4

Pergeseran frekuensi serapan ini dikarenakan dopan Zn masuk ke bagian A. Ion Zn^{2+} yang mempunyai jejari ion paling kecil (lebih dekat ke ukuran ion Fe^{3+}) hanya dapat menggantikan ion Fe^{3+} pada bagian tetrahedral. Sedangkan pada bagian oktahedralnya terisi oleh ion Fe^{3+} . Selain itu, jika ditinjau dari orbital elektronnya, ion Zn^{2+} mempunyai orbital 3d yang sudah penuh (pada keadaan netral) sehingga apabila berikatan dengan ion lain (dalam hal ini oksigen), ion Zn^{2+} akan menggunakan orbital luarnya yaitu orbital 4s dan 4p. Dengan tipe konfigurasi sp^3 inilah yang menyebabkan



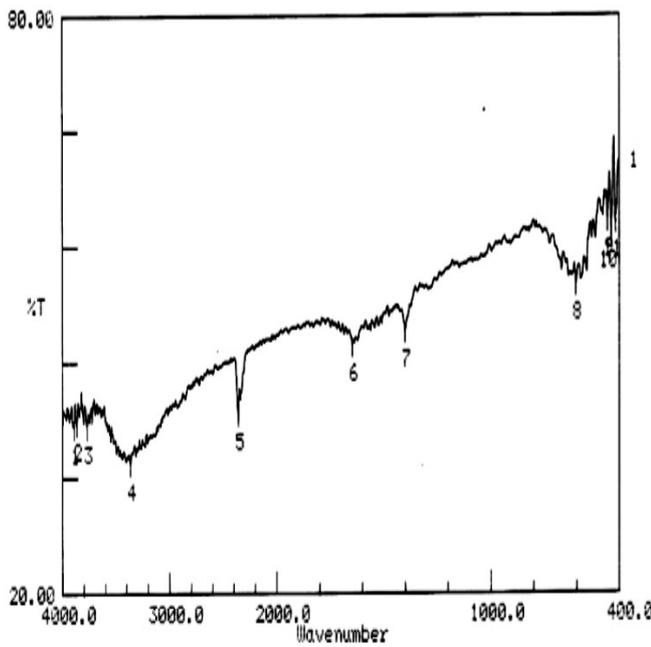
Gambar 3: Spektrum inframerah dari $ZnFe_2O_4$



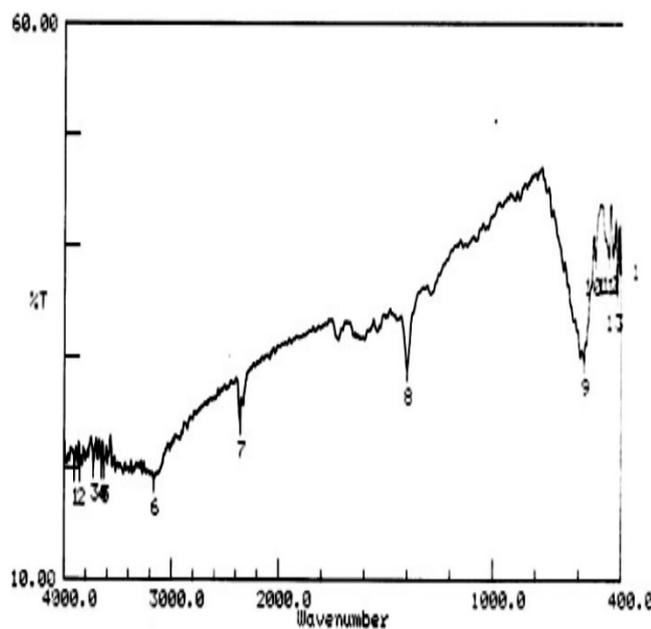
Gambar 4: Spektrum inframerah dari $NiFe_2O_4$

ion Zn^{2+} hanya dapat menempati bagian tetrahedral dan tidak dapat menempati bagian oktahedral dari struktur *spinel* ferit $ZnFe_2O_4$ [11] Analisis ini menunjukkan bahwa $ZnFe_2O_4$ mempunyai struktur *spinel* normal.

Pada sampel $NiFe_2O_4$ dan $MnFe_2O_4$ terlihat bahwa frekuensi serapan pada bagian B lebih besar daripada bagian A. Jika dibandingkan dengan sampel Fe_3O_4 , frekuensi serapan pada bagian B meningkat sedangkan pada bagian A menurun.



Gambar 5: Spektrum inframerah dari $MnFe_2O_4$



Gambar 6: Spektrum inframerah dari $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$

Pergeseran frekuensi serapan semacam ini dikarenakan dopan Ni dan Mn yang diberikan pada Fe_3O_4 masuk ke bagian B. Ion Ni^{2+} dan Mn^{2+} menggantikan ion Fe^{3+} pada bagian B, sedangkan sebagian ion Fe^{3+} mengisi bagian A. Ion Ni^{2+} dan Mn^{2+} mempunyai orbital 3d yang belum penuh sehingga apabila berikatan dengan ion lain masih dapat menggunakan orbital 3d-nya yang belum terisi elektron. Dengan tipe konfigurasi d^2-sp^3 inilah yang menyebabkan Ni^{2+} dan Mn^{2+}

dapat menempati bagian oktahedral dari struktur *spinel* ferit MFe_2O_4 [11]. Hal ini menunjukkan bahwa sampel $NiFe_2O_4$ dan $MnFe_2O_4$ mempunyai struktur *spinel* invers.

Di pihak lain, pada sampel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$, terlihat bahwa frekuensi serapan pada bagian A lebih kecil daripada pada bagian B. Jika dibandingkan dengan sampel Fe_3O_4 , frekuensi serapan bagian A menurun dan bagian B meningkat. Seharusnya pemberian dopan Zn dapat menyebabkan frekuensi serapan pada bagian A meningkat, seperti pada sampel $ZnFe_2O_4$. Tetapi pada $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$, frekuensi serapan bagian A (tetrahedral) justru menurun. Hal ini dikarenakan penempatan dopan terjadi pada bagian A maupun bagian B. Ion Zn^{2+} masuk ke bagian A, sedangkan ion Ni^{2+} masuk ke bagian B. Ion Ni^{2+} menggantikan sebagian ion Fe^{3+} yang menempati bagian B, dan sebagian ion Fe^{3+} menempati bagian A bersama dengan ion Zn^{2+} .

Pergeseran frekuensi serapan semacam ini menunjukkan bahwa sampel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ mempunyai struktur *spinel* campuran. Untuk sampel $ZnFe_2O_4$, frekuensi serapan spektrum inframerahnya pada bagian A lebih besar jika dibandingkan dengan sampel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$. Sedangkan untuk sampel $NiFe_2O_4$, frekuensi serapan spektrum inframerahnya pada bagian B lebih kecil jika dibandingkan dengan sampel $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar Zn yang ditambahkan menyebabkan frekuensi serapan spektrum inframerahnya semakin meningkat pada bagian A dan semakin besar nilai Ni yang ditambahkan akan menyebabkan frekuensi serapan spektrum inframerahnya meningkat pada bagian B. Hal ini dikarenakan frekuensi serapan dipengaruhi oleh massa dan daya elastisitas dari ikatan atom-atom penyusunnya dalam melakukan gerak vibrasi.

Berdasarkan Tabel 2, dapat diamati pula besarnya transmitansi dari sampel ferit *spinel* MFe_2O_4 . Nilai transmitansi masing-masing sampel pada bagian tetrahedral lebih besar daripada bagian oktahedral. Dari nilai transmitansi yang diperoleh dapat dihitung nilai energi absorpsi dan energi transmisi. Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai indeks bias dari ferit *spinel* MFe_2O_4 dengan menggunakan persamaan indeks bias : $n = E_t/E_a$, dengan E_t dan E_a berturut-turut menyatakan energi yang ditransmisikan dan energi yang diabsorpsi oleh sampel [4]. Nilai indeks bias ferit *spinel* MFe_2O_4 hasil perhitungan dari spektra inframerah seperti ditunjukkan dalam Tabel 3.

Dari Tabel 3 diperoleh bahwa nilai indeks bias dari masing-masing sampel berbeda-beda. Nilai indeks bias $ZnFe_2O_4$, $NiFe_2O_4$, $MnFe_2O_4$ dan $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ lebih besar daripada indeks bias Fe_3O_4 . Hal ini menunjukkan bahwa pemberian dopan Zn, Ni dan Mn dapat meningkatkan nilai indeks bias ferit *spinel* MFe_2O_4 . Artinya penambahan dopan menyebabkan peningkatan energi transmisi sehingga menurunkan energi serapannya. Kalau dibandingkan sampel $ZnFe_2O_4$, $NiFe_2O_4$ dan $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$, didapatkan bahwa nilai indeks bias $ZnFe_2O_4$ dan $NiFe_2O_4$ lebih besar daripada indeks bias $Zn_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar Ni dan Zn yang ditambahkan semakin besar nilai indeks biasnya dan semakin kecil Zn dan Ni yang ditambahkan semakin kecil pula nilai indeks biasnya. Dengan kata lain sampel dengan struktur *spinel* campuran mempunyai indeks bias yang

Tabel II: Intensitas Serapan Spektrum Inframerah dari ferit *spinel* MFe_2O_4

No.	Sampel	Tetrahedral (A)		Oktahedral (B)	
		$\nu_{tet}(\text{cm}^{-1})$	T(%)	$\nu_{okta}(\text{cm}^{-1})$	T(%)
1.	Fe_3O_4	572,91	27,2	484,18	33,3
2.	ZnFe_2O_4	580,63	29,7	470,65	35,2
3.	NiFe_2O_4	439,81	45,0	599,92	37,6
4.	MnFe_2O_4	453,31	58,9	601,84	52,2
5.	$\text{Zn}_{0,5}\text{Ni}_{0,5}\text{Fe}_2\text{O}_4$	518,90	39,0	572,91	29,9

Tabel III: Nilai indeks bias (n) ferit *spinel* MFe_2O_4

No.	Sampel	n
1.	Fe_3O_4	6,8
2.	ZnFe_2O_4	8,7
3.	NiFe_2O_4	9,0
4.	MnFe_2O_4	10,2
5.	$\text{Zn}_{0,5}\text{Ni}_{0,5}\text{Fe}_2\text{O}_4$	8,1

lebih rendah daripada sampel dengan struktur *spinel* normal maupun invers.

Kalau kita hubungkan antara ukuran kristal dan nilai indeks bias, ternyata didapatkan suatu korelasi yang cukup menarik. Yaitu, nilai indeks bias meningkat sebanding dengan peningkatan ukuran kristal. Semakin besar ukuran kristal semakin besar radiasi inframerah yang dapat ditransmisikan karena hanya melalui batas butir kristal/permukaan kristal yang lebih sedikit dibandingkan pada kristal yang ukurannya lebih kecil.

Dari penelitian yang dilakukan Hemeda dkk. [3] yaitu tentang studi inframerah pada ferit *spinel* campuran $\text{Co}_{0,6}\text{Zn}_{0,6}\text{Mn}_x\text{Fe}_{2-x}\text{O}_4$ ($x = 0,7 ; 0,8 ; 0,9$ dan 1), diperoleh bahwa semakin besar Mn yang ditambahkan semakin besar nilai indeks biasnya. Selain itu, peningkatan konsentrasi Mn juga mempengaruhi intensitas serapan pada bagian oktahedral. Nilai indeks bias yang diperoleh dari pustaka [3] untuk sampel $\text{Co}_{0,6}\text{Zn}_{0,4}\text{MnFe}_2\text{O}_4$ ($x=1$) adalah 19. Sementara itu, dari penelitian ini didapat nilai indeks bias untuk MnFe_2O_4 adalah 10,2. Perbedaan ini dikarenakan dalam penelitian pada

pustaka [3] sampel MnFe_2O_4 diberi doping Co dan Zn.

IV. SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa ferit *spinel* MFe_2O_4 yang dibuat dengan metode presipitasi mempunyai kemurnian fasa 100% dan mempunyai ukuran kristal nanometer. Pemberian dopan Zn, Ni dan Mn dapat menyebabkan ukuran kristal ferit *spinel* MFe_2O_4 menurun. *spinel* normal mempunyai ukuran kristal yang lebih kecil daripada *spinel* invers, *spinel* normal lebih mudah terbentuk dibandingkan dengan *spinel* invers dan campuran. Intensitas serapan spektrum inframerah ferit *spinel* MFe_2O_4 adalah pada daerah pita frekuensi $400-600 \text{ cm}^{-1}$. Doping Zn menyebabkan pergeseran puncak intensitas serapan pada bagian tetrahedral sedangkan doping Ni dan Mn menyebabkan pergeseran puncak intensitas serapan pada bagian oktahedral dari struktur *spinel*. Pemberian Doping Zn, Ni dan Mn juga mengubah nilai indeks bias ferit *spinel* MFe_2O_4 .

Ucapan Terima Kasih

Sebagian dari penelitian ini didanai oleh Program Insentif Penelitian dalam bidang Nanoteknologi, yang diberikan oleh Kementerian Riset dan Teknologi, Indonesia, tahun 2006; dan untuk itu penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan yang telah diterima.

- [1] Conley, Robert T., *Infrared Spektroskopi* (Allyn And Bacon, INC., Boston, 1975, hal: 1-5)
- [2] Sucahyo, Eko, *Sintesis Dan Kajian Pengaruh Tingkat Keasaman(pH) Dopan H_2SO_4 Terhadap Konduktivitas Listrik Polianilin*(Tugas Akhir, Jurusan Fisika FMIPA ITS, Surabaya, 2001)
- [3] Kovaleva, N.N, dkk., C Axis Lattice Dynamics in Bi-based cuprate Superkonduktor, *Journal of Materials Science*, volume 1.(2003)
- [4] Hemeda, O.M, IR Spectral Studies Of $\text{Co}_{0,6}\text{Zn}_{0,4}\text{Mn}_x\text{Fe}_{2-x}\text{O}_4$ Ferrites, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, Elsevier.com (2004)
- [5] Chrismant, J. Rhicard, *Fundamental Of Solid State Physics*

- (John Willey And Sons, Canada, hal: 369-371, 1988)
- [6] Cullity, B.D, *Introduction to Magnetic Materials* (Addison-Wesley Series in Metalurgy and Materials, University of Notre Dome, 1972)
- [7] Fessenden and Fessenden, *Kimia Organik* (Erlangga, Jakarta, 1982)
- [8] Silverstein, Basler and Morrill, *Penyidikan Spektrometri Senyawa Organik* (Erlangga, Jakarta, 1986)
- [9] Day, Jr, R.A dan Underwood, A. L, *Analisis Kimia Kuantitatif* (Erlangga, Jakarta, 1989)
- [10] Shi Y, dkk., NiFe_2O_4 Ultrafine Particles Prepared by Coprecipitation / Mechanical Alloying, *Journal of Magnetism and*

Magnetic Materials (1999)

[11] Manku, G.S, *The Teoritical Principles Inorganic Chemistry*
(Tata McGraw-Hill, New Delhi,1980)

[12] Tomoyuki Ogawa, *dkk*, Fabrication of Fe₃O₄ nanoparticle

arrays via patterned template assisted self-Assembly, *Journal of Nanotechnology*, Institute Of Physics Publishing (2006)