

ANALISA GUGUS FUNGSI PADA NANOPARTIKEL MAGNESIUM FERRITE ($MgFe_2O_4$) YANG DIENKAPSULASI DENGAN POLIETILEN GLIKOL (PEG-4000) DAN SILIKA

Deska Lismawenning Puspitarum¹ and Edi Suharyadi²

¹Jurusan Sains, Prodi Fisika, Institut Teknologi Sumatera, Lampung, Indonesia

²Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara 21 Yogyakarta, Indonesia

Abstract: *Magnesium Ferrite Magnesium ($MgFe_2O_4$) magnetic nanoparticles have been successfully carried out by varying the concentrations of PEG-4000 and silica as encapsulation materials using coprecipitation methods. The X-ray Diffraction (XRD) analysis showed that new phases appeared in $MgFe_2O_4$ after PEG-4000 encapsulation, ie α - Fe_2O_3 having a paramagnetic rhombohedral and γ - FeO (OH) structure. The particle size of $MgFe_2O_4$ before encapsulation was 10.5 nm, after encapsulation with PEG-4000 became 5.2 nm and encapsulation with silica became 18.8 nm. In encapsulation with silica, the peak of the new diffraction field 222 which is a crystal appears. The result of Fourier Transform Infra-Red (FTIR) analysis showed that in $MgFe_2O_4$ coated with PEG-4000, there was a shifting in the wave number 2885.5 cm^{-1} to 2924.1 cm^{-1} in CH bond which was the bond of PEG- 4000 and a shifting in the wave number 316.3 cm^{-1} to 300.9 cm^{-1} on the metal oxide bond (MO) which is a uniform pattern of $MgFe_2O_4$. The presence of silica which has coated the magnetic material is shown in the 455.2 cm^{-1} number of Si-O-Si (bending) group.*

Keyword: $MgFe_2O_4$, encapsulation, PEG-4000, Silica, bonding analysis

Abstrak: *Enkapsulasi nanopartikel magnetik Magnesium Ferrite ($MgFe_2O_4$), dengan memvariasikan konsentrasi PEG-4000 dan silika sebagai bahan untuk enkapsulasi menggunakan metode kopresipitasi telah berhasil dilakukan. Analisa X-ray Diffraction (XRD) menunjukkan bahwa muncul fasa baru pada $MgFe_2O_4$ setelah enkapsulasi PEG-4000, yaitu α - Fe_2O_3 yang memiliki struktur kristal rhombohedral dan γ - FeO (OH) yang bersifat paramagnetik. Ukuran partikel $MgFe_2O_4$ sebelum enkapsulasi yaitu $10.49 \pm 0.03\text{ nm}$, setelah enkapsulasi dengan PEG-4000 menjadi 5.2 nm dan enkapsulasi dengan silika menjadi 18.8 nm . Hasil analisa Fourier Transform Infra Red (FTIR) menunjukkan bahwa pada $MgFe_2O_4$ yang telah dilapisi PEG-4000 terjadi pergeseran pada bilangan gelombang $2885,51\text{ cm}^{-1}$ menjadi $2924,1\text{ cm}^{-1}$ pada ikatan C-H yang merupakan ikatan penyusun PEG-4000 dan pergeseran pada bilangan gelombang $316,3\text{ cm}^{-1}$ menjadi $300,9\text{ cm}^{-1}$ pada ikatan metal oksida (M-O) yang merupakan pola seragam dari $MgFe_2O_4$. Kehadiran silika sudah melapisi material magnetik ditunjukkan pada bilangan 455.2 cm^{-1} yaitu gugus fungsi Si-O-Si (bending).*

Kata Kunci : $MgFe_2O_4$, enkapsulasi, PEG-4000, Silika, analisa gugus fungsi

1. Pendahuluan

Nanoteknologi adalah ilmu dan rekayasa dalam penciptaan material dan struktur fungsional dalam skala nanometer [1]. Perkembangan nanoteknologi tidak terlepas dari riset mengenai nanomaterial. Dalam perkembangannya, nanomaterial diklasifikasikan menjadi tiga kategori yaitu: nanomaterial berdimensi nol (*nanoparticle*), nanomaterial berdimensi satu (*nanowire*), dan nanomaterial berdimensi dua (*thin films*).

Dalam kaitannya dengan sifat fisika dan kimiawi, penelitian nanomaterial khususnya nanopartikel magnetik berkembang secara signifikan. *Spinelferrites* mempunyai rumus AFe_2O_4 dengan A adalah Mn, Co, Ni, Mg, atau Zn merupakan bahan magnetik yang sangat menarik karena memiliki sifat magnetik dan elektrik dengan sifat kimia dan stabilitas termal. Magnesium ferit ($MgFe_2O_4$) adalah salah satu jenis ferit yang penting karena memiliki struktur kubik normal *spinel-type* yang mana dapat diketahui kristalinitasnya dan soft magnet tipe-n bahan semikonduktor [2]. Struktur kubik normal *spinel-type* memiliki panjang atau parameter kisi $a = b = c$ dan sudut yang dibentuk semua sama yaitu 90° .

Nanopartikel $MgFe_2O_4$ biasanya diterapkan pada perangkat gelombang mikro, chip memori komputer dan media rekaman dengan densitas tinggi [3]. Ada beberapa metode untuk mensintesis nanopartikel $MgFe_2O_4$, yaitu metode solvothermal, proses sol-gel, co-presipitasi, padatan reaksi, sintesis hidrotermal, proses mekanis dan kimia metode mikroemulsi [4].

Bahan non-magnetik dapat melapisi partikel magnetik dan dapat mereduksi gaya magnetik antar partikel serta meningkatkan dispersibilitas nanopartikel dalam larutan [5]. Diantara material non magnetik (Al_2O_3 , SiO_2 , Co, Ni, dll), SiO_2 merupakan material non magnetik yang memberikan keuntungan yang lebih diantara bahan non-magnetik yang lain. Kelebihan SiO_2 adalah: sangat stabil pada cairan yang terhambur, interaksi antar partikel mudah dikontrol, modifikasi permukaan mudah diatur, dan dapat memvariasi ketebalan lapisan [6].

Terdapat beberapa sumber silika dalam sintesis nanopartikel magnetik dilapisi dengan silika, yaitu menggunakan *tetramethoxsilane* (TMOS) untuk melapisi nanopartikel Fe_3O_4 [7]. Selain itu ada pula yang menggunakan sumber silika berbeda yaitu *tetraethyloksilat* (TEOS), untuk melapisi nanopartikel yang sama [8]. Dari proses sintesis tersebut menggunakan TMOS dan TEOS sebagai prekursor yang harganya lebih mahal, sulit didapatkan, dan mempunyai sifat beracun. Dengan demikian proses ini tidak ramah lingkungan dan tidak efektif pada industri skala besar.

Selain itu, enkapsulasi nanopartikel juga bisa menggunakan bahan polimer. Pemilihan bahan polimer yang sesuai, selain untuk meningkatkan dispersibilitas nanopartikel juga memiliki potensi untuk diterapkan dalam imobilisasi biomolekul. Polyethylene Glycol (PEG) adalah polimer sintesis yang memiliki sifat stabil, higroskopik (mudah menguap), dan bisa mengikat bahan lain seperti pigmen. Oleh karena itu, PEG dapat digunakan untuk enkapsulasi bahan tertentu [9]. Enkapsulasi diperlukan supaya material nanopartikel magnetik tidak mudah teroksidasi.

Dalam penelitian ini nanopartikel $MgFe_2O_4$ akan dienkapsulasi dengan menggunakan PEG-4000 dan silika dengan berbagai konsentrasi. Alternatif prekursor silika yang digunakan adalah *Sodium Silicate Solution* (Na_2SiO_3) yang berfungsi sebagai sumber silika dapat menggantikan TMOS dan TEOS karena lebih murah, mudah didapatkan, dan tidak beracun sehingga prosesnya lebih ramah lingkungan. Kedua bahan enkapsulasi bersifat non magnetik. Oleh karena itu perlu ditinjau kembali gugus fungsi, morfologi dan struktur kristalnya.

2. Metode Eksperimen

2.1 Sintesis $MgFe_2O_4$ dengan metode co-presipitasi

Sintesis nanopartikel $MgFe_2O_4$ dilakukan dengan metode kopresipitasi menggunakan bahan utama $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, sebagai penyedia ion Mg^{2+} dan $FeCl_3 \cdot 6H_2O$, sebagai penyedia ion Fe^{3+} . Langkah yang dilakukan dengan metode ini adalah mencampurkan 3,37 mL HCL (37%) kedalam 1,017 gram $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ dan 2,703 gram $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ yang dilarutkan dalam 25 mL aquades dan diaduk hingga homogen. Kemudian meneteskan tetes demi tetes secara perlahan larutan tersebut kedalam larutan NaOH 3M yang distirer selama 120 menit dengan kecepatan 1000rpm pada suhu $80^\circ C$. Selanjutnya tahap pengendapan untuk mendapatkan sampel endapan, larutan tersebut diendapkan dengan bantuan medan eksternal (magnet permanen) agar lebih cepat pengendapannya. Endapan kemudian dicuci tujuh kali menggunakan aquades agar garam-garam hasil reaksi lainnya yang ikut terlarut dalam sampel semakin terminimalisir jumlahnya sehingga diperoleh sampel $MgFe_2O_4$ murni. Sampel $MgFe_2O_4$ selanjutnya dikeringkan dengan *furnace* pada suhu $90^\circ C$. Sampel kering yang diperoleh kemudian dienkapsulasi menggunakan PEG-4000 dan silika.

2.2 Enkapsulasi nanopartikel $MgFe_2O_4$ menggunakan PEG-4000

PEG-4000 yang berwujud padatan dilarutkan dengan aquades 10 mL, yaitu distirer selama 30 menit pada temperatur ruang sampai homogen. Kemudian $MgFe_2O_4$ dicampurkan kedalam larutan tersebut dan distirer sampai 60 menit. Pengendapan dilakukan dengan menggunakan bantuan medan magnet luar (magnet permanen). Endapan yang terbentuk dibiarkan sampai kering. Sampel yang kering kemudian dianalisis struktur kristal, ukuran butir dan gugus fungsi dengan menggunakan X-Ray

Diffractometer (XRD) dan *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*. Dalam penelitian ini enkapsulasi nanopartikel MgFe_2O_4 dilakukan dengan variasi konsentrasi PEG-4000 seperti pada Tabel 1.

Nama Sampel	Konsentrasi PEG-4000
A	50%
B	33%
C	25%
D	67%
E	75%
F	80%

Tabel 1. Identitas sampel dengan variasi konsentrasi PEG-4000

2.3 Enkapsulasi nanopartikel MgFe_2O_4 menggunakan Silika

Nanopartikel MgFe_2O_4 dicampurkan ke dalam 30 mL larutan silika yang mempunyai konsentrasi berbeda-beda sesuai dengan Tabel 2. Larutan silika dibentuk dari *Sodium Silicate* (SS) yang ditambah dengan aquades kemudian di stirrer selama 30 menit pada temperatur ruang. Nanopartikel MgFe_2O_4 0,6 gram ditambahkan dalam larutan silika dan distirer selama 5 jam pada temperatur ruang agar tercampur dan ada ikatan antara nanopartikel MgFe_2O_4 dengan silika. Tahap pengendapan dilakukan dengan medan magnet luar (magnet permanen). Endapan yang terbentuk dicuci 5 kali. Tahap pengeringannya dibiarkan pada temperatur ruang sampai kering. Sampel yang kering kemudian dianalisis struktur kristal, ukuran butir, gugus fungsi dengan menggunakan XRD dan FTIR.

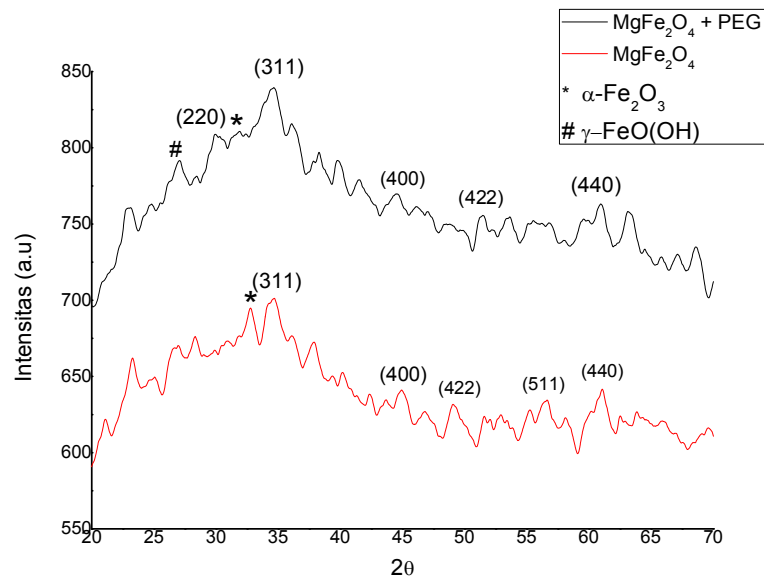
Nama Sampel	Perbandingan MgFe_2O_4 : Larutan SS
P	0,6:50%SS
Q	0,6:30%SS
R	0,6:20%SS
S	0,6:15%SS
T	0,6:10%SS
U	0,6:5%SS

Tabel 2. Identitas sampel dengan variasi konsentrasi Silika

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Nanopartikel MgFe_2O_4 enkapsulasi menggunakan PEG-4000

Hasil sintesis MgFe_2O_4 ditunjukkan pada Gambar 1, pola XRD terlihat dari puncak-puncak difraksi yang merupakan ciri khas dari fasa MgFe_2O_4 dan adanya fasa baru yaitu $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ yang merupakan struktur kristal *rhombohedral*.



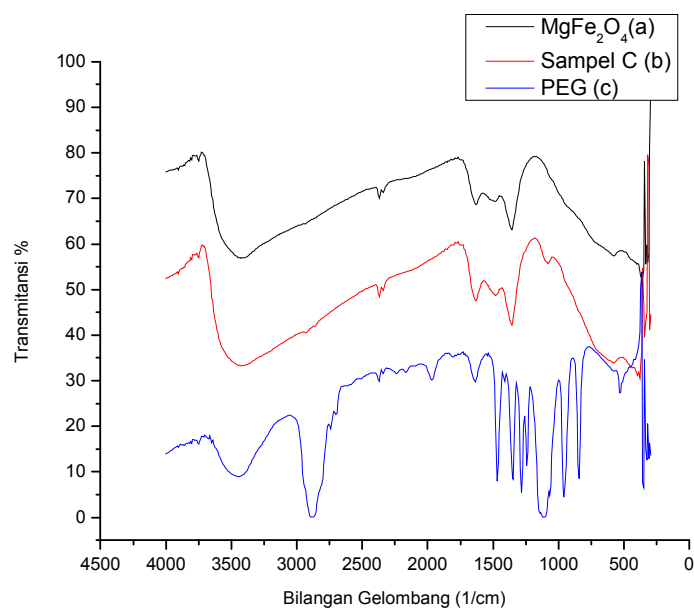
Gambar 1 Pola spektrum XRD sampel $MgFe_2O_4$ sebelum dan sesudah dienkapsulasi dengan PEG-4000[10]

Sampel	Ukuran nanopartikel (nm)	Parameter Kisi (Å)
$MgFe_2O_4$	10.49	8.57
$MgFe_2O_4 + PEG-4000(50\%)$	5.24	8.62

Tabel 3. Hasil analisa nanopartikel $MgFe_2O_4 + PEG-4000$ (50%)

Setelah nanopartikel $MgFe_2O_4$ dienkapsulasi dengan PEG-4000 menunjukkan fasa $MgFe_2O_4$ pula. Akan tetapi terdapat perbedaan setelah dienkapsulasi seperti munculnya fasa lain yaitu fasa $\alpha-Fe_2O_3$ dan adanya $\gamma-FeO(OH)$ atau yang biasa disebut dengan *lepidocrocite*. Fasa $\gamma-FeO(OH)$ (*lepidocrocite*) merupakan material paramagnetik pada suhu 300 K [11]. Adanya fasa $\gamma-FeO(OH)$ menunjukkan telah terjadinya pelapisan nanopartikel $MgFe_2O_4$ oleh PEG-4000. Dengan munculnya fase baru menunjukkan bahwa $MgFe_2O_4$ telah terlapisi dengan PEG. Volume fase $\alpha-Fe_2O_3$ menurun setelah enkapsulasi, hal itu disebabkan karena lapisan PEG-4000 menghalangi proses oksidasi $MgFe_2O_4$. Ukuran butir nanopartikel $MgFe_2O_4$ menurun setelah dienkapsulasi seperti pada tabel 3. Hal ini dikarenakan panjang rantai PEG-4000 menyebabkan nanopartikel $MgFe_2O_4$ terjebak di dalam rantai PEG-4000 sehingga pertumbuhan kristal terbatas atau terhalangi. Oleh karena itu, PEG dapat digunakan untuk mengontrol ukuran partikel.

Hasil pengujian nanopartikel $MgFe_2O_4$ dengan menggunakan FTIR memberikan informasi tentang gugus fungsi yang terkandung pada material tersebut. Spektrum hasil FTIR tampak terjadi perubahan bilangan gelombang pada sampel sebelum dan sesudah dienkapsulasi. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 2.



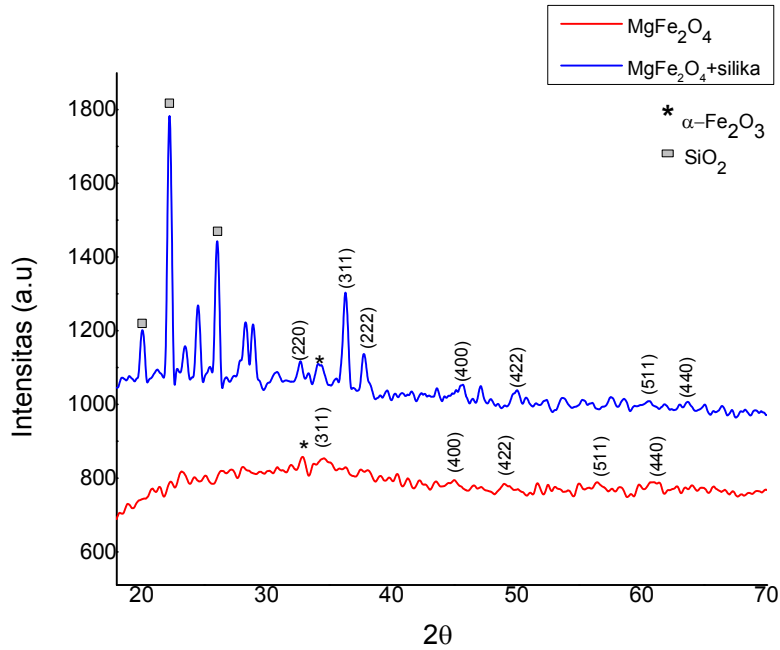
Gambar 2 Spektrum FTIR (a) $MgFe_2O_4$, (b) $MgFe_2O_4+PEG-4000$ (50%), dan (c) PEG-4000

Berdasarkan Gambar 2 terlihat puncak-puncak serapan yang beraneka ragam. Puncak-puncak serapan tersebut merupakan gugus serapan pada sampel yang menjadi karakter adanya vibrasi molekul dalam sampel tersebut. Gambar 2 (a) adalah spektrum hasil FTIR dari sampel $MgFe_2O_4$ dengan puncak-puncak serapan pada bilangan gelombang 3425.58; 1627.92; 578.64; 362.62; dan 316.33 cm^{-1} .

Spektrum hasil FTIR dari sampel $MgFe_2O_4$ yang telah dienkapsulasi dengan PEG-4000 terlihat dalam Gambar 2 (b). Pada puncak serapan 3425.58 dan 1635.64 cm^{-1} diindikasikan sebagai gugus fungsi O-H *stretching* dan *bending*. Pada bilangan gelombang 1481.33 dan 2931.80 cm^{-1} diindikasikan terdapat gugus fungsi H-C-H *bending* dan *stretching*. Gugus fungsi pada H-C-H *stretching* dan *bending* termasuk dalam golongan alkana terdapat pada semua sampel $MgFe_2O_4$ yang dilapisi dengan PEG-4000. Adanya vibrasi ikatan -OH, H-C-H, C-O-H, dan C-C yang merupakan ikatan penyusun pada sampel PEG-4000 diindikasikan bahwa telah terjadi ikatan PEG-4000 pada permukaan nanopartikel $MgFe_2O_4$. Selain itu pada bilangan gelombang 2885.51 cm^{-1} terjadi penurunan ketajaman puncak serapan yang memperkuat bahwa PEG telah berhasil melapisi permukaan nanopartikel [12]. Selanjutnya pada puncak serapan 578.64 cm^{-1} diindikasikan terdapat gugus ikatan Fe-O tetrahedral. Untuk gugus serapan Fe-O oktahedral terjadi pergeseran yang diindikasikan telah terjadi ikatan antara nanopartikel $MgFe_2O_4$ dengan PEG-4000 sehingga terjadi perubahan energi vibrasi Fe-O. Dengan demikian perubahan gugus fungsi pada nanopartikel $MgFe_2O_4$ yang telah dilapisi dengan PEG-4000 menunjukkan adanya ikatan antara nanopartikel $MgFe_2O_4$ dengan PEG-4000 dan menunjukkan keberhasilan pelapisan nanopartikel $MgFe_2O_4$ dengan PEG-4000.

3.2 Nanopartikel $MgFe_2O_4$ enkapsulasi menggunakan silika

Berdasarkan hasil pola XRD $MgFe_2O_4$ dengan spektrum enkapsulasi silika seperti terlihat pada Gambar 3 dan Tabel 4,



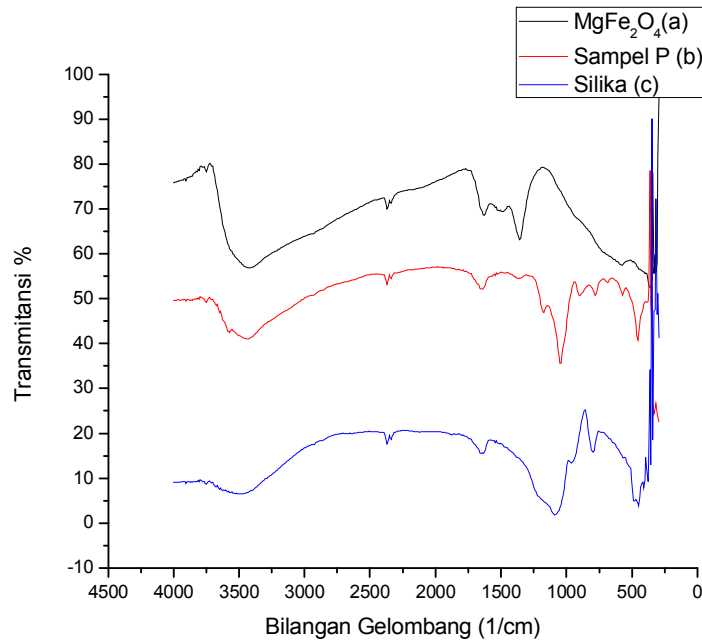
Gambar 3 Pola spektrum XRD sampel $MgFe_2O_4$ dan $MgFe_2O_4$ yang dienkapsulasi silika 50% [10]

Sampel	Ukuran Nanopartikel (nm)	Parameter Kisi (Å)
$MgFe_2O_4$	10,49	8,57
$MgFe_2O_4$ +Silica(50%)	18,79	8,21

Tabel 4. Hasil analisa nanopartikel $MgFe_2O_4$ dan $MgFe_2O_4$ +silika (50%)

Dari perhitungan menggunakan persamaan Scherrer, ukuran nanopartikel meningkat setelah enkapsulasi dengan silika. Peningkatan ukuran nanopartikel ini sebagai lapisan yang membungkus nanopartikel yang lebih tebal. Kehadiran fase $\alpha-Fe_2O_3$ dan fase SiO_2 dianggap sebagai fase pengotor dari partikel nanopartikel $MgFe_2O_4$.

Hasil pengujian nanopartikel $MgFe_2O_4$ dengan menggunakan FTIR memberikan informasi tentang gugus fungsi yang terkandung pada material tersebut. Spektrum hasil FTIR tampak terjadi perubahan bilangan gelombang pada sampel sebelum dan sesudah dienkapsulasi. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Spektrum FTIR (a) MgFe₂O₄, (b) MgFe₂O₄+silika(50%), dan (c) silika

Berdasarkan Gambar 4 terlihat puncak-puncak serapan yang merupakan gugus serapan pada sampel yang menjadi karakter adanya vibrasi molekuler dalam sampel tersebut. Gambar 4 (a) adalah spektrum hasil FTIR dari sampel MgFe₂O₄. Hasil analisis FTIR disajikan dalam Tabel 5.

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang			Interpretasi
	MgFe ₂ O ₄	Silika	MgFe ₂ O ₄ +silika	
Fe-O tet	316, 33	-	331, 76	
M-O oct	362, 62	-	-	Stretching
M-O oct	578, 64	-	570, 93	Stretching
M-O	-	-	686, 66	Stretching
Si-O-Si	-	-	455, 2	Bending
Si-O-Si	-	794, 67	779, 24	Vibrasi Ulur Simetri
Si-O-H	-	964, 41	894, 97 ; 1041, 56	Bending
O-H	1627, 92	-	1172, 72 ; 1365, 6 ; 1643, 35	Bending
-COOH	-	2337, 72	2337, 72	Stretching
Si-H	-	-	2368, 59	
C-H	-	2939, 52	2931, 8	Stretching
H-O-H	3425, 48	-	3448, 72	Stretching dan Bending Vibration

Tabel 5. Jenis ikatan (gugus fungsi), jenis vibrasi, dan bilangan gelombang sampel MgFe₂O₄, silika, MgFe₂O₄+ silika (50%)

Tabel 5 menunjukkan gugus serapan dan bilangan gelombang pada nanopartikel MgFe_2O_4 , silika, dan nanopartikel MgFe_2O_4 yang telah dienkapsulasi dengan silika. Pada bilangan gelombang 316-362 cm^{-1} menunjukkan adanya susunan fasa *ferrite*. M-O oktahedral terjadi vibrasi *stretching* pada bilangan gelombang 570, 93 dan 578, 64 cm^{-1} , bilangan gelombang ini mengalami pergeseran yang menunjukkan bahwa ada ikatan lain yang terbentuk ketika dilapisi oleh silika. Pada nanopartikel MgFe_2O_4 yang telah dienkapsulasi dengan silika juga muncul puncak serapan baru yaitu gugus fungsi M-O sisi tetrahedral dengan bilangan gelombang 686, 66 cm^{-1} . Silika sudah melapisi material magnetik ditunjukkan pada bilangan 455, 2 cm^{-1} yaitu untuk gugus fungsi Si-O-Si (*bending*). Kemudian pada bilangan gelombang 2939,52 dan 2931,8 cm^{-1} diindikasikan terdapat puncak serapan yang dihubungkan adanya peregangan C-H akibat adanya keberadaan silika. Puncak serapan juga juga terdapat pada bilangan gelombang 3448,72 cm^{-1} yang merupakan tanda keberadaan air pada peng-coating-an MgFe_2O_4 dengan silika, hal tersebut ditunjukkan pada gugus fungsi H-O-H yang mengalami *stretching* dan *bending*.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa nanopartikel MgFe_2O_4 dari bahan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ telah berhasil disintesis dengan metode kopresipitasi dan berhasil dilapisi dengan PEG-4000. Munculnya gugus fungsi PEG-4000 pada nanopartikel MgFe_2O_4 yang telah dilapisi menunjukkan bahwa nanopartikel telah berhasil terlapis permukaannya. Begitu pun dengan silika sudah melapisi material magnetik yang ditunjukkan pada bilangan 455, 2 cm^{-1} yaitu untuk gugus fungsi Si-O-Si (*bending*).

5. Penghargaan

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Departemen Fisika Universitas Gadjah Mada, Nano-Fabrication of Nagoya University, Sports, Science, and Technology (MEXT) Nano-Project Platform, Japan, 2012-2017 dan Research grant competence (HIKOM) Directorate of General Higher Education (DIKTI), 2015-2016 yang telah membantu dalam bentuk moril dan materiil dalam penelitian ini.

6. Daftar Pustaka

- [1] Abdullah, M., 2009, *Pengantar Nanosains*, Bandung, Penerbit ITB.
- [2] Goldman, A., 2006, *Modern Ferrite Technology*, Springer Science, Business Media Inc., New York.
- [3] Haart, L. G. J. De. dan G. Blasse, 1985, Photoelectrochemical Properties of Ferrites with The Spinel Structure, *Solid State Ionic*, 16, 137-140.
- [4] Naseri, M.G., Ara, M.H.M., Saion, E.B., Shaari, A.H., 2014, Superparamagnetic magnesium ferrite nanoparticles fabricated by a simple, thermal-treatment method, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 350, 141-147.
- [5] Liu, C.P., Ming-Wei Li., Zhong Cui., Juan-Ru Huang., Yi-Ling Tian., Tong Lin., Wen-Bo Mi., 2007, Comparative Study of Magnesium Ferrite Nanocrystallites Prepared by Sol-Gel and Coprecipitation Methods, *J Mater Sci*, 42:6133-6138.
- [6] Umut, E., 2013, *Modern Surface Engineering Treatments*, Hacettepe University, License Intech.
- [7] Yang, H., Zhang, S., Chen, S., Zhuang, Z., Xu, J., and Wang, X. 2004., Magnetite-Containing Spherical Silica Nanoparticles for Biocatalysis and Bioseparations, *Anal. Chem*, 76 (5), pp 1316-1321.
- [8] Kulkarni, S.A., Sawadh, P.S., and Palei, P.K., 2014., Syntesis Characterization of Superparamagnetic Fe_3O_4 @silika nanoparticles. *Journal of Korean Chemical Society.*, Vol 58, No 1.
- [9] Datta, A., 2007, Characterization of Polyethylene Glycol Hydrogels for Biomedical Application, *Thesis*, University of Pune.
- [10] Puspitarum, D. L., Edi Suharyadi, The Influence of PEG-4000 and Silica on Crystal Structure and Magnetic Properties of Magnesium Ferrite (MgFe_2O_4) Nanoparticles, *AIP Conf. Proc.* 1725,020065-1–020065-6.
- [11] Gubin, S.P., Koksharov, Yu.A., Khomutov, G.B., Yurko, G.Yu., 2005, Magnetic nanoparticles: preparation, structure, and properties, *Russian Academy of Science and Turpion Ltd*, Vol 74, no. 6, pp. 489-520.

- [12] Phadatare, M.R., V.M, Khot., A.B, Salunkhe., N.D, Thorat., S.H, Pawar., 2012, Studies on polyethylene glycol coating on NiFe₂O₄ nanoparticles for biomedical applications, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 324, 770-772.