

## STRUKTUR KRISTAL DAN SIFAT KEMAGNETAN NANOPARTIKEL CoZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/PEG-4000)

La Ode Rusman<sup>1\*</sup>, Adrian Rahmat Nur<sup>1</sup>, Ismail Saleh<sup>1</sup>, Yumnawati<sup>1</sup>, La Agusu<sup>1</sup>, Abdin<sup>2</sup>, Edi Suharyadi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Halu Oleo, Kota Kendari, 93232, Indonesia

<sup>2</sup>Jurusan Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Halu Oleo, Kota Kendari, 93232, Indonesia

<sup>3</sup>Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 55281, Indonesia

\*e-mail: laoderusman@uho.ac.id

### ABSTRAK

Nanopartikel CoZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> yang dienkapsulasi dengan PEG-4000 telah berhasil disintesis menggunakan metode kopresipitasi. Hasil analisis X-Ray diffraction (XRD) menunjukkan nanopartikel CoZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> mempunyai karakteristik struktur spinel ferit dengan ukuran kristalit sebesar  $14,4 \pm 0,2$  nm. Ukuran kristalit sedikit mengalami penurunan menjadi  $9,7 \pm 0,2$  nm setelah dienkapsulasi dengan PEG-4000. Spektra Fourier Transform Infrared (FTIR) untuk CoZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> menunjukkan puncak serapan pada bilangan gelombang sekitar 401-563 cm<sup>-1</sup> yang merupakan ikatan vibrasi M-O. Sementara itu, spektra CoZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/Peg-4000 memiliki puncak serapan utama pada bilangan gelombang 1064 cm<sup>-1</sup> dan 447 cm<sup>-1</sup>, yaitu menandakan terjadinya vibrasi gugus fungsi C-O serta M-O. Karakterisasi sampel dengan Transmission Electron Microscopy (TEM) menghasilkan gambar mikrostruktur nanopartikel CoZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> yang mengalami aglomerasi. Sampel hasil enkapsulasi memiliki tingkat aglomerasi lebih rendah. Kurva histeresis nanopartikel yang diukur menggunakan Vibrating Sample Magnetometer (VSM) memiliki nilai koersivitas 251,0 Oe. Nilai koersivitas sampel menjadi 49,9 Oe akibat enkapsulasi. Magnetisasi spesifik nanopartikel juga mengalami penurunan dari 29,0 emu/gram menjadi 19,7 emu/gram akibat enkapsulasi. Hal ini dikarenakan PEG bersifat paramagnetik.

Kata Kunci: Enkapsulasi; Kopresipitas; Nanopartikel; Cobalt Zink Ferrite (CoZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>); PEG-4000.

### ABSTRACT

**[Crystal Structure and Magnetic Properties of CoZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/PEG-4000]** The nanoparticles of CoZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> encapsulated with PEG-4000 have been successfully synthesized by using the coprecipitation method. The X-ray diffraction (XRD) analysis showed that CoZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles have a spinel ferrite structure characteristic with a crystallite size of  $14.4 \pm 0.2$  nm. The crystallite size decreased slightly to  $9.7 \pm 0.2$  nm after being encapsulated with PEG-4000. Fourier Transform Infrared (FTIR) spectra for CoZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> show absorption peaks at wave numbers around 401-563 cm<sup>-1</sup> which are M-O vibrations. Meanwhile, the CoZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/Peg-4000 spectra have the main absorption peaks at wave numbers 1064 cm<sup>-1</sup> and 447 cm<sup>-1</sup>, indicating the occurrence of vibrations of the C-O and M-O functional groups. The Transmission Electron Microscopy (TEM) analysis showed that microstructure of CoZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles undergoing agglomeration. The encapsulated sample has a lower agglomeration rate. The hysteresis curve of nanoparticles measuring using a Vibrating Sample Magnetometer (VSM) has a coercivity value of 251.0 Oe. The sample coercivity value becomes 49.9 Oe due to encapsulation. The specific magnetization of nanoparticles also decreased from 29.0 emu/gram to 19.7 emu/gram due to encapsulation. This is because PEG is paramagnetic in nature.

Keywords: Cobalt Zink Ferrite Nanoparticles (CoZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>); Coprecipitation; Encapsulation; PEG-4000.

### PENDAHULUAN

Salah satu kajian yang terkait dengan perkembangan teknologi yang banyak menarik perhatian peneliti adalah nanopartikel magnetik spinel ferit. Hal ini disebabkan karena spinel ferit dapat diaplikasikan pada berbagai bidang aplikasi seperti agen *magnetic resonance imaging* (MRI), *Magnetic Hyperthermia Therapy, drug delivery* [Nadeem dkk., 2014; Bohara dkk., 2015]. Khusus untuk

aplikasi-aplikasi terapi hipertermia, nanopartikel magnetik ferit berpotensi untuk digunakan. Hal ini karena nanopartikel magnetik dapat bergabung dengan sel, bersifat stabil, biokompatibel serta memiliki nilai *specific absorption rate* (SAR) yang tinggi meskipun dengan amplitudo dan frekuensi yang rendah [Ghayour dkk., 2017].

Nanopartikel ferit memiliki struktur kristal yang unik, yaitu spinel (MFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) dengan M

menyatakan unsur-unsur logam bervalensi 2+, seperti  $Mn^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ , dan  $Cu^{2+}$  [Kharisov dkk., 2014]. Contoh kelompok material yang termasuk spinel ferit yang banyak menarik perhatian peneliti adalah  $CoFe_2O_4$  dan  $ZnFe_2O_4$  karena sifat unik yang dimilikinya.  $CoFe_2O_4$  merupakan material yang memiliki struktur spinel invers, magnetisasi saturasi dan koersivitas tinggi dan memiliki kestabilan kimia yang baik [Mathew dan Juang, 2007]. Sementara itu,  $ZnFe_2O_4$  merupakan material dengan struktur spinel normal yang memiliki karakteristik magnetisasi saturasi dan koersivitas yang rendah [Asmin dkk., 2015]. Apabila nanopartikel  $CoFe_2O_4$  dikombinasi dengan  $ZnFe_2O_4$  dengan konsentrasi yang sama, maka dihasilkan nanopartikel  $CoZnFe_2O_4$  yang memiliki struktur spinel campuran (*mixed*).

Ada banyak metode yang dapat digunakan untuk mensintesis nanopartikel  $CoZnFe_2O_4$ , seperti *reverse microemulsion*, metode sol-gel, metode kopresipitasi [Nadeem dkk., 2014; Kumar dkk., 2015; Nikam dkk., 2014], dan lain-lain. Dari berbagai metode yang digunakan untuk mensintesis nanopartikel, metode kopresipitasi secara luas telah digunakan karena komposisi bahan yang digunakan bersifat fleksibel, dapat mengontrol ukuran dan bentuk partikel jika parameter sintesis telah ditetapkan sebelumnya, membutuhkan biaya yang tidak mahal serta tekniknya sederhana [Nadeem dkk., 2014; Hankare dkk., 2009].

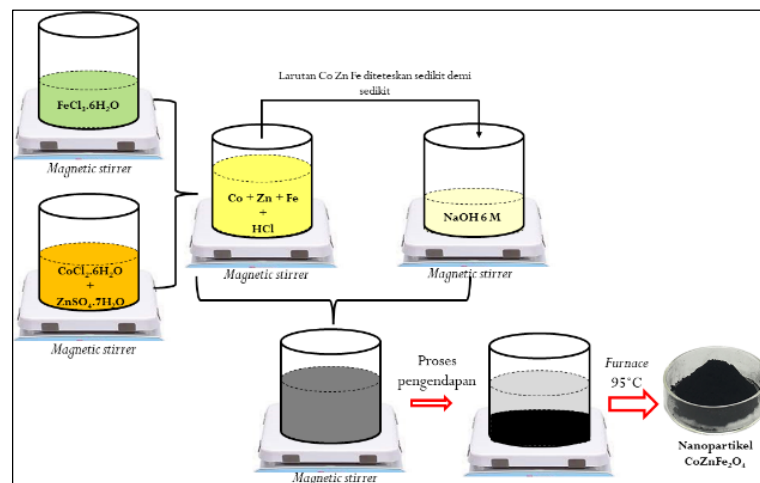
Nanopartikel  $CoZnFe_2O_4$  cenderung beraglomerasi [Bohara dkk., 2015]. Hal ini disebabkan karena interaksi antar partikel magnetik dan besarnya reaktivitas permukaan nanopartikel.

Oleh karena itu, untuk menghindari aglomerasi tersebut maka perlu dilakukan modifikasi dengan mengenkapsulasi permukaan nanopartikel [Rusman, dkk., 2019]. Bahan yang umum digunakan sebagai bahan enkapsulasi nanopartikel magnetik adalah material organik seperti polimer. Salah satu jenis polimer yang dapat digunakan sebagai bahan enkapsulasi nanopartikel  $CoZnFe_2O_4$  adalah *polyethylene glycol* (PEG). Hal ini disebabkan karena PEG memiliki kelebihan mampu mengikat nanopartikel yang dienkapsulasi sehingga nanopartikel tersebut memiliki tingkat kelarutan yang baik, dapat mencegah terjadinya aglomerasi pada nanopartikel [Yu, dkk., 2012]. Sertkol, dkk., (2009) berhasil mensintesis nanopartikel  $Ni_{0,6}Zn_{0,4}Fe_2O_4$  yang dienkapsulasi dengan PEG-400. Penggunaan PEG-400 biasanya membutuhkan biaya yang mahal dan rantai polimernya tidak panjang, akibatnya mengurangi kekuatan ikatan dan tingkat dispersibilitasnya. Oleh karena itu, peneliti tertarik menggunakan jenis PEG yang lain yaitu PEG-4000 sebagai bahan enkapsulasi. Hal ini karena PEG-4000 memiliki beberapa kelebihan yaitu harganya yang relatif murah dan memiliki rantai polimer cukup panjang, sehingga dapat menghasilkan nanopartikel magnetik  $CoZnFe_2O_4$  dengan ikatan yang kuat serta nanopartikel lebih terdispersi.

## METODE

### a) Sintesis Nanopartikel $CoZnFe_2O_4$

Proses sintesis nanopartikel  $CoZnFe_2O_4$  ditunjukkan oleh Gambar 1



Gambar 1. Proses sintesis nanopartikel  $CoZnFe_2O_4$

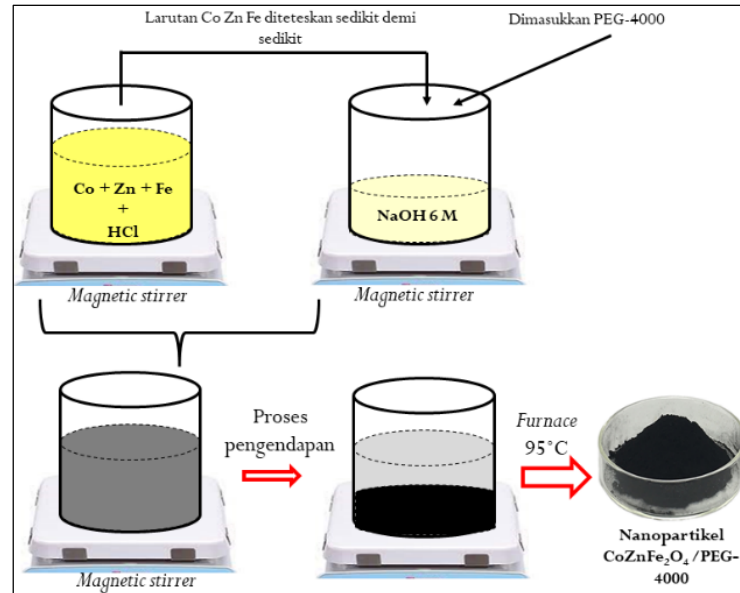
Proses tersebut diawali dengan melarutkan 2,703 gr  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  (Merck, Germany) dan 0,594 gram  $CoCl_2 \cdot 6H_2O$  (Merck, Germany) yang dicampur

dengan 0,719 gram  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  (Merck, Germany) dan masing-masing dilarutkan ke dalam 25 ml aquades. Selanjutnya larutan tersebut

dicampur dan ditambahkan HCl sebagai katalisator. Kemudian campuran larutan tersebut diteteskan ke dalam larutan NaOH. Hasil proses sintesis tadi berupa endapan nanopartikel yang kemudian dikeringkan dan dipanaskan menggunakan *furnace* pada temperatur 95°C selama 5 jam.

## b) Enkapsulasi nanopartikel $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4$ dengan PEG-4000

Proses enkapsulasi nanopartikel  $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4$  dengan PEG-4000 ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Proses enkapsulasi nanopartikel  $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4$  dengan PEG-4000

Teknik sintesis yang digunakan adalah sintesis *in-situ*, dimana teknik nanopartikel ini dibuat dalam matriks polimer. Nanopartikel  $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4$  dicampur dengan PEG-4000 memiliki dengan massa 1,5 gram. Proses pengendapan kemudian dilakukan dengan menggunakan medan magnet luar (magnet permanen). Hasil endapan dicuci dengan aquades sebanyak lima kali. Akhirnya, sampel dikeringkan pada suhu kamar dan kemudian dikeringkan dalam tungku pada 50°C selama 50 menit untuk memastikan sampel benar-benar kering.

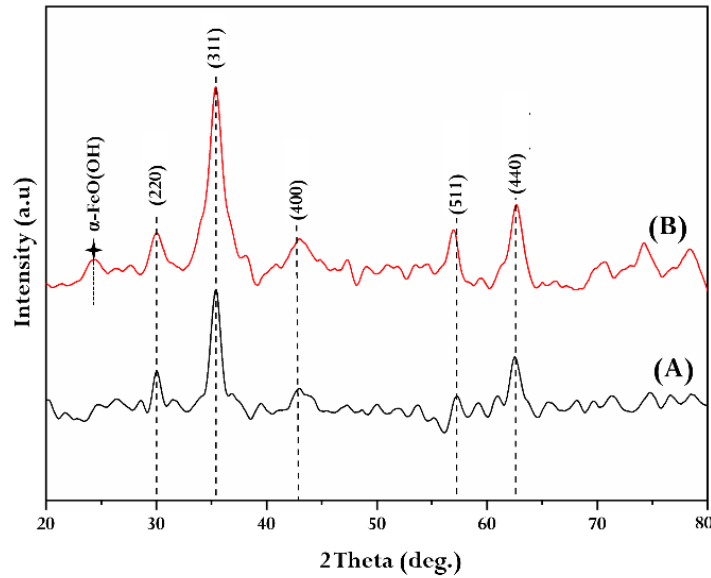
Fase kristalin dari nanopartikel  $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4$  dikarakterisasi dengan *X-Ray Diffractometer* Shimadzu XD menggunakan sumber radiasi monokromik  $\text{Cu-K}\alpha$  ( $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ ), gugus fungsi dianalisis dengan menggunakan spektroskopi *Fourier Transform Infrared* (FTIR) Prestige Shimadzu-21 dengan bilangan

gelombang berkisar  $4000\text{-}400 \text{ cm}^{-1}$ , bentuk morfologi dan *Selected Area Diffraction* (SAED) dikarakterisasi dengan menggunakan *Transmission Electron Microscope* (TEM) Jeol Jem-1400 serta sifat kemagnetan nanopartikel dianalisis dengan menggunakan *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM) Riken Denshi Co Ltd. yang diukur pada suhu kamar.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### a) Hasil Karakterisasi Difraksi Sinar-X

Spektrum XRD dari nanopartikel  $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4$  sebelum dan setelah dienkapsulasi dengan PEG ditunjukkan oleh Gambar 3. Puncak-puncak difraksi pada nanopartikel  $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4$  disesuaikan dengan data JCPDS (File No. 22-1086 untuk  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  dan File No 89-1009 untuk  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$ ).



**Gambar 3.** Spektrum XRD dari nanopartikel: (A)  $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4$ ; (B)  $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4 + 1,5 \text{ gr PEG}$

Beberapa parameter fisis yang diperoleh dari analisis XRD untuk nanopartikel  $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4$  yang

dienkapsulasi dengan PEG-4000 ditampilkan pada Tabel 1.

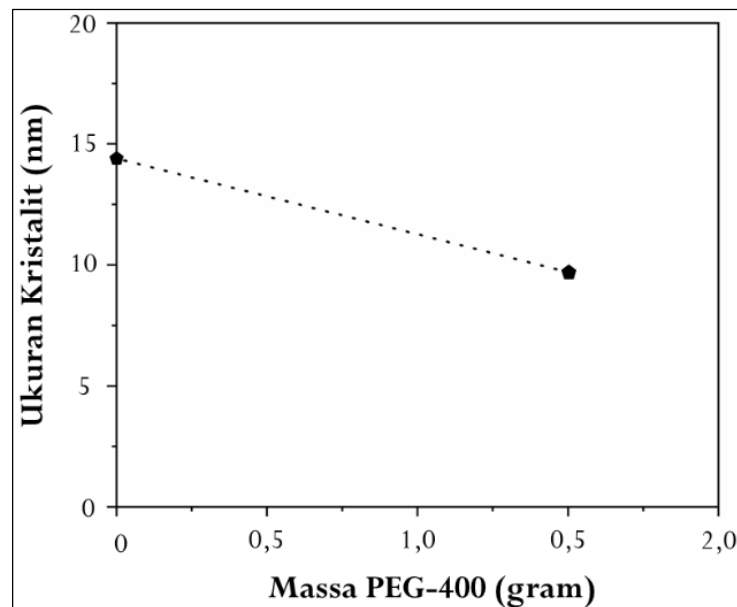
**Tabel 1.** Parameter fisis hasil analisis XRD

Sampel	(Å)	I (a.u)	2θ		d (Å)	a (Å)		t (nm)	ρ (g/cm <sup>3</sup> )
<b>A</b>	1,54	6,58	35,38	0,010	2,53	8,40 ± 0,14	0,031	14,4 ± 0,2	5,32
<b>B</b>	1,54	9,61	35,39	0,015	2,53	8,40 ± 0,22	0,047	9,7 ± 0,2	5,33

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa parameter kisi (a), jarak antar bidang (d) dan densitas pada nanopartikel  $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4$  sebelum dan setelah dienkapsulasi dengan PEG-4000 tampak memiliki nilai yang cenderung konstan. Hal ini menunjukkan

bahwa keberadaan PEG-4000 tidak berpengaruh secara signifikan terhadap struktur kristal ferit.

Ukuran kristalit ditentukan dengan menggunakan metode Scherrer. Gambar 4. Menunjukkan ukuran kristalit nanopartikel  $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4$  dan  $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4/\text{PEG-4000}$ .



**Gambar 4.** Ukuran kristalit nanopartikel  $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4$  dan  $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4/\text{PEG-4000}$ .

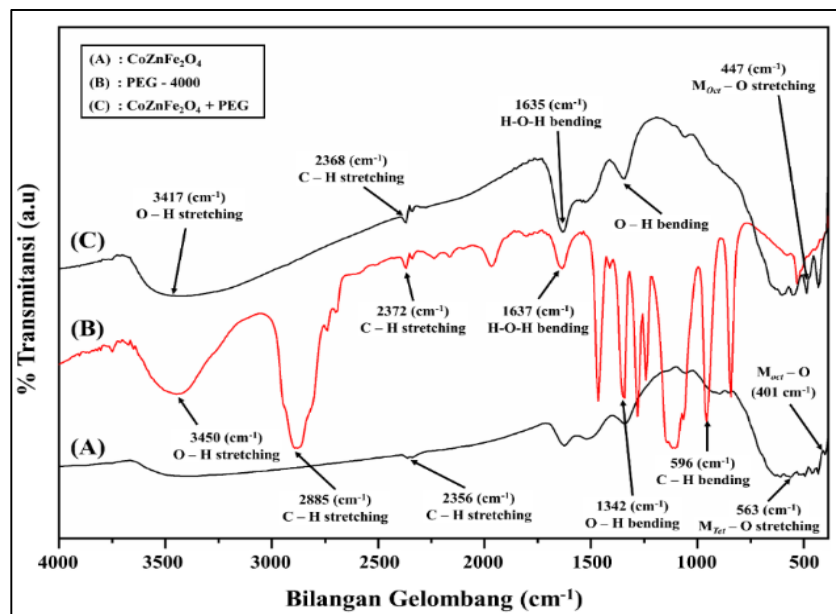
Berdasarkan Tabel 2 dan gambar 4 dapat dilihat bahwa ukuran kristalit nanopartikel  $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4$  sebelum dienkapsulasi sebesar  $14,4 \pm 0,2$  nm dan cenderung menurun menjadi  $9,7 \pm 0,2$  nm. Menurut Perdana dkk. (2011), panjang rantai ini dapat menyebabkan banyak partikel terjebak di dalam rantai PEG sehingga pertumbuhan kristal terhalangi dan ukuran kristalit menjadi semakin kecil.

Selain itu, ada fasa baru yang muncul pada sudut  $2\theta$  sekitar  $24,37^\circ$  setelah terjadi pelapisan nanopartikel  $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4$  oleh PEG-4000 yaitu  $\alpha$ - $\text{FeO}(\text{OH})$  (Gambar 3 bagian B). Fasa tersebut diprediksi muncul karena atom-atom  $\text{Fe}^{3+}$  yang mengisi seluruh posisi tetrahedral dan setengah dari oktahedral pada permukaan nanopartikel bereaksi

dengan gugus hidroksil pada PEG-4000 yang menyebabkan muncul fasa tersebut pada interface antara nanopartikel  $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4$  dan PEG-4000.

#### b) Hasil karakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy* nanopartikel $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4$ yang dienkapsulasi dengan PEG-4000

Gugus fungsi nanopartikel diidentifikasi dari data FTIR. Hasil karakterisasi gugus fungsi yang telah dilakukan pada nanopartikel  $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4$  yang dienkapsulasi dengan PEG-4000 menunjukkan adanya puncak-puncak serapan yang dapat memberikan informasi tentang jenis vibrasi ikatan molekul seperti yang terlihat pada Gambar 5.



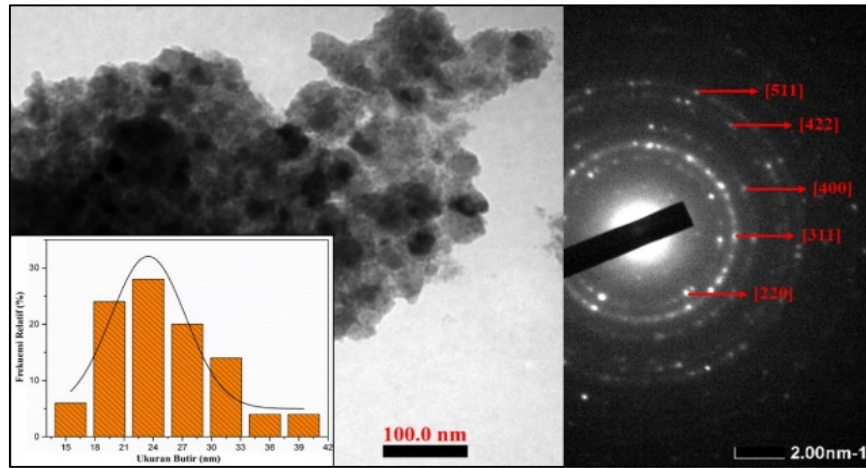
Gambar 5. Spektrum FTIR (A)  $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4$ ; (B) PEG-4000; dan (C)  $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4$  + 1,5 gr PEG

Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat bahwa nanopartikel  $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4$  sebelum dienkapsulasi dengan silika menunjukkan gugus fungsi  $M_{\text{okta}}\text{-O stretching}$  dan  $M_{\text{tetra}}\text{-O stretching}$  yang masing-masing memiliki puncak serapan pada bilangan gelombang  $401 \text{ cm}^{-1}$  dan  $563 \text{ cm}^{-1}$  [Raut, dkk., 2014]. Setelah dienkapsulasi dengan PEG-4000, terdapat pergeseran bilangan gelombang vibrasi ikatan M-O ke arah bilangan gelombang yang lebih besar pada kedua site. Pergeseran ini dikaitkan dengan adanya serapan molekul PEG oleh nanopartikel sehingga menyebabkan frekuensi vibrasi gugus M-O menjadi meningkat. Selanjutnya pada bilangan gelombang  $1342 \text{ cm}^{-1}$  dan  $3410 \text{ cm}^{-1}$  masing-masing teridentifikasi adanya vibrasi ikatan O-H bending dan O-H stretching pada nanopartikel  $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4$  dan bilangan gelombang  $1342 \text{ cm}^{-1}$  dan  $3450 \text{ cm}^{-1}$

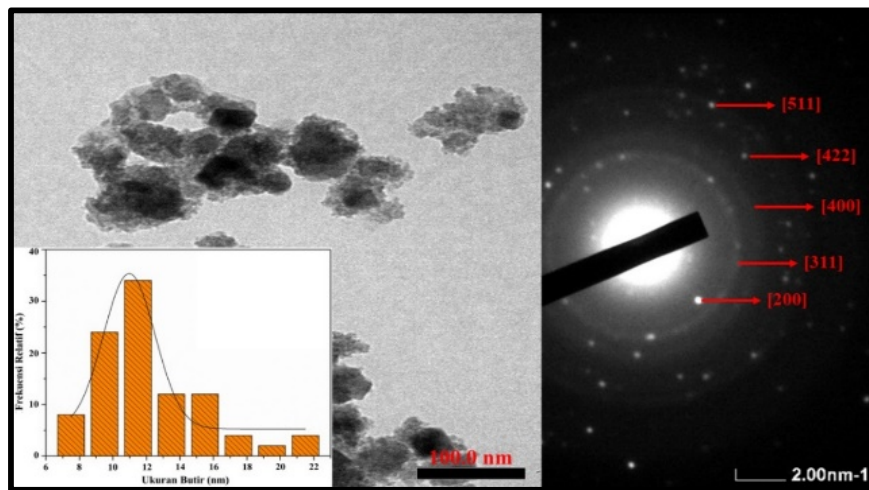
masing-masing teridentifikasi sebagai vibrasi ikatan O-H bending dan O-H stretching yang dimiliki oleh PEG-4000 murni. Selain itu, nanopartikel  $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4$  dan PEG memiliki puncak serapan masing-masing pada bilangan gelombang  $1049 \text{ cm}^{-1}$  dan  $1064 \text{ cm}^{-1}$  yang diidentifikasi sebagai gugus fungsi C-O stretching.

#### c) Hasil karakterisasi menggunakan *Transmission Electron Microscope (TEM)*

Morfologi, cincin difraksi dan distribusi ukuran butir nanopartikel  $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4$  sebelum dienkapsulasi dengan PEG-4000 masing-masing ditampilkan pada Gambar 6 dan Gambar 7.



**Gambar 6.** Gambar TEM dan SAED nanopartikel  $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4$



**Gambar 7.** Gambar TEM dan SAED nanopartikel  $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4 + \text{PEG-4000}$ .

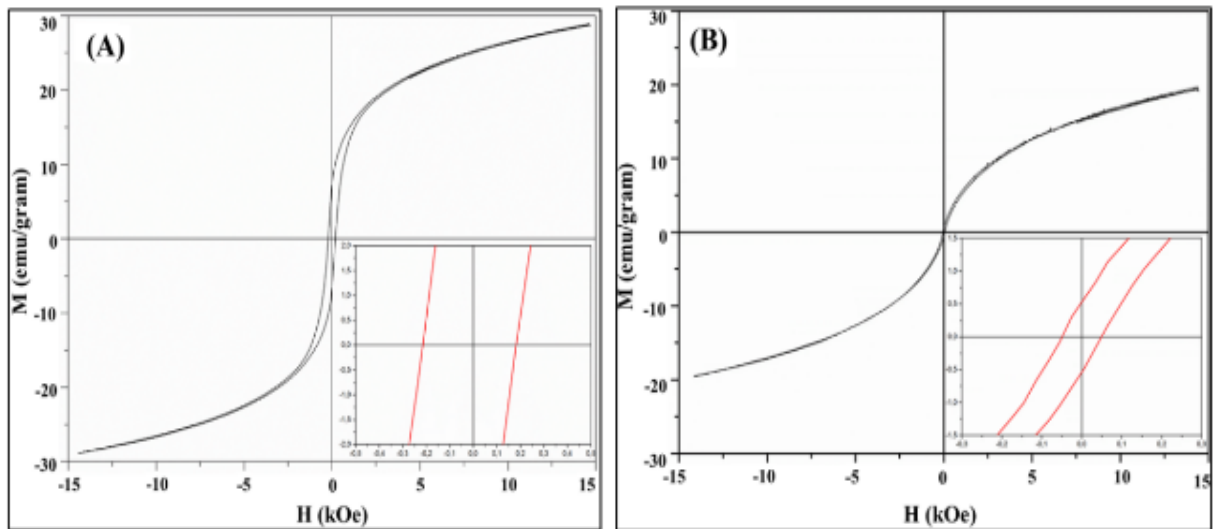
Berdasarkan Gambar 6 tampak bahwa butiran-butiran nanopartikel mengalami aglomerasi dan sebagian membentuk agregat. Hal ini disebabkan oleh beberapa hal, antara lain adanya interaksi yang kuat antara nanopartikel, tingginya reaktivitas butir-butir nanopartikel yang dihasilkan dari interaksi magnetostatis dan interaksi pertukaran momen magnetik dipole (*exchange interaction*) antar nanopartikel [Kareem, dkk., 2015].

Setelah dienkapsulasi dengan PEG-4000 (Gambar 7), aglomerasi tampak berkurang karena interaksi antar partikel menjadi lemah. Bentuk morfologi  $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4$  sebelum dienkapsulasi berupa bulatan tidak sempurna (*nearly spherical*) dengan distribusi ukuran butir sekitar 23,5 nm. Setelah dienkapsulasi dengan PEG-4000, bentuk morfologi sebagian menyerupai kotak dengan distribusi ukuran butir menurun menjadi sekitar 10,9 nm. Selain itu, dari citra SAED teridentifikasi bidang-bidang kristal

(220), (311), (400), (511) dan (440) yang merupakan bidang kristal milik  $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4$  sesuai dengan hasil analisis XRD dan menunjukkan cincin difraksi dengan pola yang diskontinyu. Menurut Egerton (2005), pola tersebut merupakan pola cincin difraksi yang diperoleh dari beberapa kristalit (*polycrystallite*). Setelah dienkapsulasi dengan PEG-4000 cincin difraksi nanopartikel membentuk pola berupa *spot-spot* yang menunjukkan pola difraksi dari monokristalit [Egerton, 2005].

#### **d) Hasil Karakterisasi menggunakan Vibrating Sample Magnetometer (VSM)**

Karakterisasi sifat kemagnetan nanopartikel  $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4$  sebelum dan sesudah dienkapsulasi PEG-4000 ditunjukkan pada Gambar 8.



**Gambar 8.** Kurva histeresis nanopartikel: (A) CoZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>; (B) CoZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/PEG-4000

Parameter penting yang diperoleh dari analisis VSM adalah koersivitas ( $H_c$ ), dan magnetisasi saturasi ( $M_s$ ). Nilai koersivitas dan magnetisasi saturasi

nanopartikel CoZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> sebelum dan setelah dienkapsulasi dengan PEG-4000 disajikan pada tabel 3.

**Tabel 3.** Nilai koersivitas dan magnetisasi spesifik nanopartikel CoZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> sebelum dan setelah dienkapsulasi dengan PEG-4000

Sampel	Massa PEG (gr)	Densitas (gram/cm <sup>3</sup> )	Koersi-vitas (Oe)	Magnetisasi pada H = 15 kOe (emu/g)
(A)	0	5,32	251,9 ± 41,1	29,0 ± 0,40
(B)	1.5	5,33	49,9 ± 4,8	19,7 ± 0,04

Nilai koersivitas nanopartikel CoZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> sebesar 251,9 Oe dan menurun menjadi 49,9 Oe setelah dienkapsulasi dengan PEG. Hal ini disebabkan karena menurunnya ukuran kristalit. Berdasarkan hasil ini dapat disimpulkan bahwa sampel nanopartikel berada pada wilayah domain tunggal. Partikel dengan domain tunggal ini berperilaku sesuai dengan model Stoner-Wohlfarth bahwa koersivitas meningkat seiring dengan meningkatnya ukuran partikel dan sebaliknya seperti dinyatakan pada persamaan 1.

$$H_c = g - \frac{h}{t_{Nps}} \quad (1)$$

dengan  $H_c$  menyatakan besarnya koersivitas (Oe);  $g$  (Oe) dan  $h$  (Oe/nm) adalah suatu konstanta, serta  $t$  NPs menyatakan ukuran nanopartikel (nm) (Cullity dan Graham, 2009)

Nilai magnetisasi saturasi nanopartikel CoZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> sebelum dienkapsulasi sebesar 29,0 emu/gr dan menurun menjadi 19,7 emu/gr setelah dienkapsulasi dengan PEG-4000 karena PEG-4000 merupakan bahan polimer.

**KESIMPULAN DAN SARAN**

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan terhadap kajian nanopartikel CoZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> yang

dienkapsulasi dengan PEG-4000, maka dapat disimpulkan bahwa nanopartikel CoZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> yang dienkapsulasi dengan PEG-4000 telah berhasil disintesis dengan menggunakan metode kopresipitasi. Penggunaan PEG-4000 sebagai bahan enkapsulasi, menyebabkan ukuran kristalit dan koersivitas nanopartikel CoZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> mengalami penurunan serta tingkat aglomerasi menjadi berkurang.

Saran yang disampaikan terkait dengan penelitian ini adalah perlu adanya kajian lebih lanjut terkait dengan potensi nanopartikel CoZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> yang dienkapsulasi dengan PEG untuk berbagai aplikasi.

**UCAPAN TERIMAKASIH**

Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Halu Oleo, Kendari atas bantuan dana dalam pelaksanaan penelitian ini.

**DAFTAR PUSTAKA**

Asmin, L. O., 2015, Fabrikasi nanopartikel Zinc Ferrite (ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) dengan Metode Kopresipitasi dan Karakterisasi Struktur

- Kristal dan Sifat Kemagnetannya, *Tesis Program Studi S2 Fisika Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Gadjah Mada*, Indonesia.
- Bohara, R.A., Yadav, H.M., Thorat, N.D., Mali, S.S., Hong, C.K., Nanaware, S.G. dan Pawar, S.H., 2015, Synthesis of functionalized  $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  nanoparticles for biomedical applications, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, volume 378, pp. 397–401.
- Cullity, B. D. dan Graham, C. D., 2009. *Introduction to Magnetic Materials, Second Edition*. IEEE Press, John Wiley & Sons, Inc., Amerika Serikat.
- Egerton, R.F., 2005, *Physical Principles of Electron Microscopy An Introduction to TEM, SEM, and AEM*, Canada.
- Ghayour, H., Abdellahi, M., Ozada, N., Jabbrzare, S. dan Khandan, A., 2017, Hyperthermia application of zinc doped nickel ferrite nanoparticles, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, volume 111, pp. 464–472.
- Hankare, P.P., Jadhav, S.D., Sankpal, U.B., Chavan, S.S., Waghmare, K.J. dan Chougule, B.K., 2009, Synthesis, Characterization, and Effect of Sintering Temperature on Magnetic Properties of MgNi Ferrite Prepared by Coprecipitation Method, *Journal of Alloys and Compounds*, volume 475, pp. 926 – 929.
- Kareem, S.H., Ati, A.A., Shamsuddin, M., dan Lee, S.L., 2015, Nanostructural, Morphological and Magnetic Studies of PEG/Mn<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles Synthesized by Coprecipitation, *Ceramic International*, volume 41, pp. 11702–11709.
- Kharisov, B.I., Dias, H.V.R. dan Kharissova, O.V., 2014, Mini-Review: Ferrite Nanoparticles in the Catalysis, *Arabian Journal of Chemistry*, volume 10, pp. 9-13.
- Kumar, S., Singh, V., Mandal, U.K. dan Kotnala, R.K., 2015, Nanocrystalline  $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ferrite: Synthesis, characterization and study of their magnetic behavior at different temperatures, *Inorganica Chimica Acta*, volume 428, pp. 21–26.
- Mathew, D.S. dan Juang, R.S., 2007, An Overview of the Structure and Magnetism of Spinel Ferrite Nanoparticle and Their Synthesis in Microemulsions, *Chemical Engineering Journal*, volume 129, pp. 51 – 65.
- Nadeem, K., Krenn, H., Sarwar, W. dan Mumtaz, M., 2014, Comparison Of Surface Effects  $\text{SiO}_2$  Coated And Uncoated Nickel Ferrite Nanoparticles, *Applied Surface Science*, volume 288, pp. 677-681.
- Nikam, D. S., Jadhav, S. V., Khot, V. M., Phadatare, M. R. dan Pawar, S. H., 2014, Study of AC magnetic heating characteristics of  $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  nanoparticles for magnetic hyperthermia therapy, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, volume 349, pp. 208-213.
- Perdana, F. A., Baqiya, M. A., Mashuri., Triwikantoro., dan Darminto, 2011, Sintesis Nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan Template PEG-1000 dan Karakterisasi Sifat Magnetiknya, *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, volume 01, pp. 1-6.
- Raut, A.V., Barkule, R.S., Shengule, D.R. and Jadhav, K.M., 2014, Synthesis, structural investigation and magnetic properties of  $\text{Zn}^{2+}$  substituted cobalt ferrite nanoparticles prepared by the sol-gel auto-combustion technique, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, volume 358-359, pp. 87-92.
- Rusman, L. O., Puspitasari, A. T., Suharyadi, E., Kato, T. and Iwata, S., 2019, Crystal Structures and Magnetic Properties of Silica-Encapsulated  $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4$  Magnetic Nanoparticles *Journal of magnetics*, volume 24, No. 1, pp. 149-154.
- Sertkol, M., Köseoğlu, Y., Baykal, A., Kavas, H. dan Basaran, A.C., 2009, Synthesis and Magnetic Characterization of  $\text{Zn}_{0.6}\text{Ni}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$  Nanoparticles Via a Polyethylene Glycol-Assisted Hydrothermal Route, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, volume 321, pp. 157-162.
- Yu, M., Huang, S., Yu, K.J. dan Morss. Clyne, A.M., 2012, *Dextran and Polymer Polyethylene Glycol (PEG) Coating Reduce Both 5 and 30 nm Iron Oxide Nanoparticle Cytotoxicity in 2D and 3D Cell Culture*, *International Journal of Molecular Sciences*, pp. 5554-5570