



# SINTESIS DAN KARAKTERISASI STRUKTUR DAN SIFAT MAGNET NANOKOMPOSIT $\text{Fe}_3\text{O}_4@$ PEG:ZnO

Astuti<sup>1\*</sup>, Syukri Arief<sup>2</sup>, Sri Rahayu Alfitri Usna<sup>1</sup> dan Ihda Khaira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Andalas, Limau Manis, Padang, Indonesia

<sup>2</sup>Jurusan Kimia, FMIPA Universitas Andalas, Limau Manis, Padang, Indonesia

\*corresponding author: [astuti@sci.unand.ac.id](mailto:astuti@sci.unand.ac.id)

Received 14-01-2022, Revised 28-06-2022, Accepted 28-09-2022

Available Online 04-10-2022, Published Regularly October 2022

## ABSTRACT

$\text{Fe}_3\text{O}_4@$ PEG:ZnO nanocomposites were synthesized by the coprecipitation method with various of the samples were  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4@$ ZnO (1:1),  $\text{Fe}_3\text{O}_4@$ PEG: ZnO (1:2), and  $\text{Fe}_3\text{O}_4@$  PEG: ZnO (1:3). The samples were synthesized with variation in the concentration of ZnO to  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . In addition, polyethylene glycol (PEG) is also used to prevent the agglomeration of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Sample characterization was carried out using X-Ray Diffraction (XRD), Transmission Electron Microscope (TEM), Fourier Transform Infrared (FTIR), Particle Size Analyzer (PSA), and vibrating Sample Magnetometer (VSM). The XRD patterns show that the sample is composed of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  phase and ZnO phase with crystal structure cubic and wurtzite respectively. The TEM image shows the formation of a core-shell structure where PEG: ZnO is the shell and  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  is the core. From the FTIR results, there are C-O and C-C bonds which indicate formed from PEG, Fe-O bonds indicate the formation of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  and Zn-O bonds indicate formation of ZnO. Characterization with PSA obtained particle sizes of 33 nm, 23 nm, and 16 nm with particle size distributions of 25%, 50%, and 75% so that the average particle size is 24 nm. The VSM results show that  $\text{Fe}_3\text{O}_4@$ PEG: ZnO (1:2) nanocomposite has a high magnetic saturation of 66.58 emu/g, with superparamagnetic properties, which has the potential to be developed as a bioimaging material.

Keywords:  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ; PEG; ZnO; precipitation, magnetic properties

## ABSTRAK

Nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4@$ PEG:ZnO disintesis dengan metode kopresipitasi dengan variasi sampel yaitu  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4@$ ZnO (1:1),  $\text{Fe}_3\text{O}_4@$ PEG:ZnO (1:2), dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4@$ PEG:ZnO (1:3). Sampel tersebut disintesis dengan variasi konsentrasi ZnO terhadap  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Disamping itu juga digunakan polietilen glikol (PEG) untuk mencegah aglomerasi pada  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Karakterisasi sampel dilakukan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), *Transmission Electron Microscope* (TEM), *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *Particle Size Analyzer* (PSA), dan *vibrating sample magnetometer* (VSM). Pola difraksi sinar-X menunjukkan bahwa sampel tersusun dari fasa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan fasa ZnO dengan struktur kristal *cubic* dan *hexagonal wurtzite* berturut-turut. Hasil TEM menunjukkan terbentuknya struktur *core-shell* dimana PEG:ZnO sebagai *shell* dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  sebagai *core*. Dari hasil FTIR terdapat ikatan C-O dan C-C yang berasal dari PEG, ikatan Fe-O menunjukkan terbentuknya  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan ikatan Zn-O menunjukkan terbentuknya ZnO. Pengujian dengan PSA didapatkan ukuran partikel sebesar 33 nm, 23 nm, dan 16 nm dengan distribusi ukuran partikel yaitu 25%, 50%, dan 75%, sehingga didapatkan ukuran rata-rata partikel yaitu 24 nm. Hasil VSM menunjukkan nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4@$ PEG:ZnO (1:2) memiliki saturasi magnetik yang tinggi yaitu 66,58 emu/g, dengan sifat superparamagnetik, yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai material bioimaging.

Kata kunci:  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ; PEG; ZnO; presipitasi; sifat magnet

## PENDAHULUAN

Nanopartikel magnetik  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (Besi Oksida) merupakan material yang memiliki aplikasi yang sangat luas. Pada ukuran *bulk*, material magnetik  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  bersifat ferrimagnetik. Namun, pada orde nanometer material  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  bersifat superparamagnetik dan memiliki sifat-sifat yang lebih baik, seperti magnetisasi saturasi yang tinggi, *environmental stability*, dan *biological compatibility*. Nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  sebagai material biokompatibel dapat diaplikasikan sebagai material *bioimaging*, *drug delivery system*, *hyperthermia*, dan lain-lain<sup>[1,2]</sup>. Dalam aplikasinya sebagai material *bioimaging*,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dapat digabungkan dengan material luminisens. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan efektifitas dan efisiensi material magnetik sebagai material *bioimaging* dengan mendoping europium (Eu) dan material gadolinium oksida ( $\text{Gd}_2\text{O}_3$ ). Pada penelitian tersebut ditunjukkan adanya penurunan kontras akibat adanya pengisian atom Eu pada Gd<sup>[3]</sup>. Selain menggunakan unsur Eu sebagai doping, para peneliti juga menggunakan golongan lantanida seperti  $\text{SrFCl:Nd@PDA}$ . Pada penelitian ini dihasilkan material yang mempunyai luminisens sangat terang sehingga memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai material *bioimaging*. Namun, pada penelitian tersebut diketahui adanya sifat racun dari material yang dihasilkan dan ditemukan adanya ketidakcocokan bahan SrFCl ketika diaplikasikan dalam aplikasi biomedis<sup>[4]</sup>. Diketahui bahwa, pada aplikasi material biomedis sangat diutamakan material yang bersifat biokompatibel atau tidak beracun bagi manusia. Salah satu material luminisens tersebut adalah ZnO (Zink Oksida). Agar dihasilkan suatu material yang mempunyai dua sifat sekaligus dapat dilakukan dengan membuat material dengan *struktur core-shell*<sup>[5,6]</sup>. Kelebihan struktur *core shell* adalah, dapat menggabungkan dua sifat berbeda dari material yang berbeda, dimana sifat dari material penyusunnya dapat dipertahankan tanpa mengganggu sifat masing-masing material tersebut. Namun ketebalan *shell* (ZnO) sering sekali menurunkan sifat magnet dari *core* secara signifikan, oleh sebab itu perlu dilakukan optimasi ketebalan *shell* sehingga tidak menurunkan magnetik saturasi dari *core* ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ).

Nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  mudah mengalami aglomerasi sehingga dapat mempengaruhi sifat-sifatnya. Untuk mengatasi masalah tersebut beragam strategi terus dikembangkan sampai saat ini. Strategi tersebut meliputi doping terhadap  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , *coating* permukaan nanopartikel magnetik dengan molekul organik meliputi surfaktan, polimer, dan biomolekul, atau *coating* dengan material non organik seperti  $\text{SiO}_2$  dan Au. *Coating* atau pelapisan nanopartikel magnetik sebagai material *bioimaging* tidak hanya menjaga kestabilan nanopartikel magnetik, tetapi juga harus bersifat biokompatibel<sup>[7,8]</sup>. Polietilen glikol (PEG) adalah salah satu polimer yang dapat diaplikasikan dalam struktur *core-shell* pada material *bioimaging*. Hal ini karena PEG mempunyai sifat inert, biokompatibel, transparan secara optik, tidak menimbulkan reaksi dipermukaan *core* ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) serta dapat menyeragamkan bentuk dan ukuran partikel<sup>[2,9]</sup>. Beragam metode sintesis telah dilaporkan untuk menghasilkan nanopartikel monodispersif, seperti metode kopresipitasi,<sup>[8,10]</sup> sol gel, mikro emulsi, solvotermal, hidrotermal dan dekomposisi termal<sup>[11,12]</sup>.

Dari beberapa penelitian tersebut masih terdapat beberapa kelemahan seperti pengontrolan ukuran partikel, stabilitas, dan disperibilitas nanopartikel luminisens, sehingga dalam penelitian ini dikembangkan material magnetik-luminisens  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{PEG:ZnO}$  dengan struktur *core-shell* yang memiliki potensi aplikasi sebagai material *bioimaging*. Material  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang diperoleh merupakan hasil sintesis dengan menggunakan metode kopresipitasi. Metode kopresipitasi lebih cocok digunakan karena lebih sederhana dengan biaya yang murah, dan dalam beberapa penelitian ditemukan ukuran partikel lebih seragam yaitu kurang dari 100 nm dan partikel berbentuk bola<sup>[13]</sup>. Material  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  digunakan sebagai *core*, sedangkan PEG dan ZnO sebagai material

*Shell*. PEG berfungsi untuk mencegah terjadinya aglomerasi nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Pada penelitian ini disintesis nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{PEG}:\text{ZnO}$  dengan memvariasikan ketebalan ZnO sebagai *shell*. Nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{PEG}:\text{ZnO}$  dihasilkan dengan saturasi magnetik dan luminisescence yang tinggi, sehingga berpotensi untuk dikembangkan sebagai material *bioimaging*.

## METODE

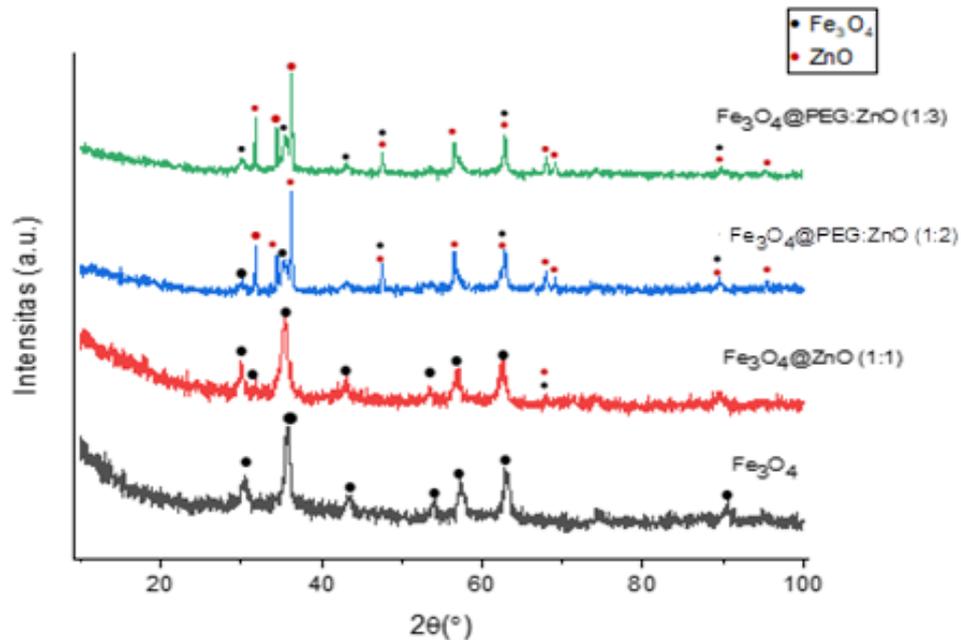
Sintesis nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{PEG}:\text{ZnO}$  dimulai dengan proses pembuatan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan metode kopresipitasi seperti yang dilakukan oleh zavisova *et. al* (2015) [9] dengan beberapa modifikasi. Nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  disintesis dari prekursor  $\text{Fe}^{3+}$  ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) dan  $\text{Fe}^{2+}$  ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) dengan rasio molar 2:1. Masing-masing dilarutkan dan diaduk dalam aquades. Asam klorida (HCl) sebanyak 1 ml ditambahkan kedalam larutan dan Amonium hidroksida ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) sebanyak 15 ml ditambahkan secara perlahan hingga larutan berubah warna menjadi hitam karena terbentuknya partikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Proses pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* dan dipanaskan pada suhu 100 °C selama 5 jam. Kemudian endapan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dipisahkan dan dicuci menggunakan alkohol sebanyak 3 kali. Sebanyak 2,5 g PEG 1000 dilarutkan ke dalam 100 ml aquades, setelah PEG 1000 larut maka ditambahkan endapan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  sebagai larutan pertama. *Zink oxide* (ZnO) dilarutkan dalam 100 ml aquades dan ditambahkan 15 ml  $\text{NH}_4\text{OH}$  sambil diaduk. Larutan ZnO ditambahkan ke larutan pertama dan dipanaskan dengan suhu 70 °C selama 24 jam sambil diaduk. Endapan  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{ZnO}$  dipisahkan dan dicuci menggunakan alkohol sebanyak 3 kali, kemudian dikeringkan menggunakan *furnace* pada suhu 300 °C selama 2 jam. Sintesis dilakukan dengan variasi ( $\text{Fe}_3\text{O}_4:\text{ZnO}$ ) yaitu (1:1), (1:2), dan (1:3).

Nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{ZnO}$  hasil sintesis dikarakterisasi struktur dan sifat magnetnya. Struktur kristal di karakterisasi menggunakan *X-Ray diffractometry* (XRD) (XRD, Bruker D8 Advance). Selain itu, juga dilakukan karakterisasi menggunakan *Transmission Electron Microscopy* (TEM) (TEM, FEI Tecnai G2 20 S-Twin), untuk melihat morfologi sampel. Serta *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) (FTIR, Nicolet iS50 FTIR) untuk melihat ikatan kimia yang terbentuk, dan *Particle Size Analyser* (PSA) (Shimadzu SALD-2300 (WingSALD II:Version 3.4.4)) untuk menentukan distribusi ukuran partikel. Sifat magnet dikarakterisasi menggunakan *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM) (VSM, VSM250).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi XRD dilakukan untuk mengetahui struktur kristal nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{PEG}:\text{ZnO}$ . Gambar 1 menunjukkan pola difraksi sinar-X dari sampel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{ZnO}$  (1:1),  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{PEG}:\text{ZnO}$  (1:2), dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{PEG}:\text{ZnO}$  (1:3). Semua sampel mengandung fasa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan ZnO tanpa adanya fasa pengotor. Berdasarkan Gambar 1, untuk sampel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  diperoleh puncak difraksi maksimum pada sudut  $2\theta = 35,7909^\circ$ . Data standar *International for Diffraction Database* (ICDD) dengan kode referensi 01-071-6339, menunjukkan bahwa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  memiliki struktur kristal *cubic* dengan parameter kisi  $a = b = c = 8,3153 \text{ \AA}$ . Sampel nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{ZnO}$  (1:1) menunjukkan intensitas maksimum pada sudut  $2\theta = 35,4896^\circ$ . Ada dua fasa yang terbentuk pada hasil karakterisasi sampel yaitu  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan ZnO. Berdasarkan Pencocokan data standar ICDD dengan kode referensi 01-078-3149,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  memiliki struktur kristal *monoclinic* dengan parameter kisi  $a = 5,9444 \text{ \AA}$ ,  $b = 5,9247 \text{ \AA}$ , dan  $c = 16,7751 \text{ \AA}$ . Pencocokan pada data standar ICDD kode referensi 01-078-4605 menunjukkan fasa ZnO memiliki struktur kristal *hexagonal wurtzite* dengan parameter kisi  $a = 3,1870 \text{ \AA}$ ,  $b = 3,1870 \text{ \AA}$ , dan  $c = 5,1420 \text{ \AA}$ . Nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{PEG}:\text{ZnO}$  (1:2) menunjukkan pola difraksi dengan intensitas maksimum pada sudut  $2\theta = 36,2455^\circ$ . Data

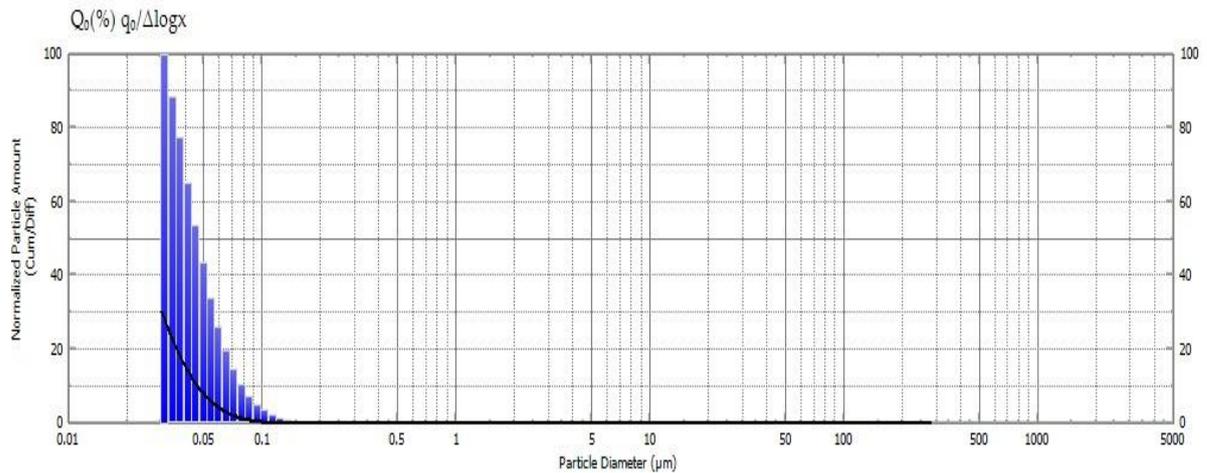
standar ICDD dengan kode referensi 01-075-7917 menunjukkan fasa ZnO memiliki struktur kristal *hexagonal wurtzite* dengan parameter kisi  $a = 3,2525 \text{ \AA}$ ,  $b = 3,2525 \text{ \AA}$ , dan  $c = 5,2111 \text{ \AA}$ . Pencocokan pada data standar ICDD kode referensi 01-071-6766 untuk fasa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  memiliki struktur kristal *rhombohedral* dengan parameter kisi  $a = 5,9277 \text{ \AA}$ ,  $b = 5,9277 \text{ \AA}$ , dan  $c = 14,5699 \text{ \AA}$ . Selanjutnya, pada sampel nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{PEG}:\text{ZnO}$  (1:3) diperoleh pola difraksi dengan intensitas maksimum pada sudut  $2\theta = 36,2455^\circ$ . Pencocokan pada data standar ICDD kode referensi 01-089-7102, fasa ZnO memiliki struktur kristal *hexagonal wurtzite* dengan parameter kisi  $a = 3,2495 \text{ \AA}$ ,  $b = 3,2495 \text{ \AA}$ , dan  $c = 5,2069 \text{ \AA}$



**Gambar 1.** Grafik hasil uji XRD pada variasi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , PEG, dan ZnO

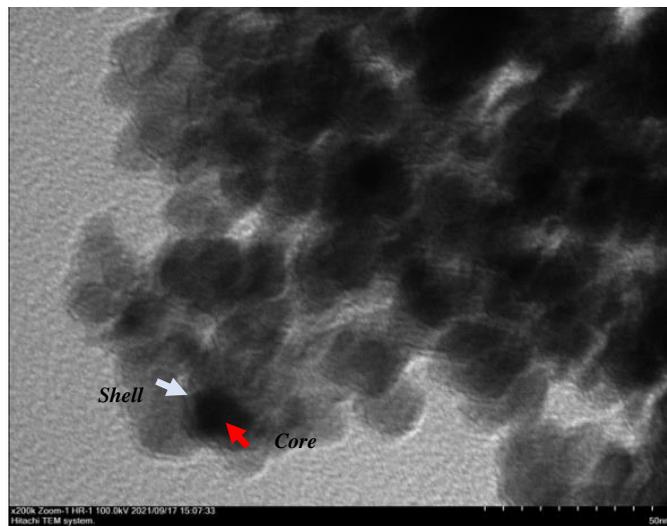
Sedangkan untuk fasa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  menggunakan data standar ICDD kode referensi 01-076-7171 yang memiliki struktur kristal *cubic* dengan parameter kisi  $a = b = c = 8,3761 \text{ \AA}$ . Nanopartikel magnetik  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan sampel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{PEG}:\text{ZnO}$  (1:3) memiliki struktur kristal *cubic*. Hal ini membuktikan bahwa PEG dapat berfungsi sebagai *template* bagi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dimana PEG memiliki sifat inert sehingga melindungi dan tidak menimbulkan reaksi pada  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  [11,13].

Karakterisasi PSA dilakukan terhadap material nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{PEG}:\text{ZnO}$  (1:2). Pengujiannya bertujuan untuk mengetahui ukuran partikel yang terdapat pada nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{PEG}:\text{ZnO}$ . PSA yang digunakan yaitu tipe Shimadzu SALD-2300 (WingSALD II:Version 3.4.4) *High Concentration Cell*. PSA dengan tipe ini menganalisis ukuran partikel dimana partikel didispersikan didalam media cair sehingga nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{PEG}:\text{ZnO}$  tidak teraglomerasi dan terukur sebagai *single* partikel. Hasil pengukuran partikel dengan menggunakan PSA ditunjukkan pada Gambar 2. Grafik tersebut menunjukkan bahwa distribusi partikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{PEG}:\text{ZnO}$  dengan populasi 25%, 50%, dan 75% yang memiliki ukuran partikel 33 nm, 23 nm, dan 16 nm dengan rata-rata diameter partikel yaitu 24 nm. Ukuran partikel ini tidak jauh berbeda dengan pengukuran dengan menggunakan TEM, yang terlihat seperti sekumpulan partikel.



**Gambar 2.** Grafik distribusi ukuran partikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{PEG}:\text{ZnO}$  (1:2)

Karakterisasi TEM dilakukan untuk melihat struktur *core-shell* dari sampel, yang diwakili oleh sampel  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{PEG}:\text{ZnO}$  (1:2) sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 3.

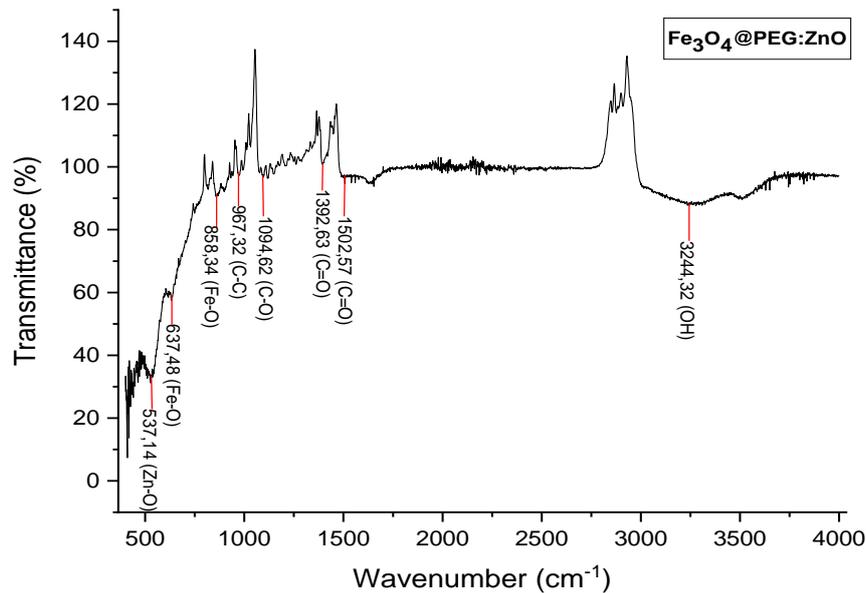


**Gambar 3.** TEM sampel  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{PEG}:\text{ZnO}$  (1:2)

Berdasarkan Gambar 3, nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  terlihat berbentuk bulat membentuk kluster. Kluster-kluster ini menyerupai struktur seperti rantai disebabkan adanya interaksi dipole magnet antara partikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  terdekat [13]. Selain itu, juga terlihat adanya lapisan  $\text{ZnO}$  sebagai *shell* (warna abu-abu) yang melapisi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  sebagai *core* (warna hitam), dengan kata lain sampel nanokomposit ini tersusun atas *core* dan *shell* [4,13].

Pengujian FTIR dilakukan pada material nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{PEG}:\text{ZnO}$  (1:2). Pengujian ini bertujuan untuk melihat gugus molekul yang terdapat pada nanokomposit. Hasil pengujian menunjukkan adanya puncak-puncak transmisi yang berkaitan dengan energi vibrasi nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{PEG}:\text{ZnO}$  yang ditunjukkan pada Gambar 4. Gugus fungsi yang didapatkan dari FTIR yaitu dengan rentang bilangan gelombang 400-4000  $\text{cm}^{-1}$ . Bilangan gelombang 3244,32  $\text{cm}^{-1}$  berkaitan dengan vibrasi gugus -OH (hidroksil). Puncak vibrasi ini menunjukkan terjadinya serapan molekul air pada permukaan nanopartikel

$\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Puncak serapan pada bilangan gelombang  $1502,57 \text{ cm}^{-1}$  dan  $1392,63 \text{ cm}^{-1}$ , terjadinya vibrasi rengangan ikatan besi simetri dan asimetri (C=O). Munculnya vibrasi rengangan ikatan C=O ini berasal dari karbon selama proses sintesis. Adanya PEG-1000 ditunjukkan oleh puncak serapan pada vibrasi C-O dan C-C yaitu  $1094,62 \text{ cm}^{-1}$  dan  $967,32 \text{ cm}^{-1}$ . Bilangan gelombang  $858,43 \text{ cm}^{-1}$  dan  $637,48 \text{ cm}^{-1}$  terdapat vibrasi ikatan Fe-O tetrahedral dan Fe-O oktahedral serta pada bilangan gelombang  $537,14 \text{ cm}^{-1}$  mengindikasikan ikatan Zn-O. Hal ini menunjukkan bahwa sintesis  $\text{Fe}_3\text{O}_4@PEG:ZnO$  dengan menggunakan metode kopresipitasi berhasil dilakukan.

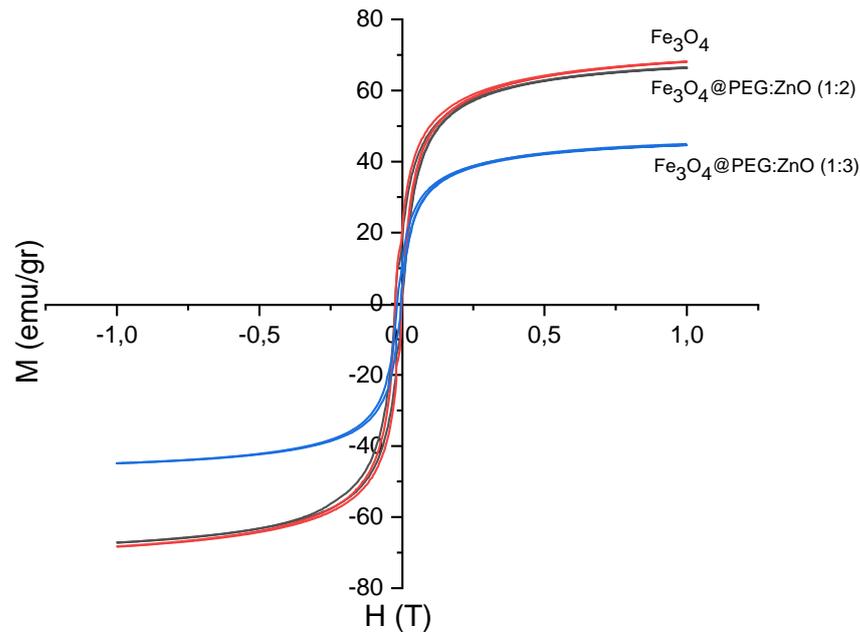


**Gambar 4.** Pola FTIR nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4@PEG:ZnO$  (1:2)

Hasil pengukuran sifat magnetik menggunakan VSM terhadap nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4@PEG:ZnO$  diperlihatkan pada Gambar 5. Dari gambar tersebut didapatkan nilai medan koersivitas ( $H_c$ ) yang cukup rendah yang menunjukkan bahwa sampel yang disintesis merupakan bahan superparamagnetik dan nilai magnetisasi saturasi ( $M_s$ ) yang tinggi. Nilai medan koersivitas ( $H_c$ ) dan magnetisasi saturasi ( $M_s$ ) yang berbeda untuk setiap sampel disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Sifat magnet nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4@PEG:ZnO$

No	Sampel	Sifat Magnet	
		$M_s$ (emu/g)	$H_c$ (T)
1	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	68,10	0,0031
2	$\text{Fe}_3\text{O}_4@PEG: ZnO$ (1:2)	66,53	0,0037
3	$\text{Fe}_3\text{O}_4@PEG: ZnO$ (1:3)	44,65	0,0038



**Gambar 5.** Hasil VSM nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4@PEG:ZnO$

Berdasarkan Gambar 5 dan Tabel 1, nilai  $M_s$  dari nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yaitu 68,10 emu/gr dan pada sampel  $\text{Fe}_3\text{O}_4@PEG:ZnO$  (1:2) nilai  $M_s$  mengalami sedikit penurunan yaitu 66,53 emu/gr. Pada sampel  $\text{Fe}_3\text{O}_4@PEG:ZnO$  (1:3) nilai  $M_s$  jauh berkurang dari sampel sebelumnya yaitu 44,65 emu/gr. Penurunan nilai  $M_s$  pada nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4@PEG:ZnO$  ini terjadi karena adanya penambahan PEG dan ZnO yang tidak bersifat magnet yang dapat menurunkan jumlah momen magnetik dalam sampel [6,13]. Selain itu, disini terlihat bahwa ketebalan *shell* (ZnO) juga mempengaruhi nilai saturasi magnetik, dimana semakin tinggi konsentrasi ZnO maka semakin rendah nilai saturasi magnetiknya [6].

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa terbentuknya struktur *core-shell* dari nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4@PEG:ZnO$  dengan PEG:ZnO sebagai *shell* dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  sebagai *core*. Nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4@PEG:ZnO$  bersifat superparamagnetik dengan ukuran partikel rata-rata 24 nm. Berdasarkan hasil VSM diperoleh semua sampel bersifat superparamagnetik dengan medan koersivitas yang sangat kecil yaitu mendekati nol dan saturasi magnetik yang tinggi. Nilai optimum diperoleh pada sampel  $\text{Fe}_3\text{O}_4@PEG:ZnO$  (1:2) dengan saturasi magnetik 66,53 emu/g, yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai material *bioimaging*.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh PNBPF Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas dengan kontrak penelitian No: 21/UN.16.03.D/PP/FMIPA/2021. Tahun ajaran 2021

**DAFTAR PUSTAKA**

1. Sarangi, T. 2017. Synthesis and Properties of Iron Oxide Particles Prepared by Hydrothermal Method, *IOP Cover. Series: Materials Science and Engineering*, (9)2.
2. Silva, R. L. D. S., Figueiredo, A. T. D., Barrado, C. M., & Sousa, M. H. 2017. Luminescent and Magnetic Properties of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@ SiO<sub>2</sub>: phen: Eu<sup>3+</sup>. *Materials Research*, 20(5), 1317-1321.
3. Maalej NM, Qu rashi A, Assadi AA, Maalej R, Nasiruzzaman,M, 2015, Synthesis of Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu nanoplatelets for MRI and fluorescence imaging, *Nanoscale Research Letters*, 10:215.
4. Zhao, X., Yu, Q., Yuan, J., Thakor, N. V., & Tan, M. C. 2020. Biodegradable rare earth fluorochloride nanocrystals for phototheranostics. *RSC advances*, 10(26), 15387-15393.
5. Ulya, H. N., & Taufiq, A. 2019. Comparative structural properties of nanosized ZnO/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> composites prepared by sonochemical and Sol-Gel methods. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 276(1), 1-9.
6. Gupta, J., Hassan, P. A., & Barick, K. C. 2021. Core-shell Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@ ZnO nanoparticles for magnetic hyperthermia and bio-imaging applications. *AIP Advances*, 11(2), 1-6.
7. Kandasamy, G., & Maity, D. 2015. Recent advances in superparamagnetic iron oxide nanoparticles (SPIONs) for in vitro and in vivo cancer nanotheranostics. *International journal of pharmaceutics*, 496(2), 191-218.
8. Pellico, J., Ellis, C. M., & Davis, J. J. 2019. Nanoparticle-based paramagnetic contrast agents for magnetic resonance imaging. *Contrast Media & Molecular Imaging*, 2019.
9. Zavisova, V., Koneracka, M., Kovac, J., Kubovcikova, M., Antal, I., Kopcansky, P., ... & Muckova, M. 2015. The cytotoxicity of iron oxide nanoparticles with different modifications evaluated in vitro. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 380, 85-89.
10. Astuti, Gaby Claudia, Noraida, Melvira Rahmadani. 2013. Synthesis Of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles From Ironstone Prepared By Polyethylene Glycol (PEG) 4000. *Makara Science Series*, (17)2.
11. Fernández-Barahona, I., Muñoz-Hernando, M., Ruiz-Cabello, J., Herranz, F., & Pellico, J. 2020. Iron oxide nanoparticles: An alternative for positive contrast in magnetic resonance imaging. *Inorganics*, 8(4), 28.
12. Hanemann, T., & Szabó, D. V. 2010. Polymer-nanoparticle composites: from synthesis to modern applications. *Materials*, 3(6), 3468-3517.
13. Kratz, H., Taupitz, M., Ariza de Schellenberger, A., Kosch, O., Eberbeck, D., Wagner, S., ... & Schnorr, J. (2018). Novel magnetic multicore nanoparticles designed for MPI and other biomedical applications: From synthesis to first in vivo studies. *PLoS one*, 13(1).