

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iii
PERNYATAAN	iv
PRAKATA	v
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SIMBOL DAN KONSTANTA	xiii
INTISARI	xv
ABSTRACT	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	6
1.6 Sistematika Penulisan	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
BAB III LANDASAN TEORI	
3.1 Struktur Kristal Nanopartikel Mn _x Zn _{1-x} Fe ₂ O ₄	12
3.2 Terminologi Kemagnetan	13
3.3 Ferrimagnetik.....	16
3.4 Ferromagnetik.....	16
3.5 Sifat Superparamagnetik pada Nanopartikel	17
3.6 Domain Magnetik dan Kurva Histeresis.....	20
3.7 Material Fungsionalisasi.....	21
3.7.1 <i>Polyethylene glycol</i> (PEG).....	22
3.7.2 Silika (SiO ₂)	23
3.8 Metode Kopresipitasi.....	25
3.9 Karakterisasi Material.....	26
3.9.1 <i>X-ray diffraction</i> (XRD)	26
3.9.2 <i>Transmission electron microscopy</i> (TEM)	28
3.9.3 <i>Vibrating sample magnetometry</i> (VSM)	30
3.9.4 <i>Fourier transform infrared</i> (FTIR).....	32
BAB IV METODE PENELITIAN	
4.1 Bahan	35
4.1.1 Bahan untuk sintesis nanopartikel Mn _{0,5} Zn _{0,5} Fe ₂ O ₄	35
4.1.2 Bahan untuk enkapsulasi nanopartikel Mn _{0,5} Zn _{0,5} Fe ₂ O ₄	35

4.2	Alat	35
4.2.1	Alat untuk sintesis dan enkapsulasi nanopartikel Mn _{0,5} Zn _{0,5} Fe ₂ O ₄	35
4.2.2	Alat uji karakterisasi sampel yang digunakan dalam penelitian ini	36
4.3	Prosedur Penelitian	36
4.4	Teknik Analisis Data	44
 BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		
5.1	Hasil Sintesis Nanopartikel Mn _{0,5} Zn _{0,5} Fe ₂ O ₄	53
5.2	Karakterisasi Struktur Kristal Nanopartikel Mn _{0,5} Zn _{0,5} Fe ₂ O ₄ dan Mn _{0,5} Zn _{0,5} Fe ₂ O ₄ +PEG-4000 menggunakan XRD	54
5.3	Karakterisasi Morfologi Nanopartikel Mn _{0,5} Zn _{0,5} Fe ₂ O ₄ dan Mn _{0,5} Zn _{0,5} Fe ₂ O ₄ +PEG-4000 menggunakan TEM	60
5.4	Karakterisasi Gugus Fungsi Nanopartikel Mn _{0,5} Zn _{0,5} Fe ₂ O ₄ dan Mn _{0,5} Zn _{0,5} Fe ₂ O ₄ +PEG-4000 menggunakan FTIR	61
5.5	Karakterisasi Sifat Kemagnetan Nanopartikel Mn _{0,5} Zn _{0,5} Fe ₂ O ₄ dan Mn _{0,5} Zn _{0,5} Fe ₂ O ₄ +PEG-4000 menggunakan VSM	64
5.5.1	Analisis koersivitas	66
5.5.2	Analisis magnetisasi maksimum (pada $H = 15$ kOe)	68
5.6	Karakterisasi Struktur Kristal Nanopartikel Mn _{0,5} Zn _{0,5} Fe ₂ O ₄ dan Mn _{0,5} Zn _{0,5} Fe ₂ O ₄ +silika menggunakan XRD	71
5.7	Karakterisasi Morfologi Nanopartikel Mn _{0,5} Zn _{0,5} Fe ₂ O ₄ dan Mn _{0,5} Zn _{0,5} Fe ₂ O ₄ +silika menggunakan TEM	75
5.8	Karakterisasi Gugus Fungsi Nanopartikel Mn _{0,5} Zn _{0,5} Fe ₂ O ₄ dan Mn _{0,5} Zn _{0,5} Fe ₂ O ₄ +silika menggunakan FTIR	76
5.9	Karakterisasi Sifat Kemagnetan Nanopartikel Mn _{0,5} Zn _{0,5} Fe ₂ O ₄ dan Mn _{0,5} Zn _{0,5} Fe ₂ O ₄ +silika menggunakan VSM	78
5.9.1	Analisis koersivitas	80
5.9.2	Analisis magnetisasi maksimum (pada $H = 15$ kOe)	82
 BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		
6.1	Kesimpulan	85
6.2	Saran	85
 DAFTAR PUSTAKA		87
 LAMPIRAN		92

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Konfigurasi kation nanopartikel $Mn_xZn_{1-x}Fe_2O_4$	12
Gambar 3.2	Gerak elektron berputar mengelilingi inti	14
Gambar 3.3	Arah domain magnetik pada ferrimagnetik	16
Gambar 3.4	Arah domain magnetik pada ferromagnetik	17
Gambar 3.5	Transisi pada nanopartikel magnetik dari ferromagnetik ke superparamagnetik	18
Gambar 3.6	Respon terhadap medan magnet dari partikel magnetik: (a) partikel magnetik pada suhu dibawah T_B (b) partikel magnetik pada suhu lebih tinggi dari T_B	19
Gambar 3.7	Kurva histeresis pada ferromagnetik	21
Gambar 3.8	Sketsa enkapsulasi permukaan nanopartikel magnetik dengan tipe yang berbeda: (a) bahan inorganik, (b) molekul organik, dan (c) polimer organik	22
Gambar 3.9	Struktur PEG	23
Gambar 3.10	Morfologi SEM dari silika.....	24
Gambar 3.11	Diagram <i>X-ray</i> difraktometer	27
Gambar 3.12	Difraksi bidang Bragg sinar-X	28
Gambar 3.13	Diagram TEM.....	29
Gambar 3.14	Diagram VSM	31
Gambar 3.15	Proses terjadinya flux oleh pergerakan sampel magnet	32
Gambar 3.16	Skema spektroskopi FTIR	33
Gambar 4.1	Skema sintesis nanopartikel $Mn_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$	38
Gambar 4.2	Skema enkapsulasi $Mn_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$ dengan PEG-4000 ...	41
Gambar 4.3	Skema sintesis $Mn_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$ dengan silika	42
Gambar 4.4	(a) Perangkat XRD Shimadzu-XD (Laboratorium Kimia UGM); (b) Perangkat TEM Jeol Jem-1400 (Laboratorium Kimia UGM); (c) Perangkat IR-Spektrometer Shimadzu Prestige-21; dan (d) Perangkat VSM Riken Denshi Co Ltd (<i>Department of Quantum Engineering, Nagoya University, Japan</i>)	43
Gambar 4.5	Ilustrasi spektrum puncak difraksi $Mn_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$ dari pengujian XRD.....	44
Gambar 4.6	Ilustrasi perhitungan FWHM dari puncak difraksi.....	45
Gambar 4.7	Ilustrasi gambar TEM.....	46
Gambar 4.8	Contoh pola cincin difraksi	47
Gambar 4.9	Proses terbentuknya cincin difraksi.....	48
Gambar 4.10	Ilustrasi gambar FTIR.....	49
Gambar 4.11	Ilustrasi kurva histeresis hasil pengujian VSM	50
Gambar 4.12	Ilustrasi pembesaran skala kurva histeresis untuk menentukan nilai koersivitas sampel (a) kurva histeresis (b) setelah pembesaran skala	51
Gambar 5.1	Hasil sintesis nanopartikel $Mn_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$ (a) pengendapan	

	nanopartikel dengan medan magnet, (b) nanopartikel fasa padat, dan (c) serbuk nanopartikel dalam pengaruh medan magnet	53
Gambar 5.2	Pola XRD nanopartikel (a) $Mn_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$; dan $Mn_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$ +PEG-4000	54
Gambar 5.3	Pergeseran sudut puncak difraksi (311) nanopartikel (a) $Mn_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$; dan (b) $Mn_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$ +silika	54
Gambar 5.4	Pengaruh <i>microstrain</i> terhadap pergeseran sudut dan pelebaran puncak difraksi (a) tidak ada <i>strain</i> , (b) <i>strain</i> seragam, dan (c) <i>strain</i> tidak seragam	55
Gambar 5.5	Ilustrasi proses enkapsulasi nanopartikel $Mn_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$ dengan PEG-4000	56
Gambar 5.6	Hasil karakterisasi TEM berupa morfologi dan pola cincin difraksi (a) $Mn_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$ (b) $Mn_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$ +PEG-4000	60
Gambar 5.7	Spektrum FTIR (a) nanopartikel $Mn_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$; (b) $Mn_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$ +PEG-4000; dan (c) PEG-4000	61
Gambar 5.8	Kurva histeresis pengujian VSM (nilai koersivitas) untuk sampel M, A, B, C, D, E, dan F	65
Gambar 5.9	Kurva histeresis pengujian VSM (nilai magnetisasi) untuk sampel M, A, B, C, D, E, dan F	65
Gambar 5.10	Skema ilustrasi hubungan antara koersivitas dengan ukuran nanopartikel (Akbarzadeh dkk, 2012)	67
Gambar 5.11	Plot nilai (a) koersivitas, (b) konstanta anisotropi magnetik, (c) magnetisasi maksimum (pada $H = 15$ kOe), dan (d) momen magnetik terhadap konsentrasi PEG-4000	70
Gambar 5.12	Pola XRD nanopartikel (a) $Mn_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$; dan (b) $Mn_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$ +silika	71
Gambar 5.13	Pergeseran sudut puncak difraksi (311) nanopartikel (a) $Mn_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$; dan (b) $Mn_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$ +silika	71
Gambar 5.14	Hasil karakterisasi TEM berupa morfologi dan pola cincin difraksi (a) $Mn_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$ (b) $Mn_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$ +silika	75
Gambar 5.15	Spektrum FTIR (a) nanopartikel $Mn_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$; (b) $Mn_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$ +silika; dan (c) silika	76
Gambar 5.16	Kurva histeresis pengujian VSM (nilai koersivitas) untuk sampel M, P, Q, R, S, T, dan U	80
Gambar 5.17	Kurva histeresis pengujian VSM (nilai magnetisasi) untuk sampel M, P, Q, R, S, T, dan U	80
Gambar 5.18	Ilustrasi enkapsulasi nanopartikel $Mn_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$ oleh silika (a) sebelum enkapsulasi (b) sesudah enkapsulasi	82
Gambar 5.19	Plot nilai (a) koersivitas, (b) konstanta anisotropi magnetik, (c) magnetisasi maksimum (pada $H = 15$ kOe), dan (d) momen magnetik terhadap konsentrasi PEG-4000	83

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Komposisi PEG dan sifatnya.....	23
Tabel 3.2	Tabel beberapa gugus fungsi molekul.....	34
Tabel 4.1	Identitas sampel dengan variasi konsentrasi PEG-4000.....	39
Tabel 4.2	Identitas sampel dengan variasi konsentrasi silika.....	40
Tabel 5.1	Estimasi rasio fasa Mn _{0,5} Zn _{0,5} Fe ₂ O ₄ sebelum dan sesudah dienkapsulasi dengan PEG-4000	57
Tabel 5.2	Nilai parameter kisi, ukuran butir kristal, <i>microstrain</i> , dan densitas sinar-X nanopartikel Mn _{0,5} Zn _{0,5} Fe ₂ O ₄ sebelum dan sesudah dienkapsulasi dengan PEG-4000.....	58
Tabel 5.3	Jenis ikatan (gugus fungsi) dan bilangan gelombang pada sampel Mn _{0,5} Zn _{0,5} Fe ₂ O ₄ ; PEG-4000; dan Mn _{0,5} Zn _{0,5} Fe ₂ O ₄ +PEG-4000	62
Tabel 5.4	Nilai koersivitas dan konstanta anisotropi magnetik sampel.....	66
Tabel 5.5	Nilai magnetisasi maksimum (pada $H = 15$ kOe), magnetisasi remanen dan momen magnetik sampel	68
Tabel 5.6	Estimasi rasio fasa Mn _{0,5} Zn _{0,5} Fe ₂ O ₄ sebelum dan sesudah dienkapsulasi dengan silika	72
Tabel 5.7	Nilai parameter kisi, ukuran butir kristal, <i>microstrain</i> , dan densitas sinar-X nanopartikel Mn _{0,5} Zn _{0,5} Fe ₂ O ₄ sebelum dan sesudah dienkapsulasi dengan silika	73
Tabel 5.8	Jenis ikatan (gugus fungsi) dan bilangan gelombang pada sampel Mn _{0,5} Zn _{0,5} Fe ₂ O ₄ ; silika; dan Mn _{0,5} Zn _{0,5} Fe ₂ O ₄ +silika.....	77
Tabel 5.9	Nilai koersivitas dan konstanta anisotropi magnetik sampel.....	81
Tabel 5.10	Nilai magnetisasi maksimum (pada $H = 15$ kOe), magnetisasi remanen dan momen magnetik sampel	82

DAFTAR SIMBOL DAN KONSTANTA

μ_B	Magneton Bohr
q	Muatan elektron
h	Konstanta Plank
m_e	Massa elektron
\vec{H}	Medan magnet eksternal
χ	Suseptibilitas
\vec{M}	Magnetisasi
\vec{B}	Induksi medan magnetik
μ	Permeabilitas magnetik
μ_0	Permeabilitas ruang hampa
μ_r	Permeabilitas relatif
M_s	Magnetisasi saturasi
M_r	Magnetisasi remanen
H_c	Medan koersivitas
H_s	Medan saturasi
τ	Waktu relaksasi
τ_0	Faktor preekspensial
τ_m	Waktu pengukuran
k_B	Konstanta Boltzmann
V	Volume partikel
K_u	Konstanta anisotropi
T_B	Suhu <i>blocking</i>
τ_B	Waktu relaksasi Brown
U	Energi <i>barrier</i>
k_B	Konstanta Boltzman
T	Suhu
T_b	Suhu <i>barrier</i>
δ	Derajat inversi
a	Tetapan kekisi

t	Waktu
n	Urutan difraksi
θ	Sudut difraksi
d	Jarak antar bidang kristal
λ	Panjang gelombang sinar-X dan elektron
B	Lebar garis pada <i>Full Width at Half Maximum</i> (FWHM)
T_c	Suhu Curie
r	Jarak antar titik pusat difraksi dan titik pusat difraksi
t	Ukuran butir kristal menggunakan persamaan Scherrer
m	Momen dipol magnetik
L	<i>Length of camera</i> pada instrumen TEM
$\langle K \rangle$	Konstanta anisotropi magnetik
R	Jarak cincin difraksi dari pusat lingkaran
r_c	Radius kritis nanopartikel bersifat superparamagnetik
D	Diameter partikel
dx	Densitas sinar-X
M	Berat molekul
N_A	Konstanta Avogadro
p_c	Faktor konstanta
ε	<i>Microstrain</i>
η_B	Momen magnetik